

PUDOTUSHYPPY

Pekka Matomäki

Seminaarityö

LBIS001 Hyvinvointiteknologian tutkimus-
metodiikka

Kevät 2016

Liikuntabiologian laitos

Jyväskylän yliopisto

Sisältö

1 Johdanto	3
OSA I	
PUDOTUSHYPYT TUTKIMUSKOHTEENA	5
2 Perusmetodit pudotushypyssä	5
2.1 Perusmetodien lyhyt esittely	5
2.2 Pudotushypyssä kaksi eri tekniikkaa	5
2.3 Pudotuskorkeus ja kontaktiaika	7
2.4 Hyppykorkeus/pudotuskorkeus -suhde	8
2.5 Lihaksen sisäistä toimintaa	9
2.6 H-refleksi	11
2.7 Lihasvaurioiden tutkiminen	12
3 Pudotushyppyjen krooninen vaikutus	13
3.1 Pudotushypyn vaikutus maksimivoimaan	13
3.2 Pudotuskorkeuden vaikutus neuraaliseen adaptaatioon	13
3.3 Pudotushypyn vaikutus suoritukseen	14
3.4 Pudotushyppyihin lisätyt ominaisuudet	15
OSA II	
PUDOTUSHYPYT TUTKIMUSMETODINA	16
4 Yksittäisen kuormituksen testinä	17
4.1 Väsytyksen tutkiminen	17
4.2 Venyttely	19
5 Pudotushyppy käytännön harjoittelussa	19
5.1 Pudotushypyn korrelaatio muun suorituksen kanssa	20
5.2 Pitkittäistutkimukset harjoittelun vaikutuksista	21
6 Muunlaisena testinä	24
6.1 Testi polvivammariskille	24
6.2 Laitteiden validointi	25
LÄHTEET	26

1 Johdanto

Pudotushyppy -seminarityö

Yleisesti urheilussa käytetään kolmenlaisia vertikaalihyppyharjoitteita: staattista hyppyä, esikevennettyä hyppyä ja pudotushyppyä. Näistä viimeksi mainittu eroaa edellisistä intensiivisyytensä puolesta; pudotushyppy tuottaa huomattavasti suurempia reaktivoimia kuin muut vertikaalihypyt ja niiden eksentrisen voimantuotto on huomattavasti suurempaa Bobbert ym. (1986). Yksinkertaisuudessaan pudotushypyssä hyppääjä astuu alas ennaltamäärätyltä korkeudelta ja hyppää räjähtävästi ylöspäin välittömästi maakosketuksen saatuaan (ks. kuva 1).



KUVA 1: Kuvasarja pudotushypystä.

Monissa luonnollisissa liikkeissä tarvitaan lihasten venymis–lyhenemis -syklin käyttöä. Tämän syklin tehokas käyttö vaatii kolme fundamentaalista asiaa toimiakseen: ensinnäkin oikein ajoitetun esijännityksen ennen eksentristä lihastyövaihetta, toisekseen lyhyen ja nopean eksentrisen vaiheen (venymisvaihe) sekä viimeiseksi nopean siirtymän eksentrisestä vaiheesta konsentriseen (lyhenemisvaiheeseen). On esitetty, että pudotushyppy täyttää nämä kriteerit, mutta esikevennyshyppy ei. (Komi. & Gollhofer 1997 lähteen Byrne & Eston 2002 mukaan). Tämän perusteella nähdään, että pudotushyppy on omanlaisensa vertikaalihyppy ja se mittaa ja vaatii eri asioita kuin esikevennyshyppy.

Tämän työn tarkoituksena on tehdä kirjallisuuskatsaus pudotushypystä ja sen metodeista. Työ rakentuu karkeasti kahteen osaan. Ensimmäisessä osassa pudotushyppy on keskiössä. Tarkastellaan miten itse pudotushyppyä on tutkittu ja mitä siitä tiedetään. Toisessa osassa

tarkastellaan miten pudotushyppyä on käytetty metodina tutkittaessa muita ilmiöitä. Toinen osa rakentuu ensimmäisen osan päälle siten, että pudotushypyn biomekaaninen ja fysiologinen ymmärtäminen antaa paremman pohjan ymmärtää miten pudotushyppyä voi soveltaa metodina. Työ tasapainottelee metodien ja tulosten välillä. Tarkoituksena on esitellä erilaisia metodeja ja tutkimusasetelmia, mutta niistä saadut tulokset oleellisesti demonstroivat mihin käyetyt metodit parhaimmillaan taipuvat.

Pudotushypyn parametreja

Periaatteessa yksinkertaiseksi suoritukseksi, pudotushypyissä on yllättävän monta parametria, joita voidaan seurata, tutkia ja muunnella. Seuraavaan on näistä listattu olennaisimpia.

- Pudotuskorkeus. Tämä on varmasti helpoimmin nähtävissä oleva parametri; käytännössä tarkoittaa kuinka korkealta tutkittava pudottautuu hyppyyn.
- Painopisteen nousukorkeus (=hyppykorkeus). Kertoo kuinka korkealle tutkittava hyppää pudotuksen jälkeen.
- Kontaktiaika. Hypyn luonteeseen olennaisesti vaikuttava parametri; kuinka kauan tutkittavan jalat koskettava maata pudotuksen ja hypyn välillä. Yleisenä nyrkkisääntönä voidaan sanoa, että alle 250 ms kontaktiaika on nopea kontakti (vrt. Walsh ym. 2004). Kontaktiaika voidaan jakaa eksentriseen ja konsentriseen vaiheeseen:
 - Eksentrisen vaihe (=jarrutusvaihe): Kontaktiajan vaihe ensimmäisestä maakosketuksesta painopisteen alimpaan kohtaan.
 - Konsentrisen vaihe (=työntövaihe): Vaihe alimmasta painopisteen kohdasta varpaiden irtoamiseen alustasta.
- Hyppykorkeus/kontaktiaika -suhde (m/s). Kahden edellisen parametrin suhde. Hyvä parametri, jota käyttäen voidaan yrittää tasaveroisesti verrata eri tavalla hyppäviä tutkittavia.
- Kanta-/päkiäkosketus. Voidaan katsoa koskettaako tutkittavan kantapää alustaa hypyn aikana. Kertoo lihasvoimasta, hyppytekniikasta ja kimmoisuusominaisuuksista.
- Hyppytekniikka. Kaksi erilaista päätekniikkaa voidaan erottaa (Bobbert ym. 1986):
 1. Kimmahdustekniikkaa (bouncing technique), jossa välittömästi maakosketuksesta ponnahtetaan ylöspäin. Tyypillisesti kontaktiaika < 300 ms.
 2. Kevennystekniikkaa (countermovement technique), jossa polvista joustetaan maahantullessa hieman ottaen maakosketus pehmeämmin ennen hypyn suuntautumista ylöspäin. Kontaktiaika tyypillisesti > 350 ms. Tällöin hypyn työntövaihe muistuttaa huomattavasti esikevennyshypyn vastaavaa.

OSA I

Pudotushyppy tutkimuskohteena

2 Perusmetodit pudotushypyssä

Pudotushypyn tutkimisessa on vahvasti mukana kolme perusmetodia: voimalevy, EMG ja videoanalyysi. Näistä tärkein on lähes kaikissa tutkimuksissa käytetty voimalevy. Riippuen tutkimuskohteesta voidaan voimalevyn rinnalla käyttää videoanalyysia tai EMG:tä liitetään usein voimalevyn rinnalle.

2.1 Perusmetodien lyhyt esittely

Voimalevyllä voidaan mitata pudotushypyn vertikaalisia maareaktiovoimia, lentoaikaa ja maakontaktiaikaa. Maakontaktiaika voidaan vielä jakaa eksentriseen ja konsentriseen vaiheeseen impulssien avulla integroimalla voima-aika -kuvaajaa, ja tämän jälkeen voidaan tarkastella eksentrisen ja konsentrisen voimavaiheen pituuksia sekä niiden RFD:tä. Hyppykorkeuden voi laskea sekä impulssin että lentoajan perusteella.

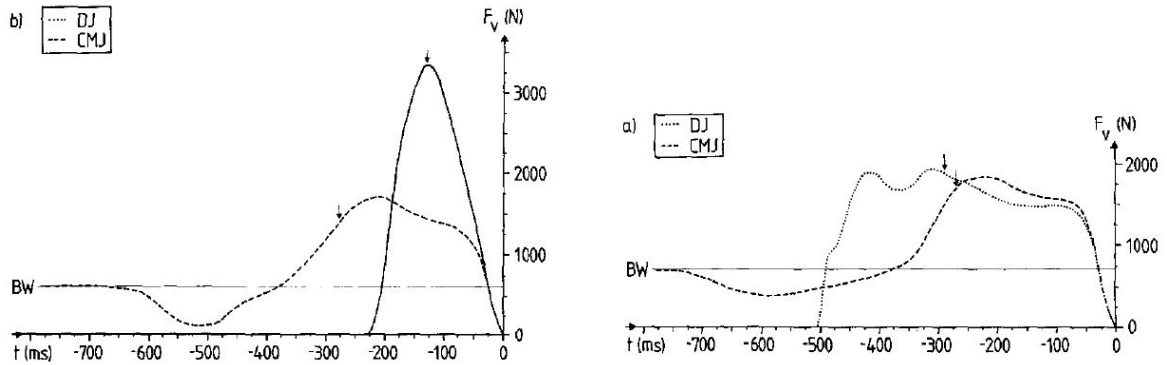
Suosituimmat EMG-mittauskohdat pudotushypyissä ovat vastus lateralis ja gastrocnemius lihakset, tässä järjestyksessä. EMG-aktiivisuudella voidaan mm. erotella hyvien ja huonojen hyppääjien lihasten aktivointitapoja (esim. Horita ym. (2002)), verrata EMG-aktiivisuuksia esikevennyshyppyyn (esim. Bobbert ym. (1986)) tai katsoa miten harjoittelu vaikuttaa EMG-aktiivisuuteen pudotushypyissä. Tässä työssä ei mennä syvällisemmin EMG-datan analysointiin, suodattamisiin, kiinnittämisiin jne. vaan kiinnostunut lukija voi kääntyä kirjan Merletti & Parker (2004) puoleen.

Pudotushyppyä tutkittaessa videoanalyysia varten laitetaan yleensä markkerit seuraaviin paikkoihin: Pään/kaulan/niskan alueelle (esim. C7 vertebrae), trochanter major (lantio), lateral epicondylus (polvi), lateral malleolus (nilkka), 5. metatarsal (varpaat). Näillä saadaan videoanalyysin kautta laskettua lähtönopeuksia, maksiminopeuksia sekä lisäksi nivelkulmia niin lantiolle, polveen kuin nilkkaankin. Kun tähän dataan vielä lisätään voimalevyn tulokset, voidaan käänteisanalyysin avulla laskea niveliin kohdistuvia voimia ja momenteja (esim. Bobbert ym. (1986)). Lisäksi videoanalyysin perustella voidaan suoraan laskea painopisteen nousukorkeus esimerkiksi verrattuna normaaliin seisoma-asentoon (esim. Bobbert ym. (1986)), mitä impulssista tai lentoajasta ei voi suoraan laskea.

2.2 Pudotushypyissä kaksi eri tekniikkaa

Bobbert ym. (1986) tutkivat pudotushypyn biomekaanisia ominaisuuksia. He antoivat tut-

kittavien hypätä pudotushyppyjä ilman mitään sanallisia kehotuksia tekniikasta ja huomasivat, että pudotushyppysä on olemassa kaksi päähyppytekniikkaa: kimmahdustekniikka ja kevennystekniikka. Maareaktivoimien tarkastelusta nähdään hyvin eroavaisuudet näiden tekniikoiden välillä; kevennystekniikan käyrän muoto myötäilee esikevennyshyppyn vastaavaa ja kontaktaiaika on pitkä, kun taas kimmahdustekniikan voimakäyrä eroaa täysin esikevennyshyppyn voimakäyrästä ja kontaktaiaika on nopea (katso kuva 2)



(a) Kimmahdustekniikka mustalla värillä, esikevennyshyppy vaaleanharmaalla värillä.

