

**KAHDEN KUUKAUDEN TEHOSTETUN  
HYPPELYHARJOITTELUN VAIKUTUKSIA LUUSTOON,  
HORMONIPITOISUUKSIIN JA SUORITUSKYKYYN  
NUORILLA YLEISURHEILIJOILLA**

Antti M. J. Mero

Liikuntafysiologia

Kandidaatintutkielma

LFYA005

Kevät 2012

Liikuntabiologian laitos

Jyväskylän yliopisto

Työn ohjaajat: Antti A. Mero

Heikki Kyröläinen

## TIIVISTELMÄ

*Mero Antti M.J. 2012. Kahden kuukauden tehostetun hyppelyharjoittelun vaikutuksia luustoon, hormonipitoisuuksiin ja suorituskykyyn nuorilla yleisurheilijoilla. Liikuntafysiologia. Kandidaatintutkielma. Liikuntabiologian laitos, Jyväskylän yliopisto, 43 s.*

Hyppäämistä pidetään normaalisti lyhytkestoisena nopeusvoimasuorituksena, jonka energianlähteenä toimivat adenosiinitrifosfaatti- ja kreatiifosfaattivarastot. Kevyet määrälliset hyppelyt vahvistavat lihaksistoa, luustoa, niveliä ja sidekudoksia. Kovempitehoiset ponnistukset ja hypyt kehittävät lisäksi reflektorista ja tahdonalaista hermostoa. Kokonaisuutena hyppelyharjoittelu kehittää iskunsietoa, venymis-lyhenemis-syklin supistuksenopeutta ja elastisuutta. Vaikka hyppelyharjoittelua on aikaisemmin vieroksuttu lapsilla ja nuorilla loukkaantumisvaaran vuoksi, nykyään tiedetään, että erilaiset hyppelyt ovat tärkeä perusta kasvavalle lapselle ja nuorelle. Kasvu lapsella ja nuorella on suhteellisen tasaista aina murrosikästä asti, jolloin kasvussa tapahtuu selvä nopeutuminen. Murrosiän alku ajoittuu 8.-12. ikävuoden välille tytöillä ja 10.-14. ikävuoden välille pojilla. Murrosiän aikana pituuden, painon ja voiman kasvu ovat nopeimmillaan. Kalenterikiän mukaan samanikäisillä voi olla useiden vuosien ero biologisessa iässä juuri murrosiän aikana. Luuston herkkyysvuodet iskukselle (mm. hyppely) ovat juuri murrosiässä. Luu mukautuu mekaaniselle rasitukselle muuttamalla sen rakennetta ja tiheyttä. Tämä luun uusiutuminen vapauttaa vereen biokemiallisia luumarkkereita (mm. osteokalsiini ja TRAP5b = band 5 tartrate-resistant acid phosphatase), joista saadaan tietoa luun aineenvaihdunnasta. Tämän tutkimuksen tarkoitus oli tutkia tehostetun hyppelyharjoittelun vaikutuksia luustoon, hormonipitoisuuksiin ja suorituskykyyn nuorilla yleisurheilijapojilla ja -tytöillä.

**Menetelmät.** Koehenkilöinä oli nuoria yleisurheilijapoikia (n=10; ikä  $14,0 \pm 0,9$  v; pituus  $169,5 \pm 10,5$  cm; paino  $55,8 \pm 11,1$  kg) ja yleisurheilijatyttöjä (n=10; ikä  $14,1 \pm 1,0$  v; pituus  $164,4 \pm 8,7$  cm; paino  $52,6 \pm 9,7$  kg), jotka harjoittelivat 3-5 kertaa viikossa yleisurheilua. He suorittivat kahden kuukauden tehostetun hyppelyharjoittelujakson (kaksi tehostettua harjoitusta viikossa). Määrät olivat alussa korkeat, 200 - 250 hyppyä per harjoitus matalalla teholla. Jakson edetessä määrät laskivat 50 - 150 hyppyyn per harjoitus ja tehot nousivat. Hyppelyharjoitukset olivat yhdistetty heidän omaan harjoitusohjelmiinsa. Alku- ja loppumittauksiin sisältyivät antropometria ja paastoverinäyte aamulla, josta analysoitiin perusverenkuva, testosteroni, kortisoli, SHBG, osteokalsiini, S-TRAP5b, kolesteroli, S-HDL, S-LDL ja S-Trigl. Suorituskykytestit olivat iltapäivällä sisältäen 20 m:n juoksun lentävällä lähdöllä, vertikaalihypyn kevennyksellä ja ilman, reaktiivisuustehon päkiähyppelyssä ja jalkojen ojentajalihasten maksimaalisen isometrisen voiman.

**Tulokset.** Luumarkkereista osteokalsiinipitoisuus nousi jakson aikana merkitsevästi sekä pojilla ( $27,3 \pm 20,0$  ng/mL vs.  $46,4 \pm 27,6$  ng/mL;  $p < 0,01$ ) että tytöillä ( $19,1 \pm 9,1$  ng/mL vs.  $31,4 \pm 14,0$  ng/mL;  $p < 0,01$ ). Osteokalsiinin ero poikien ja tyttöjen välillä ei ollut merkitsevä. S-TRAP5b:ssä ei tapahtunut merkitsevää muutosta jakson aikana, pojat ( $17,0 \pm 6,4$  U/l vs.  $17,4 \pm 6,1$  U/l) ja tytöt ( $11,0 \pm 5,0$  U/l vs.  $10,9 \pm 4,8$  U/l). Ero poikien ja tyttöjen välillä oli S-TRAP5b:ssä kuitenkin merkitsevä ( $p < 0,05$ ). Muista veriarvoista jakson aikana kortisolipitoisuus nousi merkitsevästi molemmilla sukupuolilla ( $p < 0,01$ ) ja myös testosteronipitoisuus nousi merkitsevästi sekä pojilla ( $p < 0,01$ ) että tytöillä ( $p < 0,05$ ). Suorituskykytesteistä pojilla kevennyshyppy ja reaktiivisuusteho kehittyivät eniten ( $p < 0,001$ ). Myös staattisen hypyn kehitys oli merkitsevä ( $p = 0,013$ ). Sen sijaan juoksuvoimien säilyi ennallaan (ns). Tytöillä sen sijaan juoksuvoima kehittyi huomattavasti ( $p$

= 0,005). Reaktiivisuusteho ja kevennyshyppy kehittivät tytöillä myös merkitsevästi ( $p = 0,002$ ;  $p < 0,001$ ). Isometrinen jalkojen ojentajalihasten maksimivoima heikkeni kaikilla koehenkilöillä ja erityisesti pojilla heikkeneminen oli merkitsevää ( $p = 0,037$ ).

**Pohdinta ja johtopäätökset.** Harjoittelun vaikutuksia luumarkkereihin on tutkittu murrosikäisillä vähän, joten ei voida yksiselitteisesti sanoa, oliko osteokalsiinipitoisuuksien nousu puhtaasti harjoitusjakson ansiota vai oliko luontaisella kasvulla osuutta kehitykseen. Kahden kuukauden jakso on lyhyt kasvua ajatellen, mutta nousu pitoisuudessa voi olla mahdollista, koska esim. testosteronitasokin nousi tässä tutkimuksessa kahden kuukauden aikana. Luun hajotusmuuttuja TRAP5b ei juuri muuttunut jakson aikana, mikä oli oletettavaa aikaisempien tutkimusten perusteella. Myös kortisolin nousu oli oletettua harjoittelun koventuessa jakson aikana. Pojilla osteokalsiini- ja TRAP5b -pitoisuudet olivat molemmissa mittauksissa suuremmat kuin tytöillä. Tämä osoittaisi sitä, että tässä tutkimuksessa pojilla luun aineenvaihdunta (muodostus ja hajotus) olisi ollut vilkkaampaa kuin tytöillä. Tämä tutkimus vahvistaa sen käsityksen, että hyppelyharjoittelu tehostaa luun uudismuodostusta eikä juuri vaikuta luun hajotukseen millään tavalla oli se sitten pelkästään harjoittelun tai harjoittelun sekä kasvun yhteisvaikutusta. Joka tapauksessa luut todennäköisesti vahvistuivat harjoittelujakson aikana, vaikka esim. luun massa- ja tiheysmittauksia ei tässä tutkimuksissa ollutkaan. Lisäksi vahvistui käsitys siitä, että hyppelyharjoittelu on turvallista ja kehittävää nuorilla kunhan urheilijalla on riittävä harjoitustausta, tukilihakset ovat vahvistuneet edeltävällä harjoittelulla, suoritustekniikat ovat kunnossa ja hyppelyharjoittelun suunnitelma on tasapainossa ja nousujohteista.

**Avainsanat:** hyppely, liikuntafysiologia, luumarkkeri, hormoni, murrosikä

# SISÄLTÖ

## TIIVISTELMÄ

1 JOHDANTO .....	5
2 LAPSEN JA NUOREN KASVU JA KEHITYS .....	6
2.1 Lapsen kasvu ja kehitys.....	6
2.2 Murrosiän kasvu ja kehitys .....	6
2.2 Biologinen ikä ja kalenteri-ikä .....	7
3 HYPPELYHARJOITTELUN KUORMITUSVAIKUTUKSET ELIMISTÖÖN .....	9
3.1 Hyppäämisen biomekaniikka .....	9
3.2 Fysiologiset vaikutukset .....	10
4 HARJOITUSYKSIKKÖ JA HARJOITTELUN OHJELMOINTI.....	18
5 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEEESIT.....	21
6 MENETELMÄT .....	22
6.1 Koehenkilöt .....	22
6.2 Koeasetelma .....	22
6.3 Aineiston keräys ja analysointi.....	25
6.4 Tilastolliset menetelmät .....	28
7 TULOKSET .....	29
8 POHDINTA .....	33
9 LÄHTEET.....	38
LIITE 1. HARJOITUSJAKSO .....	42

# 1 JOHDANTO

Hyppelyharjoittelua on aikaisemmin tutkittu melko paljon. Varsinkin erilaista vastusharjoittelua (voimaharjoittelu), jonka ärsykkeet ovat hyvin paljon samoja, mitä hyppäämisessä, on tutkittu erittäin paljon. Lapsilla ja nuorilla tehtyjä hyppelytutkimuksia löytyy vähemmän kuin aikuisilla. Näitä on ilmeisesti varottu tai vältetty, koska aikaisemmin on pelätty kovien hyppelykuormitusten olevan vaaraksi lasten luontaiselle kehitykselle.

Luukudokseen ja luustoon liittyviä aikuisilla tehtyjä tutkimuksia löytyy paljon. Varsinkin ikääntyvien luita ja osteoporoosia on tutkittu viime vuosina monissa tutkimusryhmissä. Näiden tutkimusten joukossa on myös artikkeleita, jotka ovat keskittyneet biokemiallisten luumarkkerien tutkimiseen. Nämä luumarkkerit vapautuvat verenkiertoon luun muodostuksen (esim. osteokalsiini) ja hajotuksen (esim. TRAP5b = band 5 tartrate-resistant acid phosphatase) aikana selittäen luun aineenvaihdunnan tasapainoa. Aikaisempien tutkimusten mukaan hyppely- ja vastusharjoittelu ovat lisänneet biokemiallisia luun muodostumiseen liittyviä luumarkkereita (esim. osteokalsiini) (Guadalupe-Grau ym. 2009; Lester ym. 2009). Toisin sanoen luut ovat vahvistuneet. Sen sijaan lapsille ja nuorille tehtyjä luututkimuksia löytyy vähän. Luiden kasvun tiedetään kuitenkin olevan nopeimmillaan murrosiässä. Tytöt näyttävät saavuttavan aikuisten luuarterit poikia aikaisemmin. Luumarkkeripitoisuudet ovat murrosiässä aikuisten arvoja suurempia, mutta viitearvoja ei lapsille ja nuorille kuitenkaan löydy. Yhdistettyjä luu- ja hyppelytutkimuksia on tutkittu nuorilla murrosiän ympärillä olevilla tytöillä ja pojilla myös vähän. Lapset, jotka ovat osallistuneet kovatehoisiin liikuntalajeihin (iskutus, hyppely), ovat yleensä kuitenkin omanneet suuremman luumassan. Luuston herkkyysvuodet iskutukselle voisivat olla tytöillä 10 – 12 vuoden iässä ja pojilla 12 – 14 vuoden iässä. (MacKelvie ym. 2002; Magnusson ym. 1995; Witzke & Snow 2000).

Sellaisia hyppelytutkimuksia, joissa olisi selvitetty luumarkkerien ja hyppelyn yhteyksiä yleisurheilijanuorilla, ei ole kirjallisuuden mukaan ennen tehty. Tämän tutkimuksen tarkoituksena olikin tutkia kahden kuukauden tehostetun hyppelyharjoittelun vaikutuksia luustoon, mutta myös hormonipitoisuuksiin ja fyysiseen suorituskykyyn murrosikäisillä yleisurheilijatytöillä ja -pojilla.

## **2 LAPSEN JA NUOREN KASVU JA KEHITYS**

Kasvu määräytyy vanhempien perimän mukaan, mutta siihen voi vaikuttaa myös ulkoiset tekijät kuten ravitsemus. Lapsella ja nuorella kasvu on suhteellisen tasaista aina murrosikään asti, jolloin kasvussa tapahtuu selvä nopeutuminen. Tähän vaikuttavat monet tekijät, eniten kuitenkin hormonaalisen toiminnan vilkastuminen. (Hakkarainen ym. 2009; Mero ym. 1990.)

### **2.1 Lapsen kasvu ja kehitys**

Lapsella kasvu on suurelta osin melko tasaista kudoksissa (lihakset, luusto ja sisäelimet). Hermoston kasvu sen sijaan on lapsena kiivaimmillaan. Viiden ja kuuden ikävuoden aikana hermosto on jo kehittynyt noin 80 - 90 % aikuisen koosta ja noin 12. – 13. ikävuoden paikkeilla sen kehitys on jo saavuttanut yli 90 % aikuisen tasosta. Urheilussa tämä tarkoittaa sitä, että taidon ja nopeuden harjoittamista tulisi painottaa juuri lapsuudessa ikävuosina 1-12. Käytännössä lapsen tulisi liikkua paljon ja harrastaa mahdollisimman monipuolisesti eri lajeja. (Mero ym. 1990.)

### **2.2 Murrosiän kasvu ja kehitys**

Murrosiässä alkaa kiivas kasvun nopeutuminen ja sukuelinten kypsyminen. Murrosikä voidaan jakaa kolmeen vaiheeseen: hidas kasvun kehitys varhaisessa murrosiässä; noin kaksi vuotta kestävä kasvun pyrähdys; kasvun hidastuminen ja päättyminen. Murrosiän alku ajoittuu 8.-12. ikävuoden välille tytöillä ja 10.–14. ikävuoden välille pojilla. Pituuskasvupyrähdys on nopeimmillaan tytöillä noin 12-vuotiaana ja pojilla noin 14-vuotiaana (kuvio 1). Pituuskasvu on nopeimmillaan kasvupyrähdyksen huipussa, jolloin kasvu on tavallisesti 9-10 cm vuodessa. Pituuskasvu pysähtyy noin 3-5 vuoden kuluttua huippukasvusta. Pojat kasvavat keskimääräisesti tyttöjä pidemmiksi johtuen pidemmästä kasvukaudesta ja/tai murrosiän suuremmasta kasvupyrähdyksestä ja taustalla olevasta hormonaalisesta erilaisuudesta. Aikuispituus voidaan ennustaa lapsen ja vanhempien pituuden

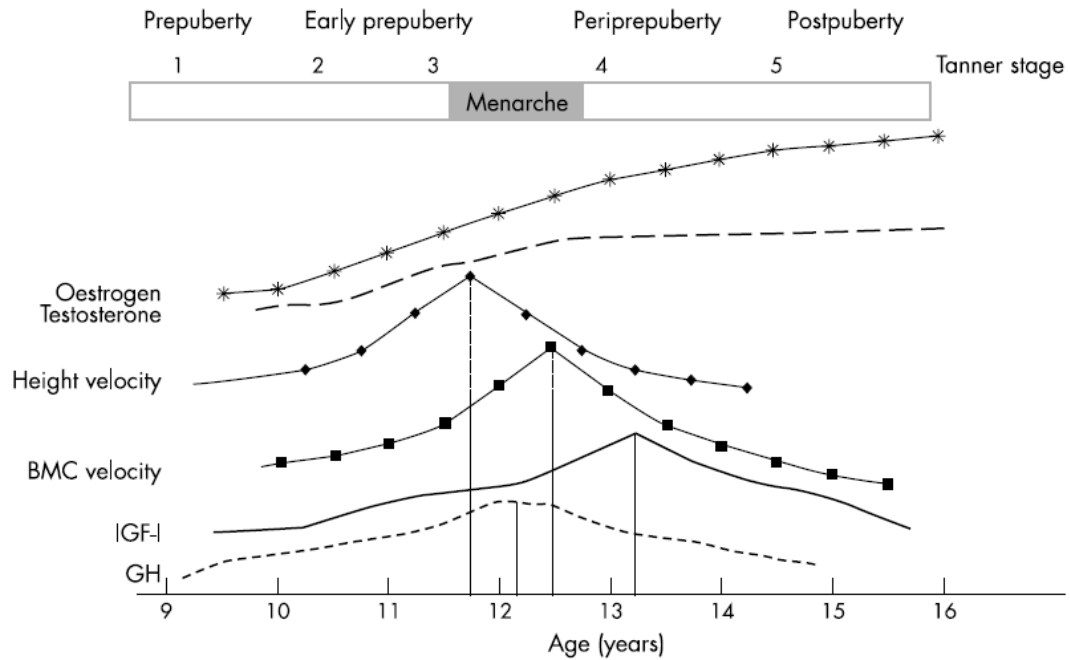
avulla. Kasvuhormoni on pääasiallinen pituuden säätelijä lapsuudessa. Murrosiässä ja sen jälkeen sukupuolihormonit vaikuttavat kasvuhormonin kanssa pituuden kehittymiseen. (Mero ym. 1990.)

