

REAKTIOVOIMAT JA HERMOLIHASJÄRJESTELMÄN TOIMINTA MOTOCROSS - HYPYN ALASTULOSSA

Tomi Konttinen

BME.208 Johdatus omatoimiseen
tutkimustyöhön
Seminaarityö
Kevät 2004
Liikuntabiologian laitos
Jyväskylän yliopisto
Työnohjaaja Heikki Kyröläinen

TIIVISTELMÄ

Tomi Konttinen. 2004. Reaktivoimat ja hermolihäsjärjestelmän toiminta motocross-hypyn alastulossa. Liikuntabiologian laitos. Jyväskylän yliopisto. 31s.

Käytännön kokemuksen perusteella rasitus motocross-ajossa kohdistuu pääasiassa jalkoihin, käsiin ja selkään. Hermolihäsjärjestelmän toiminnan tunteminen on välttämätöntä lajin biomekaniikan ymmärtämiseksi. Moottoripyörän ominaisuuksien, kuten iskunvaimentimien, vaikutus kuljettajan voimantuottoon on epäselvää. Tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia reaktivoimia ja hermolihäsjärjestelmän toimintaa motocross-hypyn alastulossa.

Koehenkilöinä oli viisi 20 ± 4 vuotiasta motocross-kuljettajaa. Lihasaktiivisuutta (EMG) mitattiin 200 ms ennen takapyörän kontaktia ja 300 ms sen jälkeen. Tutkittavat lihakset olivat vastus lateralis, biceps femoris, erector spinae, trapezius, triceps brachii, biceps brachii ja ranteen fleksorit. Mittaus suoritettiin sisällä hallissa. Hyppyri oli rakennettu metalliputkesta ja vanerilevystä ja sen korkeus oli yksi metri ja pituus kolme metriä. Hyppyrin ylämäen kulma oli 19 astetta ja hypättävä matka vähintään 10 metriä, jotta alastulo osuisi voimalevyn päälle. Pysty- ja vaakavoima mitattiin 10 metriä pitkältä voimalevyiltä.

Hyppysten keskimääräinen pituus oli $11,8 \pm 1,0$ metriä. Takapyörän osuessa maahan havaittiin ensimmäinen voimapiikki, jota seurasi toinen etupyörän kontaktista aiheutunut voimapiikki noin 50 ms takapyörän jälkeen. Ensimmäinen keskimääräinen voimapiikki oli 21 ms takapyörän kontaktin alusta 12474 N ja etupyörän kontaktissa 86 ms ensimmäisestä kontaktista 12354 N. Suurin keskimääräinen voima oli 17325 N. Lihakset aktivoituivat alastulossa eri tavoin. Jalkojen lihakset, erityisesti vastus lateralis, aktivoitui noin 100 ms ennen kontaktia ja pysyi aktiivisena etupyörän kontaktin jälkeenkin. Myös triceps brachii, erector spinae ja ranteen fleksorit aktivoituivat selvästi jo ennen takapyörän kontaktia, kun taas biceps brachii ja trapezius aktivoituivat vasta takapyörän kontaktin jälkeen.

Tämän tutkimuksen perusteella voidaan olettaa, että aikaisemmin aktivoituneet lihakset, erityisesti vastus lateralis ja erector spinae, ottavat vastaan suurimman osan takapyörän kontaktista välittyneestä iskusta. Triceps brachii painaa etupyörää maahan, jonka jälkeen biceps brachii ja trapezius vaimentavat ohjaustangon kautta välittyviä käsiin kohdistuvia voimia. Ranteen fleksoreiden tehtävänä on pitää puristusote riittävänä alastulon ajan, ettei ote irtoa. Reaktivoimat alastulossa ovat erittäin suuret ja kuljettajaan välittyy myös oletettavasti huomattavan suuria voimia. Sekä keskushermoston esiohjelmoitu motorinen kontrolli ja sensorinen palaute kontaktin aikana säätelevät lihasten aktivoitumista ja vastaavat onnistuneesta alastulosta lihasjäykkyyden ja sekä kyynär- että polvinivelen kulman pienentyessä iskun johdosta. Lihastyötä motocrossissa on pidetty pääasiassa isometrisenä, mutta tämän tutkimuksen tulosten perusteella toistuvien iskujen johdosta nivelkulmat muuttuvat lihasten samanaikaisesti supistuessa, joten lihastyön voidaan osoittaa olevan myös konsentrista ja eksentristä.

Avainsanat: motocross, hermolihäsjärjestelmä, reaktivoima, lihasaktiivisuus, EMG, hyppy, alastulo

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO.....	4
2	KULJETTAJIEN FYYSISET OMINAISUUDET.....	5
2.1	ANTROPOMETRIA	5
2.2	ISOMETRINEN MAKSIMIVOIMA	5
3	LIHASTOIMINTA AJON AIKANA	6
4	HYPYN ALASTULOON VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	8
4.1	ISKUNVAIMENTIMIEN RAKENNE JA TOIMINTA	8
4.2	HYPPYREIDEN PROFILIT	9
4.3	HYPPYTEKNIikka TASAISALLE HYPÄTTÄESSÄ	9
5	JALKOJEN TOIMINTA ALASTULOSSA.....	10
5.1	VOIMANTUOTTO JA REAKTIOVOIMAT	10
5.2	LIHASAKTIIVISUUS JA REFLEKSIT	11
5.3	NIVELKULMAT	12
5.4	ALASTULO VÄLITTÖMÄSTI SEURAAVA PONNISTUS.....	12
6	KÄSIEN TOIMINTA ALASTULOSSA	14
6.1	LIHASAKTIIVISUUS JA REFLEKSIT	14
6.2	NIVELKULMAT	15
7	TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEESIT	16
8	MENETELMÄT	17
8.1	KOEHENKILÖT.....	17
8.2	KOEASETELMA.....	17
8.3	MITTALAITTEET	19
8.4	ANALYSOINTI.....	19
9	TULOKSET	20

10	POHDINTA.....	24
10.1	VERTAILU AIEMPIIN TUTKIMUKSIIN.....	25
10.2	ERI LIHASTEN MERKITYS ALASTULOSSA.....	26
10.3	MAHDOLLISET VIRHELÄHTEET.....	27
10.4	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	28
11	LÄHTEET.....	29

1 JOHDANTO

Motocross on luonnonmukaisella radalla tapahtuvaa moottoripyörien maastoajoa. Radat ovat yleensä hiekka-, savi- tai nurmipohjaisia, mutkikkaita ja noin 1500-3000 metriä pitkiä. Radoilla on myös rakennettuja hyppyreititä. Keskinopeus ei saa ylittää 55 km/h ja huippunopeudet kasvavat yli 100 km/h. Ratojen pintamateriaalista johtuen radat kuluvat ajettaessa paljon ja muuttuvat röykkyisiksi. Kovapintaisille radoille muodostuu kaarteisiin pyöristä urat ja pehmeälle alustalle vallit. Niiden muoto, syvyys, pituus ja leveys riippuvat mm. pohjamateriaalista, radan kohdasta, nopeuksista ja moottoripyöristä, joilla ajetaan. Suorille muodostuu ns. röykkyjä, joiden muoto ja koko määräytyvät samoin kuin kaarteiden urat ja vallit. Esimerkiksi kiihdyttäessä ja jarruttaessa muodostuu erilaisia röykkyjä.

Moottori vie motocross-kuljettajaa eteenpäin, tuttu hypoteesi. Sen sijaan moottoripyörän ohjaamiseen tarvitaan kuljettajaa, jonka on hallittava painava moottoripyörä epätaisessa maastossa suurella tilannenopeudella. Moottoripyörän rajuihin ja äkkinäisiin liikkeisiin on reagoitava nopeasti, mikä edellyttää taitoa, kestävyyttä ja voimaa. Kuljettajaan kohdistuu jatkuvasti kovia iskuja, etenkin hyppyjen alastuloissa.

Motocross-pyörät ovat painoltaan noin 88-110 kg ja niissä on tehoa n. 40-60 hv moottorin kuutiotilavuudesta riippuen. Ajaessa kuutiotilavuudeltaan suurempien moottorien hyrrävoimat vaikuttavat suuresti tunteeseen moottoripyörän painosta ja sitä kautta moottoripyörän käyttäytymiseen.

Motocrossista tehdyt tutkimukset ovat keskittyneet pääasiassa loukkaantumisiin ja lajin riskitekijöihin. Motocrossin fyysisestä kuormittavuudesta ei juurikaan ole tutkimuksia tehty. Lihastoimintaa ajon aikana on arvioitu ainoastaan vertaamalla muiden lajien osasuorituksia ajamiseen. Siksi tässä tutkimuksessa joudutaan käyttämään ns. perustason artikkeleita sekä tutkijan omaa lajikokemusta ajosuoritusta analysoitaessa. Tämän työn tarkoituksena on tutkia kuljettajan lihasaktiivisuuksia hypyn alastulossa.

2 KULJETTAJIEN FYYSISET OMINAISUUDET

2.1 Antropometria

Kuljettajien antropometriasta ei ole tieteellistä tutkimusaineistoa. SML:n (1986-2003) kansainvälisen tason kuljettajien ja kansallisen tason parhaimmiston testiseurannan mukaan kuljettajien keskimääräinen pituus oli 179 cm (± 5 cm) ja massa 72 kg (± 5) kg. Rasvaprosentti oli 11 (± 3) ja painoindeksi (BMI) 23 (± 2).

