

**VOIMA- JA NOPEUSHARJOITTELUN VAIKUTUS 40–85-
VUOTIAIDEN PIKAJUOKSIJOIDEN SÄÄRILUUN MINE-
RAALIMÄÄRÄÄN, -TIHEYTEEN JA GEOMETRISIIN OMI-
NAISUUKSIIN**

Tuuli Suominen

Liikuntafysiologian

pro gradu -tutkielma

Kevät 2008

Liikuntabiologian laitos

Jyväskylän yliopisto

Työn ohjaajat: Harri Suominen,

Heikki Kainulainen

TIIVISTELMÄ

Suominen, Tuuli 2008. Voima-nopeusharjoittelun vaikutus 40–85-vuotiaiden pikajuoksijoiden sääriluun mineraalimäärään, -tiheyteen ja geometrisiin ominaisuuksiin. Liikuntafysiologian pro gradu -tutkielma. Liikuntabiologian laitos, Jyväskylän yliopisto, 91 s.

Intensiivisen voima- ja iskutyypin harjoittelun on todettu olevan tehokas tapa lisätä luumassaa ja parantaa luun geometrisia ominaisuuksia nuoruusiässä sekä mahdollisesti myös aikuisiässä. Iäkkäille tehdyistä tutkimuksista suurin osa on tehty naisille ja tutkimusten painopiste on ollut väestöryhmässä, jossa fyysinen aktiivisuus ja luuntiheyden lähtötasot ovat olleet alhaiset. Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää 20 viikon progressiivisen voima- ja nopeusharjoittelun vaikutusta pitkään harjoitelleiden veteraanipikajuoksijamiesten sääriluun tiheyteen sekä luun rakenteellisiin ja mekaanisiin ominaisuuksiin.

Tutkimukseen osallistui 72 (40–85 v) aktiivisesti harjoittelevaa ja kilpailevaa pikajuoksijamiestä, joilla oli monivuotinen harjoittelutausta. Koehenkilöt satunnaistettiin kahteen ryhmään. Koeryhmä (n=40) osallistui 20 viikon jaksotettuun, progressiiviseen voima- ja nopeusharjoitteluohjelmaan, jossa yhdistettiin pikajuoksun lajiharjoitteita maksimaaliseen ja räjähtävään voimaharjoitteluun. Kontrolliryhmä (n=32) jatkoi omaa tavanomaista harjoitteluaan.

Luustomittaukset tehtiin perifeerisellä kvantitatiivisella tietokonetomografialla (pQCT) sääriluun varresta ja distaaliosasta tutkimuksen alussa sekä harjoittelujakson jälkeen, kuuden kuukauden päästä alkumittauksista. Sääriluun distaaliosasta analysoitiin mineraalimäärä (BMC), volumetrinen tiheys (vBMD), poikkipinta-ala (CSA_{TOT}), hohkaluun tiheys ($vBMD_T$) ja poikkipinta-ala (CSA_T) sekä puristuslujuuden indeksi (BSI_{Comp}). Sääriluun varresta analysoitiin BMC, vBMD, CSA_{TOT} , korteksin mineraalitiheys ($vBMD_C$), poikkipinta-ala CSA_C ja paksuus (Th_C) sekä tiheyspainotteiset jäyhyysmomentit ($Imax$, $Imin$ ja $Ipol$), pinta-alamomentit ($Imax_A$, $Imin_A$ ja $Ipol_A$) ja luun polaarisuusmassajakauma. Luuanalyysit tehtiin Jyväskylän yliopistossa kehitetyllä Geanie 2.1. ohjelmalla (Commit Ltd, Espoo, Suomi). Harjoittelun vaikutusta testattiin toistettujen mittausten varianssianalyysillä (ANOVA). Koe- ja kontrolliryhmien välisiä prosentuaalisia muutoseroja testattiin ikäryhmittäin (40–64-vuotiaat, 65–85-vuotiaat) riippumattomien muuttujien t-testillä. Harjoittelun vaikutusta testattiin myös tehokkuusanalyysin avulla, jolloin koeryhmään valittiin vain yli 70 % harjoitusohjelman harjoituksista tehneet.

Sääriluun distaaliosan luumuuttujissa ei tapahtunut merkitseviä muutoksia. Sääriluun varren korteksin paksuus lisääntyi merkitsevästi ($p=0.008$). Korteksin paksuuden keskimääräinen muutos kontrolliryhmään verrattuna oli koko koeryhmällä 2.0 % ($p=0.007$) ja vanhemmalla ikäryhmällä 2.8 % ($p=0.008$). Sääriluun varren pinta-alamomentti ($Imin_A$) lisääntyi koko koeryhmällä 1.9 % ($p=0.034$) ja nuoremmalla ikäryhmällä 2.8 % ($p=0.031$) kontrolliryhmään nähden. Tehokkuusanalyysin mukaan sääriluun varren vBMD ($p=0.023$) ja $vBMD_C$ ($p=0.034$) alenivat kun taas BMC ($p=0.024$), CSA_{TOT} ($p=0.015$), CSA_C ($p=0.011$), CTh ($p=0.014$) ja $Imin_A$ ($p=0.024$) kasvoivat. Kontrolliryhmään nähden vBMD laski 1.0 % ($p=0.026$) ja $vBMD_C$ 0.8 % ($p=0.037$) kun taas BMC kasvoi 0.7 % ($p=0.020$), CSA_{TOT} 1.6 % ($p=0.011$), CSA_C 1.7 % ($p=0.008$), CTh 2.5 % ($p=0.015$) $Imin$ 1.7 % ($p=0.034$), $Imin_A$ 3.0 % ($p=0.010$) ja $Ipol_A$ 2.0 % ($p=0.035$). Polaarisen massajakauman mukaan luumassa lisääntyi erityisesti antero-mediaalisella alueella ($p=0.047$).

Tutkimuksen tulokset viittaavat siihen että intensiivisellä voima- ja nopeusharjoittelulla voidaan parantaa myös aikaisemmin harjoitelleiden, ikääntyvien urheilijoiden sääriluun varren geometrisia ominaisuuksia ja luun lujuutta.

Avainsanat: voimaharjoittelu, isku-tärähdystyyppinen harjoittelu, veteraanuurheilu, luusto, pQCT, ikääntyminen

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ

1 JOHDANTO	5
2 LUUN OMINAISUUDET	7
2.1 Luun rakenne ja tehtävät	7
2.2 Biomekaaniset ominaisuudet	8
2.2.1 Materiaaliset ominaisuudet	8
2.2.2 Rakenteelliset ominaisuudet.....	10
2.3 Modellaatio ja remodellaatio.....	10
3 IKÄÄNTYMISEN VAIKUTUS LUUSTOON	12
4 MEKAANINEN KUORMITUS LUUN OMINAISUUKSIEN SÄÄTELIJÄNÄ	17
5 LIIKUNNAN VAIKUTUS LUUSTOON	21
5.1 Kestävyystyypinen harjoittelu.....	22
5.2 Voimaharjoittelu	23
5.3 Isku-tärähdystyyppinen harjoittelu.....	26
5.4 Yhteenveto	32
6 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA TUTKIMUSONGELMAT.....	34
7 MENETELMÄT	35
7.1 Koehenkilöt ja koeasetelma	35
7.2 Harjoitusohjelma.....	36
7.3 Luustomittaukset ja -analyysit	38
7.4 Muut menetelmät	39
7.5 Tilastolliset menetelmät	39

8 TULOKSET	41
8.1 Koehenkilöiden taustatiedot.....	41
8.2 Harjoitusohjelman toteutuminen.....	42
8.3 Luumuuttajat.....	42
8.3.1 Sääriluun distaaliosa.....	43
8.3.2 Sääriluun varsi.....	43
8.3.3 Tehokkuusanalyysi.....	51
9 POHDINTA	58
LÄHTEET.....	66

LIITTEET

1 JOHDANTO

Luumassa alkaa vähetä progressiivisesti noin 35. ikävuoden jälkeen (Frost 1997, Mundy ym. 2003). Luun määrän vähenemisen lisäksi ikääntymiseen liittyy myös luurakenteen ja sitä kautta luun lujuuden heikkenemistä. Osteoporoosi on osin normaaliin ikääntymiseen liittyvä ilmiö, jonka taustalla on monia tekijöitä, kuten hormonaalisia muutoksia ja fyysisen toimintakyvyn heikkenemistä (ks. Nikander ym. 2006a). Väestön ikääntyessä osteoporoosin ilmaantuvuus on lisääntynyt huomattavasti länsimaissa viime vuosikymmeninä. Suomessa osteoporoosia sairastaa arviolta 400 000 henkilöä ja luun haurastumiseen liittyviä murtumia tapahtuu vuosittain 30 000–40 000. Osteoporoottisten murtumien määrän ennustetaan kasvavan edelleen lähitulevaisuudessa ja osteoporoosin seurausten ennaltaehkäisyn kansanterveydellinen ja -taloudellinen merkitys tulee entistä tärkeämmäksi. (Nikander ym. 2006a, Välimäki ym. 2007). Liikunta näyttäisi olevan ainoa keino, jolla voidaan vaikuttaa samanaikaisesti useaan osteoporoottisten murtumien taustatekijään kuten luumassaan ja luun lujuuteen, alaraajojen lihasvoimaan, tasapainoon ja kaatumisten ehkäisyyn (Heinonen & Karinkanta 2003).

Liikunnan luustovaikutukset näyttäisivät olevan tehokkaimpia kasvuiässä, jolloin luun mineraalimäärää ja rakennetta voidaan vahvistaa huomattavasti nopeammin kuin aikuisiässä. Aikuisiässä luuliikunnan pääasiallinen tavoite on säilyttää saavutettu luun huippumassa ja ikääntyessä taas hidastaa luukatoa ja ehkäistä kaatumisia. (ks. Nikander ym. 2006a) Tutkimustieto liikunnan vaikutuksista aikuisiällä ja vanhuudessa on osittain ristiriitaista, mutta näyttäisi siltä, että luustoa voidaan vahvistaa liikunnan avulla myös tuolloin (Kohrt ym. 2004).

Liikunnan luustovaikutusten tutkiminen aikuisilla ja ikääntyneillä on keskittynyt naisiin, koska naisilla luukato lisääntyy huomattavasti vaihdevuosi-iässä estrogeenin tuotannon vähetessä. Miehillä luukato on tasaisempaa eikä osteoporoottisten murtumien ilmaantuvuus lisääny heillä merkittävästi ennen 8. tai 9. vuosikymmentä (Kohrt ym. 2004). Miehillä fyysisen aktiivisuuden merkitystä luuston kunnon ylläpitäjänä on tutkittu vä-

hän, mutta se on tulossa entistä tärkeämmäksi tutkimusalueeksi iäkkäiden miesten lisääntyvän määrän vuoksi (Kohrt ym. 2004).

Liikunnan luustovaikutusten tutkiminen iäkkäillä on painottunut väestöryhmään, jonka fyysinen aktiivisuus ja luuntiheydet ovat alhaiset. Veteraaniurheilijat eivät edusta normaalia ikääntyvää väestöä, mutta heidän avulla voidaan saada arvokasta tietoa ihmiskehon potentiaalista ja ikääntyvien suorituskyvyn ja luuston adaptoitumiskyvyn ylärajoista (Harridge & Suominen 2003). Veteraaniurheilijoita tutkimalla voidaan myös erottaa ikääntymisen vaikutukset iän myötä tyypillisesti tapahtuvan liikunnan vähenemisen vaikutuksista luustoon (ks. Nichols ym. 2003). Urheilijoiden tutkimusta puoltaa myös se, että kilpaurheiluun liittyvällä rasittavalla harjoittelulla voidaan saada suurempia luustovaikutuksia kuin normaalilla vapaa-ajan fyysisellä aktiivisuudella (esim. Heinonen ym. 1995).

Luuston kannalta tehokasta iskutyypistä kuormitusta on tutkittu iäkkäillä vähän, sillä rajuutensa vuoksi se ei sellaisenaan sovi heille. Nopeus- ja iskutyypiset lajit voivat kuitenkin olla luuston kannalta tehokkaimpia myös aikuisiässä ja vanhuudessa (Välimäki ym. 2007), minkä vuoksi tutkimustietoa tällaisesta harjoittelusta tarvitaan. Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää 20 viikon progressiivisen voima- ja nopeusharjoittelun vaikutusta pitkään harjoitelleiden veteraaniurheilijoiden sääriluun tiheyteen sekä luun rakenteellisiin ja mekaanisiin ominaisuuksiin.

2 LUUN OMINAISUUDET

2.1 Luun rakenne ja tehtävät

Luu on erikoistunutta sidekudosta, joka muodostaa luurangon yhdessä rustokudoksen kanssa. Luun massasta 20–25 % on orgaanista ainetta, 70 % epäorgaanista ainetta ja loput 5 % vettä. Orgaanisesta aineesta 98 % on tyyppin I kollageenia sekä biologisesti tärkeitä non-kollageenisia proteiineja, joiden osuus on hyvin pieni. Noin 2 % orgaanisesta aineesta on soluja, joita ovat osteoblastit, jotka tuottavat luun orgaanisen aineen, osteosyytit eli kypsät luusolut, jotka ovat muodostuneet matriksin sisään jääneistä osteoblasteista sekä osteoklastit eli luunsyöjäsolut. Epäorgaaninen aine koostuu mineraaleista, pääosin kalsiumpitoisesta hydroksiapatiitista, jota esiintyy kiteinä kollageenisäikeiden seassa. (Khan ym. 2001.) Kollageenisäikeet vastaavat luun vetolujuudesta ja sitkojoustavuudesta kun taas mineraalit sen puristuslujuudesta. Lisääntynyt mineraalitiheys lisää luun kovuutta, mutta heikentää samalla sen joustavuutta (ks. Seeman & Delmas 2006).

Luiden koostumus ja rakenne takaavat maksimaalisen lujuuden minimaalisella massalla. Luulla on sekä rakenteellisia, mekaanisia että aineenvaihdunnallisia tehtäviä. Luut ylläpitävät kehon rakennetta ja asentoa ja suojaavat arkoja sisäelinten ja luuytimen pehmeitä kudoksia. Luut toimivat vipuvarsina ja niiden avulla siirretään lihasten tuottama voima kehon osasta toiseen. Lisäksi luut ylläpitävät kehon mineraalien, erityisesti kalsiumin tasapainoa ja tarjoavat suotuisan ympäristön verisolujen muodostukselle. (Khan ym. 2001, Baron ym. 2003.)

Luukudosta jaotellaan yleensä kahteen eri tyyppiin: kuoriluuhun (cortical bone) ja hohkaluuhun (trabecular bone). Kudostyypit eroavat rakenteeltaan ja toiminnaltaan, solut ja matriksi niissä ovat samat. Tiivis, kalsiumpitoinen (80–90 % tilavuudesta) kuoriluu muodostaa pitkien luiden uloimman osan. Luustosta noin 85 % on kuoriluuta ja sitä on

eniten pitkien luiden varsissa (Mundy ym. 2003). Kuoriluu vastaa luuston mekaanisista ja suojaavista ominaisuuksista. Kuoriluulla on kaksi erityyppistä pintaa: luuydintä vasten oleva sisäpinta eli endosteum sekä pehmytkudosta vasten oleva ulkopinta eli periosteum. Endosteumia reunustavien pintasolujen aineenvaihdunta on aktiivista ja ne osallistuvat luun muodostukseen ja hajotukseen. Kaksikerroksisen periosteumin sisempi kalvo vastaa ikääntymiseen liittyvästä pitkien luiden läpimitan kasvusta. (Khan ym. 2001, Baron 2003.)

Kuoriluu koostuu vierekkäisistä, toisiinsa yhteydessä olevista lieriömäisistä alueista eli osteoneista, joissa luusolut ovat järjestäytyneet verisuonikanavien ympärille. Osteoneissa kollageenisyyt ovat järjestäytyneet vuoroin tiiviiseen ja vuoroin löysään muodostelmaan suuntautuen samalla eri suuntiin, mikä lisää murtumaresistenssiä (Seeman & Delmas 2006).

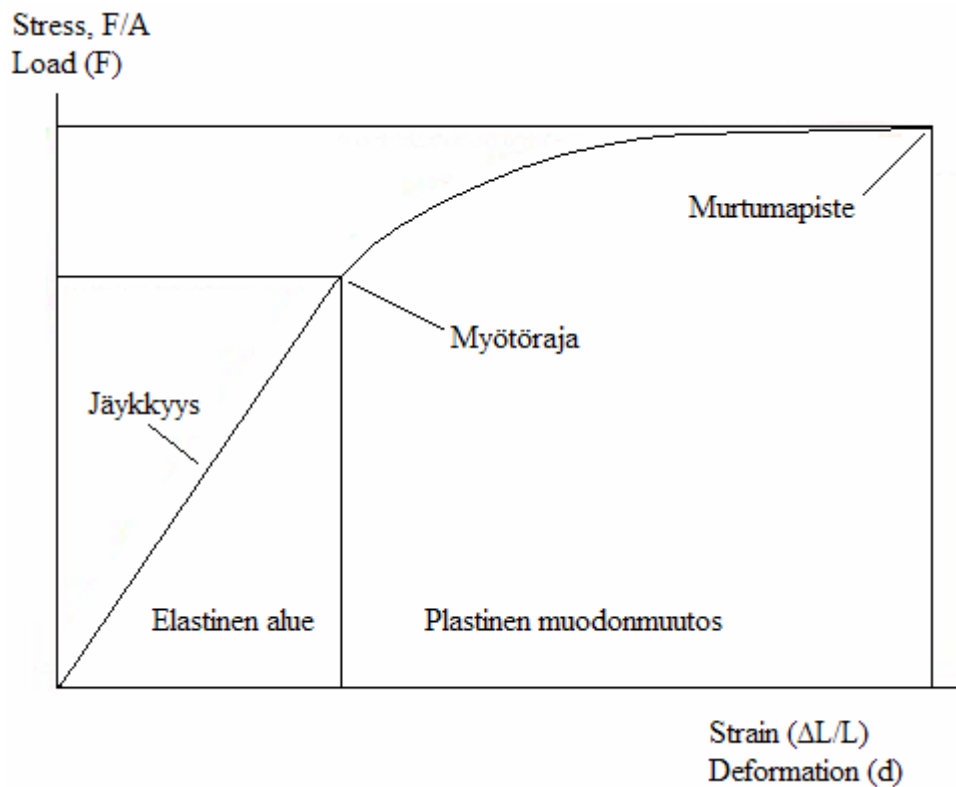
Pitkien luiden päissä kuoriluun alla on kennomaista hohkaluuta, jossa on luuydintä palkkeina olevan luukudoksen välissä. Hohkaluun osuus luustosta on vain noin 15 % ja eniten sitä on selkärangan alueella (Mundy ym. 2003). Hohkaluu on aineenvaihdunnaltaan kuoriluuta aktiivisempaa, mutta rakenteeltaan heikompaa. Kalsiumia hohkaluun tilavuudesta on vain noin 15–25 % (Khan ym. 2001).

2.2 Biomekaaniset ominaisuudet

2.2.1 Materiaaliset ominaisuudet

Luun materiaaliset ominaisuudet ovat kudostason mekaanisia ominaisuuksia, jotka ovat riippumattomia luun koosta ja muodosta. Materiaalisiin ominaisuuksiin vaikuttaa luun mineraalitiheys ja kollageenipitoisuus sekä kollageenin järjestäytyminen, mineraalikehien koko ja luun mikrorakenne (van der Meulen ym. 2001, Cointy ym. 2004).

Luun materiaalisia ominaisuuksia määritetään laboratoriomittauksissa, joissa luunäytteitä kuormitetaan kontrolloiduissa olosuhteissa. Luuta kuormitettaessa sen muoto muuttuu ja sen sisälle muodostuu tätä muutosta vastustavia sisäisiä voimia, joita kutsutaan termillä jännitys (stress). Jännitys on luunäytteen pinta-alaa kohden tuotettu voima ja se ilmaistaan joko Newtonina neliometriä kohden (N/m^2) tai Pascaleina (Pa). Luun muodonmuutos (strain) lasketaan jakamalla luun pituuden, leveyden tai kulmamudostuman muutos luun alkuperäisellä koolla. Jännityksen ja suhteellisen muodonmuutoksen suhdetta kuvataan stress-strain – käyrällä (kuvio 1), josta voidaan määrittää myös luun muut materiaaliset ominaisuudet, kuten materiaalin jäykkyys (stiffness). Jäykkyys kuvaa muodonmuutokseen tarvittavaa voimamäärää ja se ilmaistaan stress-strain –käyrän jyrkkyydellä. (Khan ym. 2001.)



KUVIO 1. Luun stress-strain (load-deformation) –käyrä.

2.2.2 Rakenteelliset ominaisuudet

Kokonaista luuta kuormitettaessa luun mekaanisiin ominaisuuksiin vaikuttavat materiaalien ominaisuuksien lisäksi geometriset ominaisuudet, joita ovat luun koko, muoto, korteksin paksuus, poikkipinta-ala ja hohkaluun arkkitehtuuri. Pitkien luiden ontton sylinterin muoto takaa vähimmän massan ja suurimman lujuuden taivutus- ja kiertokuormituksessa. Taivutuksessa sekä poikkipinta-ala että massan jakautuminen neutraalin akselin (yleensä luun keskiosa) ympärille vaikuttavat luun mekaanisiin ominaisuuksiin. Luustossa minimimassa ja maksimaalinen jäyhyysmomentti saavutetaan kun luun poikkipinta-ala on mahdollisimman kaukana keskiakselilta. Pienikin luun muodostus luun periosteumissa (luun säteen kasvu) lisää jäyhyysmomenttia huomattavasti. (Khan ym. 2001, Turner 2002, Cointy ym. 2004.)

Koko luun mekaanisia ominaisuuksia määritetään kuormituksessa tapahtuvalla muodonmuutoksella, jota kuvataan stress-strain -käyrää vastaavalla kuormitus-muodonmuutos -käyrällä (load-deformation - käyrä, kuvio 1). Vertikaalisessa kuormituksessa kuormituksen yksikkönä on newton (N) ja muodonmuutos ilmaistaan millimetreinä. Kierto-kuormituksessa yksikköinä ovat newtonmetri (Nm) ja asteet. Kuormituksen ja muodonmuutoksen suhde on lineaarinen kunnes luu saavuttaa myötörajan (yield point). Käyrän lineaarinen osa kuvaa luun elastista, kuormituksen loputtua ennalleen palautuvaa muodonmuutosta. Käyrän jyrkkyys elastisella alueella kuvaa luun jäykkyyttä eli sen kykyä vastustaa muodonmuutosta. Myötörajan yläpuolella olevaa käyrän osaa kutsutaan plastiseksi muodonmuutokseksi, jolloin kuormituksen aiheuttamat muodonmuutokset ovat pysyviä. Kuormituksen suurentuessa edelleen voidaan saavuttaa luun murtumispiste. (Khan ym. 2001.)

2.3 Modellaatio ja remodellaatio

Luukudoksen adaptoitumisesta vastaavat kudostason mekanismit ovat luun muodostus eli modellaatio ja uudismuodostus eli remodellaatio. Modellaatiossa luun muodostus (osteoblastit) ja hajotus (osteoklastit) tapahtuvat itsenäisesti, eri kohdissa luuta. Model-

laatio vahvistaa luuta lisäämällä sen massaa ja muokkaamalla sen geometriaa (koko ja muoto). Luun massan tai lujuuden heikkenemistä modellaation välityksellä tapahtuu harvoin tai ei koskaan (Frost 2002). Modellaatio on erityisen tärkeä kasvuiän adaptointimekanismi. Aikuisiän modellaatiosta esimerkkinä on hidas, läpi aikuisiän jatkuva luiden periosteaalisen ja endokortikaalisen läpimitan kasvu (ks. Khan ym. 2001).

Remodellaatio on läpi elämän jatkuva luuston uudistusprosessi, jossa vanhaa luuta poistetaan ja uutta muodostetaan samassa paikassa eri aikaan. Osteoklastit ja osteoblastit muodostavat luun multisellulaariyksiköitä (monisoluisia perusyksiköitä), jotka toimivat erillisissä paikoissa luun endosteumin endokortikaalisella, intrakortikaalisella ja trabekulaarisella pinnalla (ks. Frost 2002). Periosteumissa remodellaatiota tapahtuu erittäin harvoin (Turner & Robling 2005). Remodellaation avulla korvataan ikääntynyttä luuta uudella, korjataan mikroaurioita sekä ylläpidetään luun mineraalitasapainoa (Cointry ym. 2004). Terveessä luustossa luuta muodostetaan yhtä paljon kuin sitä on poistettu (Frost 1989). Normaalilla aikuisella remodellaation aktivaatio ja vanhan luun poistaminen kestävät noin yhden kuukauden ja uuden luun muodostus noin kolme kuukautta, joten koko remodellaatio on valmis noin neljässä kuukaudessa (ks. Heinonen 1997, Kohrt ym. 2004). Luun mineralisaatio on valmis noin seuraavan 3-4 kuukauden aikana (ks. Heinonen 1997, Kohrt ym. 2004). Modellaatiota ja remodellaatiota säätelevät useat eri tekijät, kuten mekaaniset voimat, ravitsemus ja hormonitasapaino (Harridge & Suominen 2003).