Murrosikävaiheen yksi voimakkaimmista käynnistäjistä pojilla ja pieneltä osin myös tytöillä on androgeenierityksen (testosteroni) lisääntyminen, joka vaikuttaa mm. lihasmassan ja sukuelinten kehitykseen. Tytöillä sukuelinten kehitykseen vaikuttaa myös estrogeeni. Muita tärkeitä murrosiän kasvua sääteleviä hormoneja ovat kasvuhormoni ja kilpirauhashormoni. Poikien murrosikä alkaa kivesten ja kivespussin suurenemisena ja jatkuu peniksen suurenemisena noin vuotta myöhemmin. Ääni madaltuu koko murrosiän ajan. Lihasmassan kasvuhuippu on 0,5 vuotta pituuskasvuhuipun jälkeen ja lihasvoiman kasvuhuippu on taas 0,5 vuotta lihasmassan kasvuhuipun jälkeen suomalaisilla tytöillä ja pojilla. Toisin sanoen tytöillä on kyseessä 12,0, 12,5 ja 13,0 ikävuodet ja pojilla 14,0, 14,5 ja 15,0 ikävuodet pituuden, lihasmassan ja lihasvoiman kasvuhuipuissa. Tytöillä murrosikä alkaa tavallisesti rintarauhasten kehittymisenä. Kuukautiset alkavat vasta kasvun jo hidastuessa (suomalaisilla tytöillä noin 13-vuotiaana). Urheilun kannalta ajatellen tehokkaan voima-, nopeus- ja kestävyysharjoittelun voi aloittaa murrosiän aikana. Silloin lihaksiston, jänteiden, nivelsiteiden, luuston sekä hengitys- ja verenkiertoelimistön kasvun kehitys on kiihtyvää, mutta harjoittelu saa aikaan myös hyviä vasteita hormonaalisen säätelyn lähestyessä aikuisen tasoa. (Mero ym. 1990; Mero ym. 2012.)

### **2.3 Biologinen ikä ja kalenteri-ikä**

Yksilöllinen biologinen kypsyminen voi olla lapsena ja erityisesti murrosiässä hyvinkin vaihtelevaa. Samanikäisillä kalenteri-ian mukaan voi olla vuosien ero biologisessa iässä juuri murrosiän aikana. Biologista ikää voidaan arvioida mm. luuston perusteella (luustoiästä), hampaiden puhkeamisen perusteella, määrittämällä sukupuolihormoni- ja kasvuhormonipitoisuudet verikokein tai sukupuolisen kypsytyden perusteella (puberteettikehityksen asteet, Tannerin asteikko 1-5). Tanner aste 1 murrosikää edeltävä ikä, asteet 2 ja 3 ovat aikaista murrosikää, aste 4 on jo myöhäistä murrosikää ja aste 5 täyskasvuista (kuvio 1). Murrosiän alku ja aikataulu riippuvat selvemmin luustoiästä kuin kalenteri-ikästä. Biologisen iän perusteella voidaan arvioida lapsen fyysistä suorituskykyä ja biolo-

gisesti varhain kypsyvät pärjäävätkin muita paremmin urheilulajeissa, jotka vaativat eritoten voimaa ja nopeutta. (Hakkarainen ym. 2009; MacKelvie ym. 2002.) Kuvio 1 kuvaa kasvuun liittyvien hormoni-, pituus- ja luun mineraalipitoisuusarvojen muutosta tytöillä murrosiän aikana.



**KUVIO 1.** Murrosikäisten tyttöjen kasvuun liittyviä arvoja. Kuvaajalla näkyy y-akselilla estrogeeni-, testosteroni-, pituuskasvunopeus-, luun mineraalipitoisuus- (BMC), IGF-1- ja kasvuhormonikäyrät (GH) murrosikäisillä tytöillä. Katkoviivakäyrät (testo ja GH) ovat yhdistetty ikään (x-akseli alhaalla), muut käyrät Tannerin asteikkoon (x-akseli ylhäällä). Kuvaajalta näkee, miten tyttöjen eri arvot käyttäytyvät murrosiän kasvun aikana. Poikien arvoja ei kuvaajalla näy, mutta pojilla pituuskasvun ja BMC:n piikki tulevat tyttöjä jäljessä 1,5 vuotta (pituuskasvu 13,4 vuoden ikäisenä, Tanner aste 4; BMC 14 vuoden ikäisenä, Tanner aste 4). GH- ja IGF-1 –pitoisuuspiikit ovat tytöillä ja pojilla samat. (MacKelvie ym. 2002.)

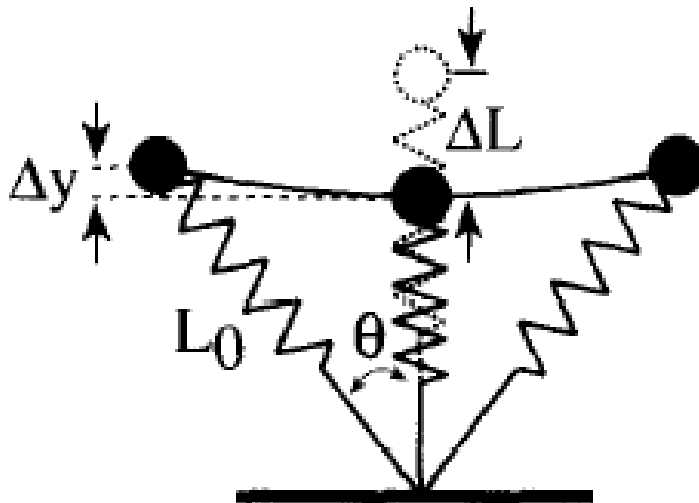


## 3 HYPPELYHARJOITTELUN KUORMITUSVAIKUTUKSET ELIMISTÖÖN

### 3.1 Hyppäämisen biomekaniikka

Hyppääminen on liikettä, jossa kehon painopiste nousee ylöspäin ja hyppääjän jalat irtoavat maasta. Erilaisia hyppyjä voi olla mm. pituus- tai korkeussuuntaisia, vauhdillisia tai vauhdittomia, yhdellä tai kahdella jalalla suoritettuja, staattisia (ilman esikevennystä) tai esikevennettyjä. Juokseminen on tavallaan myös hyppäämistä, sillä siinä toimivat ja toteutuvat samat periaatteet. Tyypillisimmissä hyppyissä hyödynnetään esikevennystä, joka tarkoittaa elastisen energian varastoimista ja vapauttamista menetelmällä nimeltä venymis-lyhenemis-sykli. Staattiset hyppyt suoritetaan paikaltaan puhtaasti konsentrisesti, joten näissä hyppyissä ei hyödynnetä ko. sykliä. (Enoka 2002, 179-200.)

*Venymis-lyhenemis-sykli.* Eksentristä ja konsentrista yhdistelmää lihaksen luonnollisessa toiminnassa kutsutaan venymis-lyhenemis-sykliksi, joka on tärkeä osa juoksemista, loikkimista ja hyppäämistä. Esimerkkinä voidaan käyttää juoksuaskelta, jossa jalan ojentajalihakset aktivoidaan (esiaktiivisuus) ennen kontaktia maahan. Jalan osuessa maahan nämä lihakset toimivat aluksi eksentrisesti liikettä jarruttaen (lihakset pitenevät toimimissaan), jonka jälkeen seuraa nopeasti konsentrisen eli työntövaihe (lihakset lyhenevät toimiessaan). (Norman & Komi 1979; Komi 1984.) Venymis-lyhenemis-syklin tarkoitus on tehostaa syklin konsentrista vaihetta varastoimalla elastista energiaa syklin eksentrisessä vaiheessa jousimallin tavoin (kuvio 2). Tämä yksinkertainen jousi-massa-malli kuvaa hyvin juoksun tai hypyn mekaniikka. Kuviossa ihminen on ikään kuin yksinkertainen pistemassa, joka pomppii jousen varassa. (Farley & Gonzalez 1996.)



**KUVIO 2.** Yksinkertainen jousi-massa- malli.  $\Delta y$  kuvaa painopisteen pystysuuntaista liikettä tukivaiheen aikana;  $L_0$  jalan pituutta;  $\theta$  jalan tukikulmaa tukivaiheen alussa;  $\Delta L$  jalan pituuden muutosta. Jalka ei suoranaisesti lyhene kuvassa, vaan koukistuu ja oikenee. (Farley & Gonzalez 1996.)

*Elastisuus.* Lihaksen elastisuus käsittää sekä lihaksen että sen jänteen elastisuuden. Se parantaa voimantuoton ja nopeuden lisäksi suorituksen hyötysuhdetta. Hyppelyssä venymis-lyhenemis-sykli aiheuttaa venytystä (elastista energiaa) lihakselle ja jänteelle, joka vapautuessaan tehostaa suoritusta. Venymisen laajuus riippuu materiaalista ja venyttävästä voimasta. Jos voima on liian suuri, niin kudokset katkeaa. (Enoka 2002, 225-229.) Elastisuus vaihtelee perimän ja harjoittelutaustan mukaan ja riippuu myös harjoituskauden vaiheesta. Vaikka elastisuus määräytyy pitkälti perimän mukaan, erään tutkimuksen mukaan 18 kuukauden hyppelyharjoittelu paransi jalkojen ojentajalihasten elastista potentiaalia korkeushyppäjillä ja lentopalloilijoilla. Kimmoisuusharjoittelu mahdollistaneen kyvyn varastoida suurempia määriä elastista energiaa lihaksiin ilman Golgin jänneelimen inhibitorista vaikutusta vahvistamalla lihaksen ja jänteen jäykkyysominaisuuksia. (Komi & Bosco 1982.)

### 3.2 Hyppäämisen fysiologia

Hyppääminen voi olla lyhytkestoista (nopeusvoima/pikavoima) tai pidempikestoista (kestovoima). Hyppäämistä pidetään tavallisesti kuitenkin lyhytkestoisena nopeusvoima-

suorituksena. Tämä voi olla asyklista (kertasuorituksellista), jossa voimantuotto voi kestää noin 0,1 sekunnista pariin sekuntiin, tai se voi olla syklistä (jatkuvaa) kuten esimerkiksi moniloikkaaminen tai pikajuoksu. Pidempikestoinen syklinen hyppelysuoritus voi olla esimerkiksi määrällistä moniloikkaa matalalla teholla. (Enoka 2002, 194-195; Von Gerich & Kyröläinen 1988, 43.)

### **3.2.1 Energiantuotto**

Hyvin lyhyissä suorituksissa (alle 10 s) lihakset käyttävät hyväkseen välittömiä energianlähteitä, adensiinitrifosfaattia (ATP) ja kreatiinifosfaattia (KP). Syklisissä nopeusvoimasuorituksissa tärkeäksi muodostuu anaerobinen teho, joka on sitä parempi, mitä nopeammin pystyy hyödyntämään KP -varastoja suorituksen aikana ATP:ksi. Varastojen tyhjentymisen johtaa suorituskyvyn laskemiseen, koska ATP:tä ei uudelleen muodostu riittävällä nopeudella. Lihasten KP -varastot kuitenkin palautuvat erittäin nopeasti, jos suorituksessa lihaksiin ei ole kerääntynyt happamuutta. Jos ja kun lihaksissa syntyy maitohappoa, se dissosioituu vetyioneiksi ja laktaatiksi ja ne kulkeutuvat verenkiertoon. Korkea vetyionipitoisuus eli voimakas happamuus häiritsee KP -varastojen palautumista. Puolet varastoista ehtii palautua jo 30 sekunnin kuluessa ja täydellinen palautuminen 5-6 sekunnin suorituksesta kestää vain 4-5 minuuttia, jos suorituksessa ei siis ole ollut voimakasta maitohapollista osuutta. Hyppysuorituksissa maitohappoa ei tavallisesti paljonkaan muodostu, joten elimistö ehtii normaalisti palautua seuraavaan suoritukseen. Rehusen (1990) mukaan KP -varastot ovat suuremmat ja tyhjentyvät sekä palautuvat tehokkaammin nopeissa lihassoluissa kuin hitaissa (pikajuoksijoilla testattu). Nopeus- ja teholajeissa tärkeäksi muodostuukin lihassolujakauma suosien nopeita soluja. (Rehunen 1990.)

### **3.2.2 Luusto, lihakset, jänteet ja nivelsiteet**

Ihmisellä luusto toimii kehon tukirunkona ja lihasten kiinnityskohtina. Luut liikkuvat toisiinsa nähden nivelten avulla, joita tukevat nivelsiteet. Sidekudos on tukikudoksen perustyyppi ja sitä on kaikkialla elimistössä. Tärkeimpiä sidekudoksia ovat jänteet ja lihaskalvot. Jänteillä on erityisen suuri vetolujuus ja ne kestävätkin suurta räsitusta. Lihakset,

joita lihaskalvot ympäröivät, kiinnittyvät kiinnityskohtiinsa luihin jänneiden avulla. Li hasten lihassoluja käskyttävät motoriset hermosolut. Yhtä hermosolua ja sen hermottamia lihassoluja kutsutaan motoriseksi yksiköksi. (Von Gerich & Kyröläinen 1988, 78-84.)

Pienellä teholla suoritettut määrälliset hyppelyt ovat välttämätön perusta kovemmille hypyille ja ponnistuksille. Näillä vahvistetaan lihaksistoa, niveliä ja sidekudoksia (mm. jän teet) kestävämpään kovempaa harjoittelua. Sen sijaan kovempitehoiset ponnistukset ja hypyt kehittävät myös reflektorista ja tahdonalaista hermostoa. Toisin sanoen lihaksiston ja jän teiden jäykkyyssominaisuudet kehittyvät (iskunsieto paranee), venymis-lyhenemis-syklin supistusnopeus lisääntyy ja elastisuus paranee. (Von Gerich & Kyröläinen 1988, 55-59.) Yhdessä tutkimuksessa isometrisen voimaharjoittelun on todettu lisäävän hyppäjille tärkeätä lihasjäykkyyttä (muscle stiffness) ja elastisuutta ihmisen jännerakenteissa. Oletuk sena on, että jänneiden sisäinen rakenne muuttuu ja näin voimantuottonopeus lisääntyy. (Kubo ym. 2001.) Siten isometristä voimaharjoittelua voidaan käyttää jonkin verran harjoittelun monipuolisuutta ja tehoa lisäämään. Sen osuus on kuitenkin tarkoin arvioitava, koska monet suoritukset ovat dynaamisia ja korkeaa taitavuuden tasoa vaativia. Kestävyysjuoksuharjoittelun on todettu heikentävän lihas-jänne kompleksin joustavuutta (vastus lateralis -lihaksesta mitattu), jolloin sen kyky varastoida elastista energiaa saattaisi olla huonompi kuin kestävyysjuoksuharjoittelua treenaamattomilla. Kestävyysharjoittelua treenanneiden henkilöiden oletetaan tästä syystä saavuttavan heikompia tuloksia kevennyshypyssä ja heidän kevennyshypyn ja staattisen hypyn ero olisi myös pienempi kuin kestävyyttä treenaamattomien. (Kubo ym. 2000.)