(b) Kevennystekniikka mustalla värillä, esikevennyshyppy vaaleanharmaalla värillä.

KUVA 2: Kimmahdus- ja kevennystekniikoiden pystysuuntaiset reaktivoimat verrattuna esikevennyshyppyn vastaaviin. Vaalea vaakaviiva on kehonpaino. Nuolet osoittavat hetken jolloin painopiste on matalimmillaan (jaottelee kontakiajan jarrutus- ja työntövaiheeseen). Hetkellä 0 tapahtuu hyppy. (Bobbert ym. 1986).

Pudotushyppyn kevennystekniikka ja esikevennyshyppy eroavat toisistaan käytännössä ainoastaan nivelien laskettujen vertikaalisten resultanttivoimien suhteen (suuremmat pudotushyppysä). Sitä vastoin kimmahdustekniikalla lähes kaikki mitatut parametrit erosivat esikevennyshyppystä: lonkan, polven ja nilkan momentit, tehot ja tehdyt työt olivat pääsääntöisesti suurempia; konsentrisen vaiheen kesto oli lyhyempi, gastrocnemiuksen aktiivisuus konsentrisessa vaiheessa oli suurempi; maareaktivoimat olivat suuremmat; painopisteen madaltuminen oli pienempää (ts. ei niitata niin paljon alastulovaiheessa). Mainitsemisen arvoinen huomio oli, että pyydettäessä kaikki tutkittavat (käsipalloilijoita) pystyivät käyttämään molempia tekniikoita. (Bobbert ym. 1986).

Bobbert ym. (1987a) tarkastelivat edelleen näiden tekniikoiden eroja käyttäen biomekaanisia metodeja. Käytännössä he laskivat polven ja nilkan vääntömomentteja ja tulivat intuitiivisesti selvään johtopäätökseen: Kimmahdustekniikka kuormittaa enemmän polven ja nilkan ojentajia ja on siksi suositeltu tekniikka urheilijoille jotka haluavat juuri näiden lihasten voimantuottoa. Näihin tuloksiin perustuen Bobbert (1990) esittää, että olennaisin asia pudotushyppöjen käytössä harjoituksissa olisikin tekniikka: käyttäenkö kimmahdus- vai kevennystekniikkaa. On spekuloitu, että edellinen harjoituttaisi reaktiivista voimantuottoa

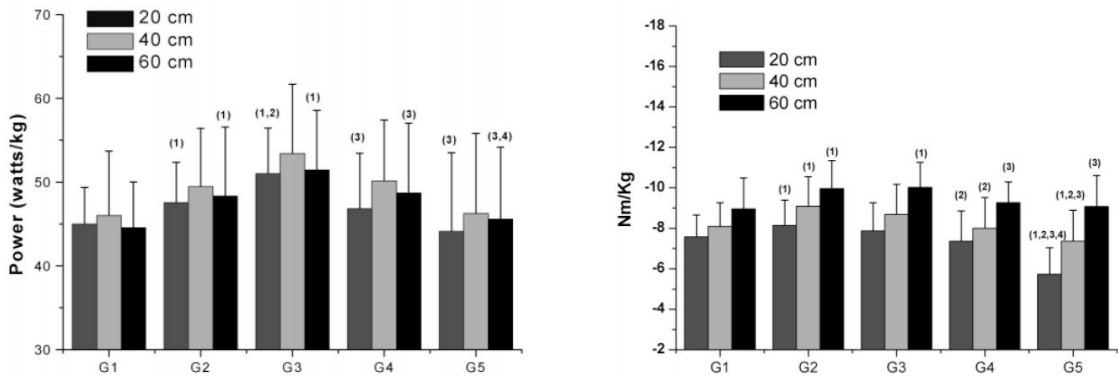
ja jälkimmäinen koordinaatiota (Bobbert 1990). Tähän väliin on syytä huomauttaa, että yllä esitelty tekniikkatarkastelu ei toisaalta ota huomioon lainkaan pudotuskorkeutta, jota valmennuskirjallisuudessa pidetään olennaisimpana muuttujana pudotushyppyjen käytössä (ks. esimerkiksi Chu 1998, s. 17).

2.3 Pudotuskorkeus ja kontaktiaika

Kaksi eniten käytettyä ja analysoitua muuttujaa pudotushypyssä ovat pudotuskorkeus ja kontaktiaika. Yleisesti, pidemmällä maakontaktiajalla saadaan korkeampi hyppykorkeus pudotuskorkeudesta riippumatta (Young ym. 1995; Walsh ym. 2004), mutta ainoastaan näillä tiedoilla ei ole itsestään selvää minkälaisia eroja mm. voimantuotossa tapahtuu pitkän ja lyhyen maakosketushypyn välillä ja kannattaako jompaa kumpaa suosia esimerkiksi harjoittelussa. Niinpä on käytettävä jatkometodeita ja rakennettava tutkimusasetelmia, jolla päästään käsiksi hyppykorkeus/kontaktiaika -suhteeseen.

Selkeä lähestymistapa pudotuskorkeuden tutkimiseen on teettää samoilla tutkittavilla pudotushyppyjä eri pudotuskorkeuksilta. Jotta tähän saataisiin vielä kontaktiajan vaikutus näkyviin Walsh ym. (2004) pyysivät tutkittavia hyppäämään eri kontaktiajoilla: aluksi tutkittavat hyppäsivät hitaimmalla kontaktiajalla jonka jälkeen heitä pyydettiin progressiivisesti lyhentämään kontaktiaikaa (missä he myös onnistuivat!). Tämän jälkeen tutkijoilla oli jatkoanalysointiin eri pudotuskorkeuksilta tarjolla viisi hyppyä eripituisilla kontaktiajoilla. Huomattavaa tosin on, että kaikki hypyt olivat kuitenkin kimmahdustekniikalla suoritettuja pisimpien kontaktiaikojen ollessa noin 220 ms.

Vielä esittelemättömänä tekniikkana Walsh ym. (2004) laskivat voimalevyn datasta myös tuotetut keskitehot. Ne sekä koetut polvimomentit löytyvät kuvasta 3.



(a) Keskiteho

(b) Polvimomentti

KUVA 3: Pudotuskorkeuden ja kontaktiajan vaikutuksia. G1 – G5 progressiivisesti nopeutuva kontaktiaika, missä G1 = hitain maakontakti (≈ 0.222 s ± 0.01) ja G5 = nopein maakontakti (≈ 0.14 s ± 0.01). (a) Hyppyjen keskiteho. (b) Hyppyjen vaikutus maksimipolvimomenttiin. 1, 2, 3, 4 tarkoittavat tilastollisesti merkittävää eroavaisuutta. (Walsh ym. 2004).

Kuvasta 3(a) nähdään, että suurimmat tehot tuotetaan kohtuullisilla kontaktiajalla ja ehkä hieman yllättäen pudotuskorkeus ei vaikuta niin olennaisesti tuotettuun tehoon. Vastaavasti kuvasta 3(b) nähdään, että polveen kohdistuva momentti on verrannollinen pudotuskorkeuteen. Mainittakoon, että nilkan momentit eivät juurikaan riipu pudotuskorkeudesta sen paremmin kuin maakontaktin pituudesta (Horita ym. 2002; Walsh ym. 2004). Koska polvimomentit kasvavat helposti suuriksi, valmennuskirjallisuudessa olevat kehoitukset voimatason kasvattamisesta ennen plyometriin harjoituksiin siirtymistä (ks. esimerkiksi Radcliffe & Farentinos 1999, s. 34) voidaan perustella polven seudun vammojen ehkäisemiseksi varsinkin suuremmilla pudotuskorkeuksilta.

Käytännön anti Walsh ym. (2004) tuloksilla on, että ainoastaan pudotuskorkeutta muuttamalla ei saavuteta välttämättä parhaita harjoitusvastetta. Tukea tähän saadaan myös tutkimuksesta, missä kuuden viikon pudotushyppyharjoittelu tuotti suuremmat reaktivoimatasot ryhmälle, joka harjoittelussaan maksimoi hyppykorkeus/maakosketus -suhteen verrattuna pelkän hyppykorkeuden maksimoivaan ryhmään (Young ym. 1999).

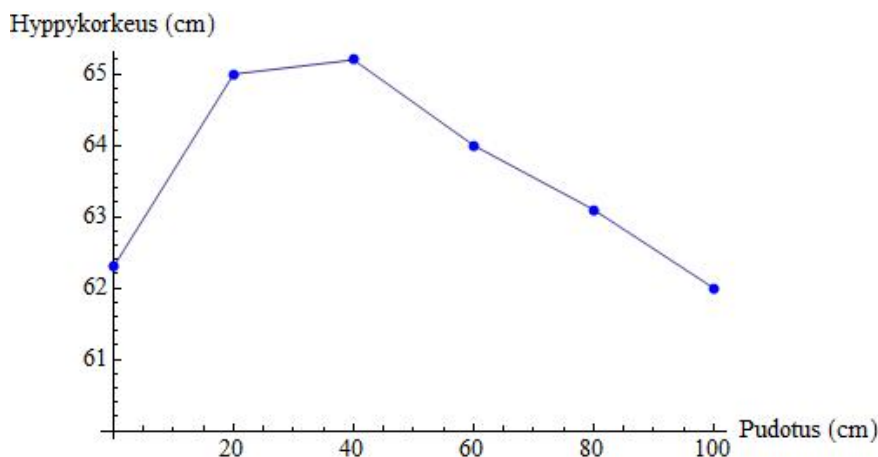
Käytännössä harvoin on tarjolla voimalevyä tai kontaktimattoa kontaktiajan varmistamiseksi. Tätä varten onkin asetettu tutkimusasetelma, jossa katsottiin miten tutkittavien antamat neuvot vaikuttivat suoritukseen (Young ym. 1995). Siinä hyppääjille annettiin kolme erilaista neuvoa pudotushyppyyn lähdetessä: ”Hyppää niin korkealle kuin mahdollista” (K), ”Hyppää niin lyhyellä maakontaktiajalla kuin mahdollista” (M) tai ”Hyppää niin korkealle kuin pystyt ja niin lyhyellä maakontaktiajalla kuin mahdollista” (K/M). Tuloksissa ryhmät olivat selkeästi toisistaan erotettavissa ja tulokset olivat intuitiivisia: K tuottaa pisimmän kontaktiajan korkeimmalla hypyllä, M lyhimmän kontaktiajan matalimmalla hypyllä ja K/M on siinä välissä. Erityisesti siis K/M optimoi näistä kolmesta hyppykorkeus/kontaktiaika -suhteen. Metodologisesti on siis hyvä tiedostaa kuinka sanallinen ohjeistus vaikuttaa huomattavalla tavalla suoritukseen.

Vielä eräs yksinkertainen tutkimusasetelma tarkastelee kantapäiden osumista maahan pudotuskorkeuden kasvaessa. Pudotuskorkeuden kasvaessa kantapää osuvat useammin alustaan kimmahdustekniikalla hypättäessä (Young ym. 1995). Metodologisesti mielenkiintoista on, että kantapään maahan osumisesta voidaan vetää johtopäätöksiä: Kantapäiden maahan osumisen voidaan tulkita tarkoittavan pudotuskorkeuden olevan liian korkea ja hyppääjä on kyvytön ottamaan vastaan niin suuria voimia (Bobbert ym. 1987b lähteen Makaruk & Sacewicz 2011 mukaan).

2.4 Hyppykorkeus/pudotuskorkeus -suhde

Yleinen huomio (esimerkiksi Bosco 1978; Walshe & Wilson 1997) pudotuskorkeuden lisäämisestä on, että aluksi hyppykorkeus pysyy samana tai nousee verrattuna esikevennyshyppyyn, mutta pudotuskorkeuden kasvaessa hyppykorkeus lähtee väistämättä vähentymään jossain vaiheessa (katso kuva 4). Tästä helposti piirrettävästä graafista on hypotesoitu, että syitä hyppykorkeuden lisääntyminen pudotuskorkeuden kasvaessa olisivat mm. nopeammasta li-

haksen venytyksestä johtuva suurempi lihasspindelivaste sekä se, että suurempien voimien takia elastisiin komponentteihin varastoituu potentiaalisesti enemmän energiaa (Walshe & Wilson 1997). Pudotuskorkeuden edelleen kasvaessa hyppykorkeus alkaa heiketä suurentuneiden eksentristen voimien aktivoivan Golgin jänne-elimen toiminnan takia sekä myös tekniikan hajoamisen seurauksena (Walshe & Wilson 1997).