3 IKÄÄNTYMISEN VAIKUTUS LUUSTOON

Luun massa, koko ja lujuus lisääntyvät kasvuiässä ja tasaantuvat varhaisessa aikuisiässä. Luukohdasta riippuen luumassa alkaa vähetä progressiivisesti noin 35. ikävuoden jälkeen (Frost 1997, Mundy ym. 2003). Hohkaluu alkaa heiketä aiemmin kuin kuoriluun, jonka heikkeneminen alkaa noin 40. ikävuoden jälkeen (Szulc ym. 2000, Mundy ym. 2003). Kuoriluun lujuus heikkenee 2-5 %, hohkaluun 8-10 % vuosikymmenessä (Burr & Turner 2003). Naisilla luun menetys lisääntyy vaihdevuosi-iässä, jolloin estrogeenin tuotanto vähenee. Naiset menettävät elämänsä aikana arviolta 50 % hohkaluun ja 30 % kuoriluun huippumassasta (Riggs & Melton 1995). Vastaavat luvut miehillä ovat 30 ja 20 %.

Ikääntymiseen liittyvään luukatoon vaikuttavat remodellaation tasapainon ja nopeuden muutokset, vähentynyt mekaaninen kuormitus ja lihassmassa sekä hormonitoiminnan ja paikallisten kasvutekijöiden muutokset ja mahdolliset ravitsemukselliset puutteet (Kohrt ym. 2004, Seeman & Delmas 2006). Aikuisilla yksi ensimmäisistä luukatoon johtavista remodellaation muutoksista on luun muodostumisen suhteellinen väheneminen, jolloin uutta luuta muodostuu vähemmän kuin vanhaa on poistettu, mikä johtaa luukatoon ja rakenteellisiin vaurioihin. Kasvuiän multisellulaariyksikön positiivinen tasapaino sekä ikääntymisen negatiivinen tasapaino ovat pieniä, minkä vuoksi luumassan lisääntymistä (kasvuikä) ja vähenemistä (ikäntyminen) ohjaakin enemmän remodellaation nopeus kuin positiivisen tai negatiivisen tasapainon suuruus. (Seeman & Delmas 2006.)

Remodellaatio tapahtuu luun pinnoilla. Hohkaluulla on tilavuuteensa nähden suuremmat pinta-alat kuin kuoriluulla, joten remodellaation määrä on hohkaluussa suurempi. Multisellulaariyksiköiden lisääntynyt resorptio johtaa luupalkkien reikiintymiseen ja uuden luun muodostumisen vähenemiseen taas hohkaluupalkkien ohenemiseen. Osa luupalkeista häviää kokonaan ja palkkien väliset yhteydet katkeavat, mikä puolestaan aiheuttaa suuremman vajeen luun lujuudessa kuin luupalkkien oheneminen. Miehillä luukato ta-

pahtuu pääosin luupalkkien ohenemisen kautta, vaikka myös palkkien reikiintymistä, häviämistä ja yhteyksien katoamista tapahtuu. (Seeman & Delmas 2006.)

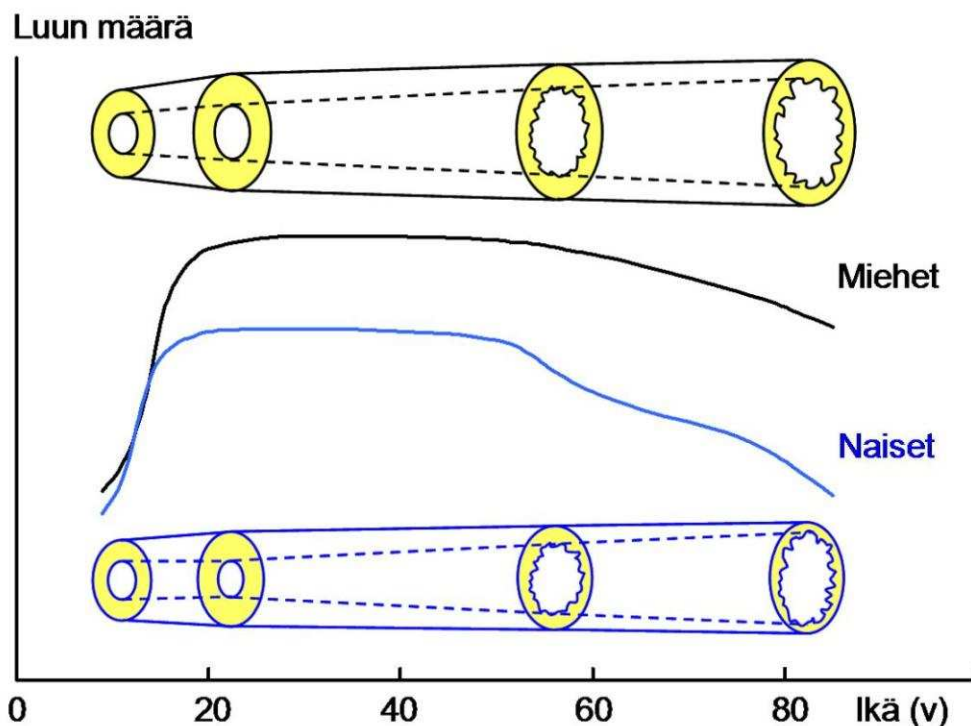
Hohkaluupalkkien hävitessä remodellaatio tulee aktiivisemmaksi endokortikaalisella pinnalla kuin jäljellä olevien hohkaluupalkkien pinnalla. Aktiivinen endokortikaalinen ja intrakortikaalinen remodellaatio muuttaa kuoriluuta huokoisemmaksi, jolloin sen pinta-ala ja samalla myös remodellaation määrä kasvaa (Seeman & Delmas 2006). Kuoriluun oheneminen ja huokoistuminen heikentävät myös luun kykyä absorboida energiaa (Mayhew ym. 2005), jolloin luu tulee alttiimmaksi iskukuormituksen, kuten kaatumisen aiheuttamille murtumille. Luumassaan suhteutettuna endokortikaalinen luukato on naisilla suurempaa kuin miehillä (ks. Kaptoge ym. 2003, Suominen 2006, Lauretani ym. 2008).

Periosteaalinen luun muodostus ylläpitää korteksin paksuutta ja vastustaa siten korteksin ohenemisen ja huokoistumisen aiheuttamaa luun puristus- ja taivutuslujuuden heikkenemistä (Russo ym. 2006, Seeman & Delmas 2006). Periosteaalisen apposition määrä vaihtelee luukohdittain (Riggs ym. 2004, Marshall ym. 2006) ja on naisilla pienempää sekä kasvun että ikääntymisen aikana (Seeman 1997, Duan 2003, Russo ym. 2006). Puberteetti-ään jälkeen luumassaa kertyy naisilla pikemminkin endostealiselle alueelle, josta se menopaussin jälkeen alkaa myös ensimmäisenä vähetä (Ferretti ym. 2003, kuvio 2).

Periosteaalinen appositio ja endosteaalinen resorptio määräävät kuoriluun paksuuden ja halkaisijan pitkissä luissa kun taas niiden mineraalitiheys määräytyy periostealisella appositiolla, endostealisella resorptiolla ja korteksin huokoisuudella. Duanin ym. (2003) ja Riggsin ym. (2004) tutkimuksissa periosteaalinen laajeneminen oli endokortikaalista laajenemista pienempää molemmilla sukupuolilla, mikä johti reisiluun kaulan korteksin ohenemiseen ja pinta-alan pienenemiseen ja samalla lisääntyneeseen rakenteellisen vaurion (nurjahdus) riskiin. Szulcin ym. (2000) tutkimuksessa iäkkäiden miesten raajojen luiden lisääntynyt endosteaalinen resorptio ja korteksin huokoistuminen johtivat alentuneeseen mineraalimäärään periostealisesta appositiosta huolimatta. Beckin ym. (2000) mukaan periosteaalisen apposition pieni, mutta erittäin merkitsevä

kasvu reisiluun kaulassa ja varressa molemmilla sukupuolilla kompensoi kuitenkin luumassan katoa, eikä luun mekaaninen lujuus välttämättä heikkene. Myös Kaptoge ym. (2003) havaitsivat, ettei luun mekaaninen lujuus heikkene samaa tahtia kuin tiheys, mikä viittaa siihen, että osa ikääntymiseen liittyvästä tiheyden alenemisesta johtuu luun läpimitan ja samalla sen pinta-alan kasvusta ilman että mineraalimäärä alenee.

Lauretani ym. (2008) seurasivat kuuden vuoden ajan 21–102-vuotiaiden naisten ja miesten sääriluun geometriassa tapahtuvia muutoksia. Miehillä periosteaalista appositiota tapahtui pääosin nuoremmalla iällä kun taas naisilla se jatkui samanlaisena vanhuuteen asti. Endokortikaalinen resorptio oli kuitenkin naisilla huomattavasti nopeampaa kuin miehillä, minkä vuoksi kortikaalinen luumassa väheni iäkkäillä naisilla periostealisesta appositiosta huolimatta. Endokortikaalinen resorptio näyttäisi siis olevan tärkein ikääntymiseen liittyvään luun haurastumiseen johtava tekijä.



KUVIO 2. Ikään liittyvät luun massan ja poikkileikkausgeometrian muutokset miehillä ja naisilla. Mukailtu Suomisen (2006) esittämästä kuvioista.

Suurin osa ikääntymiseen liittyvän luukadon tutkimuksista on tehty käyttämällä densitometriä. Kaksienergiseen röntgensäteilyyn perustuvalla DXA:lla voidaan mitata luun mineraalimäärä (BMC, g) sekä mineraalitiheys (aBMD, g/cm²), joka kuvaa mineraalien mitattua määrää luukudoksen pinta-alaa kohden. Kvantitatiivista tietokonetomografiaa (QCT) on käytetty huomattavasti vähemmän sen kalleuden ja melko suuren säteilyannoksen takia. QCT:lla saatu mineraalitiheys kuvaa luun mineraalimäärää luukudoksen tilavuutta kohden (vBMD, g/cm³). Lisäksi sillä voidaan erottaa eri luutyypit toisistaan sekä havaita muutokset luun rakenteessa. Perifeerisen luuston mittaamiseen käytetty pQCT perustuu samaan tekniikkaan kuin QCT, mutta siinä saatava säteilyannos on huomattavasti pienempi.

Luukato ilmenee sekä aBMD:n että vBMD:n alenemisena sekä keskivartalon että raajojen luissa ollen naisilla suurempi myös vanhimmissa ikäryhmissä (ks. Suominen 2006). Szulcin ym. (2000) poikkileikkaustutkimuksessa ikääntymiseen liittyvät aBMD:n muutokset vaihtelivat miehillä eri luukohdissa. Vaihtelevuus lisääntyi iän myötä, mikä saattaa kertoa ikääntymiseen liittyvän luukadon yksilöiden välisistä eroista: osa säilyttää luunsa hyvin, toisilla luukato on nopeaa. Myös Karlssonin ym. (2000) seurantatutkimus osoitti eri luukohtien aBMD:n alenevan eri vauhtia sekä miehillä että naisilla.

Ravaglian ym. (2000) poikkileikkaustutkimuksessa miesten aBMD ja BMC laskivat tasaisesti kaikissa luukohdissa paitsi selkärangan alueella, jossa ikääntyessä yleistyvät nivelrikko ja pehmytkudoksen kalkkeutuminen saattoivat keinotekoisesti nostaa luuarvoja. Myös Clarke ym. (2000) ja Palmer ym. (2006) arvelivat näiden tekijöiden selittäneen sen, ettei miesten koko kehon aBMD laskenut iän myötä heidän tutkimuksissaan. Melton ym. (1998) poikkileikkaustutkimuksessa selkärangan aBMD väheni 40. ikävuodesta eteenpäin naisilla; miehillä laskua ei tapahtunut. Sekä naisten että miesten lonkan aBMD laski lineaarisesti 20. ikävuodesta eteenpäin, ranteessa väheneminen tapahtui vasta 50. ikävuoden jälkeen. Neljän vuoden seurantatutkimukseen verrattuna poikkileikkausasetelma näytti yliarvioivan useimpien luukohtien, etenkin lonkan ja selkärangan luukatoa kun taas käsivarren luukohdissa luukato oli todellista alhaisempaa (Melton ym. 2000). Warmingin ym. (2002) tutkimuksessa poikkileikkausasetelmassa saadut

aBMD:t vastasivat pitkittäistutkimuksessa saatuja arvoja parhaiten lonkan ja käsivarren luukohdissa.

BMD:n väheneminen on nopeampaa hohkaluuta sisältävissä luukohdissa, kuten reisi- luun kaulassa kuin vain kuoriluuta sisältävässä reisiluun varressa (Beck ym. 2000). Naisilla BMD:n aleneminen kiihtyi 50. ikävuoden jälkeen molemmissa luukohdissa; miehillä luukato oli lineaarisempaa. Marshallin ym. (2006) poikkileikkaustutkimuksessa iäkkäiden miesten proksimaalisen reisiluun dimensioissa ja vBMD:ssä havaittiin huomattavaa yksilöiden välistä vaihtelua. Endosteaalista resorptiota ja korteksin ohenemista tapahtui sekä reisiluun kaulassa että varressa; periosteaalinen appositio oli huomattavasti suurempaa varressa kuin kaulassa. Sekä reisiluun kaulan hohkaluun että reisiluun varren kuoriluun tiheydet alenivat huomattavasti.

Russo ym. (2003) tutkivat sääriluun ikääntymismuutoksia 20–102-vuotiailla miehillä ja naisilla. Sekä koko luun tiheys että kuori- ja hohkaluun tiheydet laskivat lineaarisesti iän myötä molemmilla sukupuolilla muutosnopeuden ollessa naisilla suurempaa. Kuoriluun pinta-ala laski 60-vuotiailla ja sitä vanhemmilla naisilla prosentoina vuodessa; miehillä ei tapahtunut muutoksia. Koko luun poikkipinta-ala kasvoi iän myötä ollen miehillä merkittävästi suurempaa. Jäyhyysmomentti (Imin) oli iäkkäillä naisilla merkittävästi alempi kuin nuorilla naisilla; miehillä jäyhyysmomentti säilyi ikäännyttäessä. Luun tiheyden alenemisesta huolimatta luiden mekaaninen kompetenssi säilyi miehillä lisääntyneen luun poikkipinta-alan vuoksi. Naisilla tämä kompensoiva mekanismi ei ole yhtä tehokas, minkä vuoksi luun mekaaninen lujuus heikkenee ikäännyttäessä. Samalle tutkimusjoukkoille tehdyn kuuden vuoden seurantatutkimuksen mukaan (Lauretani ym. 2008) poikkileikkausasetelma näytti yleisesti ottaen aliarvioivan luuparametrien heikkenemistä, eivätkä ikääntymiseen liittyvät muutokset olleet todellisuudessa lineaarisia.

4 MEKAANINEN KUORMITUS LUUN OMINAISUUKSIEN SÄÄTELIJÄNÄ

Saksalainen anatomi Julius Wolff havaitsi jo yli sata vuotta sitten luun adaptoituvan mekaaniseen kuormitukseen. Klassisen Wolffin lain (Wolff 1892) mukaan terve luu adaptoituu jatkuvasti kuormitusympäristönsä muutoksiin ja sopeuttaa siten massansa, arkkitehtuurinsa ja materiaaliset ominaisuutensa vallitseviin mekaanisiin olosuhteisiin. Optimaalinen luurakenne saavutetaan modellaation ja remodellaation avulla, jotka poistavat luuta alueilta, joissa mekaaninen kuormitus on minimaalista ja puolestaan lisäävät luuta alueille, missä kuormitus lisääntyy.

Luun kuormitusvaste on välitön ja paikallinen ja se sisältää sekä solu- että kudostason reaktioita. Kuormitusvaste riippuu kuormituksen aiheuttaman muodonmuutoksen (strain) suuruudesta, nopeudesta, jakautumisesta ja sykleistä kohdeluussa (Lanyon 1996). Eläinkokeet mahdollistavat näiden tekijöiden kontrolloidun manipuloinnin, jolloin voidaan selvittää niiden suhteelliset osuuden luuston kuormitusvasteesta (Kohrt ym. 2004).

Muodonmuutoksen suuruus (strain magnitude) ilmaisee luun piteuden suhteellisen muutoksen mekaanisessa kuormituksessa. Frostin ”mekanostaattiteorian” (Frost 1987) mukaan luusolut aistivat mekaanisen kuormituksen aiheuttamien paikallisten muodonmuutosten suuruutta ja vaihtelunopeutta ja sopeuttavat luuston lujuuden muokkaamalla luun rakennetta niin, että luun sisäiset muodonmuutokset pysyvät turvallisella tasolla. Teoria kuvaa negatiivisen palautteen kontrollisysteemiä, jossa tietty muodonmuutoksen suuruus (MES, minimal effective strain) on välttämätön, jotta luumassa pysyisi yllä. Alikuormitustilassa remodellaatio vähentää luumassaa. Normaalissa kuormitustilassa muodonmuutokset ylläpitävät remodellaation tasapainoa ja sitä kautta luuston lujuutta. Jos kuormituksen aikaansaama paikallinen muodonmuutos ylittää MES:n, luu siirtyy ylikuormitustilaan, jossa modellaatio lisää luumassaa ja siten myös luun lujuutta vastamaan uusia mekaanisia vaatimuksia. Kuormitusalueiden rajat ovat geneettisesti kontrol-

loituja, mutta niihin vaikuttavat myös useat biokemialliset tekijät sekä luualueeseen aiemmin kohdistunut kuormitus. (Khan ym. 2001.)

Muodonmuutossykleillä (strain cycles) tarkoitetaan luustovaikutuksia aikaansaavien kuormitustoistojen määrää. Vaikka tietty minimimäärä syklejä tarvitaan positiiviseen luuvasteeseen, ovat muodonmuutoksen suuruus ja nopeus kuitenkin tärkeämpiä (Lanyon 1987). Rubin ja Lanyon (1984) osoittivat, että vain 36 tehokasta, peräkkäistä kuormitussykliä (72 s/pv) riittivät maksimaaliseen luuvasteeseen. Umemuran ym. (1997) rotta-tutkimuksessa viisi hyppyä päivässä tuotti yhtä suuren luuvasteen kuin 20, 50 ja 100 hyppyä. Alle 50 kuormitussykliä luualuetta kohden näyttäisi siis riittävän ja siten yksittäisen harjoituksen keston ei tarvitse olla pitkä (Lanyon 1996). Toisaalta Cullen ym. (2001) havaitsivat, että jos kuormitussyklien määrää lisätään, voidaan kuormituksen suuruutta alentaa samanlaisen luuvasteen saamiseksi kunhan muodonmuutosten nopeus ja frekvenssi ovat riittävät.

Luusolut menettävät mekaanisen sensitiivisyytensä tietyn kuormitussyklimäärän jälkeen, ja tarvitaan palautumistaukoja joko kuormitussykliä tai harjoituskertojen välissä, jotta mukautumiskyky palautuu (Burr ym. 2002). Ulkoisen kuormituksen aiheuttama luuvaste lisääntyy merkittävästi, kun tietty määrä kuormitussyklejä jaetaan useampiin sessioihin, joiden välissä on lepojaksot (Robling ym. 2001 & 2002, Turner & Robling 2003).

Muodonmuutoksen nopeudella (strain rate) tarkoitetaan muodonmuutoksen kehittymisen tai loppumisen nopeutta ja se ilmaistaa muodonmuutoksen suuruuden muutoksena sekunnissa (muodonmuutoksen kiihtyminen tai hidastuminen). Luun adaptaation saa aikaan dynaaminen, ei niinkään staattinen kuormitus (Turner 1998). Suhteellisen suuret muodonmuutokset yksistään eivät ole riittäviä aktivoimaan luusoluja, vaan korkeat muodonmuutosnopeudet ja dynaamisen kuormituksen aiheuttama nestevirta ovat vaadittavia uuden luun muodostuksen stimuloijia (Turner ym. 1995). Muodonmuutoksen nopeuden muutos vaikuttaa luiden soluvälitilan nestevirtaan, jonka uskotaan välittävän mekaanisen signaalin kemialliseksi signaaliksi ja edelleen solu- ja kudostasteeksi (Tur-

ner 1995, Burr ym. 2002). Luun muodostus lisääntyy muodonmuutosnopeuden kasvaessa (Turner 1995, Judex & Zernicke 2000, Burr ym. 2002).

Luun mekaaninen adaptaatio riippuu myös *muodonmuutosten frekvenssistä* (strain frequency) (Hsieh & Turner 2001), jolla tarkoitetaan kuormitusyökkien määrää sekunnissa. Muodonmuutoksen nopeus ja frekvenssi ovat yhteydessä toisiinsa, sillä esimerkiksi jos frekvenssi kasvaa, muodonmuutos syntyy ja palautuu nopeammin. Turnerin (1998) mukaan luuta vahvistava ärsyke voimistuu, jos kuormituksen suuruus tai frekvenssi lisääntyy.

Tapa, jolla *muodonmuutos jakautuu* luualueelle (strain distribution), on myös tärkeä tekijä luun adaptaatiossa. Luusolut sopeutuvat tavanomaiseen mekaaniseen kuormitukseen, minkä vuoksi muodonmuutoksen täytyy olla poikkeava, jotta luussa tapahtuisi rakenteellisia muutoksia (Turner 1998). Mitä epätavallisempi muodonmuutoksen jakautuminen tietyssä luukohdassa on sitä suurempi potentiaali sillä on lisätä luumassaa kyseisellä alueella (Lanyon 1996). Useat tutkimukset ovat osoittaneet, että alhaisellakin muodonmuutoksen suuruudella voidaan saada luuvaste, jos kuormitustapa on poikkeava (Lanyon 1984). Kuten eläimillä, myös ihmisillä muodonmuutoksen nopeus ja epätavallinen jakautuminen saattavat olla muodonmuutoksen suuruutta tärkeämpiä osteogeenisiä ärsykeitä (Heinonen ym. 1995).

Luihin kohdistuu voimia painovoiman, lihasten sekä erilaisten ulkoisten tekijöiden välityksellä. Luuhun kohdistuva kuormitus voidaan jakaa kolmeen eri perustyyppiin: venytykseen (tensio), puristukseen (kompressio) ja leikkaavaan voimaan (shear). Taivutuskuormituksessa (bending) yhdistyvät venytys- ja puristusvoimat kun taas kierto-kuormitus (torsio) aiheuttaa leikkaavia voimia koko luun pinnalle. Lisäksi luuhun voi kohdistua myös iskukuormitusta. (Khan ym. 2001.)

Koska luut ovat hieman kaartuvia, niihin kohdistuu sekä aksiaalisia puristusvoimia että taivutusvoimia. Raajojen luiden pitkät ja ohuet rakenteet kestävät hyvin erilaisia taivutusvoimia: luiden kuperalla puolella tapahtuu venytyksen ja koveralla puolella puristus-

voimien aikaansaamia muodonmuutoksia. Yleisesti ottaen luu kestää suurimpia kuormituksia pituussuunnassa, joka on tavallinen kuormitussuunta. Luupinnan poikki kohdistuvaa kuormitusta, kuten taivutusta ja leikkaavia voimia, luu kestää heikommin. (Khan ym. 2001.)

5 LIIKUNNAN VAIKUTUS LUUSTOON

Luuston mekaaninen kuormittaminen lapsuudessa ja nuoruudessa voi merkittävästi lisätä luumassan kertymistä ja mahdollisesti viivästyttää ikääntymiseen liittyvää luukatoa ja vähentää murtumaherkkyyttä myöhemmällä iällä (Kohrt ym. 2004). Tehokkainta luuston kuormittaminen näyttäisi olevan sekä tytöillä että pojilla nopean kasvuvaiheen aikana (Khan ym. 2000). Vaikka luun kyky adaptoitua kuormitukseen säilyy vanhuuteen asti, se vähenee kuitenkin lähes varmuudella iän myötä (ks. Lanyon 1996). Luumassan lisäämisen sijasta fyysisen aktiivisuuden merkitys aikuisiässä onkin lähinnä luumassan ylläpito ja ikäännyttäessä luukadon vähentäminen (Kohrt ym. 2004).

Koska BMD:n on arvioitu selittävän vähintään 60 % luun lujuuden vaihtelusta, se on yleisimmin käytetty muuttuja mitattaessa fyysisen aktiivisuuden vaikutuksia luumassaan. Loput 40 % luun lujuuden vaihtelusta selittyvät muun muassa luun koolla, hohka-luun arkkitehtuurilla ja luun laadulla (Weinstein 2000). Kohrtin ym. (2004) katsauksen mukaan on ristiriitaista tietoa voidaanko harjoittelulla lisätä BMD:tä aikuisiässä. Tutkimuksissa, joissa lisääntymistä on tapahtunut, harjoittelu on ollut suuritehoista, kehon painoa kannattavaa kestävyys- ja voimaharjoittelua, hyppyharjoittelua tai voimaharjoittelua. Koska remodellaatiosykli kestää 3-4 kuukautta, tarvitaan vähintään 6-8 kuukautta, jotta saavutetaan luumassan mitattavissa oleva uusi tasapainotila. Luumassan lisäykset eivät näyttäisi pysyvän harjoittelun loputtua. Laynen ja Nelsonin (1999) katsauksen mukaan sekä aerobinen että voimaharjoittelu voivat tarjota kehon painoa kannattelevaa kuormitusta luulle, mutta voimaharjoittelulla saavutetut paikalliset luustomuutokset näyttäisivät olevan suurempia.