2.2 Isometrinen maksimivoima

Motocross-kuljettajien isometrisissä maksimivoimamittauksissa mitataan tavallisesti puristusvoimaa sekä vartalon koukistajien ja ojentajien voimaa. Vartalon voimia mitataan seisoma-asennossa jalat tuettuna siten, että voimaa tuotetaan ainoastaan vartalon lihaksilla. Absoluuttisten lukuarvojen lisäksi käytetään vatsa- ja selkälihasten maksimivoiman välistä suhdetta kuvaamaan lihastasapainoa. Suomalaisten kuljettajien vatsalihasten isometrinen keskimääräinen voima oli 67 kg (± 9 kg) ja selkälihasten 100 kg (± 10 kg). Kuljettajien massa suhteutettuna vastaavat luvut olivat 0,93 ($\pm 0,12$) ja 1,39 ($\pm 0,14$) mikä on viitearvoihin verrattuna, asteikolla 1-5, vatsalihasten osalta 1 ja selkälihasten osalta 4. Vatsalihasten maksimivoima oli keskimäärin 67 % selkälihasten maksimivoimasta, mikä on viitearvoihin verrattuna luokassa 2. Viitearvoina on käytetty palloilulajien taulukoita. Puristusvoimamittauksissa keskimääräinen isometrinen maksimivoima oli vasemmassa kädessä 58 kg (± 8 kg) ja oikeassa 60 kg (± 9 kg). (SML 1986-2003.)

3 LIHASTOIMINTA AJON AIKANA

Lihastoiminta ajon aikana on pääasiassa isometristä (Odaglia & Magnano 1979). Jalkojen ja käsien lihakset tekevät myös konsentrista ja eksentristä työtä, mutta kuormituksen suhdetta ei ole selvitetty. Polvi-, lonkka- ja kyynärnivelen kulmat ovat ajoasennosta riippuen noin 80-170 astetta. (Kuva 1). Nilkkanivelen liike on joissain määrin rajoitettu tukevien ajosaappaiden vuoksi ja liikettä tapahtuu pääasiassa iskuja vastaanottaessa, jarrutettaessa ja vaihtaessa. Moottoripyörän liikkeitä myötäillen painonsiirrot ovat avainasemassa, joten lihasten toiminta muuttuu jatkuvasti. Vartalon lihakset ovat tärkeitä tasapainon säilyttämisessä. Puhtaimmin isometristä lihastyötä tekevät kyynärvarren lihakset, jotka ohjaustankoa puristettaessa ovat jatkuvasti jännityksessä. Poikkeuksia lihasten toimintaan aiheuttavat ne sormet, jotka ovat lähes koko ajan kytkimellä ja etujarrulla. Kuljettajasta riippuen etu- ja/tai keskisormi, joissain tapauksissa nimetön, tekevät runsaasti dynaamista lihastyötä käytettäessä kytkintä ja etujarrua, mikä vaikuttaa suuresti niiden sormien isometrisesti työskenteleviin lihaksiin, jotka pitävät otetta kiinni ohjaustangossa. (Bales & Semics 1996, Diotto-Gerrard & Gerrard 1999.)



KUVA 1. Nivelkulmat muuttuvat ajettavan kohdan määräämän ajoasennon mukaan.

Lihastyön osalta useimmiten suurin suoritusta rajoittava tekijä on ”käsien puutuminen”, eli ranteen ja sormien koukistajalihasten väsyminen. Pitkäaikainen, säännöllinen ajo-harjoittelu ja kilpaileminen johtaa toistuvaan kyynärvarren ja rannenivelen yllirasitukseen. Myös puutteellinen ajotekniikka voi lisätä kuormittavuutta. (Kuva 2). Kuljettaja on jatkuvasti alttiina suurille iskuille esimerkiksi hyppyjen alastuloissa. Seurauksena voi olla lihasaitio-oireyhtymä, eli paremmin alaraajoissa tunnettu penikkatauti. Kyynärvarren lihakset ovat siis jatkuvassa toiminnassa sormien käyttäessä kytkin- ja jarrukahvaa, sekä oikean käden samanaikaisesti kontrolloidessa kaasua. Molempia toimintoja tarvitaan yhtäjaksoisesti pitkiä aikoja vastustavaa voimaa vastaan. Näin siis sekä sormien ja ranteen koukistajat että ojentajat altistuvat lihasaitio-oireyhtymälle. Sen lisäksi koko käsivartta tarvitaan säilyttämään kontrollia moottoripyörän ohjaamisessa. Suuret lihasryhmät ovat sen vuoksi koko ajan jonkin asteisessa supistuksessa. (Diotto-Gerrard & Gerrard 1999.)



KUVA 2. Väärä ja oikea tekniikka hypyn alastulossa ja vaikutus kuormittavuuteen sekä käsien puutumiseen. Vasemman puolen kuvissa kuljettaja ei purista jaloilla moottoripyörää, jolloin käsiin kohdistuu suurempi rasitus. Oikean puolen kuvissa oikea tekniikka, jolloin moottoripyörää puristettaessa jalat ottavat vastaan suurimman rasituksen.

4 HYPYN ALASTULOON VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Iskunvaimentimet ovat tärkeässä asemassa kuljettajaan kohdistuvien voimien vaimentamisessa. Moottoripyörien iskunvaimentimien geometria on tarkkaan suunniteltu. Niiden toimintakorkeus ja –kulma vaikuttavat ratkaisevasti ajo-ominaisuuksiin. Sen vuoksi on tärkeää, että etu- ja takaiskunvaimentimet toimivat yhtäaikaisesti ja vuorovaiikutuksessa. Myös hyppyrin profiili ja ajotekniikka alastulossa vaikuttavat suuresti kuljettajaan kohdistuviin voimiin.

4.1 Iskunvaimentimien rakenne ja toiminta

Iskunvaimentimien toiminta perustuu jousen toimintaan ja iskunvaimentimien sisällä olevan öljyn virtaukseen. Toimintaa voidaan säädellä muuttamalla jousen jäykkyyttä, öljymäärää tai öljyn virtausta. (Öhlins Racing AB 2003, 3-4.) Iskunvaimentimien puristus- ja paluuvaimennusta voidaan säätää erikseen säätöruuveilla, jotka vaikuttavat öljyn virtaukseen iskunvaimentimen sisällä. Vaimennusta voidaan lisätä kiertämällä säätöruuveja kiinni päin. Säädöillä voidaan myös vaikuttaa vaimennuksen suuruuteen eri toimintanopeuksilla, jolloin iskunvaimennin voi olla pehmeämpi, kun niihin kohdistuva isku on hidas ja vastaavasti kovempi, kun isku on nopea. (Honda Motor Co., Ltd. 2003, 30-31.) Hypyn alastulossa hypystä riippuen iskunvaimentimet puristuvat kasaan nopeasti ja melkein tai kokonaan pohjaan asti. Iskunvaimentimet on säädettävä kuljettajan painon ja vauhdin mukaan siten, että ne toimivat mahdollisimman hyvin radan jokaisessa kohdassa. (Öhlins Racing AB 2003, 8.)

Hypyn alastulossa iskunvaimentimet vähentävät selvästi kuljettajaan välittyviä suuria iskuja. Iskunvaimentimien ansiosta pyörät pystyvät myös tällöin paremmin eteenpäin niiden koskettaessa maata ja seuraamaan maan pintaa alastulon jälkeen. Alastulossa pystyvoima on suuri, mikä saattaa pyrkiä vääntämään etenkin etuiskunvaimentimia samalla, kun ne puristuvat kasaan alastulon aikana. (Orendurff & Smith 1997.)

4.2 Hyppyreiden profiilit

Hyppyreitä on monenlaisia ja säännöt rajoittavat ainoastaan ns. kaksoishyppyrit. Kahden hyppyrin kärkien välimatkan tulee olla yli 30 metriä ja rakennettu siten että niitä ei voida hypätä yhdellä hypyllä. Hyppyreiden lähdöissä on myös kiinnitettävä erityistä huomiota ylämäen kulmaan, jotta hyppyrit ovat turvallisia kuljettajien näkökulmasta. (Federation internationale de motocyclisme, 2003.) Hyppyrin ylämäen kulma vaikuttaa hypyn korkeuteen ja sitä kautta tasaiselle hypättäessä alastulossa vaikuttaviin voimiin. Tasaiselle hypättäessä hyppyreitä on tavallisesti kahdenlaisia. Ylämäen kulma voi olla sen verran loiva, että nopein tapa on ajaa siihen maksimaalisella nopeudella ja hypätä mahdollisimman pitkälle ilman, että törmäysvoimat kasvavat sietämättömän suuriksi. Toinen vaihtoehto on, että hyppyrin ylämäki on niin jyrkkä, että nopein tapa on hidastaa vauhtia ennen hyppyriä ja hypätä matalalla lyhyt hyppy. Mikäli kuljettaja ajaa hyppyyriin liian kovalla vauhdilla, saattaa hyppy olla niin korkea, että alastulossa kuljettajaan kohdistuvat voimat johtavat loukkaantumiseen.

4.3 Hyppytekniikka tasaiselle hypättäessä

Hyppytekniikkaan vaikuttaa suuresti hyppyrin profiili ja alastulopaikka. Tasaiselle hypättäessä hyppyyn lähestytään seisten tasaisella kaasulla. Painopistettä siirretään ennen hyppyyn lähtöä taakse ja ilmalennon aikana painopistettä siirretään eteenpäin. Moottoripyörää puristetaan polvilla koko ajan. Painopisteen avulla voidaan ohjata moottoripyörän lentokulmaa. Ilmaan lähdetäessä kaasu suljetaan ja avataan uudelleen takapyörän koskettaessa maata. Tavallisesti pyritään hyppäämään mahdollisimman matalalla. Alastulossa takapyörän tulee koskettaa maata hieman ennen etupyörää. Poikkeustapauksissa, mikäli alastulon jälkeen on esimerkiksi heti käänös, voidaan alastulo tehdä myös etupyörälle. Ylä- tai alamäkeen hypättäessä alastulo tapahtuu mäen suuntaisesti. Ilmalennon aikana lentokulmaa voidaan vartalon lisäksi säädellä kaasulla ja takajarrulla. Takapyörän lukkiutuessa moottoripyörän takaosa nousee ja kaasun avulla laskee. Takapyörän lukkiutuminen vaikuttaa enemmän kuin lisää kaasuttaminen. (Mäkelä 1988, 39 , Bales & Semics 1996, 91.)