Hyppelyharjoittelu vahvistaa luustoa. Hyppely- ja voimaharjoittelu tai harrastukset, jotka mahdollistavat riittävää iskutusta ennen murrosikää ja murrosiän alkuvaiheessa, lisäävät luuston massaa ja kestoja tehokkaimmin. Lapset, jotka ovat osallistuneet kovempitehoisiin liikuntaharrastuksiin (iskutus), ovat yleensä omanneet suuremman luumassan. MacKelvie ym. (2002) ehdottavat, että tytöillä luuston herkkyysvuodet iskutukselle ovat mahdollisesti 10 – 12 vuoden iässä ja pojilla 12 – 14 vuoden iässä (kuvio 1). (MacKelvie ym. 2002.) Tutkimusten mukaan luun massan lisäys myös kasvun aikana ja heti sen jälkeen voi olla tärkeä osteoporoosin riskin ehkäisemisessä. Vain 3 - 5 % lisäys luun mineraalitiheyteen ennustaisi 20 – 30 % pienemmän murtumisriskin. (Witzke & Snow 2000.) Luu mukautuu mekaaniselle rasitukselle muuttamalla sen rakennetta ja tiheyttä. On ehdotettu, että suurempi yksittäinen rasitus (maksimivoima, kova iskutus) on luun vahvista-

misen kannalta tärkeämpää kuin isot toistomäärät. (Vuori ym. 1994; Witzke & Snow 2000.)

### **3.2.3 Hermostollinen kuormittuminen**

Hermosto on hermokudoksesta muodostunut elinjärjestelmä. Viestitys hermoston sisällä sekä hermoston ja elinten/kudosten välillä tapahtuu sähköisesti. Hyppelyharjoittelussa hermostollinen kuormittuminen vaihtelee hypyn tai hyppelyn tehon mukaan. Matalalla teholla suoritettavat määrälliset kestoloikat suoritetaan hitaita lihassoluja käyttäen. Näissä suorituksissa rekrytoidaan lähinnä hitaita motorisia yksiköitä. Nopeusvoimaperiaatteella suoritettavat tehokkaat ponnistukset pyritään suorittamaan aina maksimaalisella teholla nopeita lihassoluja käyttäen. Nopeiden motoristen yksiköiden rekrytoiminen harjoituksissa lisää näiden yksiköiden syttymisfrekvenssiä. Muita vasteita tehokkaalle hyppelyharjoitukselle ovat suurempi motoristen yksiköiden rekrytointimäärä ja samanaikainen syttyminen, inhibitoristen refleksien pieneneminen ja Golgin jänne-elimen inhibointi. Pitkäaikaisen hyppelyharjoittelun vaikutuksia hermostoon ja sen kapasiteettiin tunnetaan hyvin vähän. Se tiedetään, että korkeaintensiteettisen harjoittelun alkuvaiheessa, hermosto otetaan vähitellen lähes kokonaan käyttöön ensimmäisten harjoitteluviikkojen ja -kuukausien aikana, mutta sen jälkeen uusien motoristen yksiköiden rekrytointi ja niiden syttymistiheyden lisääminen on hyvin vaikeaa. Todennäköistä on, että harjoitteluvaikutukset hermostoon ovat kokonaisuutena melko vähäiset verrattuna lihaksiston kehittämismahdollisuuksiin. (Enoka 2002, 397-403; Kyröläinen ym. 2005; Von Gerich & Kyröläinen 1988, 83-84, 88-89.)

### **3.2.4 Hormonaalinen kuormittuminen**

Hormoni on solun tai rauhasen vapauttama kemiallinen välittäjäaine, joka kulkee pääasiassa verenkierron välityksellä. Kohdesoluun päästyään se kiinnittyy tavallisesti sille spesifiseen reseptoriin ja antaa viestin aktivoitua tai inhiboitua jonkun reaktion. Hormonit säätelevät elimistön aineenvaihduntaa sykähdyksittäin. Jotkut hormonipitoisuudet saattavat heilahdella suurestikin lyhyen ajan aikana, tai nousevat ja laskevat juuri samalla tavoin

vuorokausirytmien mukaan (esim. kortisoli). (McArdle ym. 2001, 409-411.) Koska hyppe-lyharjoittelun hormonaalinen vaste vastaa paljon hermostollista voimaharjoittelua, käytetään tässä luvussa paljon voimaharjoittelua kuormitusesimerkkinä. Vaikka hyppe-lyharjoittelusta löytyykin kohtuullisesti tutkimustietoa, löytyy sitä voimaharjoittelusta silti paljon enemmän. Seuraavassa käsitellään keskeisiä fyysiseen harjoitteluun / hyppe-lyharjoitteluun liittyviä hormoneja.

*Kasvuhormoni.* Aivolisäkkeen etulohko erittää kasvuhormonia, jonka ensisijainen tehtävä on kudosten kasvun lisääminen (lihakset, luut, sidekudokset). Muita tehtäviä ovat hii-lihydraattien aineenvaihdon inhibointi, joka lisää veren glukoosipitoisuutta, ja rasvahap-pojen muuntaminen energiaksi (lipolyysi). Lyhytaikainen liikuntasuoritus lisää suuresti kasvuhormonin pitoisuutta veressä. Pitkäaikainen liikunta ei juuri vaikuta kasvuhormo-nin pitoisuuden nousuun ellei harjoittelu ole sisältänyt vahvasti maitohappoa tuottavaa liikuntaa. Kasvuhormoni on erittäin olennainen hormoni voiman kehityksen kannalta. (McArdle ym. 2001, 417-418.)

*IGF.* Kasvuhormoni stimuloi insuliininkaltaisten kasvutekijöiden (IGF) tuotantoa mak-sassa. Insuliininkaltaista kasvutekijää 1 (IGF-1) vapautuu myös kudoksista paikallisesti. IGF:llä on samankaltaisia vaikutuksia kasvuun kuin kasvuhormonilla. (McArdle ym. 2001, 418.) Kasvuhormonin ja IGF-1:n yhtäaikainen nousu onkin tyypillistä murrosiäs-sä. Seerumin IGF -arvojen on tutkittu olevan yhteydessä myös luun mineraaleihin aikai-nessa murrosiässä ja luun poikkipinta-alaan sekä kortikaalisiin alueisiin 7-18-vuotiailla tytöillä ja pojilla. Nuorilla voimistelijoilla (Tanner asteet 1 ja 2) tehty tutkimus osoitti vahvaa korrelaatiota ( $r = 0,67$ ,  $p < 0,05$ ) kantaluun muuttujien (ultraäänellä) ja seerumin IGF-1:n muutosten välillä. Luustoa muokkaava kovatehoinen iskutusharjoitus voi olla yhteydessä korkeisiin IGF-1 – arvoihin. Herkkyysvuodet luun vahvistamiseen näyttäisi-vät olevan murrosiässä (Tanner asteet 2-4), jolloin vapaat, biologisesti aktiiviset IGF-1 – arvot ovat nousussa. (MacKelvie ym. 2002.)

*Testosteroni.* Testosteroni on sekä miehillä että naisilla erittyvä sukupuolihormoni. Mie-hillä sitä tuotetaan huomattavasti enemmän kuin naisilla (miesten arvot ovat noin 10 – 20 kertaa korkeammat kuin naisilla). Naisilla erityis tapahtuu munasarjoissa sekä lisä-munuaisissa, miehillä kiveksissä ja lisämunuaisissa. Testosteroni osallistuu sukupuoliominaisuuksien kehitykseen sekä lihasten ja luiden kasvuun. Kiertävästä testosteronista

on levossa sidottuna 97 – 99 % joko veren globuliiniin (SHBG=sex hormone binding globulin) tai albumiiniin. Vain 1 – 3 % on ns. vapaata plasmassa kiertävää testosteronia. Plasman testosteronipitoisuutta pidetään yleensä hyvänä merkinä elimistön anabolisesta tilasta. Lyhytaikainen liikunta- ja urheilusuoritus lisää plasman testosteronipitoisuutta, mikä palautuu yleensä noin tunnin aikana lähtötasolle. Pitkäaikainen voimaharjoittelu lisää hieman testosteronipitoisuuden peustasoja levossa (aamun paastonäytteistä mitattuna), mikä korreloi voimaharjoittelun kehityksen kanssa. Testosteronin rooli lihasten aineenvaihdunnalle palautumisen aikana on paitsi proteiinisynteesin edistäjänä myös proteiinikatabolian ehkäisijänä. (McArdle ym. 2001; Hedge & Goodman 1987.) Viitearvot ovat Suomessa seuraavat: pojat ennen puberteettia 0.1-1.1 nmol/l; pojat puberteettivaihe 2-3: 2-13 nmol/l; tytöt ennen puberteettia 0.1-0.4 nmol/l; tytöt puberteettivaihe 2-3: 0.2-1.1 nmol/l; miehet 10-38 nmol/l; naiset 0.4-2 nmol/l (www.huslab.fi).

*Estrogeeni.* Munasarjojen erittämä estrogeeni toimii naisilla pääsukupuolihormonina. Sitä esiintyy myös miehillä. Estrogeeni aloittaa ja kontrolloi tytöillä kuukautisia ja saa aikaan sukupuoliominaisuuksien kehittymisen. Lisäksi estrogeeni säätelee ovulaatiota ja fysiologista sopeutumista raskauden aikana. Liikunta lisää hieman estrogeenipitoisuutta riippuen kuukautiskierrosta. Estrogeenin rooli luun toiminnan säätelyssä on tärkeä, sillä se vaikuttaa mm. elimistön kalsiumaineenvaihduntaan. Estrogeenipitoisuus laskee naisilla 50–60 vuoden iässä, mikä voi johtaa riskiin sairastua osteoporoosiin. Nuorilla naisilla myös laihduttaminen tai hyvin alhainen paino yhdistettynä kovaan harjoitteluun voi johtaa luuston haurastumiseen. Alle kriittisen rajan oleva rasvaprosentti vaikuttaa mm. laskevasti estrogeenipitoisuuksiin. Estrogeenin väheneminen aiheuttaa kuukautishäiriöitä (amenorreaa) ja luuston heikkenemistä. Tästä käytetään nimitystä naisurheilijan oireyhtymä. (esim. Mero ym. 2012.)

*Kortisoli.* Kortisolia erittyy lisämunuaisen kuorikerroksesta kortikotropiinin (ACTH) ja stressin vaikutuksesta. Kortisoli toimii katabolisesti soluproteiineja hajottaen ja osallistuu vapaiden rasvahappojen, proteiinien ja glukoosin aineenvaihduntaan. Vuorokauden sisällä kortisolin lepopitoisuudet ovat korkeimmillaan aamuyöstä ja aamulla ja sen jälkeen pitoisuudet laskevat voimakkaasti kohti iltaa. Tutkimusten mukaan kortisolipitoisuus nousee paljon kovatehoisissa kestävyysharjoituksissa, mutta vähemmän voimaharjoituksissa. Pitoisuudet pysyvät korkeina 1 – 2 tuntia harjoituksen jälkeen, mistä voisi olettaa, että kortisolilla on vaikutusta myös kudosten palautumiseen ja korjaukseen. (McArdle

ym. 2001, 424-425.) Viitearvot ovat Suomessa seuraavat: 2-13 vuotta 69 - 632 nmol/l; 14-15 vuotta 69 - 789 nmol/l; 16 vuotta - aikuiset 150 - 650 nmol/l (www.huslab.fi)

*Katekoliamiinit.* Katekoliamiinit, adrenaliini ja noradrenaliini, erittyvät lisämunuaisytimestä stressitilanteissa. Noradrenaliinia erittyy myös hermopäätteistä. Adrenaliini lisää sydämen sykettä, verenpainetta, veren sokeripitoisuutta, rasvahappojen vapautumista ja suorituskykyä. Noradrenaliini toimii välittäjäaineena keskushermostossa ja lisää sympaattista tonusta adrenaliinin kanssa. Noradrenaliinipitoisuus nousee yleisesti ottaen kaiken liikunnan vaikutuksesta, mutta adrenaliinipitoisuus selkeästi vain kovatehoisen liikunnan vaikutuksesta. Voimaharjoittelussa harjoitteet isoilla kuormilla ja/tai kovatehoiset nopeusvoimaharjoitteet lisäävät katekoliamiinien vapautumista. (McArdle ym. 2001, 422.)

*SHBG.* Sukupuolihormoneja sitova globuliini (SHBG) on tärkein estradiolia ja testosteronia sitova proteiini plasmassa. Sitomalla sukupuolihormoneja se estää niiden toimintonsa. Korkeat pitoisuudet insuliinia ja IGF-1:tä sekä lihavuus laskevat SHBG -pitoisuutta. Sen sijaan korkeat kasvuhormoni- ja estrogeenipitoisuudet (e-pillarit) sekä raskaus kohoavat sitä. Kokonaistestosteronitaso riippuu pitkälti SHBG -tasosta. Vapaan androgeenin indeksi (free androgen index = FAI) kertoo testosteronin suhteen SHBG:n. Tällä voidaan määrittää vapaan testosteronin aktiivisuus. (Hammond ym. 1986.)

### **3.2.5 Biokemialliset markerit luuaineenvaihdunnassa**

Luukudos on elämän aikana jatkuvassa aineenvaihdunnassa. Uutta luukudosta muodostavat osteoblastit ja vanhaa hajottavat osteoklastit. Näiden tulee toimia tasapainossa, jotta luu ei haurastuisi tai ei kasvaisi liikaa. Tämä tasapaino kääntyy enemmän osteoblastien puolelle luontaisen kasvun ja harjoittelun aikana, jolloin luiden kasvu on tehokkaimmillaan. Osteoblastien ja osteoklastien aineenvaihdunta vapauttaa verenkiertoon useita biokemiallisia aineita, joiden perusteella voidaan määrittää, onko luun aineenvaihdunta anabolisessa vai katabolisessa tilassa. Näitä tekijöitä tai markkereita voivat olla mm. eri I-tyypin kollageenifragmentit, entsyymit ja hormonit. Korkeimmat luumarkkeripitoisuudet voidaan havaita vastasyntyneillä, jonka jälkeen pitoisuudet laskevat lapsuuden aikana, ja lähtevät taas nousuun murrosiässä, ennen kuin laskevat selvästi pienempiin aikuisten ar-



voihin. Tytöillä on aikaisempi luomarkkereiden nousu murrosiässä ja lasku murrosiän jälkeen kuin pojilla heijastuen juuri heidän aikaisempaan kasvupyrähdykseen. Markkeripitoisuuksiin nuorilla vaikuttavat pituuskasvun nopeus, sukupuoli ja Tannerin asteikko. Biokemialliset luomarkkerit voidaan siis jakaa kahteen sekä luuta muodostaviin että luuta hajottaviin. (Ranke 2003.) Luomassan arvioiminen luomarkkereiden avulla on potentiaalisesti vähemmän vaarallista kuin radiologisin menetelmin. Markkerit reagoivat myös herkemmin luun aineenvaihdunnallisiin muutoksiin ja ovat helpompi kerätä ja analysoida. Huono puoli markkereiden käytössä on se, että niillä on suuri biologinen vaihtelevuus. (Banfi ym. 2010.)

*Luun muodostus, osteokalsiini.* Osteokalsiini on osteoblastien (luusolu) tuottama hormoni, joka on yhteydessä luunrakentumiseen, luun mineralisoitumiseen ja kalsiumionin säätelyyn. Korkeaa seerumin osteokalsiinipitoisuutta pidetään yhteydessä luun mineraalitiheyden lisääntymiseen. Korkeita pitoisuuksia esiintyy normaalissa luun kasvussa terveillä lapsilla ja pitoisuudet ovatkin suuremmat kuin aikuisilla. Osteokalsiinipitoisuus on kasvuhormonin puutoksessa heikentynyt. Viitearvot: miehet 18 - 29 vuotta 24 - 70 µg/l; miehet 30 - 50 vuotta 14 - 42 µg/l; naiset fertiili-ikäiset 11 - 43 µg/l; naiset postmenopausi 15 - 46 µg/l. Vastus- ja hyppelyharjoittelu, jotka tuottavat suuria voimia ja iskuja luihin, lisäävät plasman osteokalsiinipitoisuutta ja luun massaa. (Guadalupe-Grau ym. 2009; www.huslab.fi). Luuta muodostavat muuttajat reagoivat herkemmin lyhyt kestoiseen harjoitukseen, kuin luuta hajottavat muuttajat. (Tosun ym. 2006).