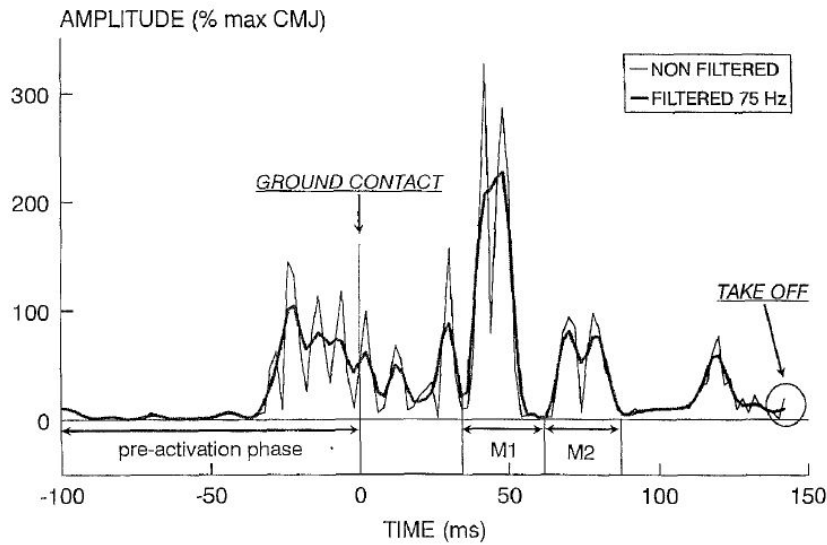
KUVA 4: Hyppykorkeus pudotuskorkeuden funktiona. (Walshe & Wilson 1997).

2.5 Lihaksen sisäistä toimintaa

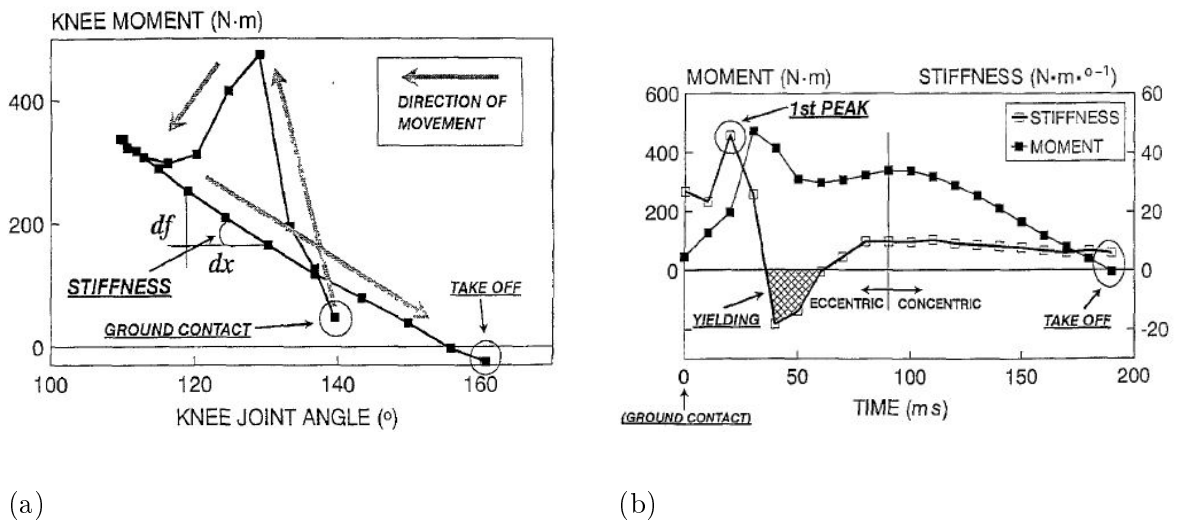
Perusmetodien innovatiivista käyttöä ja niiden tulosten jatkokäsittelyä ovat tehneet mm. Horita ym. (1996), jotka tarkastelivat pudotushypyn aikaista hermolihassjärjestelmän toimintaa. Pudotushypyssä hypyissä tarvittavissa lihaksissa on tapahtuva esijännitystä ennen maakontaktia. Jos tällaista ei tapahtuisi, nivelet romahtaisivat heti maakontaktissa (spindelirefleksilläkin kestää $\sim 40\text{--}50$ ms aiheuttaa jännitystä lihakseen vrt. Horita ym. 1996). Selkeä kuva hypyn aikana tapahtuvasta lihasaktivaatiosta nähdään kuvassa 5. Siinä nähdään miten ennen kontaktia tapahtuu esiaktiivisuutta. Lisäksi maakosketuksen jälkeen tapahtuu spindelien välityksellä venytysrefleksi, jonka lyhyt latenssikomponentti on kuvassa M1 ja keskipitkä latenssikomponentti on kuvassa M2. Esijännitys on eräs tarkasteltava komponentti pudotushypyissä. Esimerkiksi Horita ym. (2002) mukaan eräs hyvän ja huonon hyppääjän ero on siinä, että hyvällä hyppääjällä on suurempi esijännitys ~ 50 ms ennen maakosketusta gastrocnemius-lihaksessa ja ~ 25 ms ennen maakosketusta vastus lateralis lihaksessa.

Kuvaan 6(a) on laskettu käänteismetodin avulla polvimomentin kehittyminen hypyn edetessä. On havaittu, että tämän kuvaajan derivaatta kuvaa lihaksen jäykkyyttä (stiffness). Kuvaan 6(b) on merkitty jäykkyyden ja momentin arvot hypyn aikana. Kuvaajasta havaitaan kolme eri vaihetta: Ensimmäinen vaihe kestää maakontaktin alusta suurimpaan jäykkyyden (ja polvimomentin) arvoon, ja tämä suurin arvo voidaan tulkita olevan lihasjäykkyyden arvo esijännityksen seurauksena. Toisessa vaiheessa jäykkyys on negatiivinen ja tapahtuu joustoa, minkä arvellaan johtuvan poikittaissiltojen hajoamisen seurauksena. Viimeisessä, konsentrisessä vaiheessa jäykkyys muuttuu taas positiiviseksi ja pysyy jotakuinkin

vakiona loppuhypyn ajan. (Horita ym. 1996).

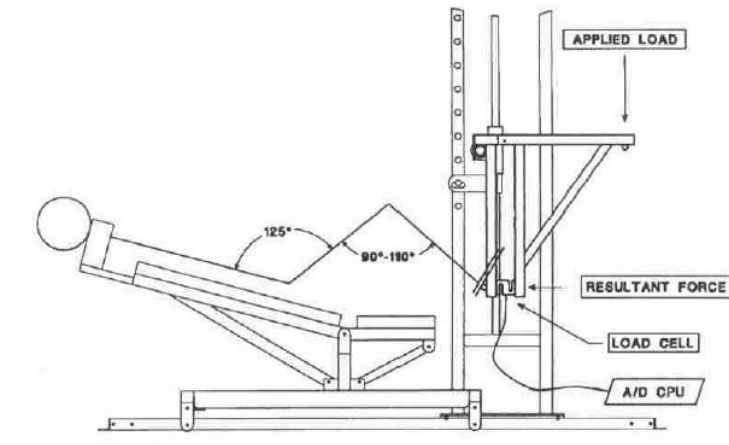


KUVA 5: Tasasuunnattu EMG-aktiivisuus vastus lateraliksessa pudotushypyn aikana. CMJ=esikevennyshyppy. (Horita ym. 1996).



KUVA 6: (a) Jäykkyyden laskeminen polvikulma-polvimomentti -kuvaajasta. (b) Laskettu jäykkyys ja momentti. (Horita ym. 1996).

Toinen tapa mitata lihasjännekompleksin jäykkyyttä on kuvan 7 osoittama koejärjestely (Walshe & Wilson 1997). Siinä on kaksi kohtisuorassa olevaa rautaista siivekettä (kuvan "Applied load" ja "Resultant force" -siivekkeet), joiden leikkauskohta pyörii lähes kitkattomasti. Testissä testattavalle pannaan esimerkiksi 30% – 70% maksimikyykkymäärästä painoja ja tutkijat aiheuttavat systeemiin oskillaatiota ylimääräisellä painonlisäyksellä ja poistolla. Tästä syntyy vaimenevaa oskillaatiota, josta voidaan laskea lihasjännekomponentin jäykkyyserroin (stiffness).



KUVA 7: Koejärjestely lihasjännekompleksin mittaamiseksi. (Walshe & Wilson 1997).

Tämä tapa on hyvin toistettava ($r=0.94$) tapa laskea lihasjännekompleksin maksimijäykkyys (Walshe ym. 1996). Walshe & Wilson (1997) käyttivät tätä vertaillakseen ”jäykkien” ($k > 16\text{kN/m}^2$) ja ”myötäävien” ($k < 15\text{kN/m}^2$) kokeneiden hyppääjien pudotushyppytuloksia. He huomasivat, että jäykillä kuvan 4 hyppykorkeus–pudotuskorkeus -graafi kääntyi laskuun *aikaisemmin* kuin myötäävillä. Toisin sanoen jäykkä lihasjännekompleksi välittää paremmin suuria eksentrisiä voimia Golgin jänne-elimeen ja siten aiheuttaa inhibitiota aikaisemmin kuin myötäävämpi lihasjännekompleksi. Artikkelissa ei toisaalta oteta kantaa jäykkyyden muihin vaikutuksiin, esimerkiksi siihen helpottaako jäykkä lihasjännekompleksi pienemmillä pudotuskorkeuksilla elastisen energian käyttöä.

2.6 H-refleksi

H-refleksissä valittuun lihakseen, usein soleukseen, annetaan sähköstimulus lihaksen Ia-afferenttiin, josta se aktiopotentiaali kulkee selkäytimen kautta saman lihaksen α -motoneuronian pitkin samaan lihakseen takaisin. Tätä refleksivastetta voidaan mitata soleuksesta EMG:llä. Samalla sähköstimulus lähtee myös suoraan efferenttiä aksonia pitkin lihakseen ja havaitaan ns. M-aalto. H-refleksi kertoo koko refleksikaaren herkkydestä. (Enoka 2015, s. 264–266)

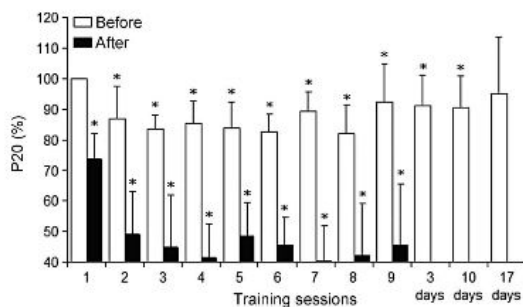
Pudotushypyn tapaisessa dynaamisessa liikkeessä vaikeudeksi tulee sähköstimuluksen antaminen oikeaan aikaan. Tähän tarvitaan jokin laukaisin, jolla saadaan ajoitettua stimulus esimerkiksi juuri maakosketuksen aloitusaikaan tai maakosketuksesta (ja lihaksen venymisestä) johtuvaan lihasspindelin refleksivasteen kanssa samaan aikaan (hetki M1 kuvassa 5). Leukel ym. (2008) käyttivät näitä molempia ajoituksia kun he näyttivät miten H-refleksi on tilastollisesti merkittävästi pienempi suurilla pudotuskorkeuksilla (76 cm) verrattuna pieneen pudotuskorkeuteen (31 cm). He päättelivät tämän tarkoittavan, että suuremmalla pudotuskorkeudella tapahtuu ennaltaehkäisevää toimintaa, jonka tarkoituksena on suojella lihasta liian suurilta eksentrisiltä voimilta.