5 JALKOJEN TOIMINTA ALASTULOSSA

Motocross-hyppyjen alastuloista ei ole tutkimustietoa, mutta jalkojen toimintaa on tutkittu paljon pudotushypyissä ja hyppyjen alastuloissa ilman moottoripyörää. Suurin ero pudotushypyn ja pelkän alastulon välillä on, että pelkässä alastulossa tarkoituksena ei ole hypätä uudelleen, vaan vaimentaa alastulossa hyppääjään kohdistuva isku. Tämä vaikuttaa suuresti lihasaktiivisuuteen. (Dyhre-Poulsen ym. 1991.) Jalkojen ojentajalihasten EMG:n on todettu olevan erilaista puhtaassa eksentrisessä työssä ja venymislyhenemis syklin eksentrisessä vaiheessa (Kyröläinen & Komi 1995).

5.1 Voimantuotto ja reaktivoimat

Mitä korkeammalta pudotus tapahtuu, sitä suurempi törmäysvoima jalkoihin vaikuttaa. (Kyröläinen & Komi 1995b, Mc Nitt-Gray 1993.) Dyhre-Poulsen ym. (1991) mittasivat 60 cm korkeudesta tapahtuneen pudotuksen pystysuuntaiseksi reaktivoimaksi 4500 N kolmella 84-97 kg painavalla lentopalloilijalla. Suurimman osan törmäyksestä ottavat vastaan polven ojentajalihakset. Tämä korostuu pudotuskorkeuden kasvaessa. Törmäysnopeuden kasvaessa polven, lonkan ja nilkan ojennusmomentti ja tehdyn työn määrä kasvavat ojentajalihaksissa merkitsevästi. Voimantuotto-ominaisuudet vaikuttavat myös alastulosuoritukseen. Voimakkaammat henkilöt käyttävät enemmän voimaa kuin heikommat samanlaisissa alastuloissa. Myös kokemus ja kyky tuottaa voimaa oikealla hetkellä oikealla tavalla vaikuttavat alastulosuoritukseen. Tehdyn työn määrä on kuitenkin sama. (Mc Nitt-Gray 1993.) Oikeanlaisella alastulotekniikalla voidaan vähentää huomattavasti jalkoihin kohdistuvia voimia suurissa törmäyksissä (Onate ym. 2001). Urheilijat säätelevät voimantuottoa ja niveljäykkyyttä odotetun laskeutumishetken perusteella ja pystyvät tasapainottamaan niveljäykkyyttä, jotta sen liike pysyy rajatulla alueella (Arampatzis ym. 2003).

5.2 Lihasaktiivisuus ja refleksit

Liikkeitä kontrolloivat aivoihin varastoidut motoriset ohjelmat ja selkäydintason refleksimekanismit. Niiden on aiemmin ajateltu toimivan erikseen, mutta nykyään niiden tiedetään toimivan yhteistyössä. (McDonagh & Duncan 2002.) Alastulossa EMG-aktiivisuus lisääntyy pudotuskorkeuden kasvaessa ennen kontaktia ja sen aikana (Arampatzis ym. 2003). Pudottautuessa jaloille gastrocnemius-lihas aktivoituu voimakkaasti alastuloissa aktiivisuuden alkaessa 100-200 ms ennen kontaktia. Quadriceps femoris aktivoituu tavallisesti myös ennen kontaktia, mutta suurin aktivaatio tapahtuu ensimmäisen 100ms aikana kontaktista, jolloin pyrkimyksenä on vastustaa polven koukistumista. Hamstring-lihaksen aktiivisuus vaihtelee suuresti eri henkilöiden ja suoritusten välillä. Joissain tapauksissa esiintyy esiaktiivisuutta, mutta toisinaan aktiivisuus alkaa vasta kontaktin alusta. (Fagenbaum & Darling 2003.) Korkeammalta pudottautuessa quadriceps femoriksen aktiivisuus kasvaa, koska vaimennettava energia lisääntyy ja polviniveleen vaikuttavat momentit kasvavat, jolloin polvinivel pyrkii koukistumaan. Quadriceps femoris on sekä polven ojentaja että lonkan koukistaja ja saattaa myös vaikuttaa säären rotaation kontrolloimiseen. Toisaalta myös hamstrings kontrolloi säären rotaatiota ollen sekä polven koukistaja että lonkan ojentaja. Nivelkulmien muuttumattomutta pudotuskorkeuden kasvaessa voidaan selittää lihasten kyvyllä aktivoitua enemmän ja parantaa nivelten tasapainoa ja jäykkyyttä. Lihasaktiivisuuden suuruus on johtavassa asemassa niveljäykkyyden säätelyssä verrattuna esiaktiivisuusaikaan, joka pysyy suhteellisen muuttumattomana. (Arampatzis ym. 2003). Soleuksen ja tibialis anteriorin aktiivisuudet ennen alastuloa ja myös kontaktin jälkeen kasvavat merkitsevästi pudotuskorkeuden kasvaessa. Aktiivisuusaika ei juurikaan muutu, mikä on merkinä siitä, että aktiivisuuden alkaminen määräytyy tietyn oletetun ajan mukaan ennen kontaktia. (Santello & McDonagh 1998.)

Supistuvan lihaksen venyminen lisää voimantuottoa ja lihasjäykkyyttä suuresti, josta noin puolet johtuu venytysrefleksistä. Venytysrefleksi on riippuvainen venytysnopeudesta, koska lihasspindelit aistivat venytysnopeutta. (Kyröläinen & Komi 1995b.) Alastuloa seuraavassa ponnistuksessa lihaksen jousiominaisuudet ovat ihanteelliset ja taloudelliset aktiivisuuden säilyttämiseksi (Dyhre-Poulsen ym. 1991). Refleksejä voidaan vaimentaa, mikäli niistä ei ole hyötyä tehtävässä, kuten alastulossa, jolloin tarkoitus ei

ole lisätä lihasjäykkyyttä. Alastulon aikana EMG-aktiivisuus on jo ennalta ohjelmoitua ja refleksit vaikuttavat siihen vain hyvin vähän. Esiohjelmoitu EMG-aktiivisuus mahdollistaa iskujen vaimentamisen ja lihaksen ominaisuuksien muuntamisen jousesta vaimentimeksi. (Dyhre-Poulsen ym. 1991.)

5.3 Nivelkulmat

Polvikulman muutoksen avulla vaimennetaan iskua. Polvikulman muutos alastulossa on sitä suurempi, mitä korkeammalta alastulo tapahtuu. Väsymyksen seurauksena muutos suurenee entisestään. Mitä ojennetumpi polvinivel on alastulossa, sitä suurempi riski on eturistisidevaurioon. (Fagenbaum & Darling 2003.) Henkilökohtaiset ominaisuudet vaikuttavat nivelmomenttien suuruuteen. Mc Nitt-Gray (1993) raportoi voimistelijoiden vaimentavan suuremmat törmäykset nopeammin suuremmalla nivelmomentilla, kun taas harrastelijat käyttivät vaimennukseen suurempaa nivelkulman muutosta, jolloin alastuloliikkeeseen kului enemmän aikaa. Soleuksen ja tibialis anteriorin yhteistoiminta saa aikaan suuremman jäykkyyden nilkanivelessä hyppykorkeuden kasvaessa (Santello & McDonagh 1998). Niveljäykkyys on suurimmillaan kontaktin alussa ja pienenee asteittain. Luurankoli hasten jousenomaiset ominaisuudet ja lihasjäykkyys vaikuttavat lihaksen kykyyn vaimentaa, varastoida ja vapauttaa iskun johdosta muodostunutta energiaa. Suuri lihasjäykkyys ja jousiominaisuudet tekisivät mahdottomaksi vaimentaa iskua ja pysyä maassa alastulon jälkeen, ellei olisi erityistä mekanismia, jonka avulla voidaan supistaa lihaksia ja samalla pitää lihasjäykkyys pienenä. (Dyhre-Poulsen ym. 1991.)

5.4 Alastuloa välittömästi seuraava ponnistus

Pudotushyppyissä on todettu, että tehokkaammassa suorituksessa polvikulmalla on suuri merkitys voimantuotossa. Mitä enemmän kontaktin alussa polvikulma pienenee, sitä enemmän iskua vaimennetaan ja välitön ponnistus jää tehottomaksi. Jos taas polvikulmaa pienennetään jo hieman ennen törmäystä ja pyritään välittömästi ponnistamaan, niveljäykkyys lisääntyy, ja saadaan aikaan tehokkaampi suoritus. Elastisen energian ja venytysrefleksin hyödyntäminen jää sitä heikommaksi, mitä enemmän iskua vaimenne-

taan. Esiohjelmoitu aktiivisuus ja polvinivelen jäykkyys yhdistettynä lihaksen supistuvien komponenttien ominaisuuksiin ovat tärkeässä asemassa pudotushyppysuorituksen säätelyssä. (Horita ym. 2002.) Kelkkahypyssä esiaktiivisuus on huomattavasti pienempää kuin pudotushypyssä ja konsentrisen vaiheen aktiivisuus suurempaa kuin eksentrisen. Pudotushypyssä eksentrisen vaiheen aktiivisuus vastaavasti on suurempaa kuin konsentrisen. Tämä johtuu siitä, että pudotushyppy on räjähtävämpi liike ja kelkkahypyssä vaimennetaan aluksi iskua enemmän. Kontaktiaika on kelkkahypyssä pidempi ja venytysrefleksi voidaan nähdä soleuksessa selvästi noin 40 ms kontaktin jälkeen. (Kyroläinen & Komi 1995a).