*Luun hajotus, TRAP5b.* TRAP5b (serum band 5 tartrate-resistant acid phosphatase) on vanhaa luuta hajottava glykoproteiini, jota erittyy verenkiertoon osteoklastien toimesta. Korkeita pitoisuuksia esiintyy normaalissa luun kasvuvaiheessa terveillä lapsilla. Korkeita pitoisuuksia saattaa esiintyä myös joissakin sairauksissa kuten esimerkiksi Pagetin tauti ja hemodialyysi. Viitearvot: miehet yli 20 vuotta,  $4.0 \pm 1.4$  U/L (n=91); naiset 30-44 vuotta,  $2.9 \pm 1.4$  U/L (n=31); naiset yli 50 vuotta  $4.3 \pm 1.5$  U/L (n=36). (Minkin 1982.) Alhaisia luun mineraalitiheyksiä on tutkittu olevan korkean luokan kestävyysjuoksijoilla. Kersch-Schindl ym. (2009) mukaan ultramaratonin (246km) jälkeen CTX -arvot (toinen luun hajoamisessa esiintyvä markkeri) nousivat huomattavasti kisan jälkeen ja pysyivät koholla muutaman päivän. Ultramaratonin juoksu myös ehkäisi osteokalsiinia kisan jälkeen.

## 4 HYPPELYHARJOITTELU JA LUUSTO

*Yleistä hyppelyharjoittelusta.* Pitkäjänteinen hyppelyharjoittelu vaatii paljon hyppelymäärää sekä matalalla että suurella teholla. On kuitenkin hyvä muistaa, että pitkäaikainen harjoittelu aina samoilla harjoitteilla ja tehoilla pysäyttää kehityksen, koska elimistö mukautuu harjoitusten aiheuttamiin vasteisiin. Ärsykettä tulisikin vaihdella harjoituksissa riittävän usein (4-10 viikon välein) vaihtelemalla kuormaa, harjoitteita, supistustapoja, harjoituspaikkaa jne. (Von Gerich & Kyröläinen 1988, 86-87.) Hyppelyharjoittelu aiheuttaa tehokkaamman lihasjännityksen (voimakas ja nopea kuormitus iskuvaiheessa lihaksille, jänteille, luille ja sidekudoksille) kuin tavallinen voimaharjoittelu. Tästä syystä sitä pidetään erittäin tärkeänä osana juoksun ja hyppylajien tehoharjoittelua. (Kotzamanidis 2006.) De Villarrealin ym. (2008) mukaan keskisuurella määrällä suoritettut hyppelyharjoitukset ovat tehokkaampia kehityksen kannalta kuin suurella määrällä tehdyt harjoitukset.

*Luuston vasteet.* Vahvat luut ovat tärkeä perusta hyppely- ja voimaharjoittelulle tehola-jeissa sekä erityisesti myös kestävyysjuoksijoille. Aikaisemmissa tutkimuksissa on esitetty, että alhainen luiden mineraalitiheys on riskitekijä ryhmille, jotka juoksevat suuria määriä kilometrejä. Luiden heikko mineraalitiheys altistaa kestävyysjuoksijoita herkemmin erilaisille luun rasitusvammoille. Olisikin erittäin suotavaa, että kestävyysjuoksijat kuormittaisivat jalkojaan myös hyppely- ja voimaharjoittelulla, jotta heidän luut vahvistuisivat. (Beck ym. 2000; Magnusson ym. 2003.) Lester ym. (2009) tutkivat kahdeksan viikon harjoittelujakson vaikutusta luumuuttujiin noin 20 -vuotiailla inaktiivisilla naisilla (n=56). Naiset oli jaettu aerobiseen ryhmään, voimaryhmään, yhdistettyyn aerobiseen ja voimaryhmään sekä kontrolliryhmään. Jakson jälkeen osteokalsiinipitoisuudet nousivat voima- ja yhdistetyssä ryhmässä (10.5 ng/ml → 12.5 ng/ml; p<0.05). TRAP5b laski kaikissa ryhmissä (3.6 U/L → 3.3 U/L; p<0.05). Tutkimuksen mukaan kahdeksan viikon voima- ja hyppelyharjoittelulla pystyttiin lisäämään luun muodostusta, kun taas luun hajoaminen oli pientä tai lähes olematonta. (Lester ym. 2009.)

Kotzamanidis (2006) ehdottaa oman tutkimuksen hyppelyharjoitteluprotokollaa turvallisiksi lapsille ja nuorille. Tutkimuksen tarkoitus oli selvittää hyppelyharjoittelun vaiku-

tusta alle murrosikäisillä pojilla juoksunopeuteen (0-30m, josta mm. myös väliajat) ja kyykkyhyppyyn (kyykkyhyppytestiä ei selitetty sen tarkemmin). 30 poikaa jaettiin tasaisesti hyppy- ja kontrolliryhmään. Hyppyryhmä (ikä  $11,5 \pm 0,5$  vuotta) suoritti 10 viikon kevyen hyppelyharjoitusjakson. Kontrolliryhmä (ikä  $10,9 \pm 0,7$  vuotta) ei tehnyt muuta kuin koululiikuntaa. Harjoittelujakso sisälsi monipuolisesti erilaisia hyppyjä. Hyppyjen tehot nousivat hiljalleen harjoitusjakson edetessä. Määrät nousivat 60:stä hypystä 100:n hyppyyn jakson aikana. Ohjelma suoritettiin kahdesti viikossa. Sarjat sisälsivät 10 hypyä kolmen minuutin palautuksella. Lisäksi koehenkilöt suorittivat alkuun neljä viikkoa aerobista juoksua, venyttelyä, koordinaatioita ja kestovoimaa vammojen ennaltaehkäisemiseksi. Ryhmien välillä löytyi merkitseviä eroja molemmissa testeissä. Hyppyryhmällä nopeus lisääntyi merkitsevästi nopeustestin väleillä 0-30m, 10-20m, 20-30m ( $p < 0,05$ ). Sen sijaan väli 0-10m ei ollut merkitsevä. Myös kyykkyhypyn parannus oli merkitsevä ( $p < 0,05$ ). Hyppysuoritus parani  $22,99 \pm 4,50\text{cm} \rightarrow 30,96 \pm 4,13\text{cm}$ . Kontrolliryhmällä ei tapahtunut muutosta. Tulosten mukaan hyppelyharjoittelu lisäsi kyykkyhypyn ja nopeuden suorituskykyä alle murrosikäisillä pojilla. Tämä harjoitusohjelma tosin vaikutti vain maksiminopeuteen (pojilla 10-30m), ei kiihdytykseen (pojilla 0-10m). On hyvä huomioida, että nuoret pojat saavuttavat maksiminopeuden todella nopeasti verrattuna aikuisiin. (Kotzamanidis 2006.)

*Vammojen ennaltaehkäisy ja riskit.* Voima- ja hyppelyharjoittelua on pidetty ja pidetään edelleen tietyissä piireissä vaarallisena kasvavalle lapselle ja nuorelle. On uskottu, että lasten ja nuorten pienet määrät androgeenihormoneja estävät voiman kehityksen. Riskinä on pidetty myös loukkaantumisia ja haittavaikutuksia luustoon, jänteisiin ja lihaksistoon. (Gorostiaga ym. 1999.) Myöhemmin on kuitenkin todistettu, että voima- sekä hyppelyharjoittelu on turvallista ja tehokasta lapsille ja nuorille, mikäli oikeita iänmukaisia harjoitteluohjeita noudatetaan (Chu ym. 2006; Gorostiaga ym. 1999; Kotzamanidis 2006; Marginson ym. 2005). On totta, että kovalla teholla suoritettavat harjoitukset sisältävät aina loukkaantumisriskejä. Näitä riskejä pystyy kuitenkin ennaltaehkäisemään. Tärkeintä on muistaa alkulämmittely ja oikeat varusteet. Pehmeitä alustoja (nurmet, matot) on myös hyvä käyttää hyppelyissä hyväksi. Harjoitteet tulee tehdä oikein (jalkaterät suoraan eteenpäin). Pitää muistaa vahvistaa jalkaterän lihaksia ja opetella tunnistamaan elimistön varoitussignaalit. Harjoituskauden alussa määrällisesti suuret matalatehoiset hyppyt ja loikat ovat tärkeitä vammojen ennaltaehkäisyssä. Ne totuttavat lihaksistoa ja vahvistavat

niveliä, jäniteitä ja siteitä kestävämpää harjoittelua myöhemmin. (Von Gerich & Kyröläinen 1988, 100-105.)

## 5 TUTKIMUSONGELMAT JA -HYPOTEESEIT

Tämän tutkimuksen tarkoitus oli tutkia kahden kuukauden tehostetun hyppelyharjoittelun (yhdistettynä 3-5 kertaa viikossa tapahtuvaan yleisurheiluharjoitteluun) vaikutuksia luustoon, hormonipitoisuuksiin ja suorituskykyyn murrosikäisillä yleisurheilijapojilla ja -tytöillä. Tutkimusongelmat ja hypoteesit on esitetty seuraavassa:

1. Mikä on tehostetun hyppelyharjoittelun vaikutus luustoon nuorilla yleisurheilijatyttöillä ja -pojilla?

HYPOTEESEI: Tehostettu hyppelyharjoittelu lisää osteokalsiinipitoisuutta ja vähentää TRAP5b-pitoisuutta siten vahvistaen luustoa.

2. Mikä on tehostetun hyppelyharjoittelun vaikutus testosteronin, kortisolin ja SHBG:n pitoisuuksiin nuorilla yleisurheilijatyttöillä ja -pojilla?

HYPOTEESEI: Tehostettu hyppelyharjoittelu ei vaikuta hormonaaliseen kypsyymiseen nuorilla yleisurheilijatyttöillä ja -pojilla.

3. Mikä on tehostetun hyppelyharjoittelun vaikutus fyysiseen suorituskykyyn nuorilla yleisurheilijatyttöillä ja -pojilla?

HYPOTEESEI: Suorituskyky paranee kaikissa fyysisen suorituskyvyn testeissä.

4. Onko tytöillä ja pojilla eroja luuston, hormonipitoisuuksien ja fyysisen suorituskyvyn vasteissa tehostetun hyppelyharjoittelujakson vaikutuksesta?

HYPOTEESEI: Vaste-eroja ei ole sukupuolten välillä.

5. Onko tehokas hyppelyharjoittelu hyödyllistä ja riittävän turvallista nuorilla?

HYPOTEESEI: Tehokas hyppelyharjoittelu voi olla hyödyllistä ja riittävän turvallista nuorilla.

## 6 MENETELMÄT

### 6.1 Koehenkilöt

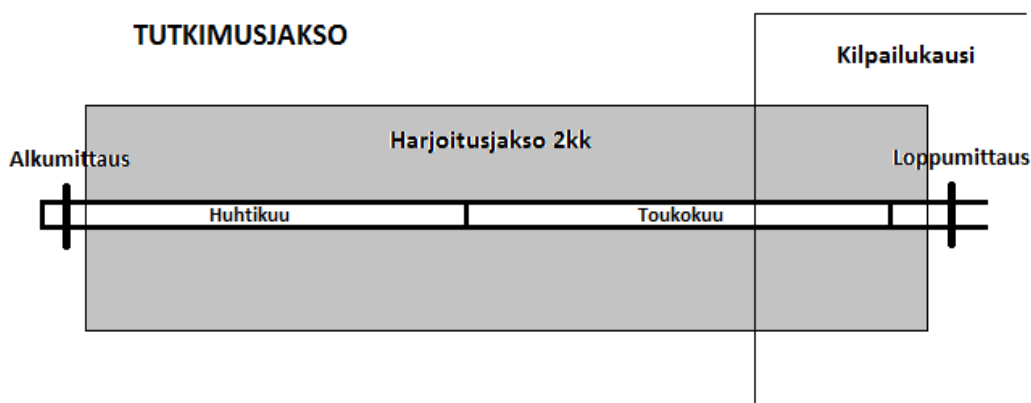
Tutkimukseen osallistui nuoria 13 - 16-vuotiaita yleisurheilijatyttöjä ja -poikia (taulukko 1). Koehenkilöt harjoittelivat yleisurheilua eri valmennusryhmissä omien ohjelmiensa mukaan, minkä vuoksi harjoitusjakson ulkopuolella olevaa harjoittelua ei pystytty vakiomaan. Yleisurheiluharjoituksia oli 3-5 kertaa viikossa. Harjoituksiin kuului jo valmiiksi hyppelyä, voimaharjoittelua, juoksua eri nopeuksilla ja eri yleisurheilulajien tekniikkaa. Ennen tutkimusta heille selvitettiin tutkimuksen tarkoitus ja kulku sekä suoritettavat toimenpiteet. Kaksi koehenkilöä (yksi poika ja yksi tyttö) keskeyttivät tutkimuksen ennen loppumittauksia.

**TAULUKKO 1.** Koehenkilöiden kuvaus harjoittelujakson alussa (keskiarvo  $\pm$  keskihajonta)

	n	Ikä (v)	Pituus (cm)	Paino (kg)	Rasva (%)
<b>Pojat</b>	10	14,0 $\pm$ 0,9	169,5 $\pm$ 10,5	55,8 $\pm$ 11,1	8,4 $\pm$ 3,6
<b>Tytöt</b>	10	14,1 $\pm$ 1,0	164,4 $\pm$ 8,7	52,6 $\pm$ 9,7	15,2 $\pm$ 3,2

### 6.2 Koeasetelma

Koehenkilöt suorittivat keväällä 2011 kahden kuukauden (huhti-toukokuu) tehostetun hyppelyharjoittelujakson (kuvio 3). Kuvioista 4 löytyy tiivistetty ohjelma harjoittelujaksolle. Harjoitusohjelma kokonaisuudessaan löytyy liitteestä 1. Alku- ja loppumittaukset suoritettiin Jyväskylässä Vivecalla ja Hipposhallissa. Tutkimuksen ohella molemmat ryhmät harjoittelivat yleisurheilua normaalisti ohjelmiensa mukaan, mutta hyppelyharjoitusten osuutta oli lisätty selvästi heidän aikaisempaan harjoitteluunsa verrattuna.



**KUVIO 3.** Koeasetelma. Alkumittaukset suoritettiin huhtikuun alussa ja loppumittaukset kesäkuun alussa. Harjoittelujakso sijoittui niiden väliin.

**Harjoittelujakso.** Tehostettu hyppelyharjoittelujakso kesti kahdeksan viikkoa. Tehostettua hyppelyharjoituksia oli kaksi viikossa (noin 20 - 30 min) muiden yleisurheiluharjoitusten lisäksi. Nämä harjoitukset olivat normaalisti yhdistetty muihin yleisurheiluharjoituksiin. Harjoittelujakso oli jaettu neljään tasoon. Määrät olivat alussa korkeat, 200 - 250 hyppyä per harjoitus matalalla teholla. Jakson edetessä määrät laskivat 50 - 150 hyppyyn per harjoitus. Jakson edetessä myös tehot nousivat ja harjoitteet vaihtuivat. Kovatehoisia harjoitteita, kuten erityisen kuormittava pudotushyppy ja vauhtiloikat, otettiin mukaan vasta myöhemmin harjoittelujaksolla. Harjoitukset ja harjoitteet löytyvät kuviosta 4 ja yksityiskohtaisemmin liitteestä 1. Koehenkilöille ja heidän ryhmävalmentajilleen opetettiin harjoitteiden tekniikat ja harjoitusohjelma. Lopullinen vastuu harjoituksien ohjaamisesta oli koehenkilöiden ryhmävalmentajilla. Tähän ratkaisuun päädyttiin siksi, koska koehenkilöitä oli mukana tutkimuksessa niin monesta eri valmennusryhmästä ja ryhmien harjoitusajankohdat eivät sopineet yhteen. Järkevämpää oli antaa ryhmävalmentajien sijoittaa hyppelyosiot itse ryhmien omien ohjelmiensa mukaan. Tutkimusjakson päätteeksi valmentajat palauttivat hyppelyharjoitusohjelman sekä lisäksi koehenkilöiden henkilökohtaiset harjoitusohjelmat koko tutkimusjaksolta. Ravintopäiväkirjaa ei pidetty. Koehenkilöiden oletettiin syövän normaalia koti- ja kouluruokaa. Harjoitusohjelmat antoivat jonkinlaista kuvaa koehenkilöiden muusta harjoittelusta. Näihin harjoituksiin kuului mm. voimaharjoittelua (huhtikuussa enemmän, toukokuussa vähemmän), lajiharjoittelua (aitajuoksua, hyppylajisuorituksia), aerobista, submaksimaalista ja maksimaalista juoksua. Kesäkuuta lähestyessä määrät näyttivät pienenevän, tehoharjoitukset lisääntyivät. Toukokuun lopulla mukana oli myös joitakin kisoja.