2.7 Lihasvaurioiden tutkiminen

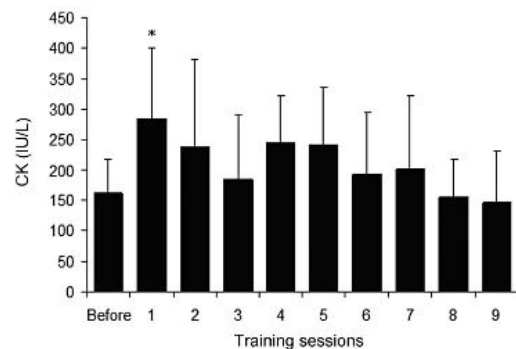
Pudotushypyssä tuotetaan suuria määriä eksentrisiä voimia, mitkä puolestaan ovat yhteydessä lihasten ns. mikrovaurioihin. Vaurioituneet lihakset päästävät soluvälitilaan ja sieltä verenkiertoon solun sisäistä ainesta. Niinpä eräs tapa päästä käsiksi näiden vaurioiden suuruuksiin on tutkia paljonko verestä löytyy normaalisti lihaksien sisään kuuluvia entsyymejä. Useimmiten etsittävä entsyymi on kreatiinikinaasi.

Lihasvaurioiden aiheuttamaa suorituskyvyn laskua voi helposti tutkia tekemällä erilaisia suorituskykyä mittaavia testejä, esimerkiksi isometrinen prässä tai vertikaalihyppy. Lihasväsymyksen tutkimiseen voi käyttää myös sähköstimuluksia eri taajuuksilla: pannaan tutkittava isometriseen prässäin ja annetaan sähköstimuluksia ja mitataan kuinka suuren väännön ne tuottavat, jolloin nähdään periferisen väsymisen aste. Subjektiiivinen tapa väsymisen tutkimiseen on tehdä tutkittavalle lihasarkuuskysely.

Kamandulis ym. (2011) tekivät kaikkia edellä mainittuja kun he tutkivat kolmen viikon (yhdeksän harjoituksen) progressiivisen pudotushyppyharjoittelun lihasvaurioita. Kaksi väsymismarkkeria on piirretty kuvaan 8. Nähdään, että 20 Hz sähköstimuluksen aiheuttama vääntö palautui vasta 17 päivää kolmen viikon harjoittelujakson jälkeen. Edelleen, kreatiinikinaasin määrä oli suurin heti ensimmäisen harjoituksen jälkeen, ja sen jälkeen pysyi koko kolme viikkoa hieman koholla. Huomattavaa on, että suorituskyky ei sinänsä ollut muuttunut missään vaiheessa: Isometrisen prässin tulokset eivät olleet tilastollisesti merkittävästi pienempiä verrattuna alkutilaan ennen harjoituksia. Toisaalta myöskään mitään parannusta ei havaittu kolmen viikon harjoittelun jälkeen. (Kamandulis ym. 2011). Loppupäätelmä tutkijoilla oli, että ihminen adaptoituu suhteellisen hyvin kuormittavaan progressiiviseen pudotushyppyharjoitteluun.



(a) 20Hz sähköstimuluksen aiheuttama vääntö quadriceps femoris -lihaksessa.



(b) Kreatiinikinaasin määrä plasmassa.

KUVA 8: Kahden eri väsymismarkkerien tulokset yhdeksän progressiivisen pudotushyppyharjoittelujakson aikana ja jälkeen. Sähköstimulustesti tehtiin juuri ennen harjoituksia ja välittömästi jälkeen. (Kamandulis ym. 2011).

Toinen tapa tarkastella lihasvaurioita on tarkastella kuinka alusta vaikuttaa lihasvaurioi-

den syntyyn ja miksi. Miyama & Nosaka (2004) tarkastelivat lihasvaurioita 100 pudotushypyn jälkeen, kun pudottauduttiin joko hiekalle tai puulle. Metodologisesti tämä tarkoittaa, että voimalevyn päälle laitettiin hiekkalaatikko tai tammilautalevy. Huomattiin, että alustalla oli vaikutusta; puulle hypänneellä ryhmällä oli suuremmat lihasvauriot niin lihasarkuuskyselyllä, isometrisellä testillä kuin kreatiinikinaasin määrällä mitattuna. Selityksenä tähän annetaan mm. se, että kovalle alustalle hypättäessä lihaspituus on suurempi, mikä aiheuttaa suuremman lihasvaurion eksentrisessä työssä. (Miyama & Nosaka 2004). Voidaan siis päätellä, että hypättävällä alustalla on merkitystä, ja että pehmeällä alustalla hyppääminen on vähemmän kuormittavaa lihasjännekompleksille, mitä valmennuskirjallisuudessaakin painotetaan; esimerkiksi Chu (1998) kehoittaa tekemään plyometrisia harjoituksia ruohikolla vammojen välttämiseksi.

Huomattavaa on, että molemmissa esiteltyissä väsymistutkimuksissa käytettiin pääsääntöisesti kevennystekniikkaa pitkällä kontaktiajalla (>500 ms). Mielenkiintoista voisi olla myös tietää onko tekniikalla eroa lihasvaurioiden määrässä.

3 Pudotushyppyjen krooninen vaikutus

Tässä ensimmäisen osion viimeisessä luvussa kerrotaan lyhyesti miten edellä esitettyjä metodeita käyttäen on tutkittu pudotushyppyjen pidempiaikaisista harjoitteluvaikutuksista. Pitkittäistutkimuksissa metodi on hyvin suoraviivainen: tehdään alkutesti, tietyn mittainen interventio ja lopputesti, josta nähdään miten interventio tehoi.

3.1 Pudotushypyn vaikutus maksimivoimaan

Pudotushyppy tuottaa suuria maareaktivoimia, joten voisi ajatella pudotushypyn jopa parantavan maksimivoimaa. Tälle hypoteesille ei kuitenkaan olla juuri saatu tukea. Esimerkiksi Wilson ym. (1996) tekivät tutkimusasetelman, jossa he vertasivat kahdeksan viikon pudotushyppyharjoittelua voimaharjoitteluun. Lopputuloksena oli, että pudotushyppyharjoittelu paransi merkittävästi vertikaalihyppyä ja isointertiaalista eksentristä voimantuotonopeutta, mutta ei tuottanut havaittavia eroja maksimikyykyyn tai konsentriseen suoritukseen. Tässäkin tutkimuksessa tutkittavat käyttivät kevennystekniikkaa, joka tuottaa pienempiä reaktivoimia kuin kimmahdustekniikka. Voisi olla mielenkiintoista tietää, että vaikka pudotushyppyharjoittelu ei olisikaan riittävä nostamaan maksimivoimatasoja, olisiko se riittävä ylläpitämään jo saavutettua maksimivoimatasoa.

3.2 Pudouskorkeuden vaikutus neuraaliseen adaptaatioon

Aikaisemmin nähtiin jo, että pudotuskorkeudella on vaikutusta hyppyyn lisäten polven momenttia, koettua maareaktivoimaa ja pienentäen H-refleksiä. Näihin eroihin liittyen Taube ym. (2012) tutkivat onko eri korkeudelta suoritetuilla pudotushyppyharjoitteluilla mitatta-

via eroavaisuuksia neuraalisessa adaptaatiossa: Toinen ryhmä pudottautui korkeudelta 30 cm (Matala ryhmä), ja toinen ryhmä pudottautui 30 cm, 50 cm ja 75 cm korkeuksilta (Korkea ryhmä). Interventio rajattiin varta vasten lyhyeksi — neljä viikkoa – koska näin tutkimus voitiin rajata ainoastaan neuraaliseen adaptaatioon kun fysiologisten muutoksia ei juurikaan ensimmäisten viikkojen aikana harjoittelussa tapahdu (vrt. McArdle ym. 2007, s. 541). Tutkijat tarkastelivat H-refleksejä, EMG-aktivaatiota, nivelkulmia ja maareaktivoimia. He havaitsivat, että Matala-ryhmän soleus -lihaksen aktivaatio kasvoi maakosketuksen alussa ensimmäisen 70 ms aikana kun taas Korkea -ryhmällä aktivaatio kasvoi kontakin loppupuolella. Tutkijat hypotesoivat, että korkealta pudottautuneilla tapahtuu enemmän inhibitorista käskytystä maakontaktin alussa, mikä vaikuttaa pitkäaikaisen harjoituksen adaptaatioihin. Suorituksista huomattiin, että hyppykorkeus/kontaktiaika -suhde kasvoi molemmilla ryhmillä, mutta eri syistä. Korkea -ryhmällä hyppykorkeus kasvoi ja kontaktiaika jopa piteni kun taas Matala -ryhmällä hyppykorkeus ei juurikaan kasvanut, mutta kontaktiaika lyheni. Edelleen, tekniikassa tapahtui muutosta: harjoitusjakson jälkeen Korkea -ryhmä oli oppinut keventämään enemmän maakontaktin aikana, minkä voisi ajatella osaltaan vaikuttaneen havaittuun kontaktiajan pitenemiseen. (Taube ym. 2012).

3.3 Pudotushypyn vaikutus suoritukseen

Kahdeksan viikon pudotushyppyharjoittelu (1krt/viikko) paransi juoksun taloudellisuutta (Berryman ym. 2010), mikä on sopusoinnussa nykyisen tietämyksen kanssa, missä plyometrinen harjoittelu ylipäättään on todettu parantavan juoksun taloudellisuutta (Turner ym. 2003). Tähän saattaa vaikuttaa suurempi maksimaalinen teho ja parempi elastisen energian käyttö, kuten myös lihasjäykkyyden muutokset (Berryman ym. 2010).

Luonnollinen käyttökohde pudotushypyille on vertikaalihyppykorkeuden parantaminen. Meta-analyysin mukaan pudotushyppyharjoittelu parantaa vertikaalihyppykorkeutta, mutta ei sen enempää kuin esikevennyks- tai staattinen hyppyharjoittelu (de Villarreal ym. 2009).

Hilfiker ym. (2007) tekivät mielenkiintoisen tutkimusasetelman: He teettivät urheilijoilla kaksi muuten identtistä alkulämmittelyä, mutta toiseen oli lisätty viisi pudotushyppyä. Tämä lisäsi esikevennyshypyssä tuotetta tehoa sekä antoi yleisen trendin korkeampiin hyppykorkeuksiin vertikaalihypyissä. Syitä tähän saattaa olla spindelien toiminnan parantuminen, Golgin jänne-elimen vähentynyt inhibitio, parempi synergistilihasten aktivaatio, suurempi lihasten rekrytointi sekä aktivaation jälkeinen potentioituminen (postactivation potentiation). Viimeksi mainitulla viitataan maksimaalisen suorituksen jälkeen esiintyvään suurentuneeseen twitch -supistusvoimaan, mikä taasen saattaa johtua mm. aktiini-myosiinin lisääntyneestä Ca^{2+} herkkydestä ja refleksivasteen hetkellisestä kasvaneesta aktivaatiosta. (Hilfiker ym. 2007). Vastaavanlaisia suorituksen nousuja on havaittu myös muunlaisella maksimaalisella toiminnalla (vrt. Hilfiker ym. 2007).

3.4 Pudotushyppyihin lisätyt ominaisuudet

Pelkkä pudotushyppy on toki harjoituksena hyvä, mutta siihen voidaan lisätä erilaisia ominaisuuksia haettaessa erilaisia harjoitusvaikutuksia. Tällöin tutkimusmetodina tehdään yksinkertaisesti standardi pudotushyppy ja verrataan sitä lisäominaisuuden kanssa tehtyyn pudotushyppyyn.

Eräs tällainen lisä on lisäpainon käyttö. Esimerkiksi jotkut pikajuoksuvalmentajat käyttävät toisinaan pudotushyppyissä lisäpainoa saadakseen uudenlaista harjoitusärsykettä harjoitteluun (Alvarez 2015). Makaruk & Sacewicz (2011) tutki tällaisen metodin käyttöä vertaamalla pudotushyppijä lisäpainon kanssa ja ilman muttamalla pudotuskorkeuksia. Lyhyesti johtopäätös oli, että lisäpainon käyttö ei lisännyt merkitsevästi koettuja vertikaali-voimia, mutta luultavasti pidensivät maassaoloaika (jota ei raportoitu).