6 KÄSIEN TOIMINTA ALASTULOSSA

6.1 Lihasaktiivisuus ja refleksit

Pudottautuessa seisoma-asennosta käsien varaan joutaen kontaktin jälkeen triceps brachiin venyminen kestää noin 200-300 ms. Lihasaktiivisuuteen vaikuttaa sekä esiaktiivisuus että selkäydintason venytysrefleksi. Maksimaalinen lihasaktiivisuus törmäyshetkellä voisi johtaa erittäin liian suureen voimapiikkiin ja sitä kautta luunmurtumaan ja jänne- tai lihasvaurioon. Submaksimaalinen lihasaktivaatio törmäyshetkellä sen sijaan lisääntyy venytysrefleksin johdosta heti, kun iskun jälkeinen hetkellinen lihasjäykkyys alkaa vähentyä. On kuitenkin vaikea arvioida venytysrefleksin aiheuttaman voiman määrää, joka vaikuttaa käsien kautta koko kehon jarruttamiseen. Esiaktiivinen lihas on kykenevä lisäämään jännitystä voimakasta venymistä vastaan. Suuri lihasjäykkyys ei kuitenkaan ole tehokas tapa vaimentaa iskua, jonka vuoksi kyynärnivel joustaa alun voimapiikin jälkeen ja venytysrefleksi voi lisätä aktivaatiota. (Dietz ym. 1981.)

Dyhre-Poulsen & Laursen (1984) ovat tutkineet apinoiden käsien EMG-aktiivisuutta pudotuksissa eri korkeuksilta. Triceps Brachiin EMG-aktiivisuus alkoi noin 80 ms ennen alastuloa. Aktiivisuus oli suurinta ensimmäisen 20 ms aikana kontaktin alusta ja laski asteittain kontaktin jatkuessa. Kontaktin jälkeen havaittiin kaksi aktiivisuusryöppyä, jotka olivat aikaan vakioituja, noin 30 ja 60 ms laskeutumisesta. Suuremmilta korkeuksilta pudottautuessa EMG-amplitudi kasvoi. Maahan kohdistuva pystysuora voima kasvoi huomattavasti ranteita kontrolloivien lihasten nopean venymisen johdosta. Sen jälkeen tuli uusi voimapiikki, jonka aiheutti tricepsin venyminen. Kyynärnivelen jäykkyys oli suuri kontaktin alussa ja laski tasaisesti kontaktin jatkuessa ja meni lopussa negatiiviseksi. Tricepsin voima nousi nopeasti kontaktin alussa ja pieneni lihaksen pidentyessä. Tämä dynaaminen voima-pituus –suhde oli hyvin erilainen kuin isometrinen voima-pituus –suhde, mikä on merkinä submaksimaalisesta voimantuotosta ja lihaksen luonnollisesta vastuksesta sen pidentyessä. Esille tullutta negatiivista niveljäykkyyttä esiintyy ainoastaan submaksimaalisissa lihassupistuksissa. Isometrisen voima-pituus-suhteen mukaan kontaktin alussa triceps brachiin voima olisi pieni ja kasvaisi tasaisesti kontaktin jatkuessa. Triceps ja biceps brachiin EMG-aktiivisuus muodostui EMG-

ryöpyistä ja niiden välisistä tauoista, mutta venytysrefleksin aiheuttamaa EMG:aa ei ollut havaittavissa. Tutkijat ehdottivat tämän johtuvan siitä, että lihaksista lähtenyt palaute inhiboidaan, ettei se häiritsisi alastuloon ennalta ohjelmoitua submaksimaalista aktiivisuutta. Inhibitio vähenee alastulon edetessä. EMG-ryöpyt ovat tavanomaisia agonisteissa ja antagonisteissa nopeassa liikkeessä. Dietz ym. (1981) mukaan ne johtuvat venytysrefleksistä, kun taas Dyhre-Poulsen & Laursen (1984) mukaan ne eivät ole venytysrefleksistä johtuvia, vaan tarkoituksena on tarjota negatiivinen jäykkyys submaksimaalisella supistuksella, vaikka eksitatorinen ohjaus on suuri. Tällöin kaikkien motoristen yksiköiden, nopeiden ja hitaiden aktivoiminen submaksimaalisesti sykäyksettäin johtaa vähenevään lihasjäykkyyteen nopean venytyksen aikana.

Ranteen fleksoreiden aktiivisuus pudottautuessa käsien varaan suurenee noin 200 ms ennen törmäystä. Törmäyksen johdosta venytysrefleksi saa aikaan selvän aktiivisuuden nousun törmäyksen jälkeen. Ranteen ojentajien aktiivisuus puolestaan vähenee jo kontaktin alusta lähtien. Ranteen fleksoreiden aktiivisuus saattaa auttaa ranteen stabiloimisessa jarrutusvaiheen aikana. (Dietz ym. 1981.)

6.2 Nivelkulmat

Käsiin kohdistuvan törmäyksen suurimpaan törmäysvoimaan vaikuttaa huomattavasti tyyli, jolla törmäys otetaan vastaan. Ihminen pystyy säätelemään tätä tyyliä melko hyvin. Jos törmäys otetaan vastaan jäykillä käsillä, törmäysvoima on kaikkein suurin. Luonnollinen tapa ottaa törmäys vastaan vaimentaa törmäystä jo huomattavasti ja mikäli törmäys yritetään ottaa kaikkein pehmeimmin vastaan, on törmäys kaikista pienin. Kyynärnivelen liike on suoraan verrannollinen törmäysvoimaan. Mitä jäykempi kyynärnivele on, sitä suurempi on törmäysvoima. Luonnollisessa tyyliässä kyynärnivele ei jousta yhtä paljon kuin tyyliässä, jossa pyritään minimoimaan törmäysvoima. Ihminen pystyy siis tahdonalaisesti vähentämään törmäyksessä käsiin kohdistuvia voimia. (DeGoede & Ashton-Miller 2002.)

7 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEEESIT

Tutkimusongelmat:

1. Mikä on alustaan kohdistuvien reaktivoimien suuruus motocross-hypyssä?
2. Miten hermolihaskäyttö valmistautuu törmäykseen?
3. Miten käsien, jalkojen ja selän lihasaktivaatio alastulon eri vaiheissa poikkeaa toisistaan?

Tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia reaktivoimia ja hermolihaskäytön toimintaa motocross-hypyn alastulossa. Aiempia tutkimuksia lihasaktiivisuudesta ajon aikana ei ole. Ei tiedetä, miten rasitus ajon aikana kohdistuu kuljettajaan ja miten lihakset aktivoituvat ajon aikana. Hermolihaskäytön toiminnan tunteminen on välttämätöntä lajin biomekaniikan ymmärtämiseksi. Moottoripyörän ominaisuuksien, kuten iskunvaimentimien, vaikutus kuljettajan voimantuottoon on epäselvää. Käytännön kokemuksen perusteella kuormitus kohdistuu pääasiassa käsiin, jalkoihin ja selän lihaksiin.

Kirjallisuudessa on tutkittu pudotuksia sekä jaloille että käsille, tosin ilman moottoripyörää. Sen mukaan voidaan olettaa, että käsissä ja jaloissa lihakset aktivoituvat jo ennen kontaktia, mutta käsien ja jalkojen aktivaation yhteydestä ei ole tietoa. Venytysrefleksin oletetaan lisäävän lihasaktiivisuutta välittömästi kontaktin jälkeen.

8 MENETELMÄT

8.1 Koehenkilöt

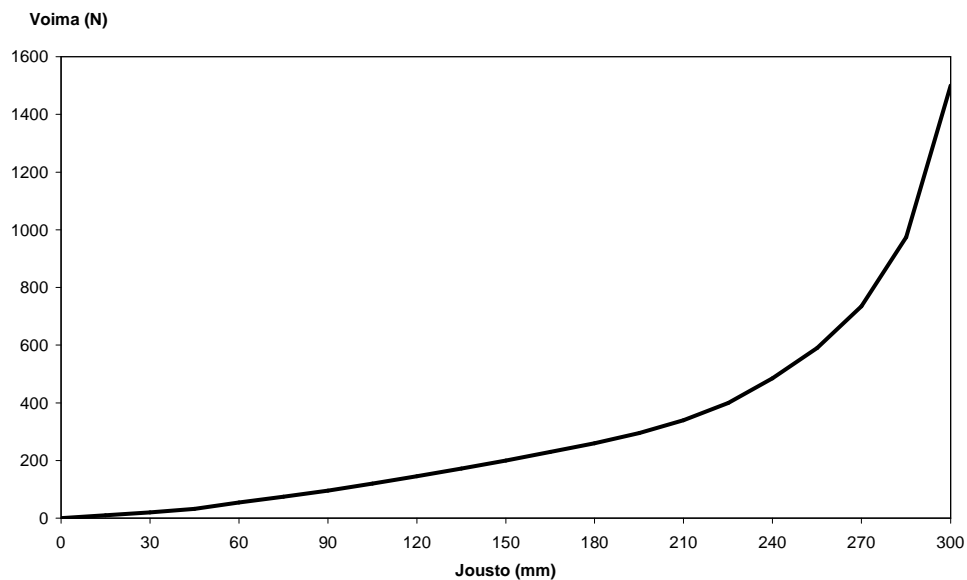
Koehenkilöinä oli viisi ($n=5$) motocross-kuljettajaa, joista neljä oli A-luokan ja yksi B-luokan kuljettaja. Koehenkilöiden ikä oli 20 ± 4 vuotta. Pituus oli 176 ± 9 cm ja paino ilman varusteita 69 ± 9 kg sekä varusteet puettuna 79 ± 9 kg. Koehenkilöille selvitettiin tutkimuksen sisältö, mahdolliset riskit ja oikeus keskeyttää tutkimus omalta osaltaan milloin tahansa. Sen jälkeen he täyttivät suostumuslomakkeen, jossa ilmoittivat ymmärtäneensä ohjeistuksen sekä olevansa terveitä ja vapaaehtoisia tutkimukseen. Jokaisella koehenkilöllä oli mahdollisen tapaturman varalta oma henkilökohtainen tapaturmavakuutus ja moottoripyörässä liikennevakuutus.