## HARJOITTELUOHJELMA

### TASO 1

1. VKO 60-80% tehot matolla, matalat keltaiset muoviaidat 30-50cm

HARJOITUS 1: 200 tasajalkaponnistusta aidoilla ja ilman

HARJOITUS 2: 200 loikkaa/kinkkaa

2. VKO 60-80% tehot matolla, matalat keltaiset muoviaidat 30-50cm

HARJOITUS 1: 250 tasajalkaponnistusta aidoilla ja ilman

HARJOITUS 2: 250 loikkaa/kinkkaa

### TASO 2

3. VKO 60-80% tehot, matalat keltaiset muoviaidat 30-50cm

HARJOITUS 1: 200 tasajalkaponnistusta aidoilla ja ilman

HARJOITUS 2: 100 loikkaa/kinkkaa + vauhdittomat 5-loikat/kinkat 50  
(85-100% tehot)

4. VKO 60-80% tehot, matalat keltaiset muoviaidat 30-50cm

HARJOITUS 1: 200 tasajalkaponnistusta aidoilla ja ilman

HARJOITUS 2: 100 loikkaa/kinkkaa + vauhdittomat 5-loikat/kinkat 50  
(85-100% tehot)

### TASO 3

5. VKO 80-90% tehot, kova alusta, kovat muoviaidat 60-76cm

HARJOITUS 1: Vauhtiloikat 75-100 toistoa hiekkakasaan:

HARJOITUS 2: Aitahypyt 150 toistoa

6. VKO 80-90% tehot, kova alusta, kovat muoviaidat 60-84cm

HARJOITUS 1: Vauhtiloikat 75-100 toistoa hiekkakasaan

HARJOITUS 2: Aitahypyt 150 toistoa

### TASO 4

7. VKO 95-100% tehot, kova alusta, kovat muoviaidat: tytöt 76cm, isot pojat 84-91cm

HARJOITUS 1 Vauhtiloikat 50 toistoa hiekkakasaan

HARJOITUS 2 Aitahypyt 80 toistoa

8. VKO 95-100% tehot, kova alusta, kovat muoviaidat: tytöt 76-84cm, isot pojat 91cm

HARJOITUS 1 Vauhtiloikat 50 toistoa hiekkakasaan

HARJOITUS 2 Aitahypyt 80 toistoa

**KUVIO 4.** Harjoitteluohjelman tiivistelmä



### 6.3 Aineiston keräys ja analysointi

**Verinäytteiden keräys ja analysointi.** Verinäytteet otettiin kyynärvarren laskimosta aamulla klo 8.00 - 9.00 liikuntabiologian laboratoriossa 10 - 12 tunnin paaston jälkeen ja säilytettiin pakastettuna -80 °C:ssa. Kaksi millilitraa verta otettiin K2 EDTA putkiin (Terumo Medical Co., Leuven, Belgium) perusverenkuvan (punasolut, valkosolut, hemoglobiini ja hematokriitti) mittaamiseksi Sysmex KX 21 N analysaattorilla (Sysmex Co., Kobe, Japan).

Testosteronin, kortisolin, SHBG:n ja osteokalsiinin pitoisuuksien mittaamiseksi viisi millilitraa verta otettiin ja analysoitiin Immulite 1000 -analysaattorilla (Siemens Medical Solutions Diagnostics, LA, USA). Seerumin testosteronin erottelukyky on 0.5 nmol/l, kortisolin 5.5 nmol/l, SHBG:n 5.5 nmol/l ja osteokalsiinin 0.4 ng/ml. Vuorokausien välisten mittausten variaatiokerroin (CV) oli 14.8 % testosteronille (tytöt), 7.7 % kortisolille, 7.0 % SHBG:lle ja 3.4 % osteokalsiinille. Vastaavasti sisäinen variaatiokerroin on 5.7 % testosteronille, 4.6 % kortisolille, 2.4 % SHBG:lle ja 6.3 % osteokalsiinille.

Hormonien kanssa samasta verinäytteestä analysoitiin seerumin serum band 5 tartrate-resistant acid phosphatase (Trap5b) ELISA -menetelmällä (MicroVue TRAP5b Assay; Quidel Corp, San Diego, CA, USA). TRAP5b on vanhaa luuta hajottava glykoproteiini, jota erittyy verenkiertoon osteoklastien toimesta. Menetelmän erottelukyky on 0.2 U/l. Vuorokausien välisten mittausten variaatiokerroin (CV) on 2.0 – 3.0 % ja sisäinen variaatiokerroin on alle 12 % (Rogers ym. 2011).

Kolesteroli, S-HDL, S-LDL ja S-Trigl. analysoimiseksi verta otettiin neljä millilitraa. Näytteenoton jälkeen kokoverestä erotettiin seerumi, josta mitattiin pitoisuudet Konelab 20 XTi -laitetta. Vuorokausien välisten mittausten variaatiokerroin (CV) oli tässä tutkimuksessa 2.2 % kolesterolille, 7.8 % S-HDL:lle, 9.3 % S-LDL:lle ja 5.6 % S-TRIGL:lle.

**Antropometria.** Koehenkilöiltä mitattiin pituus ja paino tavanomaisin menetelmin sekä kehonkoostumus aamulla verinäytteiden ottamisen yhteydessä. Kehonkoostumus mitattiin InBody 720 -laitteella (Biospace Co., Ltd., Seoul, Korea). Sen tulostuksesta otettiin mukaan tähän tutkimukseen vain rasvaprosentti. Bioimpedanssimittauksessa (BIA) mitataan kehon kykyä johtaa sähköä, mikä on riippuvainen solunulkoisesta nestetilavuudesta.

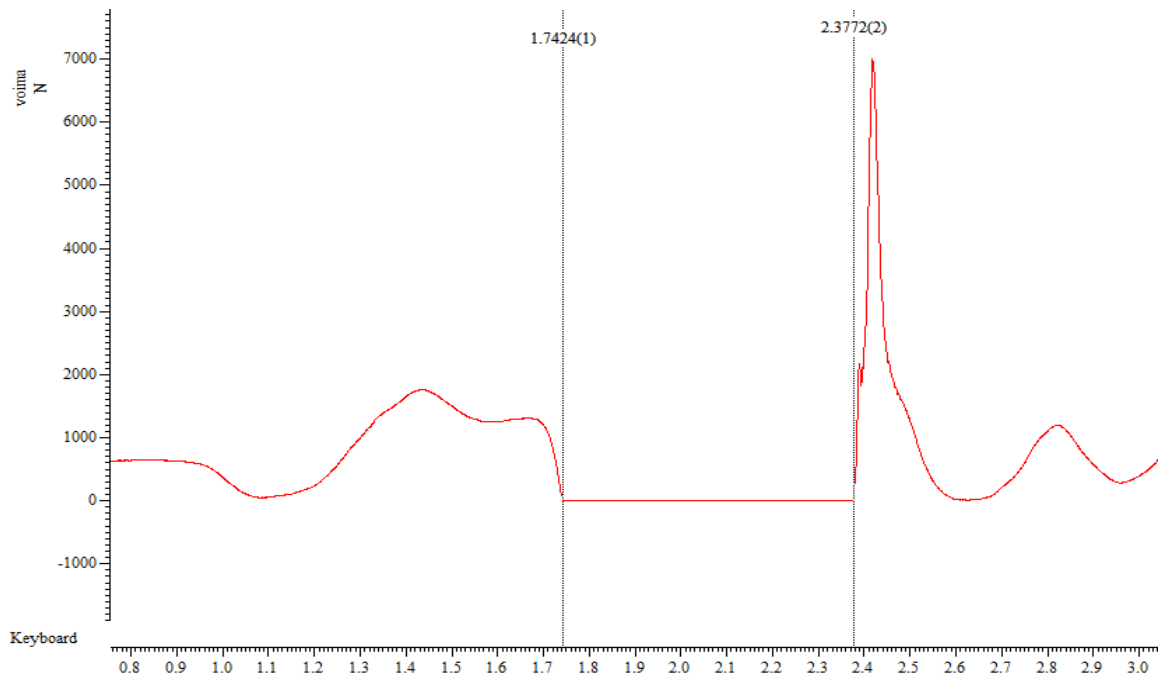
Koska rasvakudoksessa vettä on vain niukasti, kulkee sähkövirta siinä muita kudoksia heikommin. (McArdle ym. 2007.) BIA mittauksessa käytetyn Inbody 720-laitteen käden-sijoissa ja jalka-antureissa on kahdeksan tetrapolaarista elektrodia. Mittauksen aikana laite suorittaa 30 impedanssimittausta kaikista viidestä kehon segmentistä. Lookin<sup>®</sup>body-ohjelmisto analysoi kehon solunulkoisen ja sisäisen nestetilavuuden määrän, proteiinin, luu- ja luuttoman kudoksen mineraalien massan, lihas-, rasva- ja rasvattoman massan, pehmytkudoksen massan ja kehon rasvaprosentin ja massan. (Biospace Co. 2012.) Mittauksen luotettavuuden lisäämiseksi koehenkilöt mitattiin paastotilanteessa ja virtsarakko tyhjennettiin ennen mittausta.

**Suorituskykytestit.** Testit suoritettiin verinäytteiden jälkeen iltapäivällä. Maksimaalisiin suorituskykytesteihin kuului 20 m:n juoksu lentävällä lähdöllä, staattinen (esikeventämätön) hyppy ja kevennyshyppy, reaktiivisuustesti päkiähyppeilynä ja isometrinen jalkojen ojentajalihasten maksimivoima jalkadynamometrissä. Koehenkilöitä oli aikaisemmin ohjeistettu tutustumisharjoituksessa suorituskykytestien tekniikoista. Testit alkoivat lentävällä 20 m:n juoksulla, jossa ajan mittaus tapahtui hallin seinässä olevilla valokennoilla. Tämä juostiin omatoimisen kilpailuverryttelyn jälkeen 2-3 kertaa Hipposhallissa (3-4 min palautus). Kiihdytysmatka oli 30m. Juoksujen jälkeen siirryttiin Vivecan laboratorioon, jossa suoritettiin loput testit alkaen hypyttesteistä. Hypyt mitattiin voimalevyanturilla. Suorituksia tehtiin kolme kaikissa hypyissä palautuksen ollessa kaksi minuuttia. Staattisessa ja kevennyshypyssä kädet pidettiin lanteilla ja kyykyssä käytiin siten, että reidet olivat vaakatasossa lattiaan nähden. Staattisessa hypyissä kyykyasennossa tuli viipyä noin kolme sekuntia, jonka jälkeen piti hypätä maksimaalisesti ylöspäin ilman kevennystä, mikä kontrolloitiin oskilloskoopin voimakäyrästä. Alastulo tehtiin päkiöillä jalat lähes suoraksi ojennettuna. Reaktiivisuustestissä tehtiin viisi peräkkäistä päkiähyppeilyä kädet vapaana. Isometrisessä jalkavoimatestissä tarkoitus oli tuottaa maksimaalinen jalkojen ojentajien voima mahdollisimman lyhyessä ajassa liikkumatonta voimalevyä vasten. Polvikulma oli 110 astetta ja yrityksiä oli kolme kolmen minuutin palautuksella. Jokaisen suorituksen maksimivoima taltioitiin suorituksen aikana mittalaitteiston näytöstä ja suurin arvo valittiin maksimivoimaksi.

**Reaktivoimien keräys.** Mittauksissa kaikista hypyttesteistä kerättiin pystysuuntaiset reaktivoimat voimalevyllä (Raute Precision Oy, ominaisvärähtelytaajuudet  $180 \pm 10$  Hz vertikaalivoimille ja  $130 \pm 10$  Hz horisontaalivoimille), jonka päällä oli Tartan -pinnoite.

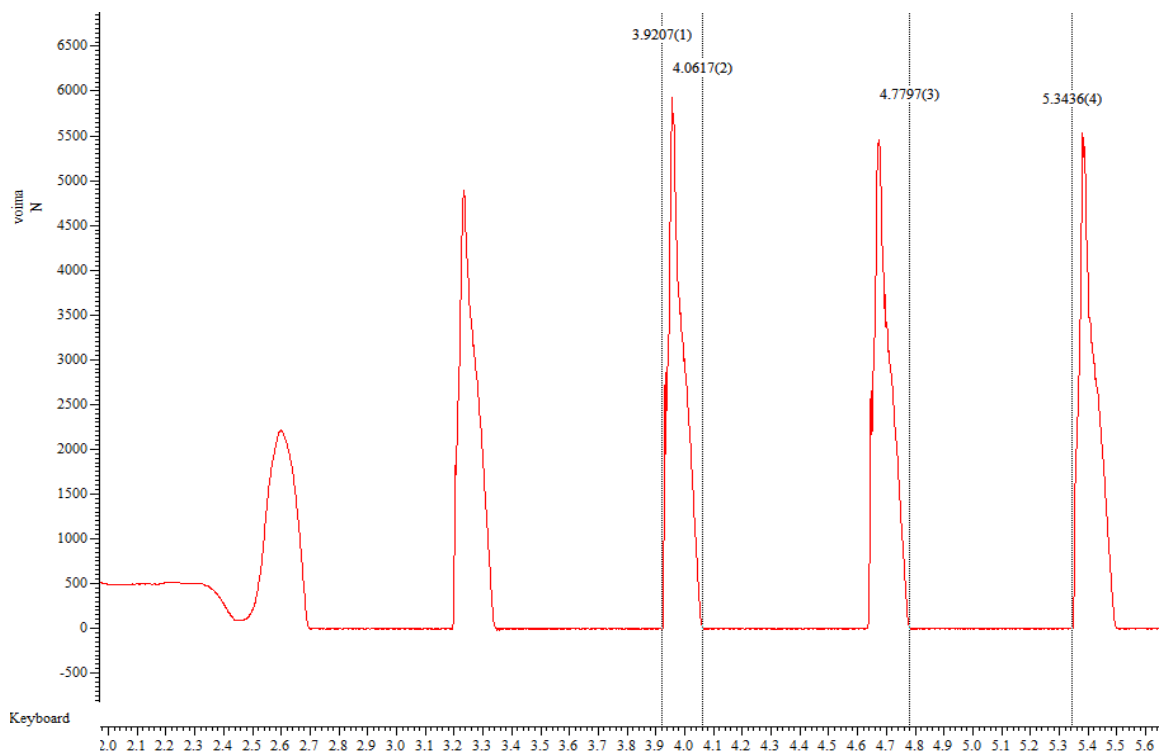
Voimasignaalien keräys tapahtui CED Signal -ohjelmalla (versio 3.08) näytteenottotaajuudella 1000 Hz. Reaktiovoimia ei jatkoanalysoitu, mutta voiman alku- ja loppupisteitä käytettiin apuna lentoajan laskemisessa.

**Staattisen ja kevennyshypyn analysointi.** Hyppyjen nousukorkeus (m) laskettiin kaavalla  $h = (g \times t^2) / 8$ , missä  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  ja  $t =$  mitattu hypyn lentoaika (s). Lentoaika selvitetiin reaktiovoimakuvaajalta Signal -ohjelmalla (kuvio 5). Kahden peräkkäisen hyppysuorituksen toistettavuus on vahva ( $r = 0,95$ ) (Viitasalo ym. 1985).



**KUVIO 5.** Reaktiovoimakuvaaja kevennyshyppysuorituksesta: x-akseli kuvaa aikaa (s) ja y-akseli voimaa (N). Kursorit 1 ja 2 kuvaavat lentoaikaa. Kursorin 1 vasemman puoleinen käyrä kuvaa esikevennysvaihetta. (Bosco ym. 1983.)