Suurin osa tutkimuksista on ollut poikkileikkaustutkimuksia, joissa on verrattu urheilijoita tai fyysisesti aktiivisia ei-urheilijoihin tai inaktiivisiin. Jonkin verran on tehty myös prospektiivisiä tutkimuksia, joissa esimerkiksi urheilijoita on seurattu läpi kilpailu- ja harjoittelukauden sekä kontrolloituja interventiotutkimuksia, joissa fyysistä aktiivisuutta on joko lisätty tai vähennetty (Kohrt ym. 2004). Kontrolloiduissa interventiotutkimuk-

sisä harjoittelun aiheuttamat luumuutokset ovat huomattavasti pienempiä kuin urheilijoiden poikkileikkaustutkimuksissa (Suominen 2006), joissa perimä on osaltaan saattanut vaikuttaa luumuutoksiin. Kontrolloiduissa interventiotutkimuksissa luun mineraalimäärän ja mineraalitiheyden lisäys on ollut kasvuikäisillä 2-5 % ja aikuisilla 1-3 % vuodessa (Wolff ym. 1999, Wallace & Cumming 2000, Kelley ym. 2000, 2001, Martyn-St & Carrol 2006, Suominen 2007). Perimän vaikutus urheilijatutkimuksissa on pystytty poistamaan vertaamalla saman henkilön eri tavoin kuormittuneiden luustopisteiden tiheyksiä, joista tyypillisin esimerkki on mailapelaajien pelikäden ja ei-dominoivan käden vertailut (esim. Haapasalo ym. 2000).

Liikuntainterventiotutkimuksia on tehty miehille huomattavasti vähemmän kuin naisille, mutta näyttäisi siltä, että luuston kuormitusvaste on samanlainen molemmilla sukupuolilla (Ryan 2004). Tutkimukset viittaavat siihen, että uutta luuta saadaan ennemminkin uuden luun muodostumisen lisääntymisellä kuin remodellaation vähenemisellä (Khan ym. 2001).

5.1 Kestävyystyypin harjoittelu

Kelley'n (1998a, b) meta-analyysit osoittavat, että luita spesifisti kuormittavalla aerobisella harjoittelulla on kohtalaisia positiivisia vaikutuksia lannerangan ja lonkan mineraalimäärään postmenopausaalisilla naisilla. Viisivuotisessa seurantatutkimuksessa (Michel ym. 1992) säännöllinen juokseminen näytti vähentävän ikääntymiseen liittyvää luukatoa yli 50-vuotiailla miehillä ja naisilla. Lannerangan BMD väheni 16 % niillä, jotka vähensivät juoksua, kun taas juoksua jatkavilla BMD ei vähentynyt.

Kehon painoa kantamattomalla kestävyystyypin harjoittelulla kuten pyöräilyllä tai uinnilla ei ole juurikaan havaittu luustohyötyä nuorilla aikuisilla (Taaffe ym. 1997, 2001, Duncan 2002). Stewart ja Hannan (2000) vertasivat kestävyyslajien miesyleisurheilijoita ja liikuntaa harrastamattomia kontrolleja. Juoksijoiden BMD oli merkittävästi korkeampi kuin kontrolleilla. Pyöräilijöillä oli muita alempi selkärangan BMD kun taas urheilijoilla, jotka harjoittelivat sekä pyöräilyä että juoksua oli korkeimmat koko kehon

ja yläraajan luuntiheydet, mikä tutkijoiden mukaan viittaa siihen, että tällä ryhmällä juoksu oli vaikuttanut luustoon pyöräilyä enemmän.

Huuskosen ym. (2001) kontrolloidun, kokeellisen tutkimuksen mukaan pitkäkestoisella säännöllisellä aerobisella harjoittelulla ei ollut vaikutusta ikääntymiseen liittyvän luukaaton keski-ikäisillä miehillä. Tutkijat kuitenkin totesivat, ettei mahdollisia luun rakenteellisiä muutoksia pystytty DXA:lla havaitsemaan.

Nichols ym. (2003) vertasivat kolmea eri miesryhmää: nuoria kilpapyöräilijöitä, iäkkäitä kilpapyöräilijöitä sekä iäkkäitä ei-urheilijoita. Lannerangan ja lonkan BMD oli merkittävästi alempi iäkkäillä kilpapyöräilijöillä kuin nuorilla tai samanikäisillä kontrolleilla. Pitkäaikainen pyöräilyharjoittelu ilman voimaharjoittelua tai isku-tärähdystyyppistä kuormitusta voi siis olla luuston kannalta haitallista myöhemmällä iällä.

5.2 Voimaharjoittelu

Rasvaton massa näyttäisi olevan tärkeämpi luumassan määrittäjä ikäännyttäessä kuin kehon paino tai rasvan massa, minkä vuoksi lihasmassaa ylläpitävät liikuntamuodot, kuten voimaharjoittelu voivat olla myös tehokkaita luumassan ylläpitäjiä (Kohrt ym. 2004). Voimaharjoittelu on turvallista ja sopivaa iäkkäille ihmisille, mutta BMD:n nettolisäys on suhteellisen pientä, ainakin lyhytkestoisissa harjoitusohjelmissa (Suominen 2007).

Laynen ja Nelsonin (1999) katsauksen mukaan voimaharjoittelu on yhteydessä korkeaan BMD:n sekä nuorilla että iäkkäämmillä aikuisilla. Positiivinen luuvaste on luotettavin satunnaistetuissa kontrolloiduissa kokeissa, joissa on käytetty iskutyypistä voimaharjoitteluohjelmaa. Wolffin ym. (1999) meta-analyysissä harjoittelun vaikutus luun tiheyteen oli ei-satunnaistetuissa kontrolloiduissa tutkimuksissa lähes kaksi kertaa suurempi kuin satunnaistetuissa tutkimuksissa, mikä viittaa muiden tekijöiden kuten perimän, valikoitumisen ja harjoittelutaustan vaikutukseen. Valikoituneiden koehenkilöiden

lisäksi voimaharjoittelututkimusten ongelmia ovat olleet lyhyet harjoitusjaksot, pieni otoskoko, alhainen komplianssi ja se, etteivät harjoitteluohjelmat ole olleet spesifejä luuston kuormitukselle (Wolff ym. 1999, Suominen 2007).

Havainnoivat tutkimukset. Useat poikittaiset sekä muutamat pitkittäiset havainnoivat tutkimukset osoittavat, että kaikkien ikäryhmien voima- ja teholarajien urheilijoilla on suuremmat luumassat ja vahvemmat luurakenteet kuin samanikäisillä harjoittelemattomilla henkilöillä (Suominen & Rahkila 1991, Suominen 1993, 2006, 2007). Urheilijoiden poikkileikkaustutkimusten mukaan voimaharjoittelulla voidaan vahvistaa selkärangan ja käsien sekä jonkin verran myös jalkojen luustoa (ks. Tsuzuku ym. 1998, 2001, Heinonen 2002, Nikander ym. 2006a). Heinosen ym. (2002) tutkimuksessa painonnostajilla oli tiheämpi hohkaluukudos niissä luukohdissa, joihin kohdistui aksiaalista puristuskuormitusta (pääosin pitkien luiden päät) kun taas luut, joihin kohdistui taivutuskuormitusta (esim. käsivarsi) olivat kooltaan suurempia kuin verrokeilla.

Interventiotutkimukset. Kontrolloitujen voimaharjoittelututkimusten meta-analyysin (Martyn-St James & Carroll 2006) mukaan suuritehoisella progressiivisella voimaharjoittelulla voidaan lisätä premenopausaalisten naisten lannerangan absoluuttista BMD:tä, kun taas reisiluun kaulan tiheyteen harjoittelulla ei ollut vaikutusta. Lannerangan tiheyden suhteellinen muutos oli melko pieni (1 %), mutta vastaava kuin muissa systemaattisissa katsauksissa ja meta-analyyseissä (Wolff ym. 1999, Wallace & Cumming 2000). Harjoittelun vaikutukset lannerangan tiheyteen olivat suurempia pienissä tutkimuksissa, mutta myös tulosten vaihtelu oli niissä suurinta. Myös Kelleyn ym. (2001) meta-analyysissä voimaharjoittelu lisäsi premenopausaalisten naisten lannerangan BMD:tä. Postmenopausaalisilla naisilla harjoittelu oli positiivisessa yhteydessä lannerangan lisäksi myös reisiluun ja varttinäluun tiheyteen.

Liu-Ambrosen ym. (2004) tutkimuksessa kuuden kuukauden voimaharjoittelu lisäsi merkitsevästi (1.4 %) varttinäluun varren tiheyttä 78–85-vuotiailla naisilla, joilla oli alhaiset lähtötason luuntiheydet. Adamin ym. (1999) tutkimuksessa kuuden kuukauden kohtuutehoisella luuspesifillä voimaharjoittelulla ei ollut vaikutusta postmenopausaalisten naisten varttinäluun distaaliosan massaun. Tutkimuksessa kuitenkin havaittiin huo-

mattavia luun rakenteen ja geometrian muutoksia, jotka olivat yhteydessä luun taivutuslujuuden kasvuun. Kuoriluun pinta-ala ja tiheys kasvoivat hohkaluun kustannuksella, jolloin luumassa ei muuttunut vaan jakautui uudelleen.

Kerr ym. (2001) tutkivat kahden vuoden progressiivisen voimaharjoittelun ja kalsiumlisän vaikutusta postmenopausaalisten naisten luun tiheyteen. Naiset satunnaistettiin voimaharjoittelu-, kuntopiiriharjoittelu- ja kontrolliryhmiin, joihin kaikkiin kuului kalsiumlisä. Voimaharjoittelu lisäsi merkitsevästi kliinisesti tärkeän lonkan alueen BMD:tä. Voimaharjoitteluryhmässä luun tiheyden muutokset olivat suurimpia niillä naisilla, jotka olivat olleet vähiten aktiivisia tutkimuksen alussa. Aerobisen kunnon kehittämiseen tähtävällä kuntopiirityyppisellä harjoittelulla ei ollut vaikutusta luun tiheyteen. Lonkan alueen BMD ei kuitenkaan laskenut millään ryhmällä, mikä viittaa kalsiumlisän hyötyihin luukadon hidastajana.

Ryan ym. (2004) tutkivat iän ja sukupuolen vaikutusta luuston kykyyn adaptoitua voimaharjoitteluun. Kuuden kuukauden voimaharjoittelu lisäsi reisiluun mineraalimäärää ja -tiheyttä sekä nuorilla (20–29 v) että iäkkäillä (65–74 v) miehillä ja naisilla muutosten ollessa nuorilla jonkin verran suurempia. Sukupuolten välisiä eroja harjoitusvasteessa ei havaittu. Voimaharjoitteluohjelmalla ei ollut vaikutusta koko kehon eikä lannerangan BMD:n millään ryhmällä.

Voimaharjoittelun intensiteetin vaikutusta iäkkäiden ihmisten luustoon ovat tutkineet muun muassa Vincent ja Braith (2002), Maddalozzo ja Snow (2000) sekä Stengel ym. (2005). Vincent ja Braith (2002) vertasivat kuuden kuukauden suuri- ja matalatehoisen voimaharjoittelun vaikutuksia luun tiheyteen ja luun aineenvaihdunnan biokemiallisiin merkkiaineisiin iäkkäillä miehillä ja naisilla. Suuritehoinen voimaharjoittelu lisäsi reisiluun kaulan tiheyttä molemmilla sukupuolilla. Sekä suuri- että matalatehoinen voimaharjoittelu lisäsivät myös luun aineenvaihduntaa, mikä saattaa ajan kuluessa edelleen lisätä luun tiheyttä.

Maddalozzo ja Snow (2000) vertasivat istuen tehtävää matalatehoista ja seisoen, vapail-la painoilla tehtävää suuritehoista voimaharjoittelua iäkkäillä miehillä ja naisilla. Kuu-den kuukauden suuritehoinen voimaharjoittelu lisäsi miesten selkärangan luumassaa 2 % ollen merkitsevästi suurempaa matalatehoiseen harjoitteluun verrattuna. Suuritehoi-nen harjoittelu lisäsi merkitsevästi myös reisiluun kyhmyn massaa sekä miehillä että naisilla.

Von Stengelin ym. (2005) tutkimuksessa postmenopausaaliset naiset satunnaistettiin voima- ja tehoharjoitteluryhmiin, jotka suorittivat saman 12 kuukauden progressiivisen voimaharjoitteluohjelman, mutta tekivät liikkeet eri nopeudella. Selkärangan ja lonkan BMD väheni merkitsevästi voimaharjoitteluryhmällä kun taas tehoharjoitteluryhmällä ei tapahtunut muutoksia. Kahden vuoden harjoittelun jälkeen (von Stengel ym. 2007) voimaharjoitteluryhmän lannerangan BMD ja pinta-ala vähenivät edelleen tehoharjoitte-luryhmän tulosten pysyessä muuttumattomina. Myös lonkan BMD väheni voimaharjoi-teluryhmällä enemmän kuin tehoharjoitteluryhmällä, mutta ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Näiden tutkimusten mukaan korkeita liikenopeuksia sisältävä tehoharjoi-te-lu näyttäisi olevan voimaharjoittelua tehokkaampi tapa ylläpitää iäkkäiden naisten luu-massaa.

5.3 Isku-tärähdystyyppinen harjoittelu

Luun vahvistumisen kannalta tehokas harjoittelu kuormittaa luuta vaihtelevasti eri suunnista sekä sisältää iskuja alustaa vasten, nopeaa liikettä, liikkeen pysäytyksiä ja uudelleen kiihdytyksiä sekä suunnanmuutoksia (Heinonen & Karinkanta 2003, Nikan-der ym. 2006a). Tämän tyyppistä kuormitusta tarjoavat muun muassa yleisurheilu (Hei-nonen ym. 2001, Taaffe ym. 2001, Welch & Rosen 2005, Nikander ym. 2006b), maila- ja pallopelit (Calbet ym. 1999, Haapasalo ym. 2000, Pettersson ym. 2000, Nikander ym. 2006b), kontaktilajit (Andreoli ym. 2001, Egan ym. 2006) ja voimistelu (Taaffe ym. 1997). Iskutyypin kuormituksen vaikutuksia on tutkittu pääosin nuorilla ja aikuisilla; iäkkäämmille tehtyjä tutkimuksia on huomattavasti vähemmän, mitä selittää muun mu-assa tämän tyyppisten lajien iäkkäiden urheilijoiden ja harrastajien pieni määrä. Inter-

ventiotutkimusten tekoa iäkkäille rajoittaa iskutyypin harjoittelun rajuus, jota varsinkin harjoittelemattomat henkilöt eivät välttämättä kestä.

Havainnoivat tutkimukset. Poikkileikkaustutkimukset osoittavat vuosien intensiivisen urheilun, jossa voimantuotto on suurta olevan yhteydessä korkeaan luumassaan (ks. Cullen ym. 2001). Suurimmat luumassat on havaittu ”teholajien” kilpaurheilijoilla, joilla on havaittu luukohdasta riippuen noin 20–30 % suuremmat mineraalimäärät kuin kontrolleilla.

Heinonen ym. (1995) vertasivat eri lajien kilpaurheilijoita, fyysisesti aktiivisia sekä inaktiivisia naisia. Tutkijat totesivat korkeita muodonmuutosnopeuksia, suuria huippuvoimia ja monipuolisia liikkeitä sisältävän harjoittelun olevan tehokkaampaa luun muodostuksen kannalta kuin harjoittelun, joka sisälsi suuren määrän alhaisella voimalla tuotettuja toistoja. Iskutyypisten lajien urheilijoilla havaittiin suurimmat kehon painoon suhteutetut BMD:t kaikissa luustokohdissa. Kuten useissa muissakin tutkimuksissa (Andreoli ym. 2001, Taaffe ym. 2001, Duncan ym. 2002, Nikander ym. 2005, 2006b) fyysisesti aktiivisten ja kehon painoa kannattelemattomien lajien urheilijoiden BMD ei poikennut inaktiivisten BMD:stä.

Urheilulajeista, joissa on iskutyypistä kuormitusta, fyysistä kontaktia ja/tai rotaatiovoimia saadaan luustohyötyjä kuormitettujen luukohtien ohella myös muihin kuormittamattomiin perifeerisiin ja aksiaalisiin luukohtiin (Nevill ym. 2004). Andreolin ym. (2001) tutkimuksessa kontaktilajien (karate, judo) miesurheilijoiden koko vartalon aBMD oli merkitsevästi korkeampi kuin kontrolleilla. Myös Calbetin ym. (1999) tutkimuksessa mieslentopalloilijoiden pituuteen ja painoon suhteutetut mineraalimäärät ja -tiheydet olivat kontrolleja huomattavasti korkeammat.

Maksimaaliset erot luun tiheydessä urheilijoiden ja kontrollien välillä on havaittu kuormitetuissa luukohdissa. Nevillin ym. (2004) tutkimuksessa ylävartaloa kuormittavien lajien urheilijoiden käsien, mailapelaajien pelikäden ja juoksijoiden jalkojen kehon painoon suhteutetut BMD:t olivat suuremmat kuin kontrolleilla. Bennelin ym. (1997) tut-

kimuksessa teholajien yleisurheilijoilla oli kontrolleja korkeammat aBMD:t ala- ja yläraajassa sekä lannerangassa. Kestävyyslajien yleisurheilijoilla vain alaraajan aBMD oli kontrolleja korkeampi. Lannerangan aBMD oli teholajien urheilijoilla korkeampi kuin kestävyyslajien urheilijoilla.

Duncan ym. (2002) vertasivat nuoria naisurheilijoita (juoksijat, pyöräilijät, uimarit, triathlonistit) ja kontrolleja ja totesivat, että kehon painoa kannattelevaan juoksuharjoitteluun liittyi korkeampi luuspesifi BMD kuin uintiin ja pyöräilyyn. Juoksijoilla oli merkittävästi korkeampi koko vartalon, lannerangan, reisiluun kaulan sekä ala- ja yläraajojen aBMD kuin kontrolleilla. Uimareihin verrattuna juoksijoiden aBMD oli suurempi koko vartalossa, reisiluun kaulassa ja jalassa kun taas pyöräilijöihin verrattuna vain jalassa.

Egan ym. (2006) vertasivat kolmen eri tavoin kuormittavan iskutyypin lajin (rugby, verkkopallo, kestävyysjuoksu) nuoria naisurheilijoita sekä kontrolleja. Kaikilla urheilijaryhmillä havaittiin kontrolleja korkeammat luun tiheydet: BMD oli merkittävästi korkeampi alavartalossa ja alaraajoissa, rugby pelaajilla myös ylävartalossa ja koko kehossa.

Taaffen ym. (2001) tutkimuksessa nuorten miesten kantaluun BMC ja BMD olivat huomattavasti suuremmat hyppääjillä kuin uimareilla ja kontrolleilla. Ultraäänellä mitatussa luun laadussa ei kuitenkaan havaittu eroa ryhmien välillä, mikä tutkijoiden mukaan viittaa siihen, että toistuva iskutyypin fyysinen aktiivisuus ei vaikuta pääosin hohkaluuta sisältävän kantaluun koostumukseen ja geometriaan yhtä paljon kuin sen mineraalimäärään ja tiheyteen.

Luumassaakin suuremmat erot urheilijoiden ja kontrollien välillä on havaittu luun rakenteessa ja lujuudessa. Heinosen ym. (2001) tutkimuksessa verrattiin kolmiloikkaajia sekä saman ikäisiä, urheilua harrastamattomia kontrolleja. Hohkaluun vBMD oli merkittävästi suurempi kolmiloikkaajilla kuin kontrolleilla; kuoriluun vBMD:ssä ei ollut ryhmien välistä eroa. Reisiluun kaulan ja lannerangan aBMD oli kolmiloikkaajilla 31 %

suurempi kuin kontrolleilla; vähemmän kuormittuvan varttinäluun distaaliosan aBMD oli kolmiloikkaajilla 16 % suurempi. Myös sääriluun korteksin paksuus ja pinta-ala olivat hyppääjillä merkitsevästi suuremmat: keskimääräinen ero ryhmien välillä vaihteli varren 20 prosentista distaaliosan yli 50 prosenttiin. Paksuista kortekseista johtuen reisi- luun kaulan ja sääriluun lujuusindeksit olivat urheilijoilla 19–31 % korkeammat. Tutki- jat totesivat kuormitusvasteen näkyvän parhaiten paksuuntuneita kortekseina, mahdolli- sesti sen jälkeen kun hohkaluun tiheys oli jo saavuttanut maksiminsa.

Petterssonin ym. (2000) tutkimuksessa verrattiin nuoria naisurheilijoita (naruhyppy, jalkapallo) ja kontrolleja. Molemmilla urheilijaryhmillä oli kontrolleja merkitsevästi korkeampi aBMD useimmissa mittauspaikoissa. Hyppijöiden iskutyypinen harjoittelu näkyi myös kuormitetuiden luukohtien geometrian muutoksina.

Nikander ym. (2006b) vertasivat eri lajien naisurheilijoita (aitajuoksu, lentopallo, jalka- pallo, mailapelit, uinti) ja kontrolleja. Urheilijoiden vBMD oli huomattavasti suurempi kuin kontrolleilla ja se oli käytetty vahvan ja tarkoituksenmukaisen luurakenteen raken- tamiseen. Uimareita lukuun ottamatta urheilijoiden painoa kantavissa luissa oli pak- summat korteksit, suuremmat varren poikkipinta-alat ja hieman tiheämpi hohkaluu ver- rattuna kontrolleihin. Painoa kantamattomat luut olivat yleisesti ottaen suurempia urhei- lijoilla.

Myös Nikanderin ym. (2005) tutkimuksessa verrattiin erityyppisten lajien pre- menopausaalaisia naisurheilijoita ja kontrolleja. Iskutyypisten ja epätyypillisiä kuormi- tussuuntia sisältävien lajien urheilijoilla oli korkeimmat suhteutetut aBMD:t, poikkipin- ta-alat ja luun lujuuden indeksit verrattuna kontrolleihin. Voimalajeissa ja lajeissa joissa oli vähän tai ei ollenkaan iskukuormitusta, ei havaittu merkitseviä luuhyötyjä.

Haapasalo ym. (2000) vertasivat dominoivan ja ei-dominoivan käden luiden ominai- suuksia entisillä tenniksen pelaajilla ja kontrolleilla. Vaikka luun mineraalimäärässä havaittiin suuria eroja, oli vBMD lähes identtinen dominoivassa ja ei-dominoivassa kä- dessä sekä pelureilla että kontrolleilla. Pelureiden pelikäden korkea BMC ja siten myös

luun lujuus johtuivat siis lisääntyneestä kokonaispinta-alasta, luuydinkanavan pinta-alasta ja korteksin paksuudesta, ei tiheyden muutoksista. Myös Liu ym. (2003) tutkimuksessa pitkään harjoitelleiden nuorten urheilijoiden kontrolleja suurempi luun lujuus johtui geometrisista adaptaatioista, ei vBMD:stä.

Iskutyypin harjoittelun luustohyötyjä iäkkäämmillä ihmisillä ovat tutkineet Welch ja Rosen (2005), joiden mukaan 44–88-vuotiaiden kansallisen tason naisyleisurheilijoiden (keski-ikä 57,3 vuotta) kantaluun ultraäänellä määritelty jäykkyys vastasi 20-vuotiaiden naisten normaaliarvoja ja oli huomattavasti (20,8 %) korkeampi kuin mitä aiemmin oli raportoitu vastaavan ikäisillä naisilla. Luun jäykkyys pysyi nuorten naisten tasolla 70. ikävuoteen asti. Myös eri lajien keski-ikäisillä ja iäkkäillä miesurheilijoilla on havaittu merkittävästi korkeampia BMC ja BMD arvoja kuin kontrolleilla, etenkin hohkaluuta sisältävissä luukohdissa (ks. Suominen 1993).

Iskutyypisten lajien positiiviset luuvaikutukset on havaittu myös muutamissa pitkittäisissä tutkimuksissa. Taaffen ym. (1997) tutkimuksessa seurattiin nuoria naisurheilijoita (voimistelijat, juoksijat ja uimarit) sekä kontrolleja kahdeksan tai 12 kuukauden ajan. Kliinisesti tärkeiden luukohtien, lannerangan ja reisiluun kaulan BMD lisääntyi merkittävästi pitkään harjoitelleilla voimistelijoilla huolimatta korkeasta lähtötason tiheysarvoista. Myös Bennelin ym. (1997) 12 kuukauden seurantatutkimuksessa teholajien nais- ja miesyleisurheilijoiden lannerangan BMD kasvoi merkittävästi enemmän kuin kestävyyslajien yleisurheilijoilla ja kontrolleilla.