Toinen lisä on nykyään suosittu lisä harjoitteluun on epästabiili pinta, joita voi käyttää myös pudotushypyn hyppyalustana. Tutkimukset epästabiilien pintojen käytöstä terveille ihmisille — erityisesti voiman ja räjähtävän voiman harjoittamiseen — ovat usein negatiivisia (Hubbard 2010), koska epästabiilien pintojen lisääminen aiheuttaa pienempää voimantuottoa, erilaista neurologista aktivaatiota ja se voi häiritä tasaisen pinnan harjoitteluadaptaatioita. Pudotushyppyissä tulokset varovaisesti myötäilevät tätä negatiivista linjaa. Prieske ym. (2013) laittoivat voimalevyn päälle tasapainotyynyn (balance pad) ja näkivät, että hyppikorkeus madaltui 9% ja jarrutusaika maakosketuksessa piteni 12% tasapainotyynyn kanssa. Lisäksi alavartalon lihasaktiivisuus oli pienempää tasapainotyynyn kanssa ja keskivartalon aktivaatio yhtä suurta, mikä kumoaa väitteen, että epästabiilit pinnat aktivoisivat paremmin keskivartaloa.

OSA II

Pudotushyppy tutkimusmetodina

Tässä osassa käydään läpi minkälaisissa asetelmissa pudotushyppyä voidaan hyödyntää. Yleensä pudotushyppy on vain yksi osa tutkimusta, mutta koska pudotushyppy on tämän seminaarityön keskiössä, on tässä toisessa keskitytty juuri pudotushypyn arvoon tutkimuksissa, joten tuloksia ei käydä läpi juurikaan muista näkökulmista.

Pudotushypyn suorittaminen tutkimuksissa

Alle on koottu listaan variaatioita kuinka tutkimuksissa on pudotushyppy suoritettu eri tavoin, mikä osaltaan saattaa vaikeuttaa eri tutkimusten vertailua. Muuttujia ovat:

- Ohjeistus. Yleisin ohjeistus on ”Hyppää mahdollisimman korkealle minimaalisella kontaktiajalla”. Huomattavasti vähemmän käytetty vaihtoehto on antaa neuvo ”Hyppää niin korkealle kuin mahdollista”.
- Yritysten määrä on yleisesti kolme, joskus rajoittamatonkin (niin kauan kuin tulos paranee).
- Palaute. Toisissa tutkimuksissa tutkittaville annetaan palaute välittömästi hypyn jälkeen, toisissa mitään palautetta ei anneta.
- Kengät. Joissain tutkimuksissa mainitaan erikseen, että tutkittavat tekivät pudotushyppy paljain jaloin mikä vähentää kenkien mahdollista vaikutusta hyppyyn.
- Palautus hyppyjen välillä vaihtelee. Jotkin tutkimukset eivät kerro palautusaikoja, toisissa se on 45 sekuntia ja joissain vähintään 60 sekuntia.
- Käytetty tulos. Normaalisti tarkasteluun otetaan paras tulos. Toisinaan voidaan tästä poiketa ja käyttää esimerkiksi kahden parhaan tuloksen keskiarvoa. Yleensä tutkimuksissa ei itse asiassa tarkkaan spesifioida käytetäänkö esimerkiksi hyppykorkeudessa ja hyppykorkeus/kontaktiaika -suhteessa samaa yritystä vai niitä jotka maksimoivat kyseisen arvon.
- Hyppykorkeus. On neljä tapaa laskea hyppykorkeus:
 1. Impulssin avulla, jossa tuotettu impulssi muutetaan lähtönopeudeksi, josta saadaan laskettua hyppykorkeus.
 2. Ilmassaoloaika, jossa lentoajan perusteella voidaan laskea hyppykorkeus. Polvien kulma laskeutumisessa vaikuttaa huomattavasti tulokseen.

3. Videokuvan avulla, jolloin voidaan laskea painopisteen todellinen nousukorkeus normaalista seisoma-asennosta eikä varpaiden alustasta irtoamisajankohdasta kuten impulssin ja lentoajan perusteella lasketaan.
4. Kurotushyppy, jossa toisella kädellä kurotetaan korkealle esim. seinään tai erityisesti tätä varten kehitettyyn Vertec Jump Training System -mittari. Käden kurotuksen koordinoiminen juuri hypyn korkeimpaan kohtaan voi olla haastavaa.

Näistä impulssi ja videokuva tuntuvat intuitiivisesti toistettavammilta tavoilta.

- Laatikolta alas astuva jalka; Useimmiten ei ole väliä kummalla jalalla laatikolta astutaan alas, mutta toisinaan tutkijat pyytävät astumaan jalalla, jossa on EMG-anturi. Tällöin EMG-mitattu lihas on mahdollisimman rento pudotuksen alussa, mikä helpottaa esijännityksen analysointia.

4 Yksittäisen kuormituksen testinä

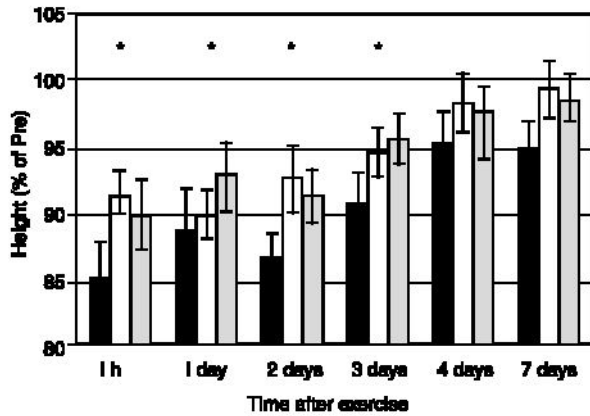
4.1 Väsytyksen tutkiminen

Testinä väsytykselle

Eräs selkeä kohde pudotushypylle on väsytyksen tutkiminen ja erityisesti sitä on käytetty venymis-lyhenemis -syklin väsymisen tutkimiseen. Väsytystutkimuksissa tutkimusasetelma on yksinkertainen: Ensin tehdään alkutestit, joiden jälkeen väsytetään jalkojen lihaksia jollain tavoin, esimerkiksi tekemällä hypertofisia kyykkyjä (Byrne & Eston 2002), tekemällä erityisellä kelkkalaitteella hyppimällä maksimaalinen väsytyk (Horita ym. 1996) tai juoksemalla ultrapitkiä matkoja (Chambers ym. 1998), jonka jälkeen toistetaan aloitustestit.

Yleisen teorian mukaan lihasvaurio vähentää lihasvoimaa heikentämällä lihaksen ärsytys-supistus -kytkentää (excitation-contraction coupling), jolloin aktiiviset voimantuotto-ominaisuudet ovat heikentyneet. Tämän teorian seurauksena on, että suorituskyvyn ei tulisi laskea niin paljon pudotushypyssä (ja esikevennyshypyssä) kuin staattisessa hypyssä, sillä edellisessä on apuna venymis-lyhenemis -sykli mitä jälkimmäisessä ei ole käytettävissä (Edwards ym. 1977 lähteen Byrne & Eston 2002 mukaan). Tämä siitäkin huolimatta, että lihasvaurioiden seurauksena myös myös elastisen energian käyttö on heikentynyt elastisten osien vaurioiden ja refleksi-inhibition takia (Byrne & Eston 2002). Teoria kuitenkin näyttäisi oikealta ja varmistusta sille ovat antaneet esimerkiksi Byrne & Eston (2002) käyttämällä väsytyksenä hypertofista 10x10 kyykkyä 70% 1RM painoilla (katso kuva 9). Edelleen, sopusoinnussa tämän kanssa 90km juoksukilpailun jälkeen on raportoitu staattisen hypyn palautuneen lähtötasolleen 18 päivän päästä, kun taas pudotushyppy palautui jo 3 päivän kuluttua juoksusta (Chambers ym. 1998).

Suoraan venymis-lyhenemis -sykliin liittyen on tehty monia väsytystutkimuksia, ja näissä pudotushyppyä on käytetty havainnollistamaan väsymisen vaikutus venymis-lyhemis -



KUVA 9: Staattinen hyppy (musta) vs. esikevennyshyppy (valkoinen) vs. pudotushyppy (harmaa) hypertrofisen väsytyksen jälkeen. Staattinen hyppy on merkitsevästi pienempi kuin kaksi muuta. (Byrne & Eston 2002).

syklin osa-alueissa. On huomattu (Horita ym. 1996), että uuvuttava venymis-lyhenemis-syklikuormitus — esimerkiksi uupumukseen saakka tehdyt hypyt kelkkalaitteella — aiheuttaa esijännityksen kasvamista pudotushypyssä. Tällainen esijännityksen kasvu saattaa olla keino kompensoida lihasten väsymistä ja parantaa jäykkyysominaisuuksia ja siten parantaa spindelien herkkyyttä. Vastaavasti pudotushypyistä lasketun jäykkyyden (stiffness) on havaittu heikentyvän kovan rasituksen jälkeen, mikä johtunee lihasten aktiivisten poikittais-siltojen määrän laskusta. Mainitussa tutkimuksessa Horita ym. (1996) esijännityksen suuruutta mitattiin EMG-aktiivisuuden avulla ja jäykkyyttä mitattiin aliluvussa 2.5 esitellyllä tavalla polvikulma-polvimomentti -kuvaajan avulla.

Pudotushyppyt väsytyksen aiheuttajina

Paitsi että testinä väsymisen seurannassa, voidaan pudotushyppyä käyttää myös sinä eksentris-konsentrisena kourmituksena (eli metodina), jolla aiheutetaan väsymys ja suuri lihasvaurio. Jäykkyyden ja jännepituuden muutoksia tutkineet Kubo ym. (2005) käyttivät pudotushyppyä rasittavana ballistisena moninivelkuormituksena kun he tutkivat vastus lateralis -lihaksen jäykkyyttä ja sen jänteen ja aponeuroosin pidentymistä ultrasonografilla 100 pudotushypyn jälkeen ja vertasivat tuloksia 50 × 10 sekunnin isometrisen jalkaprässin kuormitukseen. Käytännössä Kubo ym. (2005) mittasivat ultrasonografilla jänteen ja aponeuroosin pituuksia isometrisessä prässissä eri kuormitustasoilla. Jäykkyyden mittaukseen heillä oli hieman aliluvussa 2.5 esitellyistä tavoista eroava metodi: he ottivat pistepareja (lihaksen voima, jänteen & aponeuroosin muutos) eri voimatasoilla isometrisestä prässistä ja tämän graafin regressiosuoran kulmakerroin kuvaa jäykkyyttä. Lihaksen voima arvioitiin polvinivelen vääntömomentin ja vipuvarren avulla. Päinvastoin kuin yllämainitussa tutkimuksessa Horita ym. (1996), Kubo ym. (2005) saivat tulokseksi, että 100 pudotushyppyä eivät aiheuttaneet merkitsevää muutosta sen enempää jäykkyyteen kuin jänne-aponeuroosin

pidentymiseen, mikä . Sen sijaan pitkitetyn suorituksen (jalkaprässin) jälkeen vastus lateraalisen jäykkyyks oli pienempi ja jänne-aponeuroosin pidentyminen samoilla kuormilla suurempi. (Kubo ym. 2005). Voi olla, että tässä havaittu janteen pituuden muuttumattomuus on vain satunnaisheilauksesta johtuva harha (kahdeksan tutkittavaa). Toinen vaihtoehto voi olla, että pudotushyppytekniikka vaikuttaa lopputulokseen: Kubo ym. (2005) eivät raportoineet minkäläistä tekniikkaa pudotushyppääjät käyttivät; Yllämainitussa Horita ym. (1996) kelkkahyppy olivat tekniikaltaan kimmahdustekniikkaa vastaavia.

Pudotushyppyjä on käytetty kovana eksentrisenä lihasvauriota tekevänä kuormituksena tutkimuksissa, joissa on tarkasteltu erilaisten hoitomuotojen tehoa lihasvaurioiden hoitoon ja kovista harjoituksista palautumiseen. Esimerkkeinä tällaisista ovat kylmähoiton vaikutus kovaan eksentriseen kuormitukseen (ei juurikaan vaikutusta, Howatson ym. 2009) ja lämpimän vesihieronnan (water-jet massage) vaikutus (viitteitä sen tehostavasta vaikutuksesta hermolihaskäytännön toimintakyvyn ylläpitämiseen, Niemelä ym. 1995).