**Reaktiivisuustehon analysointi.** Reaktiivisuusteho (W/kg) laskettiin kahden peräkkäisen pohjehypyn keskiarvona. Yhden tällaisen pohjehypyn reaktiivisuusteho laskettiin kaavalla  $P = (2 \times g \times h) / t$ , missä  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ ,  $h =$  mitattu hypyn nousukorkeus (m) ja  $t =$  hypyn mitattu kontaktiaika maahan (s). Kuten muissakin hyppyissä, lentoajat ja kontaktiajat selvitetiin reaktiovoimakuvaajalta Signal -ohjelmalla (kuvio 6). Kahta peräkkäistä reaktiivisuustestisuoritusta on vertailtu suomalaisilla pikajuoksijoilla. Toistettavuus ei ole yhtä hyvä kuin muissa hyppytesteissä, mutta kuitenkin kohtalaisen hyvää tasoa ( $r = 0,77$ ;  $n = 11$ ). (Viitasalo ym. 1985).



**KUVIO 6.** Reaktiivoimakuvaaja reaktiivisuustehosuorituksesta: x-akseli kuvaa aikaa (s) ja y-akseli voimaa (N). Kursorit 1 ja 2 kuvaavat kontaktaikaa ja kursorit 3 ja 4 lentoaikaa. (Bosco ym. 1983.)

## 6.4 Tilastolliset menetelmät

Tilastollisiin analyyseihin käytettiin SPSS -ohjelman versiota 17.0. Muuttujille laskettiin keskiarvot ja keskihajonnat. Alku- ja loppumittausten eroja poikien ja tyttöjen välillä tarkasteltiin riippumattomien otosten t-testillä. Muuttujien välisiä eroja ennen ja jälkeen harjoitusjakson tarkasteltiin toistettujen mittausten t-testillä. Tilastolliset merkitsevyydet on tuloksiin merkitty symbolein: \* =  $p < 0,05$  \*\* =  $p < 0,01$  ja \*\*\* =  $p < 0,001$ . Joitakin puuttuvia tai virheellisiä tuloksia (esim. täysin epäonnistunut suoritus loppumittauksissa, toipuminen sairaudesta, huono vireystila) korvattiin käyttäen keskiarvomenetelmää.

## 7 TULOKSET

Tutkimusjakson aikana sekä poikien että tyttöjen pituus ja paino kasvoivat merkitsevästi. Poikien pituus alkumittauksissa oli  $169,5 \pm 10,5$  cm ja loppumittauksissa  $170,8 \pm 9,8$  cm ( $p = 0,001$ ). Poikien paino oli alussa  $55,8 \pm 11,1$  kg ja lopussa  $56,6 \pm 10,7$  kg ( $p = 0,002$ ). Tyttöillä vastaavasti pituus oli alussa  $164,4 \pm 8,7$  cm ja lopussa  $164,9 \pm 8,7$  cm ( $p = 0,042$ ). Tyttöillä paino oli alussa  $52,6 \pm 9,7$  kg ja lopussa  $53,7 \pm 9,3$  kg ( $p = 0,002$ ). Rasvaprosentissa ei tapahtunut muutosta. Pojilla rasvaprosentti oli loppumittauksissa  $8,9 \pm 3,5$  ( $p = 0,466$ ) ja tytöillä  $15,9$  ( $p = 0,178$ ). Perusveren kuvassa ja rasva-arvoissa ei löytynyt mittausten välillä merkitseviä eroja tuloksissa. Sen sijaan poikien ja tyttöjen välillä löytyi merkitsevyyksiä punasoluissa, hemoglobiinissa ja hematokriitissä. Taulukossa 2 on esitetty poikien ja tyttöjen alku- ja loppumittauksissa mitatut muuttujat.

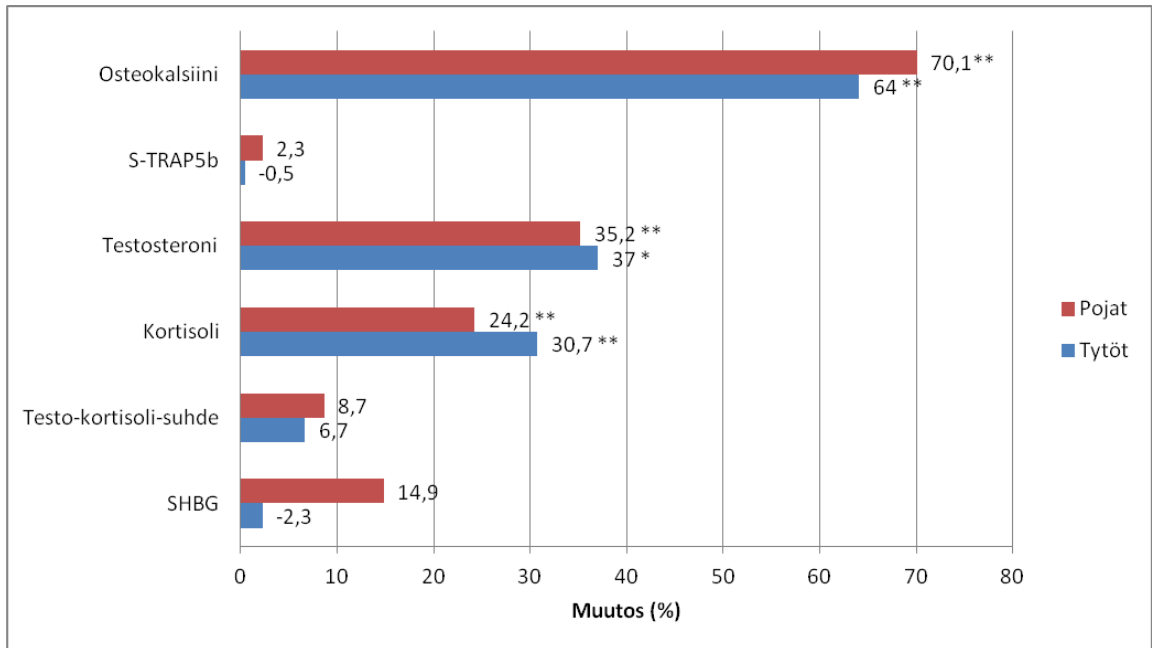
*Veriarvot.* Luumarkkereista osteokalsiini nousi jakson aikana merkitsevästi sekä pojilla ( $p < 0,01$ ) että tytöillä ( $p < 0,01$ ). S-TRAP5b:ssä ei tapahtunut muutosta. Kortisoli nousi merkitsevästi molemmilla sukupuolilla ( $p < 0,01$ ) niin kuin myös testosteroni, pojat ( $p < 0,01$ ) ja tytöt ( $p < 0,05$ ). Muissa veriarvoissa ei löytynyt merkitsevyyksiä mittausten välillä. Hormoneiden prosentuaalisia muutoksia mittausten välillä voi tarkastella kuviosta 7. Muuttujien erot poikien ja tyttöjen välillä olivat tilastollisesti samat alkumittausten kuin loppumittaustenkin välillä. Merkittävin eroavaisuus sukupuolten välillä löytyi luumarkkerista S-TRAP5b, joka oli merkitsevä ( $p = 0,022$ ). Tällä kertaa osteokalsiinista ei löytynyt merkitsevyyttä, vaikka trendi olikin nouseva ( $p = 0,165$ ). Itsestään selvät eroavaisuudet löytyivät testosteronista ja testosteroni-kortisoli-suhteesta ( $p < 0,001$ ). Muiden hormonien erot sukupuolten välillä eivät olleet merkitseviä.

*Suorituskyky.* Suorituskykytesteissä löytyi myös merkitseviä muutoksia. Nämä muuttujat on esitetty vain sukupuolen mukaan (taulukko 2 ja kuvio 8). Pojilla kevennyshyppy ja reaktiivisuusteho kehittyivät eniten ( $p < 0,001$ ). Myös staattisen hypyn kehitys oli merkitsevä ( $p = 0,013$ ). Sen sijaan juoksunopeudessa ei tapahtunut kehitystä ( $p = 0,343$ ). Tyttöillä lentävä 20m sen sijaan kehittyi huomattavasti ( $p = 0,005$ ). Reaktiivisuusteho ja kevennyshyppy kehittyivät tytöillä myös merkitsevästi ( $p = 0,002$ ;  $p < 0,001$ ). Jalkojen ojentajien isometrinen maksimivoima heikkeni kaikilla koehenkilöillä ja erityisesti pojil-

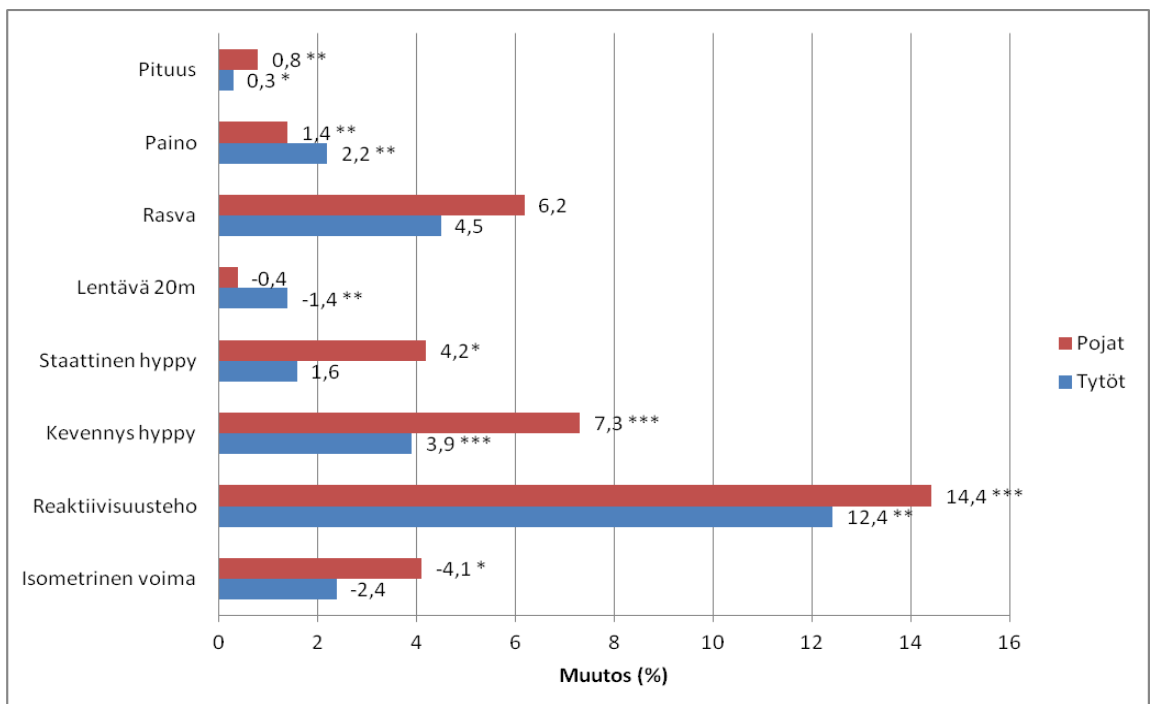
la heikkeneminen oli merkitsevää ( $p = 0,037$ ). Poikien ja tyttöjen välillä suorituskykyteisteistä lentävä 20m, staattinen ja kevennyshyppy erosivat poikien ja tyttöjen välillä merkitsevästi ( $p < 0,05$ ).

**TAULUKKO 2.** Poikien ja tyttöjen alku- ja loppumittauksissa mitatut muuttujat. Tilastollisesti merkitsevä ero pojilla ja tytöillä alku- ja loppumittausten välillä on merkitty tähdillä (\*\*\*)  $p < 0,001$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*  $p < 0,05$ ). Tilastollisesti merkitsevä ero poikien ja tyttöjen välillä (alku- ja loppumittausten keskiarvo) on merkitty tikarilla (†††  $p < 0,001$ , ††  $p < 0,01$ , †  $p < 0,05$ ). Alku- ja loppumittauksissa poikien osteokalsiinin koehenkilömäärä oli muita muuttujia pienempi ( $n = 9$ ).

MITATUT MUUTTUJAT (keskiarvo $\pm$ keskihajonta)						
Muuttuja	Pojat			Tytöt		
	Alku		Loppu	Alku		Loppu
<b>Veriarvot</b>						
Osteokalsiini (ng/mL)	27,3 $\pm$ 20,0	**	46,4 $\pm$ 27,6	19,1 $\pm$ 9,1	**	31,4 $\pm$ 14,0
S-TRAP5b (U/l)	17,0 $\pm$ 6,4		17,4 $\pm$ 6,1	†		11,0 $\pm$ 5,0
Testosteroni (nmol/L)	11,3 $\pm$ 5,7	**	15,3 $\pm$ 7,4	†††	*	0,8 $\pm$ 0,7
Kortisoli (nmol/L)	451 $\pm$ 82	**	561 $\pm$ 98		**	397 $\pm$ 70
Testo-kort-suhde ( $\times 10^{-3}$ )	26,7 $\pm$ 14,8		29,0 $\pm$ 14,6	†††		2,1 $\pm$ 1,9
SHBG	53,4 $\pm$ 28,1		61,4 $\pm$ 33,0			69,6 $\pm$ 14,2
Punasolut ( $\times 10^{12}/l$ )	5,13 $\pm$ 0,20		5,06 $\pm$ 0,23	††		4,67 $\pm$ 0,27
Valkosolut ( $\times 10^9/l$ )	6,27 $\pm$ 1,15		6,48 $\pm$ 1,64			5,68 $\pm$ 1,24
Hemoglobiini (g/l)	148 $\pm$ 10		147,0 $\pm$ 10,2	†		136 $\pm$ 9
Hematokriitti	0,44 $\pm$ 0,02		0,43 $\pm$ 0,03	††		0,40 $\pm$ 0,02
Kolesteroli (mmol/l)	4,06 $\pm$ 0,75		3,74 $\pm$ 0,70			4,24 $\pm$ 1,03
S-HDL (mmol/l)	1,42 $\pm$ 0,46		1,31 $\pm$ 0,37			1,49 $\pm$ 0,30
S-LDL (mmol/l)	2,26 $\pm$ 0,41		2,08 $\pm$ 0,36			2,34 $\pm$ 0,79
S-Trigl (mmol/l)	0,85 $\pm$ 0,24		0,76 $\pm$ 0,30			0,90 $\pm$ 0,57
<b>Suorituskyky</b>						
Lentävä 20m (s)	2,44 $\pm$ 0,16		2,43 $\pm$ 0,17	†		2,62 $\pm$ 0,12
Staattinen hyppy (cm)	34,7 $\pm$ 4,7	*	36,20 $\pm$ 5,34	†		30,5 $\pm$ 2,6
Kevennyshyppy (cm)	36,1 $\pm$ 4,8	***	38,75 $\pm$ 5,43	†		31,6 $\pm$ 2,8
Reaktiivisuusteho (W/kg)	35,9 $\pm$ 6,4	***	41,04 $\pm$ 7,50		**	33,2 $\pm$ 4,8
Isometrinen voima (N)	630 $\pm$ 151	*	604 $\pm$ 152			520 $\pm$ 115
n	10		10			10
						9

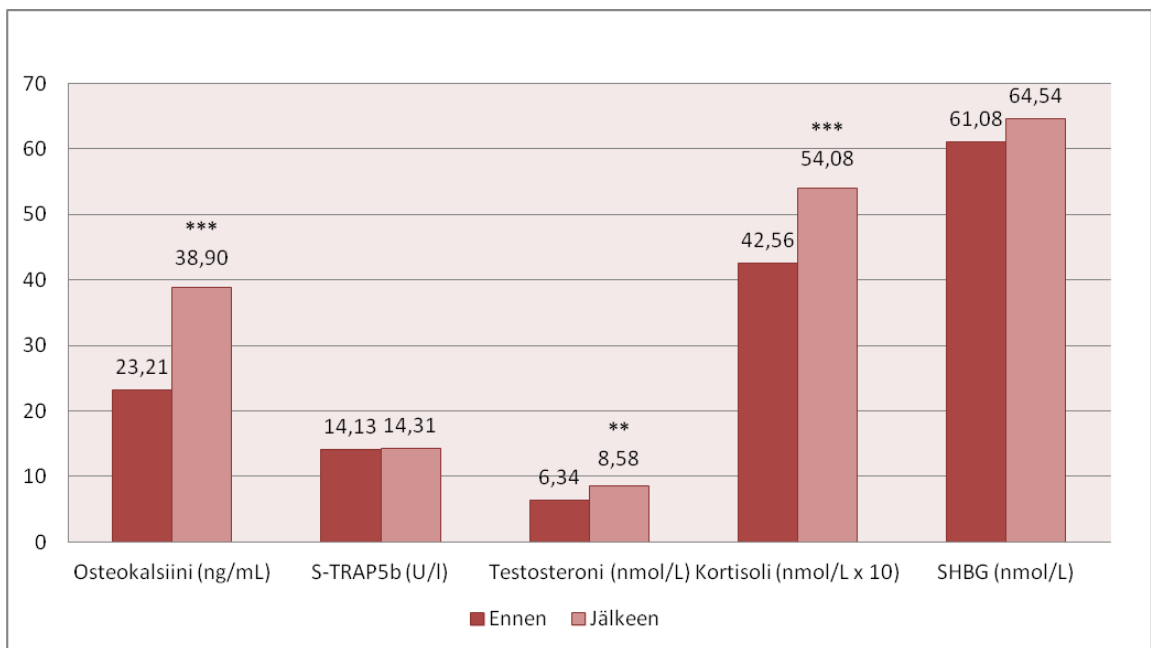


**KUVIO 7.** Poikien ja tyttöjen hormoneiden (ja S-TRAP5b:n) prosentuaalinen muutos alku- ja loppumittausten välillä. Tyttöillä S-TRAP5b:n ja SHBG:n muutos oli negatiivinen. Tilastollisesti merkitsevä ero on merkitty tähdillä (\*\*\*)  $p < 0.001$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*  $p < 0.05$ ). Pojat osteokalsiini  $n = 9$ , muut muuttujat  $n = 10$ ; tytöt  $n = 9$ .