Interventiotutkimukset. Havainnoivien tutkimusten tuloksia tukevat myös kontrolloidut interventiotutkimukset, jotka osoittavat iskukuormituksen olevan luuston kannalta tehokasta eri-ikäisillä naisilla. Satunnaistettujen harjoittelututkimusten systemaattisen katsauksen (Wallace & Cumming 2000) mukaan sekä iskutyypisellä että ei-iskutyypisellä harjoittelulla on positiivisia vaikutuksia lannerangan luumassaan sekä pre- että postmenopausaalisilla naisilla. Iskutyypisellä harjoittelulla voidaan mahdollisesti myös lisätä reisiluun kaulan luumassaa. Katon ym. (2006) satunnaistetussa kontrolloidussa tutkimuksessa nuorten naisten lannerangan ja reisiluun kaulan BMD lisääntyi merkittävästi

kuuden kuukauden iskutyypin, vähän toistoja sisältäneen hyppyharjoittelun seurauksena.

Heinosen ym. (1996) kontrolloidussa, satunnaistetussa tutkimuksessa premenopausaalisten naisten painoa kantavien luiden (lannerangan, reisiluun kaulan, reisiluun distaaliosan, polvilumpion, sääriluun proksimaaliosan ja kantaluun) aBMD lisääntyi merkittävästi 18 kuukauden progressiivisen iskutyypin harjoittelun jälkeen. Myös Kontulaisen ym. (2004) tutkimuksessa 18 kuukauden iskutyypin harjoittelun jälkeen premenopausaalisten naisten aBMD oli 1-3 % suurempi kuin kontrolleilla. Ryhmien välinen ero näkyi edelleen 3,5 vuoden jälkeen reisiluun kaulassa ja distaaliosassa, polvilumpiossa, sääriluun proksimaaliosassa ja kantaluussa, koska BMD oli laskenut samaa tahtia kummallakin ryhmällä.

Kahdentoista kuukauden satunnaistetussa kontrolloidussa tutkimuksessa iskutyypin harjoittelun intensiteetti korreloi merkittävästi aBMD:n muutoksiin premenopausaalisilla naisilla (Vainionpää ym. 2006). Myös luun geometrian muutokset olivat yhteydessä päivittäisten iskujen määrään ja intensiteettiin ja olivat suurempia reisiluun keskiosassa kuin sääriluun proksimaalisessa tai distaaliosassa (Vainionpää ym. 2007).

Basse ym. (1998) vertasivat iskutyypin kuormituksen vaikutusta pre- ja postmenopausaalisilla naisilla. Molempien ryhmien harjoitusohjelma sisälsi 50 vertikaalihyppyä kuutena päivänä viikossa. Hyppyjen keskimääräinen kontaktivoima oli premenopausaalisilla kolme kertaa ja postmenopausaalisilla neljä kertaa kehon massa. Kuuden kuukauden harjoittelun jälkeen premenopausaalisten naisten reisiluun BMD oli lisääntynyt 2.8 %, mikä oli merkittävästi enemmän kuin kontrolliryhmällä. Suuremmista kontaktivoimista ja paremmasta komplianssista huolimatta 12 kuukauden harjoittelu ei vaikuttanut postmenopausaalisten naisten luun tiheyteen.

Uusi-Rasin ym. (2003) satunnaistetussa, kontrolloidussa tutkimuksessa 12 kuukauden hyppyharjoittelu lisäsi merkittävästi inaktiivisten, postmenopausaalisten naisten sääriluun distaaliosan arvioitua lujuutta lisäämällä polaarista jäyhyysmomenttia sekä kuori-

luun osuutta koko luun poikkipinta-alasta. Sääriluun varsiosaan, lannerankaan ja reisi-
luun kaulaan harjoittelulla ei ollut vaikutusta, mikä saattoi johtua siitä, ettei harjoittelu
kuormittanut näitä luustokohtia tarpeeksi.

Snow'n ym. (2000) tutkimuksessa viiden vuoden painoliivihyppely ylläpiti postmeno-
pausaalisten naisten lonkan BMD:tä kun taas kontrolleilla BMD laski 3.2–4.4 %. Tu-
loksiin saattoivat kuitenkin vaikuttaa koehenkilöiden pieni määrä ja se, ettei tutkimus
ollut satunnaistettu.

Iskutyypin harjoittelun vaikutusta iäkkäillä miehillä ei juuri ole tutkittu, mutta voi-
maharjoittelututkimuksiin (esim. Ryan ym. 2004) perustuen harjoitteluvaste näyttäisi
olevan samanlainen molemmilla sukupuolilla. Kelley'n ym. (2000) meta-analyysin mu-
kaan luita spesifisti kuormittava harjoittelu voi lisätä tai ylläpitää iäkkäiden miesten
reisiluun, lannerangan ja kantaluun BMD:tä. Myös Kohrtin ym. (2004) katsauksen mu-
kaan iäkkäiden naisten luumassaa ylläpitävät harjoitteluohjelmat näyttäisivät olevan
tehokkaita myös miehillä.

5.4 Yhteenveto

Liikunnan mahdollisuudet luumassan lisäämiseksi ovat suurimmat kasvuiässä, mutta
tutkimukset osoittavat, että myös aikuisiässä ja vanhuudessa luustoa voidaan vahvistaa
spesifisti kuormittavan liikunnan avulla. Etenkin lyhyissä interventioissa luumassamu-
tokset ovat olleet iäkkäillä melko pieniä, mutta yhdessä luun geometrian muutosten
kanssa ne ovat voineet lisätä luun lujuutta merkittävästi. Luuston kannalta tehokas lii-
kunta kuormittaa luuta vaihtelevasti eri suunnista sisältäen iskuja alustaa vasten, nopeita
liikkeitä, kiihdytyksiä ja suunnanmuutoksia. Vaikka kehonpainoa kannattelevalla, suuri-
tehoisella kestävyys- ja voimaharjoittelulla on saatu kohtalaisia luustovaikutuksia, ovat vään-
tökuormitusta tarjoavan voimaharjoittelun ja isku-tärähdystyyppisen kuormituksen luus-
tohyödyt selkeästi suurempia. Luusto sopeutuu jatkuvaan, samanlaisena toistuvaan
kuormitusärsykkeeseen, minkä vuoksi harjoittelun tulisi olla vaihtelevaa ja progressii-
vista. Voimaharjoittelututkimusten mukaan intensiivinen maksimi- ja/tai nopeusvoima-

tyyppinen voimaharjoittelu on tehokkaampaa kuin alhaisilla painoilla ja alhaisilla liikkeenopeuksilla suoritettu kestovoimatyypinen harjoittelu.

Suurin osa ikääntyville tehdyistä interventiotutkimuksista on tehty naisille, mutta näyttäisi siltä, että luustovasteessa ei ole sukupuolten välisiä eroja. Luuston ikääntymismuutokset ovat kuitenkin erilaisia eri sukupuolilla, minkä vuoksi miehille tehtyjä tutkimuksia tarvitaan lisää. Lisää tutkimustietoa tarvitaan myös iskutyypin harjoittelun vaikutuksista iäkkäillä, sillä tutkimuksia on tehty vähän ja tulokset ovat olleet osin ristiriitaisia. Luuston kannalta tehokas iskutyypin kuormitus voi olla liian rajua harjoitteluun tottumattomille iäkkäille ja harjoittelun intensiteetti on jäänyt useissa tutkimuksissa alhaiseksi. Pitkään harjoitelleiden urheilijoiden tutkiminen mahdollistaa luuston kannalta tehokkaan harjoittelun ja maksimaalisten luustomuutosten saavuttamisen.

6 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA TUTKIMUSONGELMAT

Intensiivinen voimaharjoittelu ja isku-tärähdystyyppinen harjoittelu näyttäisivät olevan luuston kannalta tehokkaimpia harjoitusmuotoja nuoruusiässä sekä mahdollisesti myös aikuisiässä ja vanhuudessa (Välimäki ym. 2007). Isku-tärähdystyyppisen harjoittelun vaikutusta iäkkäillä on tutkittu vähän, sillä harjoittelemattomille iäkkäille tällainen kuormitus voi olla liian rajua. Intensiiviseen harjoitteluun tottuneiden veteraaniurheilijoiden tutkiminen mahdollistaa luuston kannalta tehokkaan liikunnan vaikutusten ja luuston adaptaatiomekanismien selvittämisen myös iäkkäillä. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää progressiivisen voima- ja nopeusharjoittelun vaikutusta 40-85-vuotiaiden miespikajuoksijoiden kuori- ja hohkaluun ominaisuuksiin. Koehenkilöiden laajan ikäjakauman sekä erilaisten luusto-ominaisuuksien ja harjoittelutaustojen vuoksi harjoittelun vaikutusta tutkittiin myös kahdessa ikäryhmässä (40-64-vuotiaat, 65-85-vuotiaat), jotta nähtäisiin onko harjoitusvasteessa eroja.

TUTKIMUSONGELMAT

1. Miten intensiivinen voima- ja nopeusharjoittelu vaikuttaa sääriluun varren mineraalimäärään, -tiheyteen ja geometrisiin ominaisuuksiin?

Hypoteesi: harjoittelun aiheuttama, sääriluun varteen kohdistuva vääntökuormitus parantaa erityisesti luun varren massajakaumaa ja varren geometrisia ominaisuuksia ja lisää siten luun taivutuslujuutta.

2. Miten intensiivinen voima- ja nopeusharjoittelu vaikuttaa sääriluun distaaliosan mineraalimäärään, -tiheyteen ja geometrisiin ominaisuuksiin?

Hypoteesi: Harjoittelun aiheuttama iskutyypinen kuormitus lisää erityisesti sääriluun distaaliosan mineraalitiheyttä ja poikkipinta-alaa ja lisää siten luun puristuslujuutta.

3. Onko harjoittelun vaikutuksissa luumuuttujiin ikäryhmien välisiä eroja?

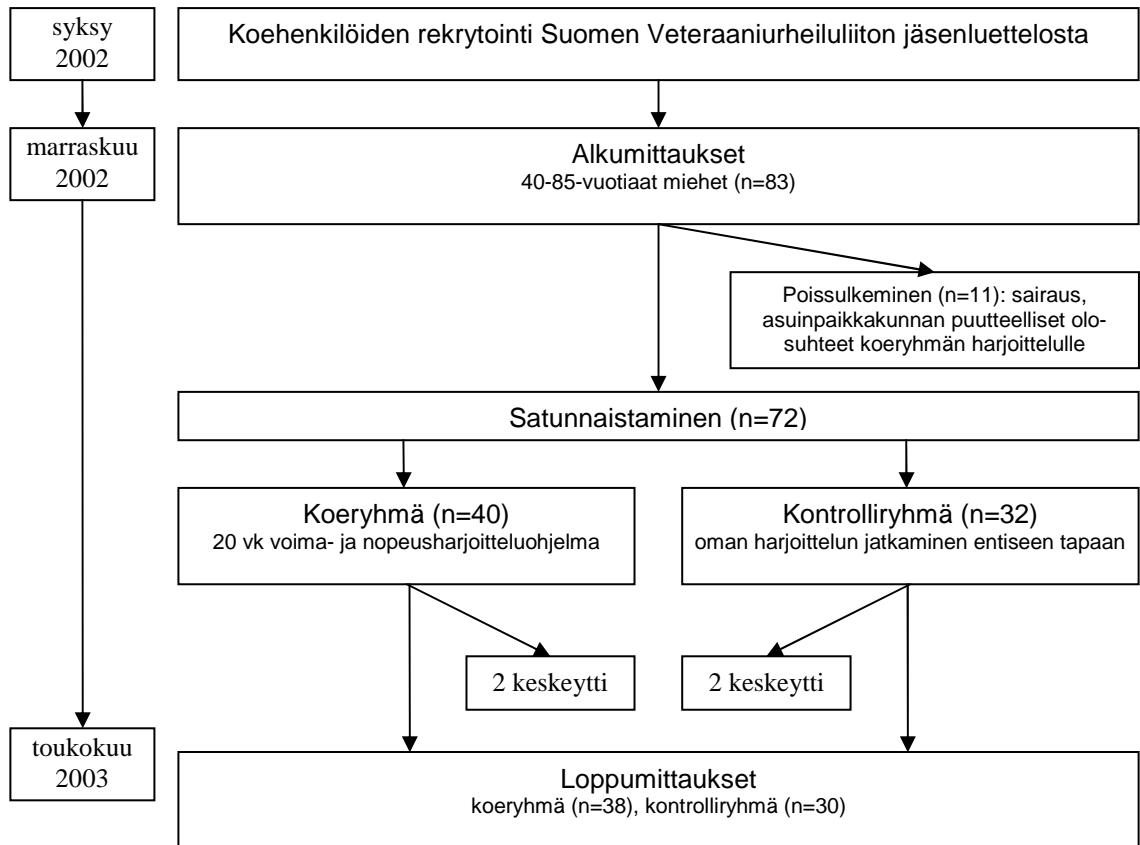
Hypoteesi. Harjoittelun vaikutus näkyy selvemmin vanhemmilla koehenkilöillä, joilla luusto-ominaisuudet ovat heikommat ja joilla oli vähemmän aiempaa voimaharjoittelua.

7 MENETELMÄT

7.1 Koehenkilöt ja koeasetelma

Tämä tutkimus on osa laajempaa tutkimusta, jonka tarkoituksena on selvittää ikääntymisen ja harjoittelun vaikutuksia nopeussuorituskykyyn eri-ikäisillä, kansallisen tason tuloksia tehneillä pikajuoksijoilla, joilla on pitkä harjoittelutausta (Korhonen ym. 2006, Cristea ym. 2008). Tämän tutkimuksen alkumittauksiin heistä valittiin 40-85-vuotiaat miehet (kuvio 3). Alkumittausten jälkeen tutkimuksesta suljettiin pois koehenkilöt, joilla oli sydän- ja verisuonitauteja tai muita intensiivisen harjoittelun vasta-aiheita, tai jotka asuivat paikkakunnilla, joissa harjoitusolot olivat puutteelliset koeryhmän harjoittelulle. Tutkimukseen hyväksytyt koehenkilöt satunnaistettiin 10 vuoden ikäryhmissä koe- ja kontrolliryhmiin. Koeryhmä (n=40) osallistui 20 viikon jaksotettuun progressiiviseen voima- ja nopeusharjoitteluohjelmaan. Kontrolliryhmän (n=32) urheilijoita ohjeistettiin jatkamaan omaa tavanomaista harjoitteluaan. Loppumittaukset tehtiin kuuden kuukauden päästä alkumittauksista. Tutkimuksen kulku ja aikataulut on esitetty myös liitteen 1 kausisuunnitelmassa.

Tutkimukseen osallistuminen oli vapaaehtoista. Koehenkilöitä informoitiin tutkimuksen menetelmistä, riskeistä ja hyödyistä, jonka jälkeen jokainen antoi kirjallisen suostumuksen tutkimukseen osallistumisesta. Tutkimus on Jyväskylän yliopiston eettisen toimikunnan hyväksymä ja se noudattaa Maailma lääkäriliiton Helsingin julistusta

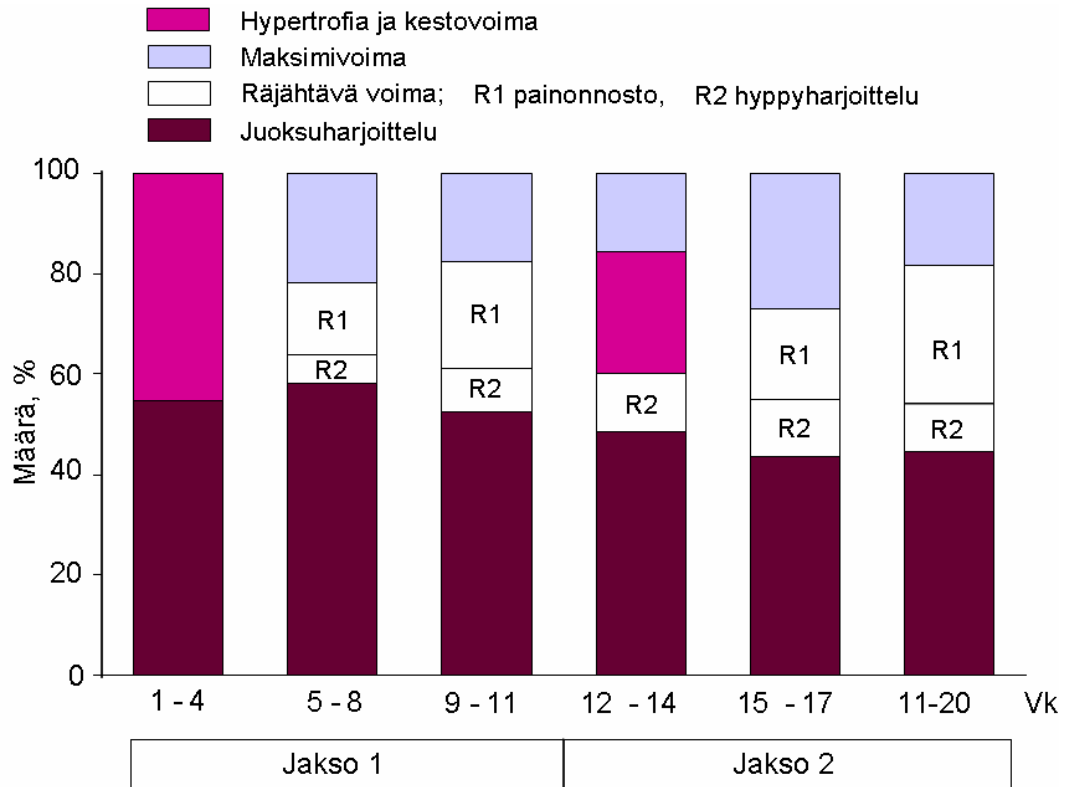


KUVIO 3. Tutkimuksen kulkukaavio.

7.2 Harjoitusohjelma

Koeryhmälle suunniteltu harjoitusohjelma (ks. Cristea ym. 2008) ja eri harjoitusmuotojen suhteelliset osuudet on esitetty kuviossa 4. Harjoitusohjelma koostui kahdesta 11 ja 9 viikkoa kestävästä harjoitusohjelmajaksosta, jotka oli edelleen jaettu kolmeen 3-4 viikkoa kestävään jaksoon, joissa harjoitusten intensiteetti, määrä ja tyyppi vaihtelivat. Voimaharjoitteluohjelman neljä ensimmäistä viikkoa koostuivat kestovoima- ja hypertrofiaharjoittelusta. Toisessa ja kolmannessa jaksossa tehtiin vuorotellen maksimivoimaa sekä räjähtävän voiman harjoitteita (painonnosto ja hyppyharjoittelu). Harjoitusohjelman jälkimmäisellä puoliskolla toistettiin kyseinen kolmen jakson protokolla lisäämällä harjoitusten intensiteettiä progressiivisesti. Voimaharjoitteluohjelman liikkeet kohdistuivat pääosin jalkojen ojentajiin ja koukistajiin, joiden lisäksi tehtiin apuharjoitteita myös muille vartalon päälihakseille. Hyppyharjoittelussa edettiin alhaisen intensiteetin vertikaalisuuntaisista hypyistä horisontaalisiin loikkaharjoituksiin. Juoksuharjoi-

teluohjelma oli molemmilla harjoituskausilla samanlainen edeten nopeuskestävyysharjoittelusta maksiminopeusharjoitteluun. Harjoittelun ohjelmointi sekä koeryhmälle jaettu harjoitusohjelma yksittäisine liikkeineen on esitetty liitteessä 1.



KUVIO 4. Jaksotettu harjoitusohjelma ja eri harjoitusmuotojen suhteelliset osuudet.

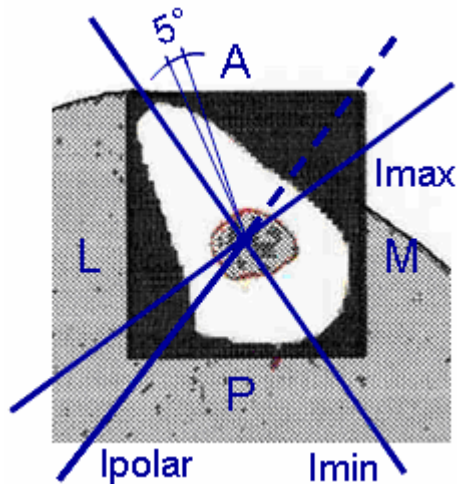
Sekä koeryhmä että omaa harjoitteluaan jatkanut kontrolliryhmä pitivät yksityiskohtaista harjoituspäiväkirjaa koko koejakson ajan. Harjoituspäiväkirjoista laskettiin toteutuneiden harjoituskertojen määrä sekä yksittäisten harjoitusmuotojen määrät kullekin koehenkilölle. Harjoitusohjelman toteutuminen kullakin koeryhmän jäsenellä saatiin laskemalla toteutuneiden harjoituskertojen prosenttiosuus harjoitusohjelmassa annetuista harjoituksista.

7.3 Luustomittaukset ja -analyysit

Luustomittaukset tehtiin perifeerisellä kvantitatiivisella tietokonetomografialla (pQCT, XCT 2000, Stratec Medizintechnik, Pforzheim, Saksa) ponnistavan jalan sääriluun varresta (50 % luun pituudesta) ja distaaliosasta (5 % luun pituudesta) tutkimuksen alussa sekä kuuden kuukauden harjoittelun jälkeen. Mittausta varten sääriluun pituus mitattiin ulkokehräksen korkeimmasta kohdasta polven nivelrakoon. Mittauspaikkojen referenssitasona käytettiin sääriluun distaalipäätä, joka paikannettiin 30 millimetrin tasokuvauksen avulla. Luun rakenteelliset ja mekaaniset ominaisuudet analysoitiin Jyväskylän yliopistossa kehitetyllä Geanie 2.1. ohjelmalla (Commit Ltd, Espoo, Suomi). Sääriluun distaaliosassa käytettiin luun tiheyden kynnsarvoa 169 mg/cm^3 ja varsiosassa arvoa 280 mg/cm^3 . Hohka- ja kuoriluun erottelemiseksi käytettiin automaattista K-moodia.

Sääriluun distaaliosa analysoitiin luun sisältämän ytimen kanssa. Tästä kohdasta analysoitiin muuttujat BMC (mg/mm), vBMD (mg/cm^3), poikkipinta-ala (CSA_{TOT} , mm^2), hohkaluun tiheys (vBMD_T , mg/cm^3) ja poikkipinta-ala (CSA_T , mm^2) sekä puristuslujuuden indeksi ($\text{BSI}_{\text{Compr}}$, g^2/cm^4), joka laskettiin kaavalla $\text{BMD}^2 \times \text{CSA}$ (ks. Mikkola ym. 2008). Sääriluun varsiosa analysoitiin ilman luuydintä, jonka tiheyden raja-arvoksi määritettiin 100 mg/cm^3 . Sääriluun varresta analysoitiin BMC, vBMD, CSA_{TOT} , korteksin mineraalitiheys (vBMD_C), poikkipinta-ala CSA_C (mm^2) ja paksuus (Th_C , mm) sekä tiheyspainotteiset jäyhyysmomentit I_{max} , I_{min} ja I_{polar} ($\text{mg} \cdot \text{cm}$) ja pinta-alamomentit I_{max_A} , I_{min_A} ja I_{polar_A} (mm^4). I_{max} kuvaa suurimman ja I_{min} pienimmän taivutusjäykkyyden suuntaa kun taas I_{polar} kuvaa taivutus- ja kiertojäykkyyttä neutraalin akselin suhteen (kuvio 5). Luun polaarinen massajakauma analysoitiin määrittämällä luumassa yksittäisistä, massakeskipistettä ympäröivistä 5 asteen sektoreista (kuvio 5). Näistä muodostettiin myös laajemmat, 45 asteen anterioriset, anteromediaaliset, mediaaliset, posteromediaaliset, posterioriset, posterolateraaliset, lateraaliset ja anterolateraaliset sektorit.

pQCT:n reliabiliteettia mittaavia toistomittauksia ei tässä tutkimuksessa tehty erikseen. Aiempien toistomittauksien mukaan tämän laboratorion variaatiokerroin vBMD:lle on <1 % ja BMC:lle ja luun geometriamuuttujille 1 %.



KUVIO 5. Sääriluun varren poikkileike, jossa näkyy jäyhyysmomenttien akselit suurimman ja pienimmän taivutusjäykkyyden suuntaan, näihin akseleihin nähden kohtisuorassa oleva, massakeskipisteen läpi kulkeva polaarisen jäyhyysmomentin akseli sekä polaarisen massajakauman laskemiseen käytetty 5° sektori.

7.4 Muut menetelmät

Koehenkilöiden harjoitustausta ja terveydentila selvitettiin kyselylomakkeiden avulla. Yli 55-vuotiaille tehtiin myös kliininen lääkärintarkastus. Koehenkilöiden pituus ja paino mitattiin tavanomaisin menetelmin. Rasvaton kehonmassa (LBM) mitattiin bioimpedanssimenetelmällä (Spectrum II, RJL Systems, Detroit, MI, USA), jonka variaatiokerroin tässä laboratoriossa on alle 2 %. Lisäksi koehenkilöt pitivät viikolla 15 ruokapäiväkirjaa viiden päivän ajan. Ruokapäiväkirjat analysoitiin Micro Nutrica 3.0 –ohjelmalla (Kansaneläkelaitos, Suomi).