8.2 Koeasetelma

Koehenkilöihin kiinnitettiin Seniam (1999) mukaan elektrodit seitsemään lihakseen, jotka olivat vastus lateralis, biceps femoris, erector spinae, trapezius, biceps brachii, triceps brachii ja ranteen fleksorit. Iho valmisteltiin ajamalla ihokarvat elektrodin kiinnityskohdalta, hiomalla hiomapaperilla ja puhdistamalla desinfiointiaineella. Elektrodeihin laitettiin elektrodipastaa edistämään sähkön johtumista. Sen jälkeen elektrodit teipattiin ihoon, etteivät ne päässeet liikkumaan mittauksen aikana.

Mittaus suoritettiin sisähallissa tartan-alustalla, jonka päälle oli levitetty ohut kangaspäällysteinen matto kiihdytysalueelle ja kumimatto alastuloalueelle. Tuuli ei sisäolosuhteissa vaikuttanut mittauksiin. Kiihdytysmatka oli 25 metriä. Alastulo suoritettiin takapyörä edellä tasaiselle alustalle voimalevyn päälle. Takapyörän koskettaessa maata kaasutettiin vähän ja jarrutus alkoi voimalevyn ulkopuolella. Hyppyriin ajettiin kolmosvaihteella ja hypyn tuli olla pituudeltaan vähintään 10 metriä, jotta alastulo tapahtuisi voimalevyn päälle. Hyppyjen alastulot kuvattiin sivulta hyppypituuksien selvittämiseksi ja hypyn eri vaiheiden havainnollistamiseksi.

Kaikki koehenkilöt ajoivat Honda CRF 450 R motocross-ajoon tarkoitettulla moottoripyörällä. Alkuperäiset iskunvaimentimet olivat sekä edessä että takana Showa-merkkiset. Takaiskunvaimentimen painuma oli säädetty alkuperäisjousilla 100 mm 70 kg painavalle kuljettajalle. Etuiskunvaimentimien öljymäärä oli vakio 416 cm³, jolloin 1500 N voimalla iskunvaimennin puristuu pohjaan asti. (Kuva 3). Etupyörän joustomatka oli 315 mm ja takapyörän 314 mm. Takaiskunvaimentimen puristusvaimennuksen hitaan nopeuden säätö oli 2,5 kierrosta kiinni, nopean nopeuden säätö 1,5 kierrosta auki ja paluuvaimennus 4,5 kiinni. Etuiskunvaimentimien puristusvaimennus oli 3/4 kierrosta kiinni ja paluuvaimennus 2 kierrosta kierrosta kiinni. Renkaat olivat edessä ja takana Pirelli MT 32 ja ilmanpaine 0,9 kgf / cm². Hyppyyri oli rakennettu 25 x 25 mm metalliputkesta ja 3000 x 800 x 18 mm vanerilevystä. Hyppyrin korkeus oli yksi metri ja pituus kolme metriä. Ylämäen kulma oli 19 astetta.



KUVA 3. Tutkimuksessa käytetyn moottoripyörän etuiskunvaimentimien joustomatka suhteessa niihin kohdistuvaan pystyvoimaan. (Mukaiilu Honda Motor Co., Ltd. 2003, 47).

8.3 Mittalaitteet

Pysty- ja vaakasuuntaisten reaktiivoimien mittaamiseen käytettiin 10 metriä pitkää voimalevyä (TR-testi, Suomi: vahvistimen taajuus ≥ 150 Hz, lineaarisuus ≥ 1 %, häiriö ≤ 2 %). Elektromyografinen (EMG) aktiivisuus taltioitiin telemetrisesti (Glonner, Saksa) bipolaarisilla pintaelektrodeilla (Jyväskylän yliopisto, Suomi), joiden hopeakloridinapojen väli oli 20 mm. EMG-signaalin vahvistus oli 200 (Glonner Biomes 2000: kaistataajuus 3-360 Hz / 3 dB^{-1}), ja se yhdistettiin ajallisesti voimasignaalin kanssa kerrästajuuksella 1000 Hz. Hyppyä kuvattiin high speed –kameralla kuvanopeudella 200 kuvaa / s. Nopeus hyppyrille tullessa määritettiin valokennoilla (Digitest, Muurame, Suomi) viiden metrin matkalta ennen hyppyä. (Kuva 4).



KUVA 4. Mittaustilanne. Nopeus mitattiin ennen hyppyä valokennoilla, tiedonkeruujärjestelmä oli alastulopaikan voimalevyn vieressä ja kamera taustalla kohtisuorasti alastulopaikkaan.

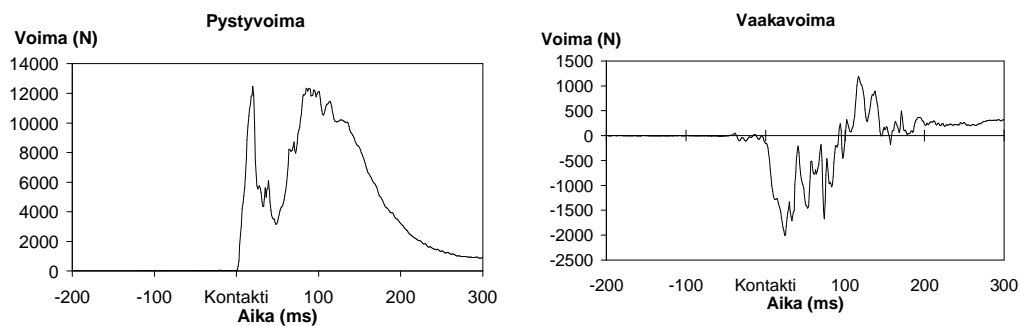
8.4 Analysointi

EMG-signaali analysoitiin Fcodas ja Microsoft Excel -ohjelmilla. Eri suoritusten signaalit tasasuunnattiin, keskiarvoistettiin ja ajanormalisoitiin. Pystyvoimasignaalia käytettiin tunnistamaan kontaktin alkua.

9 TULOKSET

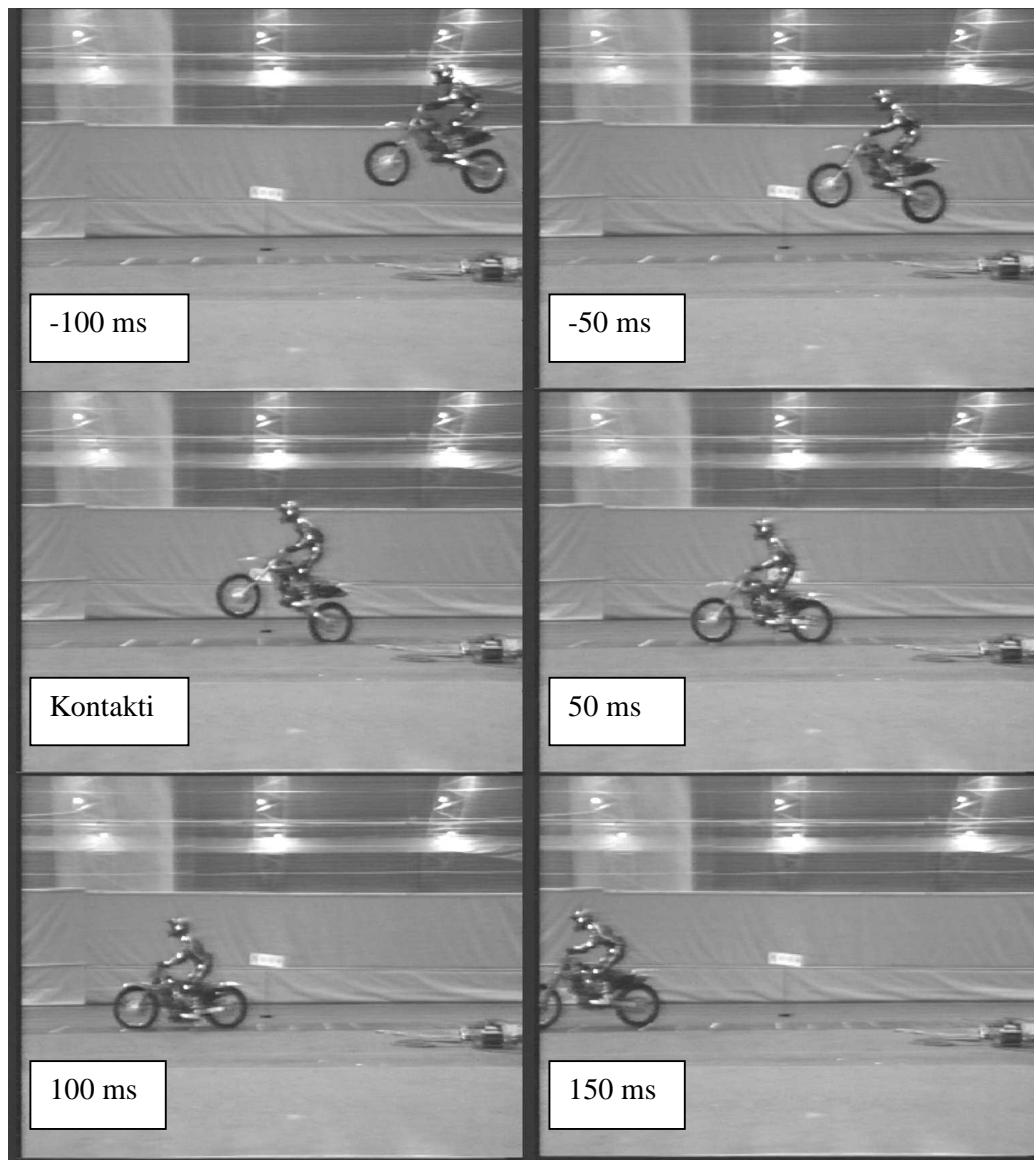
Hyppyjen keskimääräinen pituus oli $11,8 \pm 1,0$ m ja nopeus ennen hyppyä $46,1 \pm 1,8$ km/h. Lihasaktiivisuudet sekä pysty- ja vaakavoima ovat 21 hypyn keskiarvoja.