**KUVIO 8.** Poikien ja tyttöjen antropometrian ja suorituskykytestien prosentuaalinen muutos alku- ja loppumittausten välillä. Juoksu-aika pieneni eli parani ja isometrinen voima heikkeni. Nämä ovat merkitty negatiivisina kuvioon. Tilastollisesti merkitsevä ero on merkitty tähdillä (\*\*\*)  $p < 0.001$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*  $p < 0.05$ ). Pojat  $n = 10$ ; tytöt  $n = 9$ .

Kuviosta 9 voi nähdä yhdistetyn koko koehenkilöiden hormonipitoisuudet ennen ja jälkeen tutkimusjakson. Suurimmat muutokset tapahtuivat osteokalsiinissa ( $p < 0,001$ ) ja kortisolissa ( $p < 0,001$ ), joissa muutokset olivat erittäin merkitseviä. Myös testosteroni nousi tutkimusjakson aikana merkitsevästi ( $p = 0,002$ ). Toisen luomarkkerin S-TRAP5b:n pitoisuus ei muuttunut. Testosteroni-kortisoli –suhde ei muuttunut (pojat,  $p = 0,493$ ; tytöt  $p = 0,794$ ).



**KUVIO 9.** Alku- ja loppumittauksissa mitatut hormonipitoisuudet (ja S-TRAP5b) koko koehenkilöjoukolla. Y-akseli kuvaa kunkin hormonin yksikköä. Tilastollisesti merkitsevä ero on merkitty tähdillä (\*\*\*)  $p < 0,001$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*  $p < 0,05$ ). Osteokalsiini  $n = 18$ , muut hormonit  $n = 19$ .

Suorituskykymittausten kehitys koko koehenkilöjoukolla oli seuraavanlainen: kevennys-hyppy ja reaktiivisuusteho ( $p < 0,001$ ), juoksuaika ( $p = 0,007$ ) ja staattinen hyppy ( $p = 0,005$ ). Isometrinen voima heikkeni merkitsevästi ( $p = 0,030$ ).



## 8 POHDINTA

**Päätulokset.** Merkittävin havainto löytyi luumarkkeri osteokalsiinin pitoisuudesta, joka kasvoi merkitsevästi jakson aikana. S-TRAP5b:ssa ei tapahtunut muutosta, mutta sukupuolten välillä siitä kuitenkin löytyi merkitsevä ero poikien arvon ollessa suurempi. Testosteronin ja kortisolin pitoisuudet nousivat merkitsevästi jakson aikana. Myös lähes kaikissa suorituskykytesteissä oli merkitseviä parannuksia.

***Mikä on hyppelyharjoittelun vaikutus fysiologisiin vasteisiin ja suorituskykyyn nuorilla urheilijoilla?*** Aikaisempien tutkimusten mukaan hyppely- ja vastusharjoittelu ovat lisänneet varsinkin biokemiallisia luun muodostumiseen liittyviä tekijöitä (Guadalupe-Grau ym. 2009; Lester ym. 2009). Näitä luumarkkereita ja harjoittelun vaikutuksia luumarkkereihin on tutkittu nuorilla murrosiän ympärillä olevilla tytöillä ja pojilla hyvin vähän (MacKelvie ym. 2002; Magnusson ym. 1995; Witzke & Snow 2000). Yksi syy tähän voi olla, että aikaisempia tutkimuksia kun löytyy vähemmän, ei ole aineistoa, johon vertaata uutta tutkimustietoa. Lisäksi biokemiallisilla luumarkkereilla on suuri biologinen vaihtelevuus. Markkereita on useita ja niiden analysoiminen vaatii aina samanlaiset tarkat menetelmät juuri vertailtavan aineiston kanssa, jotta vertailukelpoisuus säilyy. Tästä syystä markkereiden tulkitseminen ja vertaaminen muihin aineistoihin ei ole aina mahdollista. Tämä on sinänsä sääli, sillä luumassan arviointi markkereiden avulla on muuten käytännöllisempää. (Banfi ym. 2010.) Tässä tutkimuksessa osteokalsiinipitoisuudet nousivat suuresti jakson aikana. Pitoisuuksien hajonta oli todella laaja, mutta nousu oli silti merkitsevää. Koehenkilöillä tämä viittaisi alaraajojen luiden mineraalitiheyden lisääntymiseen eli luiden vahvistumiseen (Guadalupe-Grau ym. 2009). Vaikka osteokalsiinipitoisuuksien nousu olikin tässä tutkimuksessa suurta, ei voida täysin yksimielisesti kuitenkaan sanoa, että nousu olisi ollut täysin harjoittelun ansiota. Varsinkin kasvavilla murrosikäisillä nuorilla taustalla on voinut olla myös normaalin kasvun tuomaa muutosta. Tutkimus olisi vaatinut tästä syystä kontrolliryhmän. Oletettavaa kuitenkin on, että harjoittelulla oli vahva vaikutus osteokalsiinipitoisuuksiin, sillä muutos mittausten välillä oli suuri. Viitearvoja luumarkkereista ei löydy lapsiin eikä nuoriin, mutta heillä pitoisuuksien on sanottu olevan aikuisia korkeammat. Tutkimuksen perusteella poikien osteokalsiiniarvot

sijoittuivat miesten viitearvojen sisään (miehet 18 - 29 vuotta 24 - 70 µg/l) ja tyttöjen arvot naisten viitearvojen sisään (naiset fertiili-ikäiset 11 - 43 µg/l) ([www.huslab.fi](http://www.huslab.fi)).

Luun hajotusmarkkeri S-TRAP5b ei juuri muuttunut jakson aikana. Tämä oli oletettavaa aikaisempien tutkimusten perusteella (Lester ym. 2009). Pitkäkestoisessa hyppelyharjoitustutkimuksessa harjoitusjaksolla määrien ja tehojen pitäisi todennäköisesti olla vielä paljon suuremmat, mitä tässä tutkimuksessa oli, jotta merkittäviä muutoksia TRAP5b – arvoihin löytyisi. Tämä ei ehkä nuorten urheilijoiden harjoittelun ja terveyden kannalta ole järkevää kuitenkaan toteuttaa. Luun hajotusmarkkereiden merkittävää nousua on esiintynyt muutenkin harvemmin luututkimuksissa. Luun merkittävä hajoaminen harjoittelulla vaatii erittäin pitkäkestoisen kuormituksen luulle kuten esimerkiksi ultramaratonin juoksu (lähes 250km) (Kerschan-Schindl ym. 2009). Tietenkin eri hajotusmarkkereilla ja analyysimenetelmillä löytyy eroavaisuuksia. Tämän tutkimuksen markkeriarvot eivät myöskään sijoittuneet miesten ja naisten viitearvoihin, vaan olivat niitä korkeammat. Tähän on voinut vaikuttaa toki analyysimenetelmä, mutta todennäköisempää on se, että koehenkilöt eivät ole vielä aikuisia.

Testosteronitasot nousivat merkitsevästi näin lyhyelläkin jaksolla, mikä on normaalia murrosikäisillä nuorilla. Joillakin pojilla arvot olivat jo täysin miesten arvoissa. Tässä tutkimuksessa kasvavilla nuorilla tämä oli kasvun sekä harjoittelun yhteisvaikutusta. Ilman kontrolliryhmää näitä kahta ei voida erotella. Myös kortisolipitoisuus lisääntyi merkitsevästi eli harjoittelu oli ollut raskaampaa kohti kesää mentäessä. Tämä oli normaalia nuoren yleisurheilijan ohjelmoinnissa. Elimistö oli siis kortisolin mukaan rasittuneemmassa tilassa kuin tutkimuksen alussa. Testosteroni-kortisoli-suhde, joka kuvaa elimistön anabolia-katabolia-tilaa, oli kuitenkin kaikilla lopputesteissä korkeampi kuin alkutesteissä (Häkkinen ym. 1985). Tämän mukaan elimistö oli korkeasta kortisolipitoisuudesta huolimatta anabolisessa tilassa. Tämä on toki järkeenkäypää, kun ajattelee, että koehenkilöinä olivat kasvavat murrosikäiset nuoret.

Suorituskykytesteissä kaikki ominaisuudet paranivat merkitsevästi paitsi maksimaalinen isometrinen voima, joka heikkeni merkitsevästi. Isometrisen voiman heikkeneminen oli oikeastaan pieni yllätys, sillä monilla oli ollut mukana myös voimaharjoittelua lisäkuormilla (vapaa tanko sekä kiinteät kuntosalilaitteet) jakson aikana. Tämä harjoittelu ei tosin ollut valvottua. Lopputestit suoritettiin vasta kilpailukauden puolella, jolloin maksimi-

voimaa ei todennäköisesti monillakaan enää ollut vähään aikaan ohjelmassa verrattuna alkutesteihin ja niiden ajankohtaan. Toisaalta se oli myös oletettua, että voimataso pienellä polvikulmalla ei todennäköisesti kuitenkaan paljon kehity, sillä lähes kaikki hyppyharjoitteet suoritettiin suurilla polvikulmilla (arviolta 130-170°). Isometrinen voimatesti suoritettiin polvikulmalla 110°. Hermostollinen puoli ei siis ollut saanut ärsytystä pienemmällä polvikulmalla, vaan oli adaptoitunut harjoitusohjelman mukaan suuremmille kulmille. Mittausten suorituskykytestien tekniikoissa oli paljon vaihtelua. Vaikka suorituskykytestejä harjoiteltiin ennen alkumittauksia, eivät kaikki oppineet tekniikoita kunnolla. Varsinkin hypyt (staattinen ja kevennyshyppy sekä reaktiivisuustesti) osoittautuivat melko vaikeiksi suorittaa oikein ja hallitusti, minkä vuoksi oppimista saattoi tapahtua jonkin verran jakson sekä myös samojen mittausten aikana. Tuloksia tarkastellessa edellä mainittu seikka on hyvä huomioida.

***Onko tytöillä ja pojilla eroja luuston, hormonipitoisuuksien ja fyysisen suorituskyvyn vasteissa tehostetun hyppelyharjoittelujakson vaikutuksesta?*** Mitään merkittäviä eroja hyppelyn aiheuttamissa fysiologisissa vasteissa ei ollut (Kuvio 7). Jos kuitenkin vertaillaan absoluuttisia hormoniarvoja pojilla ja tytöillä, eroja tietenkin löytyy. Selvin fysiologinen ero näkyy erityisesti testosteronissa. Monet pojista olivat jo saavuttaneet miesten arvot. Eroja poikien eduksi näkyi myös joissakin veriarvoissa kuten punasoluissa, hemoglobiinissa ja hematokriitissä. Tutkimuksen kannalta tärkeä tieto oli kuitenkin S-TRAP5b:n ero poikien ja tyttöjen välillä. Pojilla tämä luun hajoitusmarkkeripitoisuus oli selvästi korkeampi kuin tytöillä molemmissa mittauksissa. Vaikka osteokalsiinipitoisuudet olivat pojilla myös tyttöjä suurempia, eivät ne olleet kuitenkaan merkitseviä toisin kuin S-TRAP5b. Tämä merkitsevyys ei kuitenkaan ollut hyppelyharjoittelun ansiota, vaan fysiologinen ero sukupuolten välillä. Tämä osoittaisi sitä, että tässä tutkimuksessa pojilla luun aineenvaihdunta (muodostus ja hajoitus) olisi ollut vilkkaampaa kuin tytöillä.

***Onko tehokas hyppelyharjoittelu hyödyllistä ja riittävän turvallista nuorilla?*** Yhteensä kahdestakymmenestä koehenkilöstä kaksi keskeytti tutkimuksen. Toinen heistä oli poika, jolla loppumittaukset jäivät kesken loukkaantumisen vuoksi, ja toinen tyttö, joka ei halunnut osallistua loppumittauksiin. Lisäksi parilla pojalla ilmeni pientä lihasvaivaa. Tutkimuksen keskeyttäneellä pojalla revähti takareisi loppumittauksissa lentävällä lähdöllä juostulla 20 m:llä johtuen kireistä lihaksista. Hänellä loppumittaukset jäivät tekemättä. Revähdys johtui täysin loppumittausten väärästä ajankohdasta. Hän ei ollut palautunut

mittauksiin. Toisella pojalla ilmeni polvivaivoja jakson loppupuolella, mutta hän kykeni hoitamaan harjoittelujakson ja loppumittaukset loppuun. Kolmannella pojalla alkoi alaselkä vaivata jakson lopulla. Hänkin pystyi hoitamaan tutkimuksen loppuun asti. Jälkiviisaana pohtien nämä polvi- ja selkävaivat johtuivat hyvin todennäköisesti puutteellisista tekniikoista tietyissä hyppyissä (kinkat, loikat, aitahypyt), jotka suoritettiin kovilla tehoilla ja kovalla alustalla. Nämä tekniikkapuutteet heijastuivat mahdollisesti poikien heikosta keskivartalotukilihaksistosta, saaden aikaan iskutuksesta aiheutuvan kuormituksen vääriin lihaksiin, niveliin jne. Molemmat pojat eivät olleet aina myöskään muissa ryhmänsä harjoituksissa, vaikkakin osallistuivat nyt kaikkiin jakson hyppelyharjoituksiin. Muun liikunnan määrä heillä oli todennäköisesti liian alhainen. Vaikka vaivoja jakson aikana ilmeni, ei näistä pidä pelästyä. Tämän hyppelyharjoitusjakson harjoitteet oli suunniteltu nuorille yleisurheilijoille, jotka harjoittelevat määrällisesti paljon. Nämä kaksi poikaa, joilla ongelmia ilmeni, eivät omanneet riittävää määrällistä pohjaa loppujakson koville harjoituksille. Jos heidän suoritustekniikoissa oli vielä puutteita, se lisäsi vaikutusta. Muilla ei ongelmia ilmennyt. Varsinkaan tytöillä vaivoja ei ollut lainkaan. Tytöillä tosin loppujakson harjoituksia jäi tekemättä jonkin verran tai ne tehtiin liian kevyellä teholla. Olisi ilmeisesti ollut hyvä keventää hieman viimeisten harjoitusten tehoja ja/tai määriä. Varsinkin näissä kovissa harjoituksissa on valmentajan oltava tarkkana. Puutteellisella tekniikalla ei kovia vauhtiloikkia ja korkeita aitoja kannata hyppiä. Valmentajan on oltava valmis keskeyttämään nuoren harjoitus, jos tekeminen ei näytä siltä kuten pitäisi tai pientä vaivaa alkaa ilmetä.