7.5 Tilastolliset menetelmät

Keskiarvot ja keskihajonnat (SD) laskettiin tavanomaisin menetelmin. Alkutilanteessa ryhmien välisiä eroja testattiin riippumattomien muuttujien t-testillä. Harjoittelun vaikutusta testattiin toistettujen mittausten varianssianalyysillä (ANOVA) sekä koko tutkimusjoukolla että ikäryhmittäin. Koe- ja kontrolliryhmien välisiä prosentuaalisia muu-

toseroja testattiin ikäryhmittäin riippumattomien muuttujien t-testillä, mikäli ANOVA:lla saatu ryhmä \times aika -yhdysvaikutus oli $p < 0.1$. Koeryhmän polaaristen massajakaumien alku- ja loppumittausten välisiä eroja testattiin ikäryhmittäin kahden riippuvan muuttujan t-testillä.

Harjoittelun vaikutusta testattiin myös protokollan mukaisen tehokkuusanalyysin (efficacy-analyysi) avulla, jolloin koeryhmään valittiin vain ne henkilöt, jotka olivat harjoitusjakson aikana tehneet vähintään 55 voima- ja nopeusharjoitusta. Valittu harjoituskertojen määrä vastasi yli 70 prosenttia harjoitusohjelmassa annetuista harjoituksista. Aineisto analysoitiin SPSS -ohjelmalla (SPSS Inc., Chicago, versio 14.0) ja tilastollisen merkitsevyyden rajana käytettiin p-arvoa <0.05 .

8 TULOKSET

8.1 Koehenkilöiden taustatiedot

Alkumittauksissa ei havaittu eroja koe- ja kontrolliryhmien fyysisissä ominaisuuksissa eikä harjoittelutaustassa (taulukko 1). Tutkimusta edeltäneen vuoden harjoitteluohjelmat olivat molemmilla ryhmillä hyvin samanlaisia koostuen pääosin nopeus-, nopeuskestävyys- ja hyppyharjoittelusta. Voimaharjoittelu oli kestovoimatyypistä ja sitä tehtiin keskimäärin tunti viikossa. Tutkimusjakson aikaisten viiden päivän ruokapäiväkirjojen mukaan Kalsiumin ja D-vitamiinin saannissa ei ollut koe- ja kontrolliryhmien välisiä eroja (taulukko 1).

TAULUKKO 1. Koehenkilöiden fyysiset ominaisuudet tutkimuksen alussa, harjoitustausta ja tutkimusjakson aikainen kalsiumin ja D-vitamiinin saanti viiden päivän ruokapäiväkirjan mukaan (ka, SD).

Muuttuja	Koeryhmä (n=35-40)	Kontrolliryhmä (n=29-32)	p
Ikä (v)	60.2 (11.8)	61.8 (12.1)	0.582
Pituus (cm)	175.4 (6.0)	173.1 (6.9)	0.129
Paino (kg)	73.2 (7.5)	73.8 (9.0)	0.768
LBM (kg)	63.4 (5.7)	62.7 (7.8)	0.650
Harjoitusvuosia	34.6 (6.2)	30.0 (15.8)	0.253
Harjoittelu (krt/vk)	4.3 (1.3)	4.3 (1.2)	0.856
Harjoittelu (h/vk)	6.4 (2.8)	6.8 (3.3)	0.598
Voimaharjoittelu (h/vk)	1.2 (1.2)	1.3 (1.4)	0.714
Nopeus- ja hyppyharjoittelu (h/vk)	2.9 (1.7)	3.2 (2.3)	0.571
Kalsium (mg/vrk)	1378 (433) ¹⁾	1248 (460) ²⁾	0.290
D-vitamiini (µg/vrk)	7.6 (4.9) ¹⁾	9.8 (7.3) ²⁾	0.181

1) n=30

2) n=24

8.2 Harjoitusohjelman toteutuminen

Koko koeryhmällä voima- ja nopeusharjoittelusta toteutui keskimäärin 63 ± 26 (SD); voimaharjoittelusta toteutui keskimäärin 60 ± 29 ja juoksuharjoittelusta 63 ± 29 . Koeryhmä teki harjoitusjakson aikana keskimäärin 47 ± 20 voima- ja nopeusharjoitusta. Juoksuharjoituksia tehtiin keskimäärin 24 ± 11 , voimaharjoituksia 22 ± 11 ja hyppyharjoituksia 13 ± 9 . Kontrolliryhmän oma, entiseen tapaan jatkettu harjoittelu sisälsi keskimäärin 27 ± 13 juoksuharjoitusta, 19 ± 10 voimaharjoitusta ja 9 ± 11 hyppyharjoitusta. Kontrolliryhmän voimaharjoittelu oli pääosin kestovoima- ja hypertrofiaharjoittelua.

Aktiivisten harjoitteluviikkojen määrä vaihteli sekä koe- että kontrolliryhmällä. Kun harjoittelun viikoittaiset määrät laskettiin niiltä viikoilta kun harjoittelua tapahtui, koeryhmä teki keskimäärin 1.3 ± 0.5 ja kontrolliryhmä 1.1 ± 0.6 voimaharjoitusta ($p=0.068$). Voimaharjoitteluun käytetty viikoittainen tuntimäärä oli koeryhmällä merkitsevästi suurempi kuin kontrolliryhmällä (1.5 ± 0.7 vs. 0.9 ± 0.5 h/vk, $p=0.001$). Myös hyppyharjoittelukertojen määrä sekä pikajuoksuun käytetty tuntimäärä olivat koeryhmällä hieman suurempia ($p=0.148$ ja 0.061). Sekä koe- että kontrolliryhmästä tutkimuksen keskeytti kaksi koehenkilöä.

8.3 Luumuuttujat

Sääriluun distaaliosan luumuuttujissa ei ollut koe- ja kontrolliryhmien välisiä eroja alkumittauksissa. Sääriluun varressa mineraalitiheys ja korteksin mineraalitiheys olivat kontrolliryhmällä merkitsevästi suurempia ($p=0.002$ ja 0.001); muissa varren luumuuttujissa ei ollut ryhmien välisiä eroja.

8.3.1 Sääriluun distaaliosa

Sääriluun distaaliosasta analysoidut luumuuttujat koko tutkimusjoukolla on esitetty taulukossa 2. Luumuuttujissa ei ollut ryhmien välisiä tasoeroja, koko tutkimusjoukolla ajassa tapahtuvia muutoksia eikä ryhmän ja ajan yhdysvaikutusta.

TAULUKKO 2. Voima- ja nopeusharjoittelun vaikutus sääriluun distaaliosan mineraalimäärään, -tiheyteen, geometrisiin ominaisuuksiin ja lujuusindeksiin (ka, SD).

	Koeryhmä (n=38)		Kontrolliryhmä (n=30)		ANOVA (p)		
	Alku	6kk	Alku	6kk	Ryhmä	Aika	Ryhmä x aika
BMC (mg/mm)	429 (68)	426 (67)	419 (66)	417 (63)	0.543	0.238	0.705
vBMD (mg/cm ³)	357 (39)	358 (40)	351 (53)	351 (53)	0.551	0.582	0.539
CSA _{TOT} (mm ²)	1204 (139)	1192 (130)	1204 (156)	1200 (143)	0.903	0.185	0.548
vBMD _T (mg/cm ³)	311 (34)	311 (34)	303 (44)	303 (44)	0.382	0.730	0.794
CSA _T (mm ²)	1009 (135)	999 (133)	1001 (168)	995 (155)	0.862	0.141	0.726
BSI _C (g ² /cm ⁴)	1.55 (0.38)	1.54 (0.38)	1.49 (0.42)	1.49 (0.42)	0.556	0.511	0.995

8.3.2 Sääriluun varsi

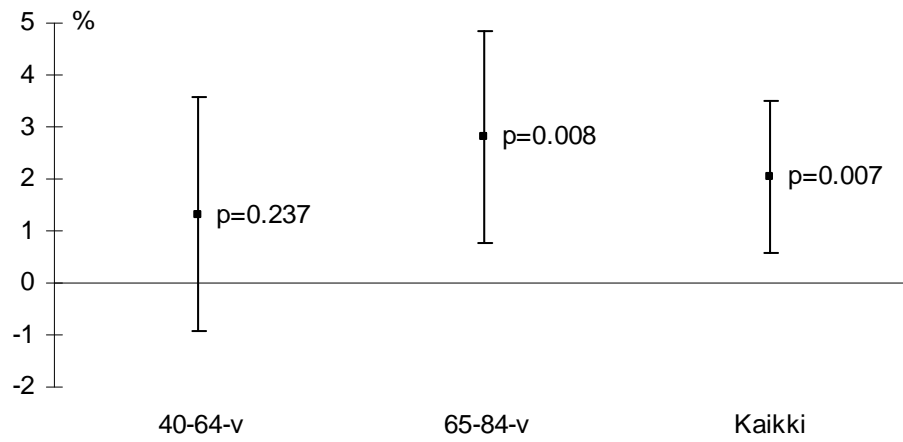
Harjoittelun vaikutus sääriluun varren mineraalimäärään, -tiheyteen ja geometrisiin ominaisuuksiin koko tutkimusjoukolla on esitetty taulukossa 3. Sääriluun varren mineraalimäärässä, mineraalitiheydessä ja kokonaispoikkipinta-alassa ei tapahtunut merkitseviä muutoksia harjoittelun jälkeen. Ryhmän ja ajan yhdysvaikutus ei ollut merkitsevä

myöskään kuoriluun tiheydessä ja poikkipinta-alassa eikä jäyhyysmomenteissa. Säari-luun varsiosan korteksin paksuudessa yhdysvaikutus oli kuitenkin merkitsevä ($p=0.008$). Korteksin paksuuden keskimääräinen muutos kontrolliryhmään verrattuna oli koko koeryhmällä 2.0 %, nuoremmalla ikäryhmällä 1.3 % ja vanhemmalla ikäryhmällä 2.8 % (kuvio 6). Nuoremmalla ikäryhmällä muutos ei kuitenkaan eronnut merkitsevästi kontrolliryhmällä tapahtuneesta muutoksesta.

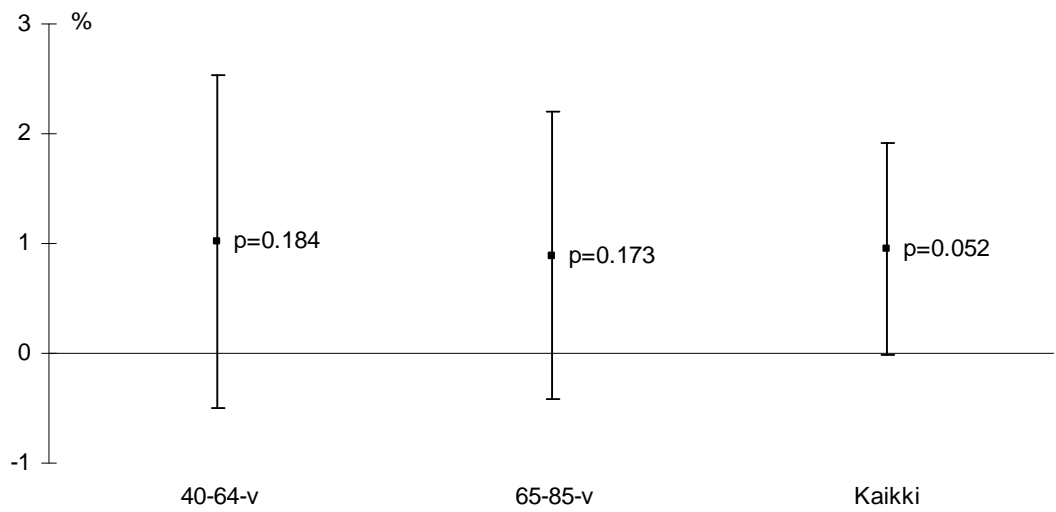
Sekä korteksin poikkipinta-alassa että pinta-alamomentissa (I_{min_A}) ryhmän ja ajan yhdysvaikutus oli lähellä merkitsevää. Korteksin poikkipinta-alan muutoksen keskimääräinen ero kontrolliryhmään nähden oli nuoremmalla ikäryhmällä 1.0 % ja vanhemmalla ikäryhmällä 0.9 %, mutta erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä (kuvio 7). Koko koeryhmällä muutoksen ero oli lähellä merkitsevää (1.0 %, $p=0.052$). Pinta-alamomentin (I_{min_A}) keskimääräinen muutos kontrolliryhmään verrattuna oli koko koeryhmällä 1.9 %, nuoremmalla ikäryhmällä 2.8 % ja vanhemmalla ikäryhmällä 0.9 % (kuvio 8). Vanhemmalla ikäryhmällä muutos ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä. Koko luun ja kuoriluun tiheydessä havaittiin ryhmien välinen, yli aikapisteiden säilyvä tasoero, kun taas mineraalimäärässä ja jäyhyysmomenteissa (I_{min} , I_{min_A} ja I_{pol}) havaittiin koko tutkimusjoukolla ajassa tapahtuva muutos.

TAULUKKO 3. Voima- ja nopeusharjoittelun vaikutus sääriluun varren mineraalimäärään, -
tiheyteen ja geometrisiin ominaisuuksiin (ka, SD).

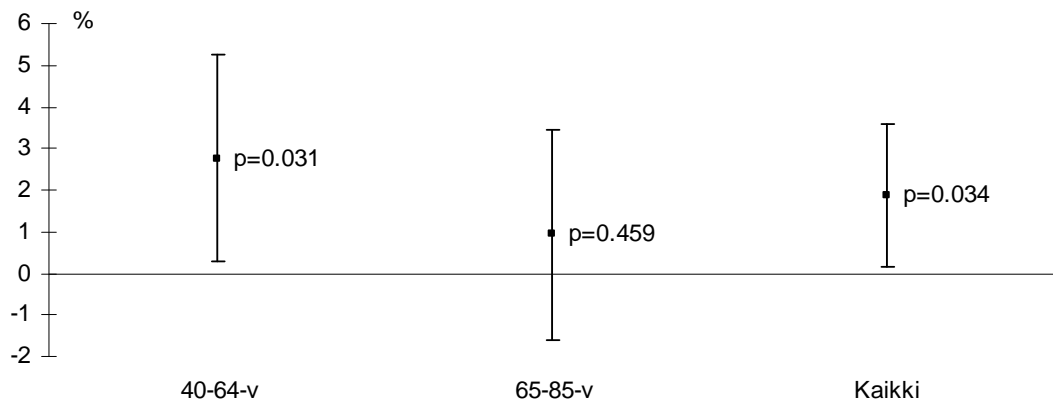
	Koeryhmä (n=38)		Kontrolliryhmä (n=30)		Ryhmä	ANOVA (p)	
	Alku	6 kk	Alku	6 kk		Aika	Ryhmä x aika
BMC (mg/mm)	511 (59)	513 (58)	504 (62)	505 (62)	0.605	0.038	0.211
vBMD (mg/cm ³)	995 (38)	994 (38)	967 (46)	969 (44)	0.009	0.850	0.223
CSA _{TOT} (mm ²)	514 (57)	517 (56)	521 (55)	521 (56)	0.666	0.336	0.158
vBMD _C (mg/cm ³)	1103 (20)	1102 (19)	1085 (26)	1088 (22)	0.003	0.664	0.137
CSA _C (mm ²)	416 (48)	418 (47)	414 (52)	413 (54)	0.749	0.469	0.071
CTh (mm)	5.35 (0.64)	5.39 (0.63)	5.27 (0.74)	5.20 (0.75)	0.434	0.495	0.008
Imax (mg*cm)	4959 (1210)	4980 (1176)	4967 (1280)	4989 (1291)	0.977	0.064	0.947
Imin (mg*cm)	1792 (425)	1813 (426)	1858 (385)	1862 (392)	0.566	0.018	0.105
Ipolar (mg*cm)	6752 (1521)	6793 (1486)	6825 (1592)	6851 (1609)	0.862	0.027	0.609
Imax _A (mm ⁴)	47320 (11300)	47590 (11050)	48220 (12030)	48350 (12240)	0.771	0.255	0.675
Imin _A (mm ⁴)	17520 (4137)	17800 (4210)	18550 (3774)	18530 (3894)	0.371	0.048	0.062
Ipolar _A (mm ⁴)	64840 (14370)	65390 (14160)	66770 (15040)	66880 (15410)	0.635	0.143	0.314



KUVIO 6. Sääriluun varren korteksin paksuuden muutokset ikäryhmittäin 20 viikon voima- ja nopeusharjoittelun jälkeen. Koeryhmä vs. kontrolliryhmä (ka, 95% luottamusväli).

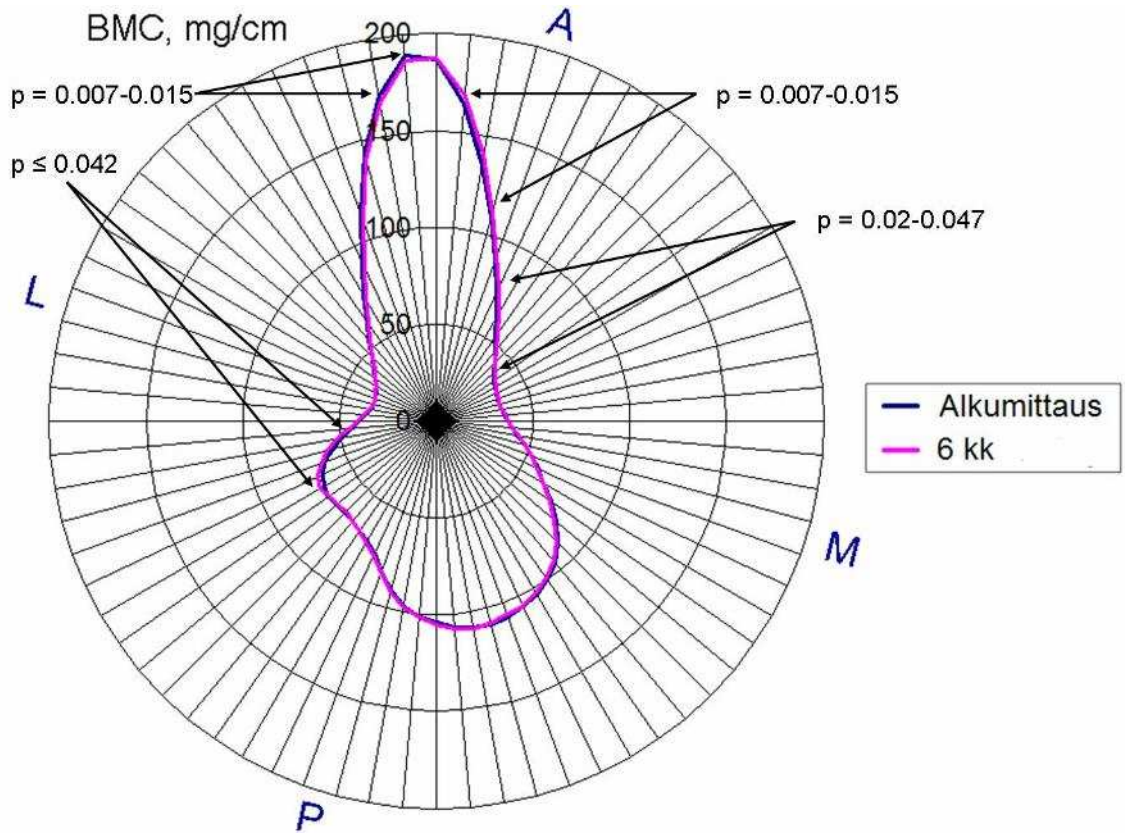


KUVIO 7. Sääriluun varren korteksin poikkipinta-alan muutokset ikäryhmittäin 20 viikon voima- ja nopeusharjoittelun jälkeen. Koeryhmä vs. kontrolliryhmä (ka, 95% luottamusväli).



KUVIO 8. Sääriluun varren pinta-alamomentin (I_{min_A}) muutokset ikäryhmittäin 20 viikon voima- ja nopeusharjoittelun jälkeen. Koeryhmä vs. kontrolliryhmä (ka, 95% luottamusväli).

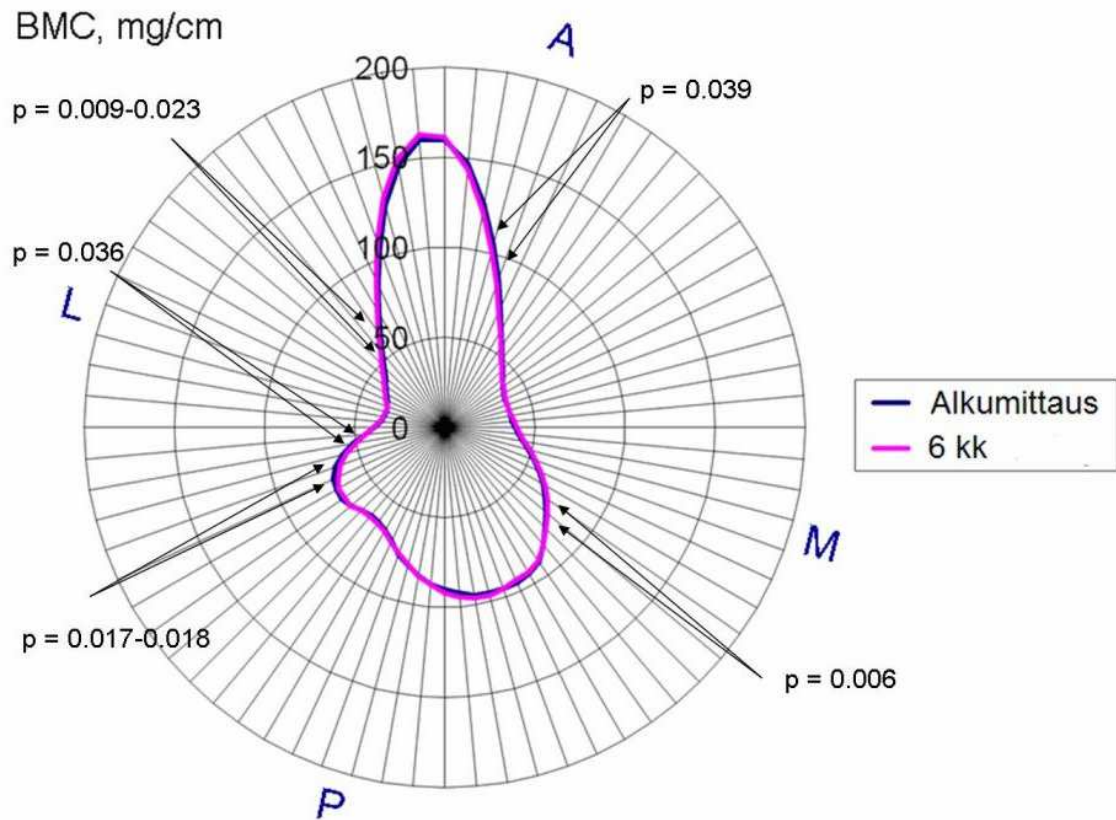
Harjoittelun vaikutus koeryhmän polaarisiin massajakaumiin on esitetty ikäryhmittäin kuvioissa 9 (40–64-vuotiaat) ja 10 (65–85-vuotiaat). Nuorempien ikäryhmässä luumassa kasvoi merkitsevästi anteriorisella, anteromediaalisella sekä posterolateraalaisella alueella. Antero-lateraalaisella alueella luumassa puolestaan väheni. Vanhemmassa ikäryhmässä luumassan kasvu oli merkitsevää mediaalisella ja anterolateraalaisella alueella ja väheneminen puolestaan anteriorisella ja posterolateraalaisella alueella. Massajakaumien muutokset eivät kuitenkaan eronneet merkitsevästi kontrolliryhmällä tapahtuneista muutoksista kummallakaan ikäryhmällä (taulukot 4 ja 5). Nuorempien ikäryhmässä yhdysvaikutus oli lähellä merkitsevää anteromediaalisella alueella.



KUVIO 9. Polaarinen massajakauma 40–64-vuotiailla pikajuoksijoilla (n=21) ennen ja jälkeen 20 viikon harjoittelun. Käyrän etäisyys keskipisteestä ilmaisee luomassan milligrammoina senttimetriä kohden kussakin 5° sektorissa.