Pystyvoima saavutti kaksi voimapiikkiä, joista ensimmäisen ja ajallisesti lyhyemmän tuotti takapyörän kontakti maahan. Suurin voima aikaan suhteutettuna oli keskimäärin 12474 N 21 ms kontaktin alun jälkeen. Tämän jälkeen voima väheni 29 ms:ssa 3181 N:n, kunnes etupyörän koskettaessa maata voima nousi 12354 N:n 36 ms:ssa ja palasi vähitellen moottoripyörän ja kuljettajan yhteismassaa vastaavan voiman tasolle. Alastulo kesti takapyörän kontaktin alusta voiman tasaantumiseen asti keskimäärin noin 230 ms. Voimapiikit eri koehenkilöillä ja eri hyppyissä saavuttivat maksiminsa sen verran eri aikoihin, että absoluuttisesti aikaan suhteuttamatta keskimääräinen suurin reaktivoima oli 17325 N. Suurimman jarruttavan vaakavoiman, 1998 N, tuotti takapyörän kontakti 25 ms kontaktin jälkeen. 100 ms kontaktista vaakavoima oli nollassa ja 117 ms kohdalla havaittiin suurin kiihdyttävä voima 1190 N. (Kuva 5).



KUVA 5. Pysty- ja vaakavoima motocross-hypyn alustulossa

Kontaktihetkellä ensin maahan osui takapyörä, jonka jälkeen takaiskunvaimennin painui kasaan. Etupyörä osui maahan noin 50 ms takapyörän jälkeen, jolloin takaiskunvaimennin jatkoi edelleen joustamistaan ja myös etuiskunvaimentimet alkoivat painua kasaan. Molemmat iskunvaimentimet olivat täysin pohjassa noin 80-100 ms takapyörän kontaktista, eivätkä vielä 150 ms kohdalla olleet täysin palautuneet kuljettajan massan aiheuttaman painuman tasolle. Nivelkulmat (polvi- kyynär-, olkanivel) muuttuivat alastulon aikana myös selvästi. (Kuva 6).



KUVA 6. Motocross-hypyn alastulo -50-150 ms kontaktin alusta.

Tutkittavat lihakset aktivoituivat eri aikaan alastulon aikana. Keskimääräinen amplitudi oli eri lihaksissa suurimmillaan kontaktin eri vaiheissa. Selvää aktivaatiota oli havaittavissa jo 200 ms ennen kontaktia eli ilmalennon aikana alastuloon valmistautuessa. Eri lihasten aktivoituminen oli ajallisesti samankaltaista kaikilla koehenkilöillä.

Vastus lateraalisen esiaktiivisuus alkoi noin 100 ms ennen kontaktia ja kasvoi tasaisesti, kunnes aEMG saavutti huippunsa 50-100 ms kontaktin jälkeen. Aktiivisuus jatkui tasaisena noin 370 ms kontaktin alusta, jonka jälkeen se väheni huomattavasti. Vastus

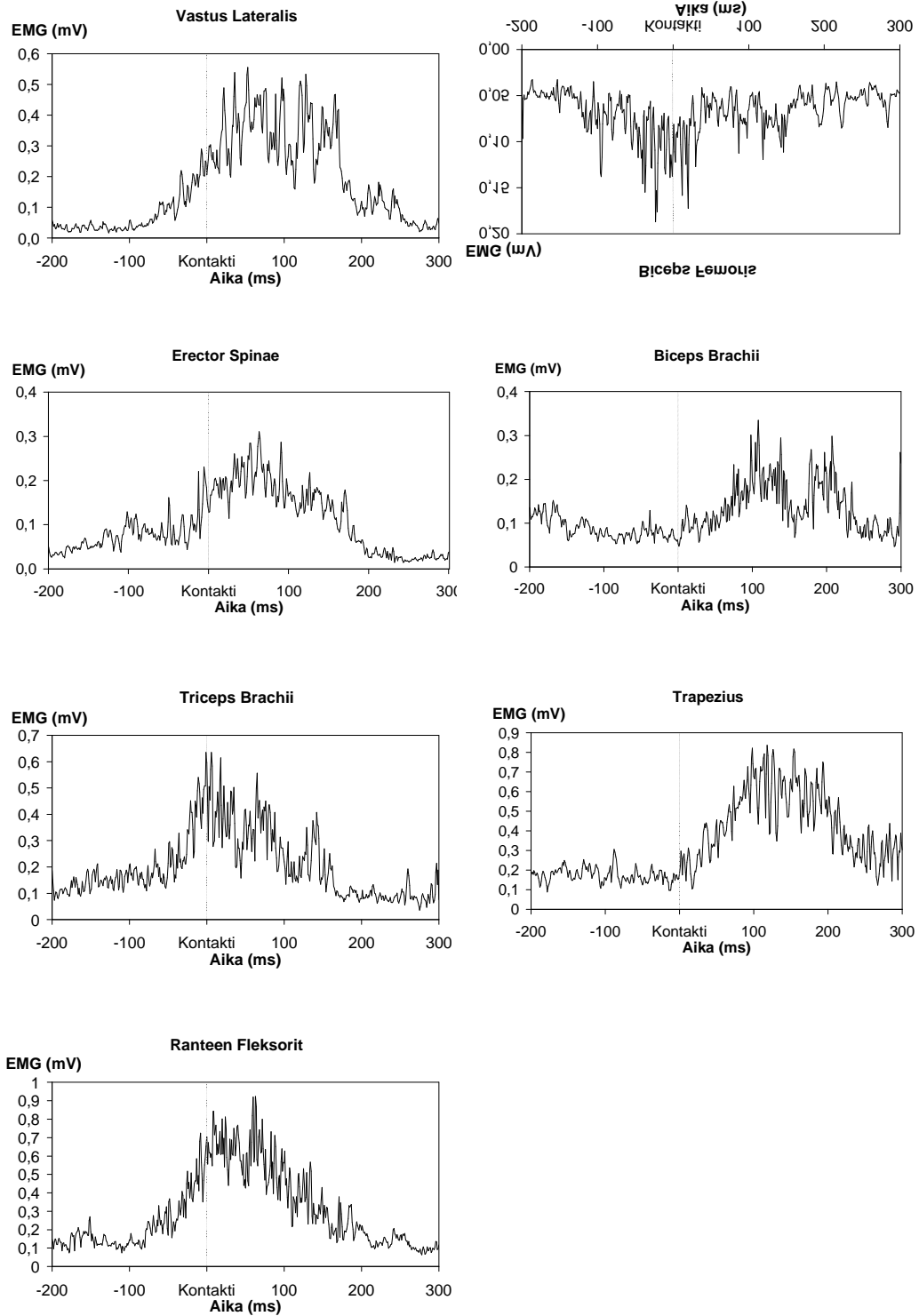
lateralis oli aktiivinen alastulossa sekä taka- että etupyörän koskettaessa maahan. (Kuva 7).

Biceps femoriksen aktiivisuus oli melko tasaista koko alastulon ajan ja muutokset muihin lihaksiin verrattuna olivat pieniä. aEMG alkoi kasvaa tasaisesti jo 200 ms ennen kontaktia ja saavutti huippunsa välillä 50-0 ms ennen kontaktia. Aktiivisuus pieneni hitaasti ilmalennon aikaiselle tasolle, mutta aktivoitui hieman lisää uudelleen etupyörän osuessa maahan. (Kuva 7).

Erector spinaen aEMG kasvoi biceps femoriksen tavoin jo 200 ms ennen kontaktia, mutta kontaktin alusta aktiivisuus lisääntyi voimakkaasti ja saavutti huippunsa noin 50 ms kontaktin jälkeen. Aktiivisuus palasi tasaisesti ilmalennon aikaiselle tasolle noin 200 ms kontaktista. (Kuva 7).

Biceps brachiin voimakas aktivoituminen alkoi kontaktin alusta ja oli suurimmillaan noin 100 ms sen jälkeen. Toinen aktivoitumishuippu oli havaittavissa 200 ms kontaktin jälkeen. Trapeziuksen aktivoituminen tapahtui samaan aikaan biceps brachiin kanssa. Voimakas aktivoituminen alkoi kontaktin alusta ja pysyi tasaisena välillä 100-200 ms, jonka jälkeen väheni pysyen kuitenkin aktiivisempana kuin ilmalennon aikana. Sekä biceps brachii että trapezius olivat aktiivisimmillaan toisen voimapiikin aikana ja vielä sen jälkeenkin. (Kuva 7).

Triceps brachiin aktiivisuus kasvoi loivasti jo 200-120 ms ennen kontaktia, jonka jälkeen aktiivisuus alkoi lisääntyä voimakkaammin ja oli suurimmillaan kontaktin alkamessa. Aktiivisuus alkoi pienentyä välittömästi ja oli ilmalennon aikaisella tasolla noin 160 ms kontaktin jälkeen. Kontaktin jälkeisessä aktiivisuudessa on havaittavissa selvästi kolme aktiivisuusryöppyä. Ranteen fleksoreiden aktiivisuus oli samankaltaista triceps brachiin kanssa. Voimakas aktivoituminen alkoi noin 80 ms ennen kontaktia ja aEMG pysyi tasaisena kontaktin alusta noin 70 ms eli etupyörän kontaktiin asti, jonka jälkeen on havaittavissa selvä aktiivisuuspiikki. Aktiivisuus pieneni ilmalennon aikaiselle tasolle noin 200 ms kontaktin jälkeen. (Kuva 7).