4.2 Venyttely

Monissa tutkimuksissa on venyttelyn nähty akuutisti heikentävän etenkin maksimaalista nopeusvoimasuoritusta, mutta säännöllisellä venyttelyllä on havaittu olevan joko positiivinen tai ei lainkaan vaikutusta suoritukseen (Shrier 2004; Stone ym. 2006). Venyttelytutkimuksissa nopeusvoimasuorituksen ja venymis-lyhenemis -syklin käyttöä on tutkittu hyödyntäen pudotushyppyjä. On havaittu esimerkiksi, että akuutin venytyksen pudotushyppyä heikentävä vaikutus ei ole riippuvainen staattisen venyttelyn intensiteetistä: Hyppykorkeus heikentyi 4–6% riippumatta suoritettiinkö venyttely 50%, 75% vai 100% maksimivenytyspituudella (Behm & Kibele 2007). Myös pudotushyppyn kontaktiajan on raportoitu kärsivän venyttelystä (Behm ym. 2006). Eräs esitetty syy venyttelyn mahdolliselle suoritusta heikentävälle vaikutukselle on sen afferenttien aktivaatiota heikentävä vaikutus mikä saattaa johtaa lihasspindelin herkkyyden vähenemiseen (Avela ym. 1999). Metodologisesti ajateltuna venyttely ei ole juurikaan kuormittava, jolloin tutkimusasetelmassa voi jokainen tutkittava kuulua jokaiseen tutkittavaan ryhmään eikä tutkimuksen ajallinen pituus veny liian pitkäksi: Esimerkiksi Behm ym. (2006) tekivät tutkimusasetelman, jossa jokainen tutkittava kuului satunnaisessa järjestyksessä kontrolliryhmään sekä venyttelyryhmiin 50%, 75% ja 100% maksimivenytyspituudella, ja testipäivien välillä oli aina muutaman päivän palauttelu-aika.

5 Pudotushyppy käytännön harjoittelussa

Käytännön harjoittelussa pudotushyppyä voi käyttää testinä kahdella eri tavalla. Ensimmäinen on sen korrelaatio jonkin muun suorituksen kanssa. Tällaisia tutkimuksia on helppo tehdä; mitataan esimerkiksi juoksunopeus ja pudotushyppytulokset tutkittavalta ryhmältä ja verrataan onko näillä tuloksilla korrelaatiota. Korrelaatio ei kerro syy-seuraus -suhteesta, mutta antaa hyvän käsityksen onko suorituksilla yhteyksiä, ja täten antaa viitteitä

siitä onko esimerkiksi juoksunopeuden kehittämiseen hyötyä käyttää pudotushyppyä harjoittelussa.

Toinen tapa on tehdä interventio ja testata miten se näkyy pudotushyppytuloksissa, mistä voi päätellä harjoituksen vaikutuksia tutkittavan venymis-lyhenemis-syklin käyttöön, reaktiiviseen voimaan ja nopeusvoimaan.

5.1 Pudotushypyn korrelaatio muun suorituksen kanssa

Korrelaatio muihin suorituksen mittareihin

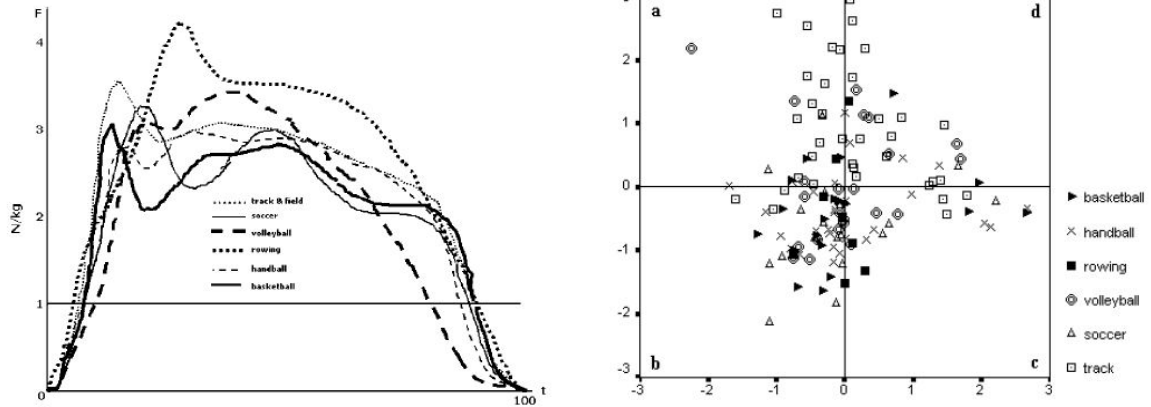
Koska pudotushyppy on nopeusvoimasuoritus, voisi sen helposti kuvitella korreloivan sprinttijuoksun kanssa. Tälle on annettu myös tutkimuksissa vahvistusta: pudotushypyn hyppykorkeus korreloi hyvin 60m sprinttijuoksun kanssa, ja parhaimmat korrelaatiot on löydetty suurimmilla pudotuskorkeuksilta (Barr & Nolte 2011). Pudotushypyn hyppykorkeuden korrelaatio nopeuden kanssa oli myös paras ennustaja tutkimuksessa Kale ym. (2009), kun vertailuna oli esikevennyshyppy, staattinen hyppy, kolmiloikka ja vauhditon pituus. Mielenkiintoisesti paljon käytetty hyppykorkeus/kontaktiaika -suhteen on nähty korreloivan heikosti (Barr & Nolte 2011; Cronin & Hansen 2005), mutta myös vahvasti (Hennessy & Kilty 2001) sprinttijuoksutuloksen kanssa. Tämä antaisi viitteitä, että pudotushyppyharjoittelussa hyppykorkeus olisi ratkaisevammassa roolissa nopeusharjoitteluun kuin kontaktiaika, mikä on päinvastainen suositus kuin mitä pelkkiä maareaktiivoimia katsellessa on ehdotettu (Bobbert 1990) (vrt. aliluku 2.2). Tosin saattaa olla, että osasyynä negatiivisiin tuloksiin hyppykorkeus/kontaktiaika -suhteen korrelaatiosta nopeusjuoksuun on, että tutkittavat eivät olleet yllä luetelluissa tutkimuksissa pääsääntöisesti tottuneita pudotushyppyjen tekijöitä. Tutkittavia myös hypätessä pyydettiin minimoimaan kontaktiaika, joten ei ole tietoa olisiko kevennystekniikalla hypätessä korrelaatio suurempi vai pienempi. Huomautuksena voisi lisätä, että Cronin & Hansen (2005) antavat kaikkien testattavien parametrien korrelaatio-

Vaikka juoksunopeudella ja pudotushypyllä onkin jokin yhteinen selittävä komponentti, niillä on myös eroavaisuuksia, jotka tulevat esille mitattaessa korrelaatiota luistelunopeuden kanssa. Nimittäin luistelunopeus ei näyttäisi korreloivan pudotushyppysuorituksen kanssa ($r < 0.2$), mutta kylläkin juoksunopeuden kanssa (Behm ym. 2005).

Eri urheilulajien harrastajien suorituksia

Hieman erilainen lähestymistapa oli käytössä kun Kollias ym. (2004) teettivät pudotushyppäjä 138:lle testattavalle kuudesta eri urheilulajista ja vertailivat tuloksia. Yleinen tapa päästä eroon eri hyppääjien kontaktiajan vaikutuksesta on tarkastella hyppykorkeus/kontaktiaika -suhdetta. Kollias ym. (2004) ratkaisivat asian kuitenkin toisin ja he keksivät vertailla voimantuottokäyriä suhteutettuna kontaktiaikaan (ts. ilmaan nousu tapahtuu

hetkellä 100%, katso kuva 10(a)) jolloin voidaan paremmin suhteuttaa missä vaiheessa hyppä kukin tuottaa voimia. Kollias ym. (2004) käyttämä toinen innovatiivisempi metodi oli hyödyntää tilastotieteellisiä keinoja ja pääkomponenttianalyysillä poimia mitatuista muuttijista (voima, teho, RFD, kontaktiaika, aika maksimivoimaan, konsentrisen vaiheen kesto) ”voima-komponentti ja ”aika”-komponentti ja analysoida eri lajien urheilijoiden pudotushyppysuorituksia näiden komponenttien perusteella (kuva 10(b)). (Kollias ym. 2004).



(a) Kuuden eri urheilulajien harrastajille tehtyjen pudotushyppyjen voimakäyrien keskiarvot lajeittain.

(b) Kuuden eri urheilulajin harrastajille tehtyjen pudotushyppyjen pääkomponenttianalyysi.

KUVA 10: (a) Voimakäyrät suhteutettuna kontaktiaikaan. (b) Pääkomponenttianalyysissä vaakakselilla aikamuuttuja, ja pystyakselilla voimamuuttuja siten että neljänneksittäin: a \approx ”vahva ja nopea”, b \approx ”heikko ja nopea”, c \approx ”heikko ja hidas” ja d \approx ”vahva ja hidas”. (Kollias ym. 2004).

Kuvasta 10(a) nähdään miten eri lajien urheilijoilla suurimmat voimat tulevat hieman eri aikaan suhteutettuna kontaktiaikaan. Lisäksi esimerkiksi koripalloilijoilla reaktiivoimien toinen huippu, joka osuu noin massakeskipisteen alimpaan vaiheeseen kun vaihdetaan eksentrisen vaihe konsentriseksi, tulee huomattavasti enemmän viiveellä kuin muilla. (Kollias ym. 2004). Kritiikin aiheena tässä tutkimuksessa on, että tutkittavat eivät olleet kovatasoisia (esikevennyshyppytulokset 30–40 cm), joten kovin pitkälle meneviä johtopäätöksiä ei välttämättä kannata eri urheilulajien harrastajien pudotushyppysuorituksista tämän tutkimuksen perusteella tehdä. Niinpä tutkimuksen Kollias ym. (2004) pääantina voidaan pitää valtavirrasta eroavaa ajatusta käyttää pääkomponenttianalyysia luokittelemaan hyppääjiä nopeiksi ja voimakkaiksi ja kenties sen perusteella voisi päätellä tutkittavan vahvuuksista ja heikkouksista.

5.2 Pitkittäistutkimukset harjoittelun vaikutuksista

Pitkittäistutkimuksien asetelma on hyvin selkeä. Tarvitaan vähintään kaksi ryhmää, interventio ja kontrolli, jossa interventoryhmä tekee jotain ennalta määrättyä harjoitetta ja

kontrolliryhmä tekee kuten siihenkin saakka. Molemmat ryhmät testataan samalla tavalla ja tutkitaan saavutetaanko interventiolla hyötyä, tässä tapauksessa pudotushyppyyn. Mielenkiintoisimmat tutkimukset ottavat kaksi interventioryhmää, jolloin voidaan verrata kahden erilaisen harjoittelun vaikutusta samaan asiaan.

Vesiplyometriän vaikutus

Pudotushyppyä on käytetty reaktiivista voimaa ja venymis-lyhenemis -sykliä testaavana testinä kun on osoitettu vedessä tehtyjä plyometrinen harjoitteiden vaikutuksia. Veden vastuksen ja nosteen takia liikkeet vedessä ovat hitaampia ja kevyempiä kuin maalla. Oletuksena on, että vedessä tehdyt loikat inhihoivat venytysrefleksin käyttöä ja johtaisi näin heikompaan suorituskyvyn parantumiseen (vrt. Miller ym. 2007). Siitä huolimatta on vahvoja viitteitä, että plyometrinen harjoitusten tekeminen vedessä parantaa vertikaalihinnyä yhtä hyvin kuin maalla tehdyt harjoitukset (esimerkiksi Robinson ym. 2004, Stemm & Jacobson 2007 ja Arazi ym. 2012). Tässä työssä kiinnostuksen kohteena olevassa pudotushyppyä testipatteristossa käytävä tutkimus (Miller ym. 2007) ei kuitenkaan havainnut merkitsevää muutosta pudotushyppysuorituksessa — sen paremmin kuin missään muussakaan suorituksessa — 6 viikon vedessä suoritettuna plyometrinen harjoitusjakson jälkeen. Tosin tutkijat epäilivät, etteivät he olleet uskaltaneet noviiseille laittaa riittävän kovaintensiteettistä harjoitusohjelmaa, mikä olisi saattanut vaikuttaa suorituskyvyn muuttumattomuuteen (Miller ym. 2007).