TAULUKKO 4. Voima- ja nopeusharjoittelun vaikutus sääriluun varren polaariseen massaja-kaumaan 40–64-vuotiailla pikajuoksijoilla (ka, SD). BMC – arvot (mg/cm) ovat yhdeksän 5° sektorin summia. (A = anteriorinen, A-M = anteromediaalinen, M = mediaalinen, P-M = posteromediaalinen, P = posteriorinen, P-L = posterolateraalinen, L = lateraalinen, A-L = anterolateraalinen)

BMC	Koeryhmä (n=21)		Kontrolliryhmä (n=14)		Ryhmä	ANOVA (p)	
	Alku	6 kk	Alku	6 kk		Aika	Ryhmä x aika
A	918 (115)	941 (117)	892 (135)	890 (118)	0.350	0.226	0.145
A-M	324 (64)	329 (67)	372 (73)	368 (75)	0.078	0.830	0.071
M	494 (125)	491 (124)	526 (93)	525 (92)	0.406	0.572	0.959
P-M	923 (116)	919 (111)	831 (174)	839 (163)	0.080	0.690	0.211
P	758 (152)	764 (162)	789 (145)	782 (137)	0.630	0.898	0.210
P-L	544 (85)	555 (79)	545 (93)	547 (92)	0.888	0.072	0.210
L	329 (73)	330 (74)	348 (57)	350 (63)	0.410	0.545	0.911
A-L	946 (188)	926 (174)	935 (136)	937 (158)	0.994	0.281	0.201



KUVIO 10. Polaarinen massajakauma 65–85-vuotiailla pikajuoksijoilla ($n=17$) ennen ja jälkeen 20 viikon harjoittelun.

TAULUKKO 5. Voima- ja nopeusharjoittelun vaikutus sääriluun varren polaariseen massaja-kaumaan 65–85-vuotiailla pikajuoksijoilla (ka, SD). BMC – arvot (mg/cm) ovat yhdeksän 5° sektorin summia. (A = anteriorinen, A-M = anteromediaalinen, M = mediaalinen, P-M = posteromediaalinen, P = posteriorinen, P-L = posterolateraalinen, L = lateraalinen, A-L = anterolateraalinen)

BMC	Koeryhmä (n=17)		Kontrolliryhmä (n=16)		Ryhmä	ANOVA (p)	
	Alku	6 kk	Alku	6 kk		Aika	Ryhmä x aika
A	866 (143)	848 (125)	871 (178)	870 (181)	0.800	0.334	0.368
A-M	350 (66)	352 (64)	315 (40)	317 (39)	0.076	0.351	0.985
M	487 (92)	498 (88)	504 (106)	501 (107)	0.761	0.366	0.143
P-M	822 (151)	824 (146)	802 (153)	806 (158)	0.726	0.375	0.809
P	679 (118)	684 (108)	682 (136)	683 (140)	0.983	0.647	0.697
P-L	560 (116)	546 (115)	549 (82)	547 (88)	0.895	0.079	0.172
L	331 (51)	338 (53)	304 (71)	306 (71)	0.179	0.237	0.494
A-L	865 (129)	890 (127)	846 (118)	851 (122)	0.501	0.103	0.272

8.3.3 Tehokkuusanalyysi

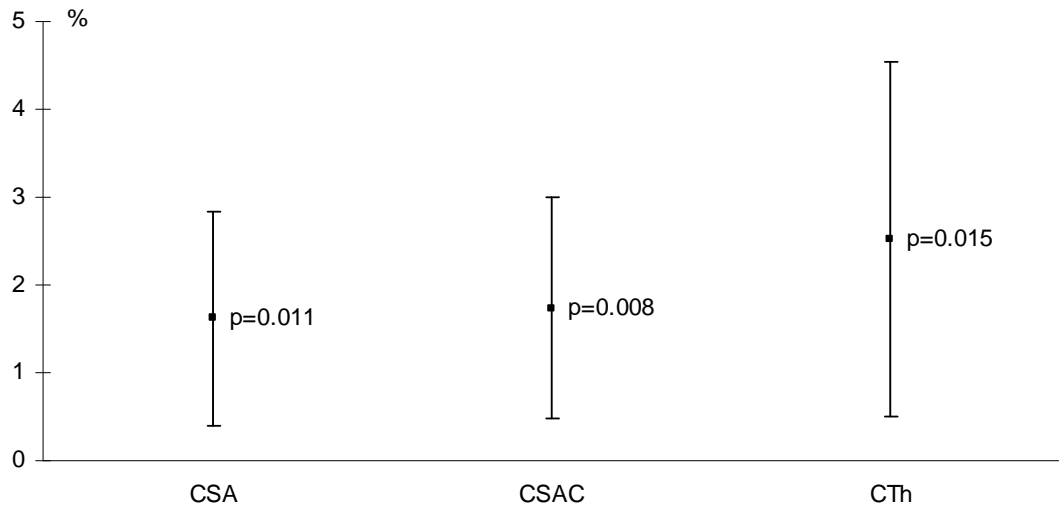
Tehokkuusanalyysissä havaittujen tulosten mukaan sääriluun distaaliosan luumuuttujissa ei tapahtunut muutoksia. Varsiosan mineraalimäärä, poikkipinta-ala, korteksin poikkipinta-ala ja paksuus sekä minimimomentti (IminA) kasvoivat merkitsevästi kun taas sekä koko luun että korteksin mineraaliheydet laskivat (taulukko 6). Kontrolliryhmään

verrattuna poikkipinta-ala kasvoi 1.6 %, kuoriluun poikkipinta-ala 1.7 % ja korteksin paksuus 2.5 % (kuvio 11). Jäyhyysmomenttien prosentuaaliset muutokset on esitetty kuviossa 12. Kontrolliryhmään nähden I_{max} kasvoi 0.7 % ja I_{max_A} 1.7 %, mutta muutokset eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkitseviä. Minimimomenteissa muutokset koeryhmän hyväksi olivat 1.7 % (I_{min}) ja 3.0 % (I_{min_A}) ja polaarissa pintaalamomentissa 2.0 %. I_{polar} kasvoi 0.8 % koeryhmään nähden, mutta muutos ei ollut tilastollisesti merkitsevä.

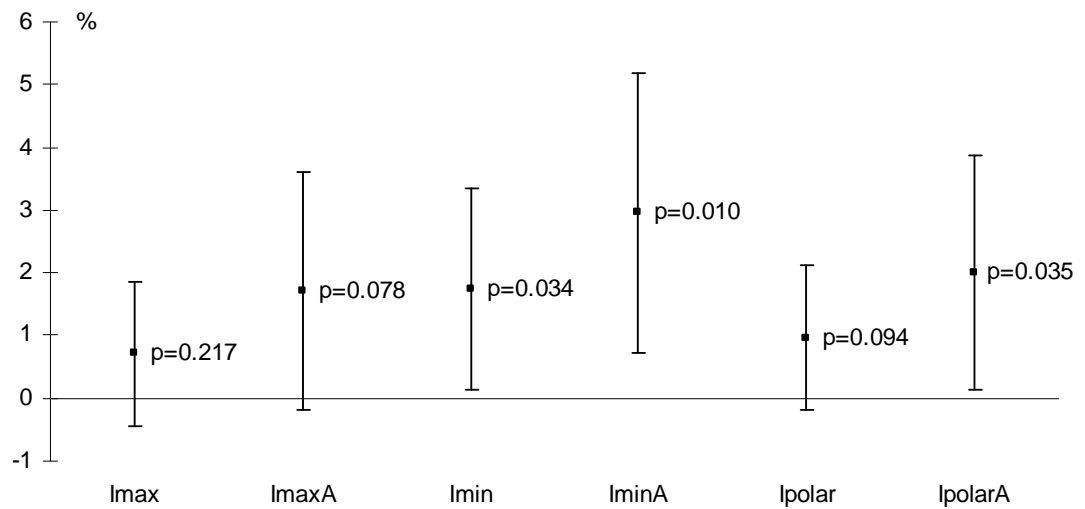
Sääriluun varren mineraalimäärän ja -tiheyden muutokset on esitetty kuviossa 13. BMC lisääntyi kontrolliryhmään nähden 0.7 % kun taas tiheyden muutokset tapahtuivat kontrolliryhmän hyväksi. Kontrolliryhmään nähden BMD väheni 1.0 % ja BMD_C 0.8 %.

TAULUKKO 6. Voima- ja nopeusharjoittelun vaikutus sääriluun varren mineraalimäärään, -tiheyteen ja geometrisiin ominaisuuksiin vähintään 55 voima-nopeusharjoitusta tehneillä pika-juoksijoilla (ka, SD).

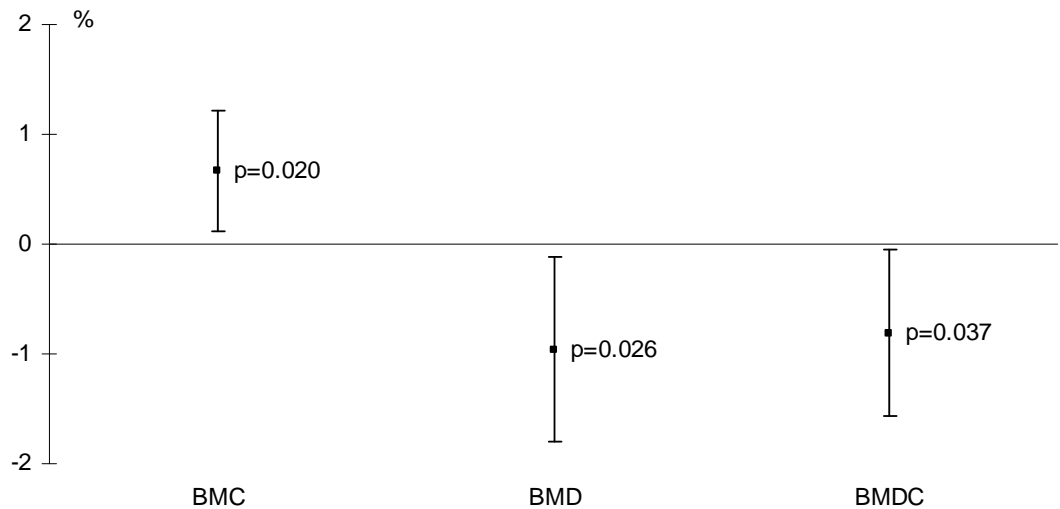
	Koeryhmä (n=16)		Kontrolliryhmä (n=30)		ANOVA (p)		
	Alku	6 kk	Alku	6 kk	Ryhmä	Aika	Ryhmä x aika
BMC (mg/mm)	513 (68)	517 (66)	504 (62)	505 (62)	0.592	0.004	0.024
vBMD (mg/cm ³)	1004 (32)	997 (31)	967 (46)	969 (44)	0.012	0.203	0.023
CSA _{TOT} (mm ²)	511 (64)	518 (62)	521 (55)	521 (56)	0.725	0.035	0.015
vBMD _C (mg/cm ³)	1109 (21)	1103 (18)	1085 (26)	1088 (22)	0.008	0.450	0.034
CSA _C (mm ²)	416 (57)	422 (55)	414 (52)	413 (54)	0.745	0.085	0.011
CTh (mm)	5.42 (0.49)	5.48 (0.50)	5.27 (0.74)	5.20 (0.75)	0.308	0.989	0.014
Imax (mg*cm)	5079 (1627)	5121 (1573)	4967 (1280)	4989 (1291)	0.781	0.020	0.457
Imin (mg*cm)	1773 (476)	1803 (465)	1858 (385)	1862 (392)	0.578	0.014	0.058
Ipolar (mg*cm)	6852 (2004)	6924 (1940)	6825 (1592)	6851 (1609)	0.927	0.009	0.207
Imax _A (mm ⁴)	48110 (15110)	48840 (14600)	48220 (12030)	48350 (12240)	0.963	0.053	0.164
Imin _A (mm ⁴)	17210 (4671)	17620 (4541)	18550 (3774)	18530 (3894)	0.379	0.039	0.024
Ipolar _A (mm ⁴)	65310 (18770)	66460 (18210)	66770 (15040)	66880 (15410)	0.854	0.034	0.076



KUVIO 11. Tehokkuusanalyysissä havaitut sääriluun varren poikkipinta-alan, kuoriluun poikkipinta-alan ja korteksin paksuuden muutokset 20 viikon voima- ja nopeusharjoittelun jälkeen. Koeryhmä vs. kontrolliryhmä (ka, 95% luottamusväli).

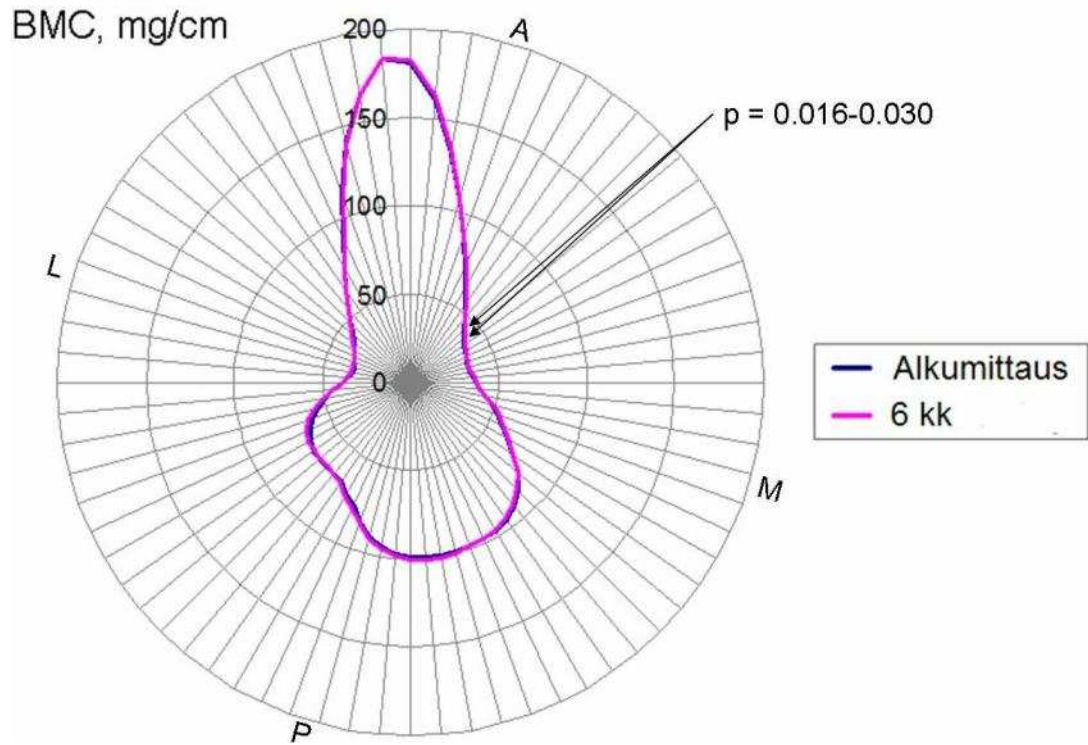


KUVIO 12. Tehokkuusanalyysissä havaitut sääriluun varren jäyhyys- ja pinta-alamomenttien muutokset 20 viikon voima- ja nopeusharjoittelun jälkeen. Koeryhmä vs. kontrolliryhmä (ka, 95% luottamusväli).



KUVIO 13. Tehokkuusanalyysissä havaitut sääriluun varren mineraalimäärän, -tiheyden ja kuoriluun tiheyden muutokset 20 viikon voima- ja nopeusharjoittelun jälkeen. Koeryhmä vs. kontrolliryhmä (ka, 95% luottamusväli).

Voima- ja nopeusharjoittelun vaikutus koeryhmän sääriluun varren polaariseen massajakaumaan vähintään 55 voima- ja nopeusharjoitusta tehneillä on esitetty kuviossa 14. Luumassa kasvoi anteromediaalisella alueella, jossa myös ryhmän ja ajan yhdysvaikutus oli merkitsevä (taulukko 7). Muilla alueilla koeryhmällä tapahtuneet muutokset eivät poikenneet kontrolliryhmällä tapahtuneista muutoksista. Millään alueella ei ollut ryhmien välistä, yli aikapisteiden säilyvää tasoeroa eikä myöskään koko tutkimusjoukolla ajassa tapahtuva muutosta.



KUVIO 14. Polaarinen massajakauma vähintään 55 voima- ja nopeusharjoitusta tehneillä pika-juoksijoilla (n=16) ennen ja jälkeen 20 viikon harjoittelun.

TAULUKKO 7. Voima- ja nopeusharjoittelun vaikutus sääriluun varren polaariseen massaja-kaumaan vähintään 55 voima- ja nopeusharjoitusta tehneillä (ka, SD). BMC – arvot (mg/cm) ovat yhdeksän 5° sektorin summia. (A = anteriorinen, A-M = anteromediaalinen, M = mediaalinen, P-M = posteromediaalinen, P = posteriorinen, P-L = posterolateraalinen, L = lateraalinen, A-L = anterolateraalinen)

BMC	Koeryhmä (n=16)		Kontrolliryhmä (n=30)		Ryhmä	ANOVA (p)	
	Alku	6 kk	Alku	6 kk		Aika	Ryhmä x aika
A	855 (113)	867 (131)	833 (150)	831 (146)	0.498	0.497	0.390
A-M	327 (66)	334 (67)	342 (63)	341 (63)	0.579	0.085	0.047
M	489 (118)	492 (118)	514 (99)	512 (99)	0.488	0.875	0.458
P-M	865 (134)	864 (125)	816 (161)	822 (159)	0.331	0.470	0.378
P	751 (182)	760 (186)	732 (148)	729 (145)	0.624	0.479	0.159
P-L	535 (74)	541 (78)	547 (86)	547 (88)	0.730	0.502	0.503
L	330 (61)	334 (59)	325 (68)	327 (70)	0.766	0.302	0.701
A-L	936 (201)	931 (184)	888 (133)	891 (144)	0.364	0.928	0.614

9 POHDINTA

Päätulokset

Tutkimuksen päätulosten mukaan harjoittelulla ei ollut vaikutusta sääriluun distaaliosan luumuuttujiin. Sääriluun varressa tapahtuneet muutokset olivat geometrisia, mineraalimäärässä ja -tiheydessä ei koko aineistolla tapahtunut merkitseviä muutoksia. Geometriset muutokset näkyivät pääosin korteksin paksuuden ja poikkipinta-alan kasvuna. Jäyhyysmomenttien kasvu tapahtui pienimmän taivutusjäykkyyden (I_{minA}) suuntaan. Sääriluun varren geometriset muutokset sekä minimimomenttien kasvu näkyivät selvemmin, kun tarkasteluun otettiin vain hyvin harjoitelleet koehenkilöt (tehokkuusanalyysi). Korteksin poikkipinta-alan ja paksuuden lisäksi myös koko luun poikkipinta-ala ja varren mineraalimäärä lisääntyivät kun taas sekä koko luun että kuoriluun mineraalitiheydet alenivat.

Aiemmissa iäkkäille tehdyissä harjoittelututkimuksissa harjoittelun luustovaikutukset ovat vaihdelleet ja tutkimusten tulokset ovat osittain olleet ristiriitaisia. Joidenkin tutkijoiden mukaan (esim. Kohrt ym. 2004, Seeman 2002) on epävarmaa voidaanko luun tiheyttä edes lisätä aikuisiässä. Osassa aiemmista tutkimuksista BMD ja BMC ovat kasvaneet (mm. Maddalozzo & Snow 2000, Kerr ym. 2001, Vincent & Braith 2002, Ryan ym. 2004), osassa ylläpysyneet (mm. Snow ym. 2000, Stengel ym. 2005) ja osassa harjoittelulla ei ole ollut vaikutusta (mm. Basse ym. 1998, Ryan ym. 2004). Aiempien tutkimusten tulosten vaihtelu on johtunut muun muassa tutkimusten koasetelmien, kohderyhmien, harjoittelun tyyppin ja intensiteetin, harjoittelujakson keston, mitatun luukohdan ja käytetyn mittausmenetelmän eroavaisuuksista. Kontrolloiduissa interventiotutkimuksissa harjoittelun aiheuttamat luustomuutokset ovat olleet huomattavasti pienempiä kuin urheilijoita ja ei-urheilijoita vertaavissa poikkileikkaustutkimuksissa (ks. Suominen 2006). Kontrolloiduista interventiotutkimuksista luustomuutokset ovat puolestaan olleet pienempiä satunnaistetuissa kuin ei-satunnaistetuissa tutkimuksissa (ks. Wolff ym. 1999).

Suurin osa iäkkäille tehdyistä harjoittelututkimuksista on tehty koehenkilöille, joiden fyysinen aktiivisuus ja luun tiheyden lähtötaso ovat olleet alhaiset. Tosin näissäkin tutkimuksissa ongelmana on usein ollut koehenkilöiden valikoituminen, jolloin fyysinen aktiivisuus ja luuston kunto ovat todellisuudessa olleet normaaliväestöä korkeammat (ks. esim. Kelley ym. 2000). Tutkimuksia on tehty myös huomattavasti enemmän naisille kuin miehille. Luun tiheyden muutokset ovat yleisesti ottaen olleet suurimpia niissä tutkimuksissa, joissa koehenkilöiden aiempi fyysinen aktiivisuus ja luuntiheyden lähtötasot ovat olleet alhaisimmat (Kerr ym. 2001, Liu-Ambrose ym. 2004). Tutkimuksissa, joissa koehenkilöt olivat fyysisesti aktiivisia ja heillä oli korkeat lähtötason luun tiheydet, ei luuntiheyksissä ole tapahtunut muutoksia. Nichols'n ym. (1995) ja Pruitt'n ym. (1995) tutkimuksissa 12 kuukauden suuritehoisella voimaharjoittelulla ei ollut vaikutusta fyysisesti aktiivisten iäkkäiden naisten luun tiheyksiin lihasvoiman kasvusta huolimatta. Molemmissa tutkimuksissa koehenkilöiden luuntiheyksien lähtötasot olivat hyvin korkeat, 105-126 % ikänormeista ja tutkijat pitivät epätodennäköisenä, että tiheys tästä enää lisääntyisi. Myös tässä tutkimuksessa tiheyden muuttumattomuus saattoi johtua siitä, että pitkään harjoitelleiden urheilijoiden luuntiheydet olivat kenties jo maksimissaan.

Iskutyypin kuormituksen vaikutuksia on tutkittu iäkkäillä melko vähän, mikä osaltaan selittää tulosten ristiriitaisuutta, ja harjoittelun intensiteetti on useimmissa tutkimuksissa ollut liian alhainen luuston kuormittumisen kannalta. Myös voimaharjoittelun intensiteetti on saattanut jäädä alhaiseksi tai harjoittelu ei ole välttämättä ollut spesifiä luuston kuormitukselle. Harjoittelu ei myöskään ole välttämättä ollut tarpeeksi progressiivista maksimaalisten luustomuutosten kannalta. Tässä tutkimuksessa tutkittiin yhdistetyn voima- ja iskutyypin harjoittelun vaikutusta. Harjoittelu oli progressiivista, jaksoittain etenevää ja pitkän harjoittelutaustansa vuoksi koehenkilöt pystyivät harjoittelemaan niin lujaa, että sillä oli mahdollista vaikuttaa luustoon.

Harjoittelun tyypin ja intensiteetin lisäksi myös harjoittelujakson kesto on vaikuttanut saatuihin tuloksiin. Interventioiden kesto on vaihdellut muutamasta kuukaudesta useaan vuoteen. Lyhyissä interventioissa luomassan muutokset ovat olleet vaatimattomia, varsinkin niissä tutkimuksissa, joissa koehenkilöiden aiempi fyysinen aktiivisuus ja luunti-

heyden lähtötasot ovat olleet normaalit tai korkeat (esim. Vincent & Braith 2002). Pidemmässä tutkimuksessa koehenkilöiden määrä ja tutkimuksen komplianssi ovat kuitenkin olleet usein alhaisempia, mikä on vähentänyt tutkimusten tilastollista voimaa (esim. Snow ym. 2000). Harjoitusjakson lyhyys (20 vk) saattoi olla myös osasyynä siihen, ettei luun tiheys lisääntynyt tässä tutkimuksessa. Luun tiheyden muutokset vaativat pidemmän ajan kuin geometrian muutokset (ks. Kohrt ym. 2004), eivätkä ne välttämättä tulleet näkyviin kuuden kuukauden aikana. Luun mineralisaatio tapahtui mahdollisesti myöhemmin ja kyseessä saattoi olla myös kasvuiästä tuttu ilmiö, jossa luun koko kasvaa ensin ja mineraalitiheys vasta pidemmän ajan kuluessa (Bass ym. 1999, Khan ym. 2001). Mineralisaation pidempi kesto aiheuttaa hetkellisen laskun luun tiheysarvoissa, mikä havaittiin myös tämän tutkimuksen tehokkuusanalysissä. Se että luussa ylipäänsä saatiin muutoksia aikaan näin lyhyessä ajassa koehenkilöille, joilla oli jo valmiiksi vahvat luut, kertoo siitä, että harjoittelu oli kovaa aiempiin tutkimuksiin verrattuna.

Harjoittelun vaikutusta ikääntyneillä on tutkittu pääosin kliinisesti tärkeän lonkan alueen (esim. Pruitt ym. 1995, Basse ym. 1998, Maddalozzo & Snow 2000, Snow ym. 2000, Kerr ym. 2001, Vincent & Braith 2002, Nichols ym. 2003, Ryan ym. 2004, Stengel ym. 2005) ja selkärangan (esim. Michel ym. 1992, Pruitt ym. 1995, Maddalozzo & Snow 2000, Stewart & Hannan 2000, Nichols ym. 2003, Ryan ym. 2004, Stengel ym. 2005) tiheyteen sekä jonkin verran myös varttinäluun (esim. Adami ym. 1999, Liu-Abrose ym. 2004) ja kantaluun (esim. Suominen & Rahkila 1991, Welch & Rosen 2005) tiheyteen. Sääriluuta ovat tutkineet mm. Cheng ym. (2002) ja Uusi-Rasi ym. (2003), mutta tämän luukohdan tutkiminen on painottunut ennemminkin nuoriin urheilijoihin. Suurin osa aiemmista tutkimuksista on tehty DXA:lla, joka on todettu validiksi menetelmäksi, mutta jonka heikkouksiin kuitenkin kuuluu se, ettei sillä voida erottaa eri luutyyppejä eikä muutoksia luun geometriassa. Pelkkien luomassamuutosten tutkiminen onkin saattanut aliarvioida harjoittelun vaikutusta luun lujuuteen (ks. Vainionpää ym. 2007).