KUVA 7. Lihasakiivisuus motocross-hypyn alastulossa Vastus Lateralis, Biceps Femoris, Erector Spinae, Biceps Brachii, Triceps Brachii, Trapezius ja Ranteen Fleksorit –lihaksissa.

10 POHDINTA

Tutkitut lihakset aktivoituivat eri järjestyksessä alastulon aikana ja lihasaktiivisuusmallit vaihtelivat huomattavasti. Ensin aktivoitui biceps femoris, jonka aktiivisuushuipun jälkeen vastus lateralis saavutti suurimman aktiivisuutensa. Vastus lateraliksen kanssa lähes samaan aikaan, noin 100 ms ennen kontaktia aktivoituivat triceps brachii, erector spinae ja ranteen fleksorit. Selvästi myöhemmin, kontaktin alusta, alkoivat aktivoitua biceps brachii ja trapezius. Nivelkulmat (kyynär-, polvi- ja olkanivel) muuttuivat alastulon eri vaiheissa eli lihastyö on isometristä, konsentrista ja eksentristä. Alastulo aiheutti kaksi voimapiikkiä alustaan. Ensimmäisen aiheutti takapyörän kontakti ja toisen etupyörän kontakti maahan. Keskimääräinen alustaan kohdistunut voima oli noin kymmenkertainen verrattuna moottoripyörän ja kuljettajan massan aiheuttamaan voimaan. Vaikka iskunvaimentimet joustavat pohjaan asti jo noin 1500 N voimalla, ei kuljettajaan välittyvää voimaa voida verrata suoraan jäljelle jäävään alustaan kohdistuvaan voimaan. Iskunvaimentimet jakavat kuljettajaan kohdistuvan iskun pidemmälle ajalle verrattuna pudotukseen ilman moottoripyörää. Iskunvaimentimen rakenne mahdollistaa sen vaimennuskyvyn muuttumisen iskun voiman ja nopeuden mukaan. Esiaktiivisuudesta puhuttaessa on muistettava, että kontakti on moottoripyörän kontakti ja samalla tietenkin kuljettajan kontakti, mutta iskunvaimentimien välityksellä. Kontaktiksi on määritetty takapyörän osuminen maahan, vaikka käsien lihasten esiaktiivisuutta saattaisi paremmin kuvata etupyörän kontakti.

Hermolihasjärjestelmä valmistautuu törmäykseen aktivoimalla motorisen ohjelman, joka on aikavakioitu ennustetun törmäysajankohdan suhteen. Esiaktiivisuuden avulla saadaan aikaan submaksimaalinen lihasjäykkyys ja nivelmomentti kasvaa. Törmäyksen alussa lihasspindelit aistivat venytystä ja säätelevät lihasaktiivisuutta, jotta niveljäykkyys vähenee kontaktin edetessä. Saattaa myös olla, kuten Dyhre-Poulsen & Laursen (1984) totesivat, että kaikki motoriset yksiköt syttyvät submaksimaalisesti ryöppyinä mahdollistaen näin niveljäykkyyden pienenemisen kontaktin aikana. Vähitellen kontaktin jatkuessa hermolihasjärjestelmän toiminnot palaavat törmäystä edeltäneeseen tilaan.

10.1 Vertailu aiempiin tutkimuksiin

Aiempiä tutkimuksia motocross-hypystä ei ole, mutta verrattuna pudotuksiin jaloille ja käsille tulokset ovat samansuuntaisia. Fagenbaum & Darling (2003) ovat raportoineet quadriceps femoriksen aktivoituvan tavallisesti jo ennen kontaktia, mutta suurin aktiivaatio tapahtuu ensimmäisen 100 ms aikana kontaktista, jolloin pyrkimyksenä on vastustaa polven koukistumista. Myös tässä tutkimuksessa vastus lateralis aktivoitui noin 100 ms ennen kontaktia ja suurin aktiivaatio havaittiin ensimmäisen 100 ms aikana kontaktista. Tosin toisen kontaktin eli etupyörän kontaktin johdosta lihas säilyi erittäin aktiivisena lähes 200 ms ajan. Dyhre-Poulsen ym. (1991) mukaan esiaktiivisuus mahdollistaa iskujen vaimentamisen ja lihaksen ominaisuuksien muuntamisen jousesta vaimentimeksi. Kontaktin aikana jalkojen tehtävänä on vaimentaa iskua iskunvaimentimien lisäksi. Biceps femoriksen aktiivisuus vastaavasti oli suurinta jo ennen kontaktia, mutta keskiarvoistettu aktiivisuus oli vaihteleva koko analysoinnin 500 ms ajan. Hamstring-lihaksen aktiivisuuden on raportoitu vaihtelevan suuresti eri henkilöiden ja suoritusten välillä. Esiaktiivisuutta on havaittu joissain tapauksissa, mutta toisinaan aktiivisuus alkaa vasta kontaktin alusta. (Fagenbaum & Darling, 2003.) Triceps brachiin aktivoituminen noudatti samanlaista mallia kuin Dyhre-Poulsen & Laursen (1984) lihasaktiivisuusmalli apinoista pudotuksissa eri korkeuksilta. Esiaktiivisuus voimistui noin 80 ms ennen kontaktia ja oli suurinta välittömästi kontaktin jälkeen ja laski asteittain kontaktin jatkuessa. Lihasktiivisuuksia vertailtaessa aiempiin tutkimuksiin on kuitenkin huomioitava, että ne on tehty jaloille tai käsille suoraan, koska motocrossista tutkimuksia ei ole tehty. Tässä tutkimuksessa välillisenä vaikuttimena oli moottoripyörä, jonka kontaktin alusta mm. esiaktiivisuus on määritetty. Isku on tällöin tietenkin erilainen ja lisäksi iskunvaimentimet vaimentavat suurin osin kuljettajaan välittyviä voimia.

Triceps brachiin aktivoitumisessa on huomioitavaa selvät EMG-ryöpyt aktiivisuuden jo vähentyessä. Samanlaisia havaintoja ovat tehneet Dietz ym. (1981) ja Dyhre-Poulsen & Laursen (1984). Tässä tutkimuksessa ei kuitenkaan selviä, johtuvatko EMG-ryöpyt venytysrefleksistä vai kaikkien motoristen yksiköiden submaksimaalisesta supistumisesta. Mahdollista venytysrefleksin aiheuttamaa lihasjäykkyyden lisääntymistä on kuitenkin havaittavaissa ranteen fleksoreiden aktiivisuudessa etupyörän kontaktin alkaessa. Myös vastus lateraliksesta on selvä aktiivisuuden lisäksi heti kontaktin jälkeen, mikä saattaa

johtua venytysrefleksistä. (Kuva 7). Vaikka moottoripyörässä on iskunvaimentimet, ovat yhtäläisyydet pudotuksiin pelkille jaloille selvät. Voidaan olettaa, että iskunvaimentimien toiminnan tunteminen ja laskeutumisalustan tunteminen helpottavat alastulon aikaista motorista ohjausta. Silti alastulossa voi tapahtua jotain yllättävää, johon aikaan vakioitu motorinen kontrolli ei ole valmistautunut. McDonagh & Duncan (2002) mukaan keskushermosto ei kuitenkaan vain tuota esiohjelmoitua motorista aktiivisuutta tai reagoi sensoriseen palautteeseen. Keskushermosto pikemminkin valmistelee odotusten mukaisen mallin, jota verrataan itse tapahtuman sensoriseen palautteeseen ja toimii lopulta näiden yhteisvaikutuksesta. Aivot odottavat voimakasta proprioseptistä signaalia kontaktin jälkeen ja mikäli motocross-hypyn alastulossa laskeutumisalusta onkin esimerkiksi odotettua pehmeämpi, ei odotusten mukainen motorinen ohjelma toimi. Tällöin proprioseptoreiden toiminta korostuu.

10.2 Eri lihasten merkitys alastulossa

Ilmalennon aikana oli havaittavissa vaihtelevaa lihasaktiivisuutta, jolloin säädellään kuljettajan painopistettä muuttamalla moottoripyörän asentoa. Takapyörän kontaktin aiheuttamaa kuljettajaan kohdistuvaa voimaa vaimentavat ensin jalkojen lihakset. Vaikka ilmalennon aikana vielä noin 100 ms ennen kontaktia sekä etu- että takapyörä ovat samalla tasolla, ilmeisesti vastus lateraaliksen aktivoituminen saa ainakin osittain aikaan takapyörän laskeutumisen selvästi ennen etupyörää. Erector spinaen aktivoituminen vähentää käsiin kohdistuva rasiitusta etupyörän osuessa maahan ja tasapainottaa rasiituksen jakaantumista vartalon kulmaa säätelemällä. Puristusote ohjaustangosta voimistuu jo ennen takapyörän kontaktia, mutta on voimakkaimmillaan ranteen fleksoreiden aktiivisuuden perusteella etupyörän kontaktin alussa. Voidaan olettaa, että takapyörän kontakti aiheuttaa suuremman lihasaktiivisuuden jalkojen lihaksissa kuin käsien. Silti on huomattava esimerkiksi ranteen fleksoreiden voimakas supistuminen jo takapyörän kontaktia ennen. Voi olla, että tasapaino on siinä vaiheessa kallistumassa hieman taaksepäin ja puristusotetta on lisättävä. Vastus lateralis on tärkeässä osassa etupyörän kontaktin jälkeenkin, sillä molemmat iskunvaimentimet jatkavat vielä joustamistaan. Käsien lihakset näyttäisivät jakavan selvästi niihin kohdistuvan rasiituksen. Ranteen fleksorit vastaavat puristusotteesta ja triceps brachii painaa etupyörää alas takapyörän kontaktin ai-

kana sekä auttaa kuljettajaa pysymään tasapainossa. Sen jälkeen biceps brachii ja trapezius aktivoituvat ja ottavat etupyörän kontaktista ohjaustangon välityksellä kuljettajaan kohdistuvan iskun vastaan ja samalla estävät käsien liiallisen joustamisen ja rintakehän osumisen ohjaustankoon.