Lopuksi on tärkeää kuitenkin painottaa, että hyppelyharjoittelu on turvallista nuorilla kunhan urheilijan harjoituspohjat ja tukilihakset ovat kunnossa, sekä suoritustekniikat ovat kunnossa ja hyppyjen harjoitussuunnitelma on tasapainossa ja nousujohteinen. Aina on mahdollista, että loukkaantumisia ja vaivoja tulee, mutta niitä voi tulla ihan missä tahansa muussakin liikuntasuorituksessa tai urheilulajissa. Hyppelyharjoittelu on erittäin tehokas harjoitusmuoto yleisurheilussa ja sitä ei voi jättää pienelle huomiolle, jos aiotaan menestyä varsinkin kovassa huippu-urheilussa. Tämäkin tutkimus osoitti, että kehitystä tapahtui jakson aikana yleisurheilulajien kannalta juuri olennaisissa testeissä.

***Mitä olisi voitu tehdä toisin?*** Itse tutkimusjakso olisi pitänyt aloittaa aikaisemmin jo maaliskuussa. Alkuperäinen tarkoitus olikin tehdä näin, mutta erinäisistä syistä jakson aloitus venähti huhtikuun puolelle lähemmäksi jopa huhtikuun puoliväliä. Ongelma tässä

oli se, että kahden kuukauden kestävä harjoittelujakso loppui vasta touko-kesäkuun vaihteessa, jolloin lähes kaikilla oli jo kisakausi alkanut. Kisat, lomat ja muut menot häiritsivät loppumittausten järkevää ajankohtaa. Nyt kävi niin, että jollain koehenkilöistä jäi viimeisiä tehokkaita harjoituksia tekemättä, koska samalla viikolla oli kisoja. Lisäksi optimaalinen valmistautuminen häiriintyi loppumittauksiin myös juuri näiden kisojen ja lomailujen takia. Loppumittaukset eivät antaneet jokaiselle täysin oikeaa kuvaa kehityksestä.

Harjoittelujakson harjoituksia olisi pitänyt valvoa tehokkaammin. Harjoituksethan hoidettiin siten, että koehenkilöiden valmennusryhmien valmentajat valvoivat harjoitukset, koska koehenkilöitä oli monesta eri valmennusryhmästä. Yksi mahdollisuus olisi ollut pitää yhteisiä hyppelyharjoituksia kaikille koehenkilöille. Tämä olisi ollut kaikkein toimivin ratkaisu, mutta kaukana käytännöllisyydestä. Teimme siten, että valmentajilla oli oma harjoitussuunnitelma, johon he lisäsivät tutkimusjakson hyppelyharjoitukset ja valvoivat harjoitteita. Harjoittelun määrällinen toteutus on selvillä, mutta miten tarkasti ja tehokkaasti ohjelmat toteutettiin, jää epäselväksi. Kontrolliryhmän käyttö (ei harjoittelua ollenkaan) olisi ollut myös hyvä, jolloin pelkän kasvun vaikutus esim. luumuuttujiin olisi saatu selville.

**Johtopäätökset.** Tutkimuksen mukaan hyppelyharjoittelu paransi nopeusvoimasuorituskykyä koko koehenkilöjoukolla. Tarkastellessamme fysiologista puolta pojilla, näyttää siltä, että luun aineenvaihdunta (muodostus ja hajotus) näyttäisi olleen heillä vilkkaampaa kuin tytöillä. Tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, että hyppelyharjoittelun vaste luuaineenvaihduntaan olisi ollut välttämättä merkittävämpää pojilla kuin tytöillä. Kehitys oli pojilla ja tytöillä lähes yhtä suurta. Tämä tutkimus vahvistaa kuitenkin sen käsityksen, että hyppelyharjoittelu tehostaa luun uudismuodostusta eikä juuri vaikuta luun hajotukseen millään tavalla oli se sitten pelkästään harjoittelun tai harjoittelun sekä kasvun yhteisvaikutusta. Tämän lisäksi tutkimuksen tulokset vahvistavat käsitystä siitä, että hyppelyharjoittelu on turvallista ja kehittäväää nuorilla kunhan urheilijan harjoitusohjelmat, tukilihakset ja suoritustekniikat ovat kunnossa sekä hyppelyharjoittelun suunnitelma on tasapainossa ja nousujohteista.

## 9 LÄHTEET

Banfi G., Lombardi G., Colombini A. & Lippi G. 2010. Bone metabolism markers in sports medicine. *Sports Med* 40, 697-714

Beck T.J., Ruff C.B., Shaffer R.A., Betsinger K., Trone D.W., Brodine S.K. 2000. Stress fracture in military recruits: gender differences in muscle and bone susceptibility factors. *Bone* 27, 437

Bosco C., Luhtanen P., Komi P.V. 1983. A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *European Journal of Applied Physiology* 50, 273-282.

Chu, D., Faigenbaum, A. & Falkel, J. 2006. *Progressive plyometrics for kids*. Healthy Learning, Monterey, CA

De Villarreal, E.S.S, Gonzalez-Badillo, J.J. & Izquierdo, M. 2008. Low and moderate plyometric training frequency produces greater jumping and sprinting gains compared with high frequency. *Journal of Strength and Conditioning Research* 22, 715-725

Farley, C.T. & Gonzalez, O. 1996. Leg stiffness and stride frequency in human running. *Journal of Biomechanics* 29, 181-186

Gorostiaga, E.M., Iturralde, M.I.P., Ruesta, M. & Ibanez, J. 1999. Effects of heavy resistance training on maximal and explosive force production, endurance and serum hormones in adolescent handball players. *Eur J Appl Physiol* 80, 485-493

Guadalupe-Grau, A., Perez-Gomez, J., Olmedillas, H., Chavarren, J., Dorado, C., Santana, A., Serrano-Sanchez, J.A. & Calbet, J.A.L. 2009. Strength training combined with plyometric jumps in adults: sex differences in fat-bone axis adaptations. *J Appl Physiol* 107, 637

Hakkarainen, H., Jaakkola, T., Kalaja, S., Lämsä, J., Nikander, A. & Riski, J. 2009. Lasten ja nuorten urheiluvallmennuksen perusteet. VK-Kustannus Oy. 480s.

Häkkinen K., Pakarinen A., Alen M., Komi P.V. 1985. Serum hormones during prolonged training of neuromuscular performance. *Eur J Appl Physiol* 53, 287-293

Hammond G.L., Robinson P.A., Sugino H., Ward DN., Finne J. 1986. Physicochemical characteristics of human sex hormone binding globulin: evidence for two identical subunits. *J Steroid Biochem.* 24, 815–824.

Kerschman-Schindl K., Thalmann M., Sodeck G.H., Skenderi K., Matalas A.L., Grampp S., Ebner C. & Pietschmann P. 2009. A 246-km continuous running race causes significant changes in bone metabolism. *Bone* 45, 1079-83

Komi, P.V. 1984. Physiological and biomechanical correlates of muscle function: effects of muscle structure and stretch-shortening cycle on force and speed. *Exercise and Sports Sciences Reviews/ACSM* 12, 81-121

Kotzamanidis, C. 2006. Effect of plyometric training on running performance and vertical jumping in prepubertal boys. *Journal of Strength and Conditioning Research* 20, 441-445

Kubo K., Kanehisa H., Kawakami Y. & Fukunaga T. 2000. Elastic Properties of muscle-tendon complex in long distance runners. *Eur J Appl Physiol* 81, 181-187.

Kubo K., Kanehisa H., Ito M. & Fukunaga T. 2001. Effects of isometric training on the elasticity of human tendon structures in vivo. *American J Appl Physiol* 91, 26-32

Kyröläinen H., Avela J., McBride J.M., Koskinen S., Andersen J.L., Sipilä S., Takala T.E.S., Komi P.V. 2005. Effects of power training muscle structure and neuromuscular performance. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 15, 58-64

Lester M.E., Urso M.L., Evans R.K., Pierce J.R., Spiering B.A., Maresh C.M., Hatfield D.L., Kraemer W.J., Nindl B.C. 2009. Influence of exercise mode and osteogenic index on bone biomarker responses during short-term physical training. *Bone* 45, 768-776

MacKelvie, K.J., Khan, K.M. & McKay, H.A. 2002. Is there a critical period for bone response to weight-bearing exercise in children and adolescents? *Br J Sports Med* 36, 250–257

Magnusson H.I., Westlin N.E., Nyqvist F., Gardsell P., Seeman E., Karlsson MK. 2001. Abnormally decreased regional bone density in athletes with medial tibial stress syndrome. *Am J Sports Med* 29, 712

Magnusson, P., Häger, A. & Larsson, L. 1995. Serum osteocalcin and bone and liver alkaline phosphatase isoforms in healthy children and adolescents. *Pediatric research* 38

Marginson, V., Rowlands, A., Gleeson, N. & Eston, R. 2005. Comparison of the symptoms of exercise-induced muscle damage after an initial and repeated bout of plyometric exercise in men and boys. *Journal of Applied Physiology* 99, 1174-1181

McArdle, W.D., Katch, F.I. & Katch, V.L. 2001, 2007. *Exercise physiology: energy, nutrition and human performance*. Lippincott Williams & Wilkins.

Mero, A., Vuorimaa, T. & Häkkinen, K. 1990. *Lasten ja nuorten harjoittelu*. Gummerrus Oy. Mero Oy. 400s.

Mero, A., Uusitalo, A., Hiilloskorpi, H., Nummela, A. & Häkkinen, K. 2012. *Naisten ja tyttöjen urheiluvalmennus*. VK -Kustannus Oy. 383s.

Minkin, C. 1982. Bone acid phosphatase: tartrate-resistant acid phosphatase as a marker of osteoclast function. *Calcif Tissue Int.* 34, 285-290.

Norman, R.W. & Komi, P.V. 1979. Electromechanical delay in skeletal muscle under normal movement conditions. *Acta Physiologica Scandinavica* 106, 241-248



Ranke, M.B. 2003. Diagnostics of endocrine function in children and adolescents. Karger Publishers.

Rehunen, S. 1990. High-energy phosphate compounds in human skeletal muscle with special reference to methodological aspects, physical exercise and neuromuscular diseases. University of Helsinki. Department of clinical chemistry.

Rogers, R.S., Dawson, A.W., Wang, Ze, Thyfault, J.P., Hinton, P.S. (2011). Acute response of plasma markers of bone turnover to a single bout of resistance training or plyometrics. *Journal of Applied Physiology* 111, 5, 1353-1360.

Tosun, A., Bolukbasi, N., Cingi, E., Beyazova, M., Unlu, M. 2006. Acute effects of a single session of aerobic exercise with or without weight-lifting on bone turnover in healthy young women. *Modern Rheumatol / the Japan Rheumatism Association* 16, 300

Viitasalo, J., Raninen, J. & Liitosola, S. 1985. Voimaharjoitteluperusteet ja käytännön toteutus. Finntrainer Oy, Gummerrus Oy, Jyväskylä.

Von Gerich, S., Kyröläinen, H. 1988. Pituushyppy, kolmiloikka. Suomen Urheiluliitto. Painokaari Oy, Helsinki.

Vuori, I., Heinonen, A., Sievänen, H., Kannus, P., Pasanen, M. & Oja P. 1994. Effects of unilateral strength training and detraining on bone mineral density and content in young women: a study of mechanical loading and unloading on human bones. *Calcif Tissue Int* 55, 59-67

Witzke, K.A. & Snow, C.M. 2000. Effect of plyometric jump training on bone mass in adolescent girls. *Med. Sci. Sports Exerc.* 32, 1051-1057

[www.huslab.fi](http://www.huslab.fi)

## LIITE 1. HARJOITTELUJAKSO

### TASO 1

#### 1. vko 60-80% tehot matolla, matalat keltaiset muoviaidat 30-50cm

HARJOITUS 1: 200 tasajalkaponnistusta

2 x 10 x 10 hyppyä matalilla aidoilla tai 10 x 20 naruhyppyä tai sekoitus

HARJOITUS 2: 200 loikkaa/kinkkaa

2 x 5 x 10 loikkaa

2 x 5 x 10 vaihtokinkkaa

#### 2. vko 60-80% tehot matolla, matalat keltaiset muoviaidat 30-50cm

HARJOITUS 1: 250 tasajalkaponnistusta:

2 x 10 x 10 hyppyä matalilla aidoilla tai 10 x 20 naruhyppyä

5 x 10 kevennyshyppyä (syvä), 1min pal.

HARJOITUS 2: 250 loikkaa/kinkkaa

5 x 10 loikkaa

2 x 5 x 10 vaihtokinkkaa

2 x 5 x 10 matalaa aitaa kinkalla, aitojen välillä väliaskel eli kinkkaava jalka vaihtuu

### TASO 2

#### 3. vko 60-80% tehot, matalat keltaiset muoviaidat 30-50cm

HARJOITUS 1: 200 tasajalkaponnistusta:

5 x 20 naruhyppyä tai pohjehyppyä

10 x 5 ponnistusta kaartein reunalle (80-100cm) ja pudottautuminen alas

5 x 10 kevennyshyppyä (syvä), huom. kovemmat tehot, 1min pal.

HARJOITUS 2: 150 loikkaa/kinkkaa

Vauhdittomat yht. 50 (tehot 85-100%): 4 x 5-loikkaa, 3 x 5-kinkkaa vasemmalla, 3 x 5-kinkkaa oikealla hiekkakasaan

5 x 10 vaihtokinkkaa, matolla tai kovalla

5 x 10 matalaa aitaa kinkalla, aitojen välillä väliaskel eli kinkkaava jalka vaihtuu, matolla tai kovalla

#### 4. vko 60-80% tehot, matalat keltaiset muoviaidat 30-50cm

HARJOITUS 1: 200 tasajalkaponnistusta:

5 x 20 naruhyppyä tai pohjehyppyä

10 x 5 ponnistusta kaartein reunalle (80-100cm) ja pudottautuminen alas

5 x 10 kevennyshyppyä (syvä), huom. kovemmat tehot, 1min pal.

HARJOITUS 2: 150 loikkaa/kinkkaa

Vauhdittomat yht. 50 (tehot 85-100%): 4 x 5-loikkaa, 3 x 5-kinkkaa vasemmalla, 3 x 5-kinkkaa oikealla hiekkakasaan

5 x 10 vaihtokinkkaa, matolla tai kovalla

5 x 10 matalaa aitaa kinkalla, aitojen välillä väliaskel eli kinkkaava jalka vaihtuu, matolla tai kovalla

**TASO 3****5. vko 80-90% tehot, kova alusta, kovat muoviaidat 60-76cm**

HARJOITUS 1 Vauhtiloikat 75-100 toistoa hiekkakasaan:

2 x 5 x 10-loikkaa, 2 ask. vauhti

HARJOITUS 2 Aitahypyt noin 150 toistoa, keskitason aitakorkeus:

3 x 5 x 3 aitaa, sarjapal. 2-3min

4 x 5 x 5 aitaa, sarjapal. 2-3min

**6. vko 80-90% tehot, kova alusta, kovat muoviaidat 60-84cm**

HARJOITUS 1 Vauhtiloikat 75-100 toistoa hiekkakasaan:

4 x 5 x 5-loikkaa, 2 ask. vauhti

HARJOITUS 2 Aitahypyt noin 150 toistoa, keskitason aitakorkeus:

3 x 5 x 3 aitaa, sarjapal. 2-3min

5 x 5 pudotushyppyä kaarteiden reunalta (50-100cm) matalan aidan yli

3 x 5 x 5 aitaa, sarjapal. 2-3min

**TASO 4****7. vko 95-100% tehot, kova alusta, kovat muoviaidat: tytöt 76cm, isot pojat 84-91cm**

HARJOITUS 1 Vauhtiloikat 50 toistoa hiekkakasaan:

2 x 5 x 5-loikkaa, 2-4 ask. vauhti, suuret tehot

HARJOITUS 2 Aitahypyt noin 80 toistoa korkeilla aidoilla:

3 x 3 x 3 aitaa, sarjapal. 2-3min

5 x 5 pudotushyppyä kaarteiden reunalta (50-100cm) matalan aidan yli

2 x 3 x 5 aitaa, sarjapal. 2-3min

**8. vko 95-100% tehot, kova alusta, kovat muoviaidat: tytöt 76-84cm, isot pojat 91cm**

HARJOITUS 1 Vauhtiloikat 50 toistoa hiekkakasaan:

2 x 5 x 5-loikkaa, 2-4 ask. vauhti, maksimitehot

HARJOITUS 2 Aitahypyt noin 80 toistoa korkeilla aidoilla:

3 x 3 x 3 aitaa, sarjapal. 2-3min

5 x 5 pudotushyppyä kaarteiden reunalta (50-100cm) matalan aidan yli

2 x 3 x 5 aitaa, sarjapal. 2-3min.