Geometrian muutosten havaitseminen luomassamuutosten ohella on tärkeää, sillä eri luualueet kuormittuvat erilalla samassa kuormituksessa ja reagoivat siten kuormitukseen eri tavoin (esim. Hsieh ym. 2001, Welch ym. 2004). Iskutyypinen kuormitus on

useissa tutkimuksissa lisännyt luun päiden hohkaluun tiheyttä kun taas varressa lujuus on lisääntynyt geometristen muutosten takia (esim. Heinonen ym. 2002, Liu ym. 2003, Welch ym. 2004). Luiden varsissa geometrian muutokset lisäävät luiden lujuutta enemmän kuin kohtalaiset tiheyden muutokset (Welch ym. 2004). Tässä tutkimuksessa muutokset tapahtuivat varren geometriassa; distaaliosaan harjoittelulla ei ollut vaikutusta, mikä viittaisi siihen että luustomuutosten takana olisi ennemminkin vääntökuormitus kuin vertikaalinen puristusvoima. Tämä taas viittaa siihen, että muutoksen takana olisi ennemminkin lisääntynyt voimaharjoittelu kuin isku-tärähdystyyppinen harjoittelu.

Tässä tutkimuksessa, kuten myös aiemmissa (esim. Adami 1999, Haapasalo ym. 2000, Liu ym. 2003) harjoittelu muokkasi luun geometriaa ja teoreettisesti myös luun lujuutta ilman, että tiheydessä tapahtui muutoksia. Suurimmat geometriset muutokset tapahtuivat korteksin paksuudessa, jonka kasvu havaittu myös aiemmissa tutkimuksissa (esim. Heinonen ym. 2002, Nikander ym. 2006b). Koeryhmällä korteksin paksuus lisääntyi hieman kun taas kontrolliryhmällä paksuus väheni, mikä viittaa siihen, että harjoittelu näytti ennemminkin ylläpitävän kuin lisäävän korteksin paksuutta. Korteksin paksuuden prosentuaalinen muutos kontrolliryhmään verrattuna oli merkitsevä koko koeryhmällä ja vanhemmalla ikäryhmällä, mutta ei nuoremmalla ikäryhmällä.

Muista luun geometrian muuttujista kokonaispoikkipinta-ala pyrki koeryhmällä hieman kasvamaan kun taas kontrolliryhmällä se pysyi samana. Ero ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä. Korteksin poikkipinta-ala sen sijaan kasvoi koeryhmällä yhdysvaikutuksen ollessa lähellä merkitsevää. Korteksin poikkipinta-alan prosentuaalinen kasvu oli koko koeryhmällä lähellä merkitsevää, mutta ikäryhmittäin katsottuna hajonta oli suurempaa eikä siten merkitsevää muutosta tapahtunut. Tehokkuusanalysissä sekä kokonaispoikkipinta-ala että korteksin poikkipinta-ala kasvoivat merkitsevästi. Poikkipintaalojen muutoksia on havaittu myös aiemmissa tutkimuksissa. Havainnoivissa tutkimuksissa iskutyypisten lajien urheilijoiden reisiluun kaulan (Nikander ym. 2005) ja distaaliosan (Heinonen ym. 2001) poikkipinta-alat sekä sääriluun varren ja distaaliosan korteksin poikkipinta-alat (Heinonen ym. 2001) ovat olleet huomattavasti suurempia kuin kontrolleilla. Myös interventiotutkimuksissa harjoittelu on lisännyt sekä premenopausaalisten (esim. Vainionpää ym. 2007) että postmenopausaalisten (esim. Adami ym.

1999) naisten raajojen luiden korteksien poikkipinta-alaa. Vainionpään ym. (2007) tutkimuksessa iskutyypinen harjoittelu lisäsi sääriluun proksimaalisen osan sekä etenkin reisiluun varren korteksin poikkipinta-alaa ollen yhteydessä impaktien määrään ja intensiteettiin. Geometriset muutokset johtuivat tutkijoiden mukaan periostealisesta appositionista, luun uudelleenjakautumisesta elliptisempään muotoon, mikä mahdollisesti lisää luun sagittaalitasen lujuutta.

Pinta-alan ja korteksin paksuuden kasvu pystyttiin paikallistamaan massajakaumien avulla. Luumassa kasvoi alueilla, joihin kohdistui suurin kuormitus ja väheni puolestaan vähemmän kuormitetuilla alueilla. Massan uudelleenjakautuminen saattoi myös olla syynä siihen, miksei massassa tapahtunut muutoksia tässä tutkimuksessa. Polaaristen massajakaumien tulokset olivat osittain ristiriitaisia, sillä koeryhmällä tapahtuneet massajakaumien muutokset olivat päinvastaiset eri ikäryhmillä. Nuorempien ikäryhmässä luumassa kasvoi anteriorisella ja posterolateraalaisella alueella, joissa vanhemmalla ikäryhmällä luumassa väheni. Anterolateraalaisella alueella luumassa puolestaan väheni nuorilla ja kasvoi vanhoilla. Vaikka koeryhmällä tapahtuneet massajakaumien muutokset eivät poikenneet merkitsevästi kontrolliryhmällä tapahtuneista muutoksista, oli ryhmän ja ajan yhdysvaikutuksesta kuitenkin viitteitä nuorilla anteriorisella ja anteromedialisella alueella ja vanhoilla mediaalisella ja posterolateraalaisella alueella. Tehokkuusanalyysin mukaan luumassa kasvoi anteromedialisella alueella, jossa myös yhdysvaikutus oli merkitsevä. Vaikka yksittäisiä sektoreita katsomalla luumassan kasvu oli koeryhmällä pientä, tulee yhdysvaikutus isommalta alueelta katsottuna kuitenkin merkitseväksi, koska kontrolliryhmällä massa tällä alueella pikemminkin aleni. Chengin ym. (2002) tutkimuksessa 12 kuukauden isku-tärähdystyypinen harjoittelu lisäsi 50–57-vuotiaiden naisten sääriluun proksimaalisen osan luumassaa posteriorisella alueella kun taas varsiosan polaariseen massajakaumaan harjoittelulla ei ollut vaikutusta. Hormonikorvaushoitoa saaneella ryhmällä (HRT) sekä etenkin ryhmällä joka sai sekä hormonikorvaushoitoa että osallistui harjoitteluun (ExHRT) luumassa lisääntyi proksimaaliosan lisäksi myös sääriluun varressa. Luumassan uudelleen jakautuminen tapahtui pääosin antero-posterioriseen suuntaan. Kontrolliryhmällä tapahtuneet luumassamuutokset olivat negatiivisia molemmissa luukohdissa.

Korteksin paksuuden ja massajakaumien muutosten lisäksi myös jäyhyysmomenteissa havaittiin ikäryhmien välisiä eroja. Kontrolliryhmään nähden minimimomentti (I_{min_A}) kasvoi sekä koko koeryhmällä että nuorempien ikäryhmässä; vanhemmassa ikäryhmässä muutos ei ollut merkitsevä. Ikäryhmien väliset erot tuloksissa saattavat johtua harjoittelun mahdollisista ikäryhmien välisistä eroista. Nuoret pystyivät todennäköisesti harjoittelemaan kovempaa kuin iäkkäämmät. Toisaalta iäkkäillä harjoittelun ja etenkin voimaharjoittelun määrän lisääntyminen ja laadun parantuminen ovat saattaneet olla suurempia. Iäkkäillä aiempaa voimaharjoittelua oli huomattavasti vähemmän (Korhonen ym. 2006), ja harjoittelu oli kenties painottunut kestovoimatyyppiseen harjoitteluun ja juoksuun. Aiemman voimaharjoittelun määrän lisäksi myös harjoittelun teho oli nuorilla todennäköisesti ollut korkeampaa.

Tutkimuksessa havaittu jäyhyysmomenttien kasvu näkyi selvemmin tehokkuusanalyysissä, jossa pinta-alamomentin (I_{min_A}) lisäksi myös I_{min} ja I_{polar_A} kasvoivat kontrolliryhmään nähden. Myös polaarisen ja maksimimomentin (I_{polar} , I_{max_A}) kasvu kontrolliryhmään nähden oli lähellä merkitsevää. Luun lujuus ei siis näyttäisi kasvavan yksiselitteisesti joko maksimaalisen tai minimaalisen taivutusjäykkyyden suunnassa vaan pikemminkin minimi- ja maksimimomenttien väliin jäävässä antero-posteriorisessa suunnassa (ks. kuvio 4), jossa massajakaumatulosten mukaan myös luumassa kasvoi. Jäyhyysmomenttien kasvu viittaisi siihen, että geometriset muutokset lisäsivät luun taivutuslujuutta ilman tiheyden kasvua. Koska mineraalitiheys tehokkuusanalyysissä aleni, on luun mineraalimäärän kasvu tapahtunut luun koon kasvun takia.

Ravitsemuksen tai hormonitasojen vaikutusta luutuloksiin ei tässä tutkimuksessa erikseen tutkittu. Taustatietona kerättyjen ruokapäiväkirjojen mukaan koehenkilöiden ravinnonsaanti oli normaalia, eikä luuston kannalta tärkeiden kalsiumin ja D-vitamiinin saannissa ollut koe- ja kontrolliryhmien tai ikäryhmien välisiä merkitseviä eroja. Kalsiumin saanti ylitti päivittäisen suosituksen (800 mg, Välimäki ym. 2007). Alle 60-vuotiailla D-vitamiinin saantisuositus (7,5 $\mu\text{g}/\text{vrk}$, Välimäki ym. 2007) toteutui yli 60-vuotiaiden keskiarvon jäädessä hieman suositusten (10 $\mu\text{g}/\text{vrk}$) alle. Tutkimus ajoittui vuodenaikaan, jolloin D-vitamiinin puutetta yleisimmin esiintyy. Riittämätön D-vitamiinin saanti voi hidastaa kalsiumin imeytymistä, kiihdyttää luun remodellaatiota ja

lisätä luukatoa sekä heikentää ikääntyneiden lihastoimintaa ja suorituskykyä (Dawson-Hughes & Bischoff-Ferrari 2007), ja siten mahdollisesti myös heikentää liikunnan luustovaikutuksia. Tässä tutkimuksessa ei todennäköisesti näin tapahtunut, sillä vanhemman ikäryhmän luustomuutokset olivat paikoin jopa suurempia kuin nuoremmilla.

Alustavien havaintojen mukaan koehenkilöiden seerumin testosteronipitoisuudet olivat normaalit, eivätkä ne muuttuneet merkittävästi tutkimuksen aikana. Ikääntymiseen liittyvä testosteronitasojen lasku (Ferrini ym. 1998) näkyi myös tässä tutkimuksessa vapaan testosteronin tasojen ollessa vanhemmalla ikäryhmällä hieman alhaisemmat kuin nuoremmalla ikäryhmällä. Testosteroni säätelee luun aineenvaihduntaa ja alentunut taso näyttäisi olevan yhteydessä alentuneeseen luun tiheyteen miehillä (Secreto ym. 2006). Kennyn ym. (2000) tutkimuksessa vapaan testosteronin määrä oli merkittävä reisiluun kaulan BMD:n määrittäjä iäkkäillä miehillä, joilla oli alhaiset testosteronitasot. Tässä tutkimuksessa iäkkäiden miesten alhaisemmat testosteronitasot eivät estäneet harjoittelun vaikutusta, sillä luuston kehitystä tapahtui myös vanhemmassa ikäryhmässä

Tutkimuksen vahvuudet ja rajoitukset

Tämän tutkimuksen vahvuuksiin kuului kokeellinen tutkimusasetelma. Tutkimus oli satunnaistettu ja kontrolloitu ja sen avulla voitiin selvittää suoria syy-seuraussuhteita. Tutkimuksen havaintojen määrä oli myös melko suuri, mikä lisää tulosten luotettavuutta. Tutkimus antoi uutta tietoa, sillä vastaavaa tutkimusta vastaavalle tutkimusryhmälle ei ole tehty aiemmin. Suurin osa aiemmista iäkkäille tehdyistä harjoittelututkimuksista on tehty naisille; miehiä on tutkittu huomattavasti vähemmän. Lisäksi tutkimusten painopiste on ollut väestöryhmässä, jossa luuntiheydet ovat alhaiset ja jossa luuston kannalta tehokkaan liikunnan harrastaminen on ollut vähäistä. Tämän tutkimuksen koehenkilöillä oli pitkä harjoitustausta ja he olivat motivoituneita. Pitkän harjoittelutaustan vuoksi koehenkilöt pystyivät harjoittelemaan niin lujaa, että sillä oli mahdollista vaikuttaa luustoon. Yleensä iäkkäät henkilöt eivät kestä niin rajua kuormitusta ja harjoittelututkimuksissa iskutyypin harjoittelun intensiteetti ei ole ollut välttämättä riittävä luustomuutoksille. Tutkimuksen vahvuuksiin kuuluu myös luustomittauksissa käytetty pQCT, jolla pystytään havaitsemaan luun geometrian muutokset. pQCT on tarkka ja

toistettava menetelmä, jolla pystytään erottamaan pienetkin muutokset luumuuttujissa. Tutkimuksen vahvuutena voidaan pitää myös yksityiskohtaista tietoa antavia massajakaumia, joita on aiemmissa tutkimuksissa tehty suhteellisen vähän.

Tämän tutkimuksen rajoituksina voidaan pitää harjoitusohjelman suhteellisen lyhyttä kestoja ja koehenkilöiden valikoituneisuutta. Koehenkilöillä oli pitkä harjoittelutausta ja valmiiksi vahvat luut, minkä vuoksi lyhyellä jaksolla ei ollut odotettavissa suuria luustomuutoksia. Rajoituksena voidaan pitää myös aktiivista kontrolliryhmää, joka oli saattanut tutkimuksen myötä myös lisätä tai tehostaa harjoitteluaan. Tutkimuksessa kuitenkin saatiin eroa koe- ja kontrolliryhmien välille, joten on todennäköistä, että koeryhmän harjoittelun laatu on muuttunut enemmän kuin kontrolliryhmän.

Johtopäätökset

Tämän tutkimuksen mukaan intensiivisellä voima- ja nopeusharjoittelulla voidaan parantaa ikääntyvien urheilijoiden luun geometrisia ominaisuuksia pitkästä harjoittelutaustasta ja valmiiksi vahvoista luista huolimatta. Vaikka harjoittelulla saavutetut luustomuutokset olivat pieniä, ne olivat kuitenkin sen suuntaisia, että luun varsiosan taivutuslujuus lisääntyi. Lisää tutkimustietoa tarvittaisiin pidempikestoisen, vastaavan tyyppisen harjoitusohjelman vaikutuksista ikääntyvillä. Pidemmän intervention avulla voitaisiin selvittää sekä luun geometrian että tiheyden maksimaalista adaptaatiokykyä ja adaptaatiomekanismeja. Pidempien seurantojen avulla voitaisiin myös selvittää onko voima- ja nopeustyyppisellä harjoittelulla yhteyttä murtuma-alttiuteen. Vaikka urheilijoiden intensiivistä harjoitteluohjelmaa ei sellaisenaan voi suositella ikääntyvälle väestölle, veteraanuurheilijat toimivat hyvinä esimerkkeinä tuki- ja liikuntaelimestön kunnon ja fyysisen suorituskyvyn ylärajoista. Urheilijoiden käyttämien harjoitteiden sovelluksia voitaisiin soveltaa ikääntyvien liikuntaohjelmiin ennen toiminnanvajauksen ilmenemistä, ja siten osaltaan edesauttaa tuki- ja liikuntaelimestön kunnon ylläpitämistä ja vähentää kaatumis- ja murtumisriskiä.

LÄHTEET

- Adami S., Gatti D., Braga V., Bianchini D. & Rossi M. 1999. Site-specific effects of strength training on bone structure and geometry of ultradistal radius in postmenopausal women. *J Bone Miner Res* 14, 120-124.
- Andreoli A., Monteleone M., Van Loan M., Promenzio L., Tarantino U. & De Lorenzo A. 2001. Effects of different sports on bone density and muscle mass in highly trained athletes. *Med Sci Sports Exerc* 33, 507-511.
- Baron R. 2003. General principles of bone biology. *Teoksessa Primer on the metabolic bone diseases and disorders of mineral metabolism. The American society for bone and mineral research 5th edition*, 1-8.
- Bass S., Delmas P.D., Pearce G., Hendrich E., Tabensky A. & Seeman E. 1999. The differing tempo of growth in bone size, mass, and density in girls is region-specific. *J Clin Invest* 104, 795-804.
- Bassey E.J., Rothwell M.C., Littlewood J.J. & Pye D.W. 1998. Pre- and postmenopausal women have different bone mineral density responses to the same high-impact exercise. *J Bone Miner Res* 13, 1805-1813.
- Beck T.J., Looker A.C., Ruff C.B., Sievänen H. & Wahner H.W. 2000. Structural trends in the aging femoral neck and proximal shaft: analysis of the third national health and nutrition examination survey dual-energy absorptiometry data. *J Bone Miner Res* 15, 2297-2304.
- Bennel K.L., Malcolm S.A., Khan K.M., Thomas S.A., Reid S.J., Brukner P.D., Ebeling P.R. & Wark J.D. 1997. Bone mass and bone turnover in power athletes, endurance athletes, and controls: a 12-month longitudinal study. *Bone* 20, 477-484.
- Burr D.B. 1997. Muscle strength, bone mass, and age-related bone loss. *J Bone Miner Res* 12, 1547-1551.
- Burr D.B., Robling A.G. & Turner C.H. 2002. Effects of biomechanical stresses on bones in animals. *Bone* 30, 781-786
- Burr D.B. & Turner C.H. 2003. Biomechanics of bone. *Teoksessa Favus M.J. (toim.) Primer on the metabolic bone diseases and disorders of mineral metabolism. The American Society for Bone and Mineral Research. 5th edition*, 58-64.

- Calbet J.A., Díaz Herrera P. & Rodríguez L.P. 1999. High bone mineral density in male elite professional volleyball players. *Osteoporosis Int* 10, 468-474.
- Cheng S., Sipilä S., Taaffe D.R., Puolakka J. & Suominen H. 2002. Change in bone mineral mass distribution induced by hormone replacement therapy and high-impact physical exercise in post-menopausal women. *Bone* 31, 126-135.
- Clarke B.L., Ebeling P.R., Jones J.D., Wahner H.W., O'Fallon W.M., Riggs B.L. & Fitzpatrick L.A. 2002. Predictors of bone mineral density in aging healthy men varies by skeletal site. *Calcif Tissue Int* 70, 137-145.
- Cointry G.R., Capozza R.F., Negri A.L., Roldán E.J.A. & Ferretti J.L. 2004. Biomechanical background for a noninvasive assessment of bone strength and muscle-bone interactions. *J Musculoskeletal Neuron Interact* 4, 1-11.
- Cristea A., Korhonen M.T., Häkkinen K., Mero A., Alén M., Sipilä S., Viitasalo J., Koljonen M.J., Suominen H. & Larsson L. 2008. Effects of combined strength and sprint training on regulation of muscle contraction at the whole-muscle and single-fibre level in elite master sprinters. *Acta Physiol* 12. (Epub ahead of print)
- Cullen D.M., Smith D.M. & Akhter M.P. 2001. Bone-loading response varies with strain magnitude and cycle number. *J Appl Physiol* 91, 1971-1976.
- Dawson-Hughes B. & Bischoff-Ferrari H.A. 2007. Therapy of osteoporosis with calcium and vitamin D. *J Bone Miner Res* 22, V59-V63.
- Duan Y., Beck T.J., Wang X.-F. & Seeman E. 2003. Structural and biomechanical basis of sexual dimorphism in femoral neck fragility has its origins in growth and aging. *J Bone Mineral Res* 18, 1766-74.
- Duncan G.S., Blimkie C.J.R., Cowell C.T., Burke S.T., Briody J.N. & Howman-Giles R. 2002. Bone mineral density in adolescent female athletes: relationship to exercise type and muscle strength. *Med Ski Sports Exerc* 34, 286-294.
- Egan E., Reilly T., Giacomoni M., Redmond L. & Turner C. 2006. Bone mineral density among sports participants. *Bone* 38, 227-233.
- Ferretti J.L., Cointry G.R., Capozza R.F. & Frost H.M. 2003. Bone mass, bone strength, muscle-bone interactions, osteopenias and osteoporoses. *Mech Ageing Dev* 124, 269-279.
- Ferrini R.L. & Barrett-Connor E. 1998. Sex hormones and age: a cross-sectional study of testosterone and estradiol and their bioavailable fractions in community-dwelling men. *Am J Epidemiol* 147,750-754.

- Frost H.M. 1987. Bone "mass" and the "mechanostat": A proposal. *Anatomical Record* 219, 1-9.
- Frost H.M. 1989. Some effects of basic multicellular unit-based remodeling on photon absorptiometry of trabecular bone. *Bone Miner* 7, 47-65.
- Frost H.M. 1997. On our age-related bone loss: insights from a new paradigm. *J Bone Miner Res* 12, 1539-1546.
- Frost H.M. 2002. Emerging views about "osteoporosis", bone health, strength, fragility, and their determinants. *J Bone Miner Metab* 20, 319-325.
- Gilsanz V., Gibbens D.T., Carlson M., Boechat I., Cann C.E. & Schulz E.E. 1988. Peak trabecular bone density: a comparison of adolescent and adult females. *Calcif Tissue Int* 43, 260-262.
- Haapasalo H., Kontulainen S., Sievänen H., Kannus P., Järvinen M. & Vuori I. 2000. Exercise-induced bone gain is due to enlargement in bone size without a change in volumetric bone density: a peripheral quantitative computed tomography study of the upper arms of male tennis players. *Bone* 27, 351-357.
- Harridge S. & Suominen H. 2003. Physical activity in the elderly. Teoksessa Kjaer M., Krogsgaard M., Magnusson P., Engebretsen L., Roos H., Takala T. & Woo S. L.-Y. (toim.) *Textbook of sports medicine. Basic science and clinical aspects of sports injury and physical activity.* Blackwell Science, 341.
- Heinonen A. 1997. Exercise as an osteogenic stimulus. Jyväskylän yliopisto. *Studies in Sport, Physical Education and Health.*
- Heinonen A., Kannus P., Sievänen H., Oja P., Pasanen M., Rinne M., Uusi-Rasi K. & Vuori I. 1996. Randomised controlled trial of high-impact exercise and selected risk factors for osteoporotic fractures. *The Lancet* 348, 1343-1347.
- Heinonen A. & Karinkanta S. 2003. Liikunta osteoporoosin ja osteoporoottisten murtumien ehkäisyssä. *Suomen lääkirilehti* 38, 3755-3760.
- Heinonen A., Oja P., Kannus P., Sievänen H., Haapasalo H., Mänttari A. & Vuori I. 1995. Bone mineral density in female athletes representing sports with different loading characteristics of the skeleton. *Bone* 17, 197-203.
- Heinonen A., Sievänen H., Kannus P., Oja P. & Vuori I. 2002. Site-specific skeletal response to long-term weight training seems to be attributable to principal loading modality: a pQCT study of female weightlifters. *Calcif Tissue Int* 70, 469-474.