Kyröläinen ym. (1998) tutkivat harjoittelemattomilla naisilla harjoittelun vaikutusta yläraajojen toimintaan. Harjoittelun myötä agonisti-antagonisti koordinaatio parani. Tässä tutkimuksessa esimerkkinä agonistin ja antagonistin koordinaatiosta harjoittelun myötä oli triceps ja biceps brachiiin eri aikainen aktivoituminen alastulon aikana. Biceps brachiiin aktivoituminen alkoi vasta kontaktin jälkeen, kun triceps brachii oli jo saavuttanut suurimman aktiivisuutensa. Biceps brachiiin kaksi aktiivisuushuippua osuvat juuri kohtiin, joissa triceps brachiiin aktiivisuus oli pientä. Vastaavasti triceps brachiiin säännölliset aktiivisuusryöpyt ajoittuivat kohtiin, joissa biceps brachiiin aktiivisuus oli pientä.

10.3 Mahdolliset virhelähteet

Hypyt suoritettiin yhdellä moottoripyörällä, joten sen vaikutus alastulossa oli kaikille sama. Hyppypituudet olivat keskimäärin samanpituisia, eikä noin 2-3 metrin pituuserolla ollut vaikutusta lihasaktivaatioon. Voimalevyyn kohdistunut isku oli sen verran suuri, että joissain hyppyissä voimataso meni yli maksimin 20000 N. Se on saattanut pienentää raportoitua voimatasoa hieman todellisesta arvosta. Myös nollataso muuttui tärähdyksen johdosta lähes joka hypyllä, joka on saattanut vaikuttaa voiman palautumiseen suurimpien voimatasojen jälkeen. Analyysiin valittiin kuitenkin vain ne 21 hyppyä, joissa voimakäyrät ja EMG-signaali olivat häiriöttömiä. Voimalevyn päällä ollut kumimatto on myös saattanut vaimentaa iskua, mutta luultavasti vaikutus on ollut erittäin vähäinen. Mittaustilanteessa ei havaittu tekijöitä, jotka olisivat vaikuttaneet virheellisesti tuloksiin.

10.4 Johtopäätökset

Kuljettajan ja moottoripyörän alustaan kohdistuvat reaktivoimat motocross-hypyn alastulossa ovat erittäin suuret. Iskunvaimentimet vaimentavat kuljettajaan välittyviä voimia, mutta tässä tutkimuksessa kuljettajaan kohdistuvien voimien suuruutta ei mitattu. Lihakset aktivoituvat eri järjestyksessä motocross-hypyn alastulossa ja kuljettaja pyrkii vastustamaan erityisesti polvi- ja kyynärnivelen liiallista koukistumista. Lihastyötä motocrossissa on pidetty pääasiassa isometrisenä, mutta tämän tutkimuksen perusteella toistuvien iskujen johdosta nivelkulmat muuttuvat lihasten samanaikaisesti supistuessa, joten lihastyön voidaan osoittaa olevan myös konsentrista ja eksentristä. Eri lihasten oikea-aikaisen aktivoitumisjärjestyksen ja lihasjäykkyyden säätelyn voidaan olettaa olevan perusta onnistuneelle alastulolle ja vähentävän kuljettajaan välittyviä iskuja. Keskushermoston esiohjelmoitun motorisen kontrollin ja sensorisen palautteen yhteisvaikutus saa aikaan oikea-aikaisen ja suuruisen lihasaktivaation. Oikea-aikaisen lihasaktivaation ja lihasten yhteistoiminnan eri tilanteissa voidaan olettaa vaikuttavan olennaisesti myös ajamisen taloudellisuuteen. Agonisti-antagonisti koordinaatio on myös tärkeässä osassa alastulon onnistumisen kannalta. Voimaharjoittelussa tulisi huomioida lihasten aktivoitumisjärjestys alastulossa ja harjoittaa kehoa ottamaan vastaan hypyn alastulon kaltaisia törmäyksiä, ja harjoittaa lihasjäykkyyden säätelyä vaimentamalla erilaisia pudotuksia sekä käsille että jaloille. Tärkeää on kuitenkin testata sopivat törmäykset, jotta loukkaantumisilta vältytään. Harjoittelussa on myös huomioitava, että alastulossa voimantuotto eri lihaksissa tapahtuu nopeasti ja kontaktista välittyvät voimat vaikuttavat vain noin 200 ms, jonka aikana kuljettajan on tuotettava riittävästi voimaa ottaakseen iskun vastaan ja käytännössä saattaa seuraava isku seurata välittömästi. Tämän tutkimuksen perusteella voidaan hahmottaa kuitenkin vain lihasaktivaatiota hypyn alastulossa tasaiselle alustalle takapyörä edellä. Lisätutkimuksia tarvitaan selvittämään lihasaktivaatiota hypyn muissa vaiheissa ja motocross-radan eri kohdissa, kuten mutkissa, epätasaisilla suorilla ja jarrutuksissa. Tärkeää olisi myös selvittää kuljettajaan moottoripyörän välityksellä kohdistuvia voimia ja voimantuoton suuruutta eri tilanteissa.

11 LÄHTEET

- Arampatzis, A. Morey-Klapsing, G. Brüggeman, G-P. 2003. The effect of falling height on muscle activity and foot motion during landings. *Journal of Electromyography & Kinesiology*. Vol 13. 533-544.
- Bales, D. Semics, G. 1996. Pro motocross and off-road motorcycle riding techniques. MBI Publishing Company, Osceola, USA.
- DeGoede, K.M. Ashton-Miller, J.A. 2002. Fall arrest strategy affects peak hand impact force in a forward fall. *Journal of Biomechanics*. Vol 35. 843-848.
- Dietz, V. Noth, J. Schmidtbleicher, D. 1981. Interaction between pre-activity and stretch reflex in human triceps brachii during landing from forward falls. *Journal of Physiology*. Vol 311. 113-125.
- Diotto-Gerrard, P. Gerrard, D. 1999. Overuse injury in motocross: Motocross riders forearm. University of Otago. New Zealand.
- Dyhre-Poulsen, P. Laursen, A.M. 1984. Programmed electromyographic activity and negative incremental muscle stiffness in monkeys jumping downward. *Journal of Physiology*. Vol 350. 121-136.
- Dyhre-Poulsen, P. Simonsen, E.B. Voigt, M. 1991. Dynamic control of muscle stiffness and H-reflex modulation during hopping and jumping in a man. *Journal of Physiology*. Vol 437. 287-304.
- Fagenbaum, R. Darling, M.S. Darling W.G. 2003. Jump Landing Strategies in Male and Female College Athletes and the Implications of Such Strategies for Anterior Cruciate Ligament Injury. *The American Journal of Sports Medicine*. Vol 31. 233-240.

Federation internationale de motocyclisme. 2003. FIM standards for motocross circuits
<http://www.fim.ch/en/rules/circuits/cms/default.htm#>. 17.12.2003.

Honda Motor Co, Ltd. 2003. Honda CRF 450 R Owner's maintenance manual. Japan.

Horita, T. Komi, P.V. 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. *European Journal of Applied Physiology*. Vol 88. 76-84.

Kyröläinen, H. Komi, P.V. 1995a. Differences in mechanical efficiency between power- and endurance-trained athletes while jumping. *European Journal of Applied Physiology*. Vol 70. 36-44.

Kyröläinen, H. Komi, P.V. 1995b. The function of neuromuscular system in maximal stretch-shortening cycle exercises: comparison between power- and endurance-trained athletes. *Journal of Electromyography & Kinesiology*. Vol 5. 15-25.

Kyröläinen, H. Komi, P.V. Häkkinen, K. Dong Ha, K. 1998. Effects of power training with stretch-shortening cycle (SSC) exercises of upper limbs in untrained women. *Journal of Strength and Conditioning Research*. Vol 12. 248-252.

McNitt-Gray, J.L. 1993. Kinetics of lower extremities during drop landings from three heights. *Journal of Biomechanics*. Vol 26. No 9. 1037-1046.

McDonagh, M. J. N. Duncan, A. 2002. Interaction of pre-programmed control and natural stretch reflexes in human landing movements. *Journal of Physiology*. Vol 544. 985-994.

Mäkelä, S. 1988. Motocrossvalmennus C-lajiosa. Suomen Moottoriliitto.

Odaglia, G. Magnano, G. 1979. Osservazioni e rilievi sull'impegno cardiaco nel motocross. *Medicina Dello Sport*. Vol 32. No 3. 199-206.

- Olate, J.A. Guskiewicz, K.M. Sullivan, R.J. 2001. Augmented feedback reduces jump landing forces. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. Vol 31. No 9. 511-517.
- Orendurff, M.S. Smith, G.A. 1997. Initial impact acceleration with mountain bike suspension forks. *American Society of Biomechanics. Kongressiesitys*.
- Santello, M. McDonagh, M.J. 1998. The control of timing and amplitude of EMG activity in landing movements in humans. *Experimental Physiology*. Vol 83. No 6. 857-874.
- Seniam. 1999. European recommendations for surface elctromyography. *Biomedical and health research program*.
- Suomen Moottoriliitto. 1986-2003. Testituloksia. *Julkaisematon aineisto*.
- Öhlins Racing AB. 2003. Owners Manual. Öhlins shock absorbers, MX/Enduro/Off Road. *Upplands Väsby, Sweden*.