Neurologisemman harjoittelun vaikutus

Koska kaikki liikkeet ovat pohjimmiltaan neurologisia — lihasten rekrytointi, antagonistien samanaikainen aktivointi, liikkeen koordinointi — on mielenkiintoista tietää voisiko pelkällä neurologista puolta harjoittamalla saavuttaa etua urheilusuorituksiin. Eräs väitetysti neurologiseen puoleen vaikuttava harjoitustapa on viime vuosina paljon nostetta saanut epästabiilien pintojen käyttö harjoittelussa. Sen vaikutusta on tutkittu myös pudotushyppysuoritukseen, usein verrattuna voimaharjoitteluun. 10 viikon voimaharjoittelu epästabiililla pinnalla ei osoittanut merkkejä suorituskyvyn parantumiseen pudotushyppyissä, kun taas stabiililla pinnalla tehty voimaharjoittelu tuotti 3,2% parannuksen arvioituun tehontuottoon (Cressey ym. 2007). Metodina Cressey ym. (2007) käyttivät Vertec Jump Training System -mittaria, jonka avulla he saivat hyppykorkeuden. Käytännössä tämä tarkoittaa pystyruoraa keppiä, johon on kiinnitetty vertikaalisti pyöriviä läppiä, joita on tarkoitus lyödä. Testattavat yrittivät kurkottaa toisella kädellä niin korkealle läppiin kuin mahdollista hypätessä ja tästä vähennettiin seisoma-asennosta kurkotuspituus jotta saatiin nettohyppykorkeus. Hyppykorkeuden perusteella tutkivat saivat arvioitua tehontuoton suuren aineiston regressiokaavalla (Sayers ym. 1999).

Tutkiakseen pelkän hermostollisen puolen vaikutusta, on myös tehty neljän viikon interventio, jossa tutkittavat tekivät joko maksimivoimaa tai epästabiilia harjoittelua ilman

ylimääräistä painoa. Ajanjaksoksi valittiin neljä viikkoa, sillä niin lyhyessä ajassa tapahtuu voimaharjoittelussa lähinnä hermostollista vaikutusta (vrt. McArdle ym. 2007, s. 541). Yleisen linjan mukaisesti epästabili harjoittelu ei parantanut pudotushypyn hyppykorkeus/kontaktiaika -suhdetta merkittävästi. Voimaharjoittelu paransi staattisen hypyn hyppykorkeutta mutta ei vaikuttanut pudotushypyn hyppykorkeus/kontaktiaika -suhteeseen. (Bruhn ym. 2004)

Kaiken kaikkiaan epästabili pinnalla harjoittelu ei siis näyttäisi parantavan pudotushyppysuoritusta.

Plyometrinen vs. nopeusharjoittelu

Nopeusjuoksuharjoittelussa hyödynnetään tehokkaasti venymis–lyhenemis -sykliä kovalla teholla tehdyillä lyhyillä intervaleilla pitkällä palautuksella. Sellaisena harjoitteluna se voidaan nähdä eräänlaisena plyometrisena harjoitteluna itsessään. Eräessä tutkimuksessa verrattiin 10-50 metrin vetojen ja plyometrinen harjoittelun tuomia eroja (Markovic ym. 2007). Huomattiin, että vaikka plyometrinen harjoittelu itsessään piti sisällään pudotushyppyjä, kymmenen viikon harjoittelujakson jälkeen nopeus ja plyometrisen ryhmien pudotushyppytuloksissa tapahtui yhtä paljon paranemista kun vertailtavana suorituksena käytettiin hyppykorkeus/kontaktiaika -suhdetta. Edelleen, esimerkiksi nopeustuloksiin nopeusryhmä sai paremman parannuksen ja loppupäätelmä olikin, että nopeusharjoitteilla saavutetaan sama tai jopa parempi suoritustaso ainakin lyhyellä tähtämellä kuin plyometrisilla harjoitteilla. (Markovic ym. 2007).

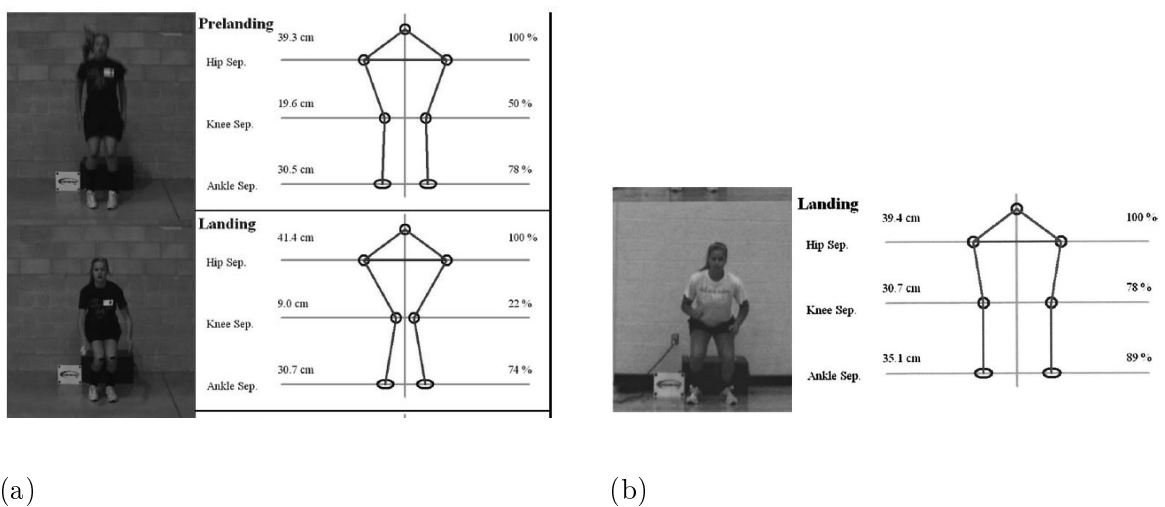
Pudotushypyn käyttö harjoittelun seurannassa

Pudotushyppy itsessään on vaikea suoritus ja sellaisena sen käyttö testinä voi tuntua hieman epätasaiselta. Etenkin jos tutkittavat eivät ole tottuneita pudotushypyn tekijöitä, jolloin tutkittavilla saattaa esiintyä suurtakin varianssia kontaktiaikojen ja suoritusten kanssa. Eräs esimerkki pudotushypyn epäonnistumisesta toimia testinä voisi olla Kotzamanidis ym. (2005), jossa tutkittiin 13 viikon yhdistetyn voima ja nopeusharjoittelun vaikutuksia. Tuloksissa oli tapahtunut selkeää tulostason kasvua absoluuttisessa voimantuotossa (1RM), esikevennyshypyssä, staattisessa hypyssä sekä 30m pikajuoksussa. Kuitenkaan, pudotushypyssä ei ollut tapahtunut mitään muutosta, päinvastoin hyppykorkeus oli heikentynyt keskimäärin noin 1cm (ei merkityksellisesti tosin). Tämä vaikuttaa hieman ristiriitaiselta tulokselta ottaen huomioon pudotushypyn vahvat korrelaatiot muiden vertikaalihypyn ja nopeuden kanssa. Tutkijat selittävät tätä sillä, että harjoittelu ei ilmeisesti vaikuttanut riittävästi lihasjänne-kompleksiin ja siten venymis–lyhenemis -sykliin (Kotzamanidis ym. 2005). Toisaalta, koska tutkittavat olivat vasta 17–18 vuotiaita juniorijalkapalloilijoita, voi olla, että pudotushyppy oli vain suorituksena liian vaikea heille suorittaa konsistentisti samalla tavalla alku- ja lopputesteissä. Myöskään kontaktiaikaa ei raportoitu, joten ei voida tietää pääsivätkö tutkittavat esimerkiksi samaan hyppykorkeuteen lyhyemmällä kontaktiajalla.

6 Muunlaisena testinä

6.1 Testi polvivammariskille

Polven eturistisidevammat (ACL-vamma) ovat 4–8 kertaa yleisimpiä naisilla kuin miehillä ja on huomattu, että alaraajojen valgus-taipuminen on usein mukana kontaktittoman ACL-vamman syntyhetkellä, ja vamma tulee useimmiten hypystä laskeuduttuessa tai hyppyyn lähdeittäessä. Niinpä on kehitetty kustannustehokas videomenetelmä, jolla kuvataan pudotushypyn aikaisia polven valgus-taipumisia (katso kuva 11). Menetelmällä voidaan tunnistaa urheilijoita, joilla on epätyypillisiä valgus-taipumisia pudotushypyssä ja jotka näin omaavat potentiaalisesti riskin ACL-vammaan ja heille voidaan annostella ylimääräisiä fysioterapiamenetelmiä. (Noyes ym. 2005 ja Barber-Westin ym. 2010).



KUVA 11: Esimerkki polven valgus-taipumisen laskemisesta pudotushypyn aikana. (a) Kuvasarjassa urheilijalla on epänormaali polven valgus-taipuminen ennen kuuden viikon harjoitusjaksoa. (b) Samalle urheilijalle tehty testi vuosi intensiivinen harjoittelujakson jälkeen. Valgustaipuminen on terveemmän näköinen. (Barber-Westin ym. 2010).

On näytetty, että kuuden viikon hermolihasharjoitteluohjelma, jonka on osoitettu vähentävän polvisidevammoja, vähensi myös pudotushyppytestin epänormaaleja polven valgus-taipumisia huomattavasti (Noyes ym. 2005) ja että harjoittelun tulokset ovat pysyviä jopa vuoden verran (Barber-Westin ym. 2010). Todistusaineisto tämän metodin puolesta ei tosin toistaiseksi ole aukoton; yllämainitut tutkimukset osoittavat, että sama harjoitus jonka on osoitettu ehkäisevän polvisidevammoja, parantaa pudotushypyn valguskulmaa. Mutta tämä korrelaatio ei vielä todista, että pudotushypyn valgustaipumalla olisi polvisidevammoja ennustava ominaisuus, vaikkakin on helppo uskoa esimerkiksi kuvan 11(a) polvien valguksen olevan huono pitkässä juoksussa.

6.2 Laitteiden validointi

Koska pudotushyppy tuottaa suuria maareaktivoimia, sitä voidaan käyttää testattaessa uusien markkinoille tulleiden mittalaitteiden kapasiteettia odotettavissa olevien reaktivoimien ylärajoilla. Perusmenetelmä uusien laitteiden kohdalla on verrata niiden ulosantia tieteellisen kommuunin hyväksytyyn kultaiseen standardiin, mikä reaktivoimista puhuttaessa on voimalevy. Esimerkiksi Cronin ym. (2004) testasivat lineaarisen paikkamuuntimen (linear position transducer) soveltumista voimien mittaamiseen mm. pudotushyppytilanteessa. Lineaarinen paikkamuunnin on käytännössä vyötäröön kiinnitettävä lanka, jonka toinen pää on kohtisuoraan alapuolella olevassa mittalaitteessa kiinni. Kun tutkittavaa hyppää, antaa mittalaite lankaa lisää ja laskee samalla sen kulkunopeuden, mistä saa laskettua hyppääjän tuottamia voimia. Varsinainen analyysi ja pohdinta tämänkaltaisissa töissä nojautuu hyvin vahvasti tilastotieteeseen. Yksinkertaisuudessaan, validointi tällaisessa tilanteessa tarkoittaa, että lineaarinen paikkamuunnin pannaan voimalevyn päälle ja niiden ilmoittamia lukemia verrataan keskenään. Tehdyssä tutkimuksessa ne olivat hyvin yhteneväisiä mitatuille keskivoimille ($0.95 < r < 0.97$), maksimivoimille ($0.86 < r < 0.94$) sekä aika maksimivoimaan ($0.92 < r < 1$). (Cronin ym. 2004). Koska lineaarisen paikkamuunnin on suhteellisen halpa (myyntihinta on $\sim 400 - 700$ \$ Transducer direct -verkkokaupasta), voidaan päätellä sen olevan selkeästi huokeampi ja helpommin mukana kuljetettava vaihtoehto voimalevylle.

LÄHTEET

- Alvarez, L. H. R. 2015 Suullinen tiedonanto.
- Arazi, H., Coetzee, B. & A-Asadi 2012 Comparative effect of land- and aquatic-based plyometric training on jumping ability and agility of young basketball players. *South African Journal for Research in Sport, Physical Education and Recreation*, 34 (2), 1–14.
- Avela, J., Kyröläinen, H. & Komi, P. V. 1999 Altered reflex sensitivity after repeated and prolonged passive muscle stretching. *J. Appl. Physiol.*, 86 (4), 1283–1291.
- Barber-Westin, S. D., Smith, S. T., Campbell, T. & Noyes, F. R. 2010 The drop-jump video screening test: retention of improvement in neuromuscular control in female volleyball players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24 (11), 3055–3062.
- Barr, M. J. & Nolte, V. W. 2011 Which measure of drop jump performance best predicts sprinting speed? *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25 (7), 1976–1982.
- Behm, D. G., Bradbury, E. E., Haynes, A. T., Hodder, J. N., Leonard, A. M. & Paddock, N. R. 2006 Flexibility is not related to stretch-induced decrements in force or power. *J Sports Sci Med*, 5, 33–42.
- Behm, D. G. & Kibele, A. 2007 Effects of differing intensities of static stretching on jump performance. *Eur J Appl Physiol*, 101, 587–594.
- Behm, D. G., Wahl, M. J., Button, D. C., Power, K. E. & Anderson, K. G. 2005 Relationship between hockey skating speed and selected performance measures. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19 (2), 326–331.
- Berryman, N., Maurel, D. & Bosquet, L. 2010 Effect of plyometric vs. dynamic weight training on the energy cost of running. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24 (7), 1818–1825.
- Bobbert, M. F. 1990 Drop jumping as a training method for jumping ability. *Sports Medicine*, 9, 7–22.
- Bobbert, M. F., Huijing, P. A. & van Ingen Schenau, G. J. 1987a Drop jumping. i. the influence of jumping technique on the biomechanics of jumping. *Med Sci Sports Exerc*, 19 (4), 332–338.
- Bobbert, M. F., Huijing, P. A. & van Ingen Schenau, G. J. 1987b Drop jumping. ii. the influence of dropping height on the biomechanics of drop jumping. *Med Sci Sports Exerc*, 19 (4), 339–346.

- Bobbert, M. F., Mackay, M., Schinkelshoek, D., Huijing, P. A. & van Ingen Schenau, G. J. 1986 Biomechanical analysis of drop and countermovement jumps. *Eur J Appl Physiol*, 54, 566–573.
- Bosco, P. V. K. C. 1978 Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 10, 261–265.
- Bruhn, S., Kullmann, N. & Gollhofer, A. 2004 The effect of a sensimotor training and a strength training on postural stabilisation, maximum isometric contraction and jump performance. *Int J Sports Med*, 25, 56–60.
- Byrne, C. & Eston, R. 2002 The effect of exercise-induced muscle damage on isometric and dynamic knee extensor strength and vertical jump performance. *Journal of Sports Sciences*, 20, 417–425.
- Chambers, C., Noakes, T. D., Lambert, E. V. & Lambert, M. I. 1998 Time course of recovery of vertical jump height and heart rate versus running speed after a 90-km foot race. *Journal of Sports Sciences*, 16, 645–651.
- Chu, D. A. 1998 *Jump into plyometrics*. Human Kinetics, 2. painos.
- Cressey, E. M., West, C. A., Tiberio, D. P., Kraemer, W. J. & Maresh, C. M. 2007 The effects of ten weeks of lower-body unstable surface training on markers of athletic performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21 (2), 561–567.
- Cronin, J. B. & Hansen, K. T. 2005 Strength and power predictors of sports speed. *J. Strength Cond. Res*, 19 (2), 349–357.
- Cronin, J. B., Hing, R. D. & McNair, P. J. 2004 Reliability and validity of a linear position transducer for measuring jump performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18 (3), 590–593.
- Edwards, R. H. T., Hill, D. K., Jones, D. A. & Merton, P. A. 1977 Fatigue of long duration in human skeletal muscle after exercise. *Journal of Physiology*, 272, 769–778.
- Enoka, R. M. 2015 *Neuromechanics of Human Movement*. Human Kinetics, 5. painos.
- Hennessy, L. & Kilty, J. 2001 Relationship of the stretch-shortening cycle to sprint performance in trained female athletes. *J Strength Cond Res*, 15, 326–331.
- Hilfiker, R., Hübner, K., Lorenz, T. & Marti, B. 2007 Effects of drop jumps added to the warm-up of elite sport athletes with a high capacity for explosive force development. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21 (2), 550–555.

- Horita, T., Komi, P., Nicol, C. & Kyröläinen, H. 1996 Stretch shortening cycle fatigue: interactions among joint stiness, reflex, and muscle mechanical performance in the drop jump. *Eur J Appl Physiol*, 73, 393–403.
- Horita, T., Komi, P., Nicol, C. & Kyröläinen, H. 2002 Interaction between pre-landing activities and stiffness regulation of the knee joint musculoskeletal system in the drop jump: implications to performance. *Eur J Appl Physiol*, 88, 76–84.
- Howatson, G., Goodall, S. & van Someren, K. A. 2009 The influence of cold water immersions on adaptation following a single bout of damaging exercise. *Eur J Appl Physiol*, 105, 615–621.
- Hubbard, D. 2010 Is unstable surface training advisable for healthy adults? *Strength and Conditioning Journal*, 32.
- Kale, M., Asxexi, A., Bayrak, C. & Acxikada, C. 2009 Relationships among jumping performances and sprint parameters during maximum speed phase in sprinters. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23 (8), 2272–2279.
- Kamandulis, S., Skurvydas, A., Snieckus, A., Masiulis, N., Aagaard, P., Dargeviciute, G. & Brazaitis, M. 2011 Monitoring markers of muscle damage during a 3 week periodized drop-jump exercise programme. *Journal of Sports Sciences*, 29 (4), 345–353.
- Kollias, I., Panoutsakopoulos, V. & Papaiaiko-vou, G. 2004 Comparing jumping ability among athletes of various sports: Vertical drop jumping from 60 centimeters. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18 (3), 546–550.
- Komi, P. V. & Gollhofer, A. 1997 Stretch reflexes can have an important role in force enhancement during stretch- shorten cycle exercise. *Journal of Biomechanics*, 13, 451–459.
- Kotzamanidis, C., Chatzopoulos, D., Michailidis, C., Papaiaikovou, G. & Patikas, D. 2005 The effect of a combined high intensity strength and speed training program on the running and jumping ability of soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19 (2), 369–375.
- Kubo, K., Kanehisa, H. & Fukunaga, T. 2005 Influences of repetitive drop jump and isometric leg press exercises on tendon properties in knee extensors. *J Strength Cond Res*, 19, 864–870.
- Leukel, C., Taube, W., Gruber, M., Hodapp, M. & Gollhofer, A. 2008 Influence of falling height on the excitability of the soleus h-reflex during drop-jumps. *Acta Physiol*, 192, 596–576.

- Makaruk, H. & Sacewicz, T. 2011 The effect of drop height and body mass on drop jump intensity. *Biol. Sport*, 28, 63–67.
- Markovic, G., Jukic, I., Milanovic, D. & Metikos, D. 2007 Effects of sprint and plyometric training on muscle function and athletic performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21 (2), 543–549.
- McArdle, W., Katch, F. & Katch, V. 2007 *Exercise Physiology: Energy, Nutrition, & Human Performance*. Lippincott Williams & Wilkins, 6. pages.
- Merletti, R. & Parker, P. A. (eds.) 2004 *Electromyography. Physiology, Engineering, and Noninvasive Applications*. Hoboken, NJ: Wiley.
- Miller, M. G., Cheatham, C. C., Porter, A. R., Ricard, M. D., Hennigar, D. & Berry, D. C. 2007 Chest- and waist-deep aquatic plyometric training and average force, power, and vertical-jump performance. *International Journal of Aquatic Research and Education*, 1, 145–155.
- Miyama, M. & Nosaka, K. 2004 Influence of surface on muscle damage and soreness induced by consecutive drop jumps. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18 (2), 206–211.
- Niemelä, J. T. J. T. V., Kaappola, R., Korjus, T., Levola, M., Mononen, H. V., Rusko, H. K. & Takala, T. E. S. 1995 Warm underwater water-jet massage improve recovery from intense physical exercise. *Eur J Appl Physiol*, 71, 431–438.
- Noyes, F. R., Barber-Westin, S. D., Fleckenstein, C., Walsh, C. & West, J. 2005 The drop-jump screening test: Difference in lower limb control by gender and effect of neuromuscular training in female athletes. *Am J Sports Med*, 33, 197–207.
- Prieske, O., Muehlbauer, T., Mueller, S., Krueger, T., Kibele, A., Behm, D. G. & Granacher, U. 2013 Effects of surface instability on neuromuscular performance during drop jumps and landings. *Eur J Appl Physiol*, 113, 2943–2951.
- Radcliffe, J. C. & Farentinos, R. C. 1999 *High-powered plyometrics*. Human Kinetics.
- Robinson, L. E., Devor, S. T., Merrick, M. A. & Buckworth, J. 2004 The effects of land vs. aquatic plyometrics on power, torque, velocity, and muscle soreness in women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18 (1), 84–91.
- Sayers, S. P., Harackiewicz, D. V., Harman, E. A., Frykman, P. N. & Rosenstein, M. T. 1999 Cross-validation of three jump power equations. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31 (4), 572–577.
- Shrier, I. 2004 Does stretching improve performance? a systematic and critical review of the literature. *Clin J Sport Med*, 14 (5), 267–273.

- Stemm, J. D. & Jacobson, B. H. 2007 Comparison of land- and aquatic-based plyometric training on vertical jump performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21 (2), 568–571.
- Stone, M., O'Bryant, H. S., Ayers, C. & Sands, W. A. 2006 Stretching: Acute and chronic? the potential consequences. *Strength and Conditioning Journal*, 28 (6), 66–74.
- Taube, W., Leukel, C., Lauber, B. & Gollhofer, A. 2012 The drop height determines neuromuscular adaptations and changes in jump performance in stretch-shortening cycle training. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 22 (5), 671–683.
- Turner, A. M., Owings, M. & Schwane, J. A. 2003 Improvement in running economy after 6 weeks of plyometric training. *Strength Cond Res*, 17, 60–67.
- de Villarreal, E. S.-S., Kellis, E., Kraemer, W. J. & Izquierdo, M. 2009 Determining variables of plyometric training for improving vertical jump height performance: a meta-analysis. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23 (2), 495–506.
- Walsh, M., Arampatzis, A., Schade, F. & Brüggemann, G.-P. 2004 The effect of drop jump starting height and contact time on power, work performed, and moment of force. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18, 561 – 566.
- Walshe, A. D. & Wilson, G. J. 1997 The influence of musculotendinous stiffness on drop jump performance. *Can. J. Appl. Physiol.*, 22 (2), 117–132.
- Walshe, A. D., Wilson, G. J. & Murphy, A. J. 1996 The validity and reliability of a test of lower body musculotendinous stiffness. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 73 (3–4), 332–339.
- Wilson, G. J., Murphy, A. J. & Giorgi, A. 1996 Weight and plyometric training: Effects on eccentric and concentric force production. *Can. J. Appl. Physiol*, 21 (4), 301–315.
- Young, W. B., Pryor, J. F. & Wilson, G. J. 1995 Effect of instructions on characteristics of countermovement and drop jump performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 9, 232–236.
- Young, W. B., Wilson, G. J. & Byrne, C. 1999 A comparison of drop jump training methods: Effects on leg extensor strength qualities and jumping performance. *International Journal of Sports Medicine*, 20, 295–303.