- Heinonen A., Sievänen H., Kyröläinen H., Perttunen J. & Kannus P. 2001. Mineral mass, size, and estimated mechanical strength of triple jumpers' lower limb. *Bone* 29, 279-285.
- Hsieh Y.F., Robling A.G., Ambrosius W.T., Burr D.B. & Turner C.H. 2001. Mechanical loading of diaphyseal bone in vivo: the strain threshold for an osteogenic response varies with location. *J Bone Miner Res*, 2291–2297.
- Hsieh Y.-F. & Turner C.H. 2001. Effects of loading frequency on mechanically induced bone formation. *J Bone Miner Res* 16, 918-924.
- Huuskonen J., Väisänen S.B., Kröger H., Jurvelin J.S., Alhava E. & Rauramaa R. 2001. Regular physical exercise and bone mineral density: a four-year controlled randomized trial in middle-aged men. The DNASCO study. *Osteoporosis Int* 12, 349-355.
- Judex S. & Zernicke R.F. 2000. High-impact exercise and growing bone: relation between high strain rates and enhanced bone formation. *J Appl Physiol* 88, 2183-2191.
- Järvinen T.L.N., Kannus P., Sievänen H., Jolma P., Heinonen A. & Järvinen M. 1998. Randomized controlled study of effects of sudden impact loading on rat femur. *J Bone Miner Res* 13, 1475-1482.
- Kaptoge S., Dalzell N., Jakes R.W., Wareham N., Day N.E., Khaw K.T., Beck T.J., Loveridge N. & Reeve J. 2003. Hip section modulus, a measure of bending resistance, is more strongly related to reported physical activity than BMD. *Osteoporosis Int* 14, 941-949.
- Kaptoge S., Dalzell N., Loveridge N., Beck T.J., Khaw K.-T. & Reeve J. 2003. Effects of gender, anthropometric variables, and aging on the evolution of hip strength in men and women aged over 65. *Bone* 32, 561-570.
- Karlsson M.K. 2001. Skeletal effects of exercise in men. *Calcif Tissue Int* 69, 196-199.
- Karlsson M.K., Obrant K.J., Nilsson B.E. & Johnell O. 2000. Changes in bone mineral, lean body mass and fat content as measured by dual-energy x-ray absorptiometry: a longitudinal study. *Calcif Tissue Int* 66, 97-99.
- Kato T., Terashima T., Yamashita T., Hatanaka Y., Honda A. & Umemura Y. 2006. Effect of low-repetition jump training on bone mineral density in young women. *J Appl Physiol* 100, 839-843.
- Kelley G.A. 1998a. Aerobic exercise and lumbar spine bone mineral density in postmenopausal women: a meta-analysis. *J Am Geriatr Soc* 46, 143-152.

- Kelley G.A. 1998b. Aerobic exercise and bone density at the hip in postmenopausal women: a meta-analysis. *Prev Med* 27, 798-807.
- Kelley G.A., Kelley K.S. & Tran Z.V. 2000. Exercise and bone mineral density in men: a meta-analysis. *J Appl Physiol* 88, 1730-1736.
- Kelley G.A., Kelley K.S. & Tran Z.V. 2001. Resistance training and bone mineral density in women. A meta-analysis of controlled trials. *Am J Phys Med Rehabil* 80, 65-77.
- Kenny A.M., Prestwood K.M., Marcello K.M. & Raisz L.G. 2000. Determinants of bone density in healthy older men with low testosterone levels. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 55, M492–M497.
- Kerr D., Ackland T., Maslen B., Morton A. & Prince R. 2001. Resistance training over 2 years increases bone mass in calcium-replete postmenopausal women. *J Bone Miner Res* 16, 175-181.
- Khan K., McKay H.A., Haapasalo H., Bennell K.L., Forwood M.R., Kannus P. & Wark J.D. 2000. Does childhood and adolescence provide a unique opportunity for exercise to strengthen the skeleton? *J Sci Med Sport* 3, 150-164.
- Khan K., McKay H., Kannus P., Bailey D., Wark J. & Bennell K. 2001. Physical activity and bone health. *Human Kinetics*, 3-32, 114.
- Kohrt W.M., Bloomfield S.A., Little K.D., Nelson M.E. & Yingling V.R. 2004. American college of sports medicine position stand: physical activity and bone health. *Med Sci Sports Exerc* 36, 1985-1996.
- Kontulainen S., Heinonen A., Kannus P., Pasanen M., Sievänen H. & Vuori I. 2004. Former exercisers of an 18-month intervention display residual aBMD benefits compared with control women 3.5 years post-intervention: a follow-up of a randomized controlled high-impact trial. *Osteoporosis Int* 15, 248-251.
- Korhonen M.T., Cristea A., Alen M., Häkkinen K., Sipilä S., Mero A., Viitasalo J.T., Larsson L. & Suominen H. 2006. Aging, muscle fiber type, and contractile function in sprint-trained athletes. *J Appl Physiol* 101, 906-917.
- Lanyon L.E. 1984. Functional strain as a determinant for bone remodelling. *Calcif Tissue Int* 36, S56-S61.
- Lanyon L.E. 1987. Functional strain in bone tissue as an objective, and controlling stimulus for adaptive bone remodelling. *J Biomech* 20, 1083-1093.

- Lanyon L.E. 1996. Using functional loading to influence bone mass and architecture: objectives, mechanisms, and relationship with estrogen of the mechanically adaptive process in bone. *Bone* 18, 37S-43S.
- Lauretani F., Bandinelli S., Griswold M.E., Maggio M., Semba R., Guralnik J.M. & Ferrucci L. 2008. Longitudinal changes in BMD and bone geometry in a population-based study. *J Bone Miner Res* 23, 400-408.
- Layne J.E. & Nelson M.E. 1999. The effects of progressive resistance training on bone density: a review. *Med Sci Sports Exerc* 31, 25-30.
- Liu L., Maruno R., Mashimo T., Sanka K., Higuchi T., Hayashi K., Shirasaki Y., Mukai N., Saitoh S. & Tokyama K. 2003. Effects of physical training on cortical bone at midtibia assessed by peripheral QCT. *J Appl Physiol* 95, 219-224.
- Liu-Ambrose T.Y., Khan K.M., Eng J.J., Heinonen A. & McKay H.A. 2004. Both resistance and agility training increase cortical bone density in 75- to 85-year-old women with low bone mass: a 6-month randomized controlled trial. *J Clin Densitom*, 7, 390-398.
- Maddalozzo G.F. & Snow C.M. 2000. High intensity resistance training: effects on bone in older men and women. *Calcif Tissue Int* 66, 399-404.
- Marshall L.M., Lang T.F., Lambert L.C., Zmuda J.M., Ensrud K.E. & Orwoll E.S. 2006. Dimensions and volumetric BMD of the proximal femur and their relation to age among older U.S. men. *J Bone Miner Res* 21, 1197-1206.
- Martyn-St James M. & Carroll S. 2006. Progressive high-intensity resistance training and bone mineral density changes among premenopausal women: evidence of discordant site-specific skeletal effects. *Sports Med* 36, 683-704.
- Mayhew P.M., Thomas C.D., Clement J.G., Loveridge N., Beck T.J., Bonfield W., Burgoyne C.J. & Reeve J. 2005. Relation between age, femoral neck stability, and hip fracture risk. *Lancet* 366, 129-135.
- Melton L.J., Atkinson E.J., O'Connor M.K., O'Fallon W.M. & Riggs B.L. 1998. Bone density and fracture risk in men. *J Bone Miner Res* 13, 1915-1923.
- Melton L.J., Khosla S., Atkinson J., O'Connor M.K., O'Fallon W.M. & Riggs B.L. 2000: Cross-sectional versus longitudinal evaluation of bone loss in men and women. *Osteoporosis Int* 11, 592-599.
- Michel B.A., Lane N.E., Björkengren A., Bloch D.A. & Fries J.F. 1992. Impact of running on lumbar bone density: a 5-year longitudinal study. *J Reumatol* 19, 1759-1763.

- Mikkola T., Sipilä S., Rantanen T., Sievänen H., Suominen H., Kaprio J., Koskenvuo M., Kauppinen M. & Heinonen A. 2008. Genetic and environmental influence on structural strength of weight-bearing and non-weight-bearing bone: a twin study. *J Bone Miner Res* 23, 492-498.
- Mundy G.R., Chen D. & Oyajobi B.O. 2003. Bone remodeling. Teoksessa Favus M.J. (toim.) *Primer on the metabolic bone diseases and disorders of mineral metabolism*. The American Society for Bone and Mineral Research. 5th edition, 46-57.
- Nevill A., Holder R. & Stewart A. 2004. Do sporting activities convey benefits to bone mass throughout the skeleton? *J Sports Sci* 22, 645-650.
- Nichols J.F., Nelson K.P., Sartoris D.J. 1995. Bone Mineral Density Responses to High-Intensity Strength Training in Active Older Women. *J Aging Phys Activity* 3, 26-38.
- Nichols J.F., Palmer J.E. & Levy S.S. 2003. Low bone mineral density in highly trained male master cyclist. *Osteoporosis Int* 14, 644-649.
- Nikander R., Sievänen H., Heinonen A. & Kannus P. 2005. Femoral neck structure in adult female athletes subjected to different loading modalities. *J Bone Miner Res* 20, 520-528.
- Nikander R., Karinkanta S., Lepola V. & Sievänen H. 2006a. Luuliikunta. Lapsuudesta vanhuuteen – unohtamatta osteoporoosia sairastavia. www.ukkinstituutti.fi
- Nikander R., Sievänen H., Uusi-Rasi K., Heinonen A. & Kannus P. 2006b. Loading modalities and bone structures at nonweight-bearing upper extremity and weight-bearing lower extremity: a pQCT study of adult female athletes. *Bone* 39, 886-694.
- Palmer I.J., Runnels E.D., Bemben M.G. & Bemben D.A. 2006. Muscle-bone interactions across age in men. *J Sports Sci Med* 5, 43-51.
- Pettersson U., Nordström P., Alfredson H., Henriksson-Larsén K. & Lorentzon R. 2000. Effect of high-impact activity on bone mass and size in adolescent females: a comparative study between two different types of sports. *Calcif Tissue Int* 67, 207-214.
- Pruitt L.A., Taaffe D.R., Marcus R. 1995. Effects of a one-year high-intensity versus low-intensity resistance training program on bone mineral density in older women. *J Bone Miner Res* 10, 1788-1795.

- Ravaglia G., Forti P., Maioli F., Nesi B., Pratelli L., Cucinotta D., Bastagli L. & Cavalli G. 2000. Body composition, sex steroids, IGF-1, and bone mineral status in aging men. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 55, M516-M521.
- Riggs B.L. & Melton L.J. 1995. Preface. *Teoksessa: Riggs B.L. & Melton L.J. (toim.) Osteoporosis. Etiology, diagnosis, and Management. Philadelphia, Pennsylvania, USA: Lippincott-Raven Publishers, 2nd edition, 15.*
- Riggs B.L., Melton III L.J., Robb R.A., Camp J.J., Atkinson E.J., Peterson J.M., Rouleau P.A., McCollough C.H., Bouxsein M.L. & Khosla S. 2004. Population-based study of age and sex differences in bone volumetric density, size, geometry, and structure at different skeletal sites. *J Bone Miner Res* 19, 1945-54.
- Rittweger J. & Rauch F. 2000. What is new in musculo-skeletal interactions. *J Musculoskel Neuron Interact* 1, 171-176.
- Robling A.G., Burr D.B. & Turner C.H. 2001. Recovery periods restore mechanosensitivity to dynamically loaded bone. *J Exp Biol* 204, 3389-3399.
- Robling A.G., Hinant F.M., Burr D.B. & Turner C.H. 2002. Improved bone structure and strength after long-term mechanical loading is greatest if loading is separated into short bouts. *J Bone Miner Res* 17, 1545-1554.
- Rubin C.T. & Lanyon L.E. 1984. Regulation of bone formation by applied dynamic loads. *J Bone Joint Surg* 66, 397-402.
- Russo C.R., Lauretani F., Bandinelli S., Bartali B., Di Iorio A., Volpato S., Guralnik J.M., Harris T. & Ferrucci L. 2003. Aging bone in men and women: beyond changes in bone mineral density. *Osteoporosis Int* 14, 531-538.
- Russo C.R., Lauretani F., Seeman E., Bartali B., Bandinelli S., Di Iorio A., Guralnik J. & Ferrucci L. 2006. Structural adaptations to bone loss in aging men and women. *Bone* 38, 112-118.
- Ryan A.S., Ivey F.M., Hurlbut D.E., Martel G.F., Lemmer J.T., Sorkon J. D., Metter E.J., Fleg J.L. & Hurley B.F. 2004. Regional bone mineral density after resistive training in young and older men and women. *Scand J Med Sci Sports* 14, 16-23.
- Secreto F.J., Monroe D.G. & Spelsberg T.C. 2006. Gonadal steroids and receptors. *Teoksessa Primer on the metabolic bone diseases and disorders of mineral metabolism. The American society for bone and mineral research 6th edition, 84-89.*
- Seeman E. 1997. From density to structure: growing up and growing old on the surfaces of bone. *J Bone Miner Res* 12, 509-521.
- Seeman E. 2002. An exercise in geometry. *J Bone Miner Res* 17, 1363-1367.

- Seeman E. & Delmas P.D. 2006. Bone quality – the material and structural basis of bone strength and fragility. *N Engl J Med* 354, 2250-2261.
- Snow C.M., Shaw J.M., Winters K.M. & Witzke K.A. 2000. Long-term exercise using weighted vests prevents hip bone loss in postmenopausal women. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 55, M489-M491.
- von Stengel S., Kemmler W., Kalender W.A., Engelke K. & Lauber D. 2007. Differential effects of strength versus power training on bone mineral density in postmenopausal women: a 2-year longitudinal study. *Br. J. Sports Med* 41, 649-655.
- von Stengel S., Kemmler W., Pintag R., Beeskow C., Weineck J., Lauber D., Kalender W.A. & Engelke K. 2005. Power training is more effective than strength training for maintaining bone mineral density in postmenopausal women. *J Appl Physiol* 99, 181-188.
- Stewart A.D. & Hannan J. 2000. Total and regional bone density in male runners, cyclists, and controls. *Med Sci Sports Exerc* 32,1373-1377.
- Suominen H. & Rahkila P. 1991. Bone mineral density of the calcaneus in 70- to 81-year-old male athletes and a population sample. *Med Sci Sports Exerc* 23, 1227-1233.
- Suominen H. 1993. Bone mineral density and long term exercise. *Sports Medicine* 16, 316-330.
- Suominen H. 2006. Muscle training for bone strength. *Aging Clin Exp Res* 18, 85-93.
- Suominen H. 2007. Physical activity and health: musculoskeletal issues. *Advances in Physiotherapy* 9, 65-75.
- Szulc P., Marchand F., Duboeuf F. & Delmas P.D. 2000. Cross-sectional assessment of age-related bone loss in men: the MINOS study. *Bone* 26, 123-129.
- Taaffe D.R., Robinson T.L., Snow C.M & Marcus R. 1997. High-impact exercise promotes bone gain in well-trained female athletes. *J Bone Miner Res* 12, 255-260.
- Taaffe D.R., Suominen H., Ollikainen S. & Cheng S. 2001. Calcaneal bone mineral and ultrasound attenuation in male athletes exposed to weight-bearing and nonweight-bearing activity. A cross-sectional report. *J Sports Med Phys Fitness* 41, 243-249.
- Tsuzuku S., Ikegami Y. & Yabe K. 1998. Effects of high-intensity resistance training on bone mineral density in young male powerlifters. *Calcif Tissue Int* 63, 283-286.
- Tsuzuku S., Shimokata H., Ikegami Y., Yabe K. & Wasnich R.D. 2001. Effects of high versus low-intensity resistance training on bone mineral density in young males. *Calcif Tissue Int* 68, 342-347.

- Turner C.H. 1998. Three rules for bone adaptation to mechanical stimuli. *Bone* 23, 399-407.
- Turner C.H. 2002. Biomechanics of bone: determinants of skeletal fragility and bone quality, *Osteoporos Int* 13, 97-104.
- Turner C.H., Owan I. & Takano Y. 1995. Mechanotransduction in bone: role of strain rate. *Am J Physiol* 269, E438-E442.
- Turner C.H. & Robling A.G. 2005. Exercises for improving bone strength. *Br J Sports Med* 39, 188-189.
- Umemura Y., Ishiko T., Yamauchi T., Kurono M. & Mashiko S. 1997. Five jumps per day increase bone mass and breaking force in rats. *J Bone Miner Res* 12, 1480-1485.
- Uusi-Rasi K., Kannus P., Cheng S., Sievänen H., Pasanen M., Heinonen A., Nenonen A., Halleen J., Fuerst T., Genant H. & Vuori I. 2003. Effect of alendronate and exercise on bone and physical performance of postmenopausal women: a randomized controlled trial. *Bone* 33, 132-143.
- Vainionpää A., Korpelainen R., Vihriälä E., Rinta-Paavola A., Leppäluoto J. & Jämsä T. 2006. Intensity of exercise is associated with bone density change in premenopausal women. *Osteoporosis Int* 17, 455-463.
- Vainionpää A., Korpelainen R., Sievänen H., Vihriälä E., Leppäluoto J. & Jämsä T. 2007. Effect of impact exercise and its intensity on bone geometry at weight-bearing tibia and femur. *Bone* 40, 604-611.
- van der Meulen M.C.H., Jepsen K.J. & Mikić B. 2001. Understanding bone strength: size isn't everything. *Bone* 29, 101-104.
- Viguent-Carrin S., Garnero P. & Delmas P.D. 2006. The role of collagen in bone strength. *Osteoporosis Int* 17, 319-336.
- Vincent K.R. & Braith R.W. 2002. Resistance exercise and bone turnover in elderly men and women. *Med Sci Sports Exerc* 34, 17-23.
- Välimäki M., Alhava E., Aro H., Irjala K., Heinonen A., Hirvonen E., Jousilahti P., Kröger H., Lamberg-Allardt C., Malmivaara A., Mattila K., Mervaala E., Möttönen T., Salmela P., Salmi J., Salovaara K., Savolainen A., Suominen H., Tuppurainen M. & Viikari J. 2007. Osteoporosi. Käypä hoito. *Duodecim* 123, 1345-1346. www.kaypahoito.fi

- Wallace B.A. & Cumming R.G. 2000. Systematic review of randomized trials of the effect of exercise on bone mass in pre- and postmenopausal women. *Calcif Tissue Int* 67, 10-18.
- Warming L., Hassager C. & Christiansen C. 2002. Changes in bone mineral density with age in men and women: a longitudinal study. *Osteoporosis Int* 13, 105-112.
- Weinstein R.S. 2000. True strength. *J Bone Miner Res* 15, 621-625.
- Welch J.M. & Rosen C.J. 2005. Older women track and field athletes have enhanced calcaneal stiffness. *Osteoporosis Int* 16, 871-878.
- Welch J.M., Weaver C.M. & Turner C.H. 2004. Adaptations to free-fall impact are different in the shafts and bone ends of rat forelimbs. *J Appl Physiol* 97, 1859–1865.
- Wolff I., van Croonenberg J.J., Kemper H.C.G., Kostense P.J & Twisk J.W.R. 1999. The effect of exercise training programs on bone mass: a meta-analysis of published controlled trials in pre- and postmenopausal women. *Osteoporosis Int* 9, 1-12.
- Wolff J. 1892. *Das Gesetz der transformation der Knochen*. Berlin: A. Hirschwald.

KAUSISUUNNITTELMA 2002-2003

TUTKIMUS- MITTAUKSET	ALKUMITTAUKSET			TESTI (vko 4)					VÄLIMITTAUKSET					TESTI (vko 15)					LOPPUMITTAUKSET					SM-KILPAILU																																													
	NOPEUS			30m					NOPEUS					30m					NOPEUS					T	E	S	T																																										
	VOIMA, HYPYT			60m					VOIMA, HYPYT					60m					VOIMA, HYPYT																																																		
ANTROPOMETRIA			HYPYT					ANTROPOMETRIA					HYPYT					ANTROPOMETRIA																																																			
	LUUSTOMITTAUKSET																		LUUSTOMITTAUKSET																																																		
	LIHASBIOPSIA																		LIHASBIOPSIA																																																		
KILPAILUKALENTERI	KUUKAUDET	SYYSKUU	LOKAKUU	MARRASKUU	JOULUKUU	TAMMIKUU	HELMIKUU	MAALISKUU	HUHTIKUU	TOUKOKUU	KESÄKUU	HEINÄKUU	ELOKUU																																																								
	KALENTERIVIIKOT	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35																
	SM-Hallit, Kuopio, 22.-23.2.																						EM-Hallit, 8.-9.3.																						PM, Lahti, 13.-15.6.																						SM, 15. - 17.8		Jyväskylä
KUUKAUDET	SYYSKUU	LOKAKUU	MARRASKUU	JOULUKUU	TAMMIKUU	HELMIKUU	MAALISKUU	HUHTIKUU	TOUKOKUU	KESÄKUU	HEINÄKUU	ELOKUU																																																									
KALENTERIVIIKOT	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35																	
HARJOITTELUN JAKSOTTAMINEN	HARJOITUSKAUDET				HARJOITUSKAUSI I				KVK	KILPAILU- KAUSI		HARJOITUSKAUSI II				KILPAILUUN VALMISTAVA KAUSI (KVK)		KILPAILUKAUSI																																																			
	JAKSOT				JAKSO 1				JAKSO 2	JAKSO 3	JAKSO 4	JAKSO 5	JAKSO 6																																																								
	VIIKKORYTMITYS (RASKAS:KEVYT VIIKKO)				3:1				3:1	1:2	2:1	2:1	2:1																																																								
JUOKSU	TAVOITE: MAKSIMINOPEUS, NOPEUS- KESTÄVYYSS, (TEKNIikka)				JUOKSUHARJOITTELU (2 x vko)																																																																
	JAKSOT				NOPEUS- KESTÄVYYSS	NOPEUS	NOPEUS	NOPEUS	NOPEUS- KESTÄVYYSS	NOPEUS	NOPEUS																																																										
	MÄÄRÄ/JAKSO				5100m	1400m	520m																																																														
NOPEUSALUE				75-80%	90-98%	95-98%	80-85%	90-98%	95-98%																																																												
LÄHDÖT	TAVOITE: LÄHTÖNOPEUS (TEKNIikka)				LÄHDÖT (pystystä)	LÄHDÖT	LÄHDÖT	LÄHDÖT	LÄHDÖT	LÄHDÖT	LÄHDÖT																																																										
	MÄÄRÄ				720m	1060m	480																																																														
VOIMA	TAVOITE: RÄJÄHTÄVÄ VOIMA				VOIMAHARJOITTELU (2 x vko)																																																																
	VOIMAN LAJIT				HYPERTROFIA/ KESTOVOIMA	MAKS.VOIMA + NOPEUSVOIMA	NOP.VOIMA + MAKS.VOIMA	HYPERTROFIA+ MAKS.VOIMA	MAKS.VOIMA+ NOP.VOIMA	NOP.VOIMA+ MAKS.VOIMA																																																											
	INTENSITEETTI				MATALA	KOHTAL.	KORKEA	KORKEA	KORKEA	KOHTAL	KORKEA	KORKEA	KORKEA	KORKEA	KORKEA	KORKEA	KORKEA	KORKEA																																																			
	MÄÄRÄ				SUURI	PIENI	PIENI	PIENI	PIENI	SUURI	PIENI	PIENI	PIENI	PIENI	PIENI	PIENI	PIENI																																																				
	TOISTOT				10-12	4-6	4-6	4-6	2-6	8-10	4-6	3-6	4-6	3-6	1-6																																																						
	SARJAT				3-4	2-3	2-3	2-3	1-3	3-4	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3																																																					
	SARJAPALAUTUS (min)				1	2-3	3-4	3-4	2-3	1-2	2-3	2-3	3-4	3-4	2-3																																																						
	KERTAA VKO				2	1 + 1	1	1 + 0-1	1	1 + 1	1	1 + 1	1	1 + 1	1 + 1																																																						
KIMMOISUUS	TAVOITE: KIMMOISUUS, TEHO				HYPPYHARJOITTELU (1-2 x vko)																																																																
	HARJOITTEET				HYPYT YLÖSPÄIN (PÄKIÄHYPPELY)		HYPYT YLÖSP.		HYPYT ETEENP.		LOIKKASARJAT		JUOKSULOIKK.																																																								
	MÄÄRÄ (hypyt yhteensä/jakso)				70		90		90		90		60																																																								
KOKONAISS- HARJOITTELUN MÄÄRÄN JA INTENSITEETIN VAIHTELU	SUURI																																																																				
	HARJOITTELUN MÄÄRÄ				HARJOITTELUN INTENSITEETTI				PIENI																																																												

LIIITE 1. KOERYHMÄN HARJOITUSOHJELMA

Nimi: _____

Pikajuoksuharjoittelu, viikkorytmitys

v. 2002 Jakso 1 Viikot 1-3

viikko 1	viikko 2	viikko 3
maanantai	maanantai	maanantai
NOPEUSKESTÄVYYS 1 Teho matala -> kohtalainen 75-80 % 1 Lämmittely juoksu 2 Venyttely 3 Askelkoordinaatio 4 Pystylähdöt 4x30m /80% palautus 5 min. 5 Nopeuskestävyys 4 x 200m /75% palautus 5 min. 6 Kevyt, palauttava juoksu 1 x 40m 1 2 3 4 5 6	NOPEUSKESTÄVYYS 1 Teho matala -> kohtalainen 75-80 % 1 Lämmittely juoksu 2 Venyttely 3 Askelkoordinaatio 4 Pystylähdöt 4x30m /80% palautus 5 min. 5 Nopeuskestävyys 5 x 200m /75% palautus 5 min. 6 Kevyt, palauttava juoksu 1 x 40m 1 2 3 4 5 6	NOPEUSKESTÄVYYS 1 Teho matala -> kohtalainen 75-80 % 1 Lämmittely juoksu 2 Venyttely 3 Askelkoordinaatio 4 Pystylähdöt 4x30m /80% palautus 5 min. 5 Nopeuskestävyys 4 x 200m /75% palautus 5 min. 6 Kevyt, palauttava juoksu 1 x 40m 1 2 3 4 5 6
tiistai	tiistai	tiistai
VOIMAHARJOITUS 1	VOIMAHARJOITUS 1	VOIMAHARJOITUS 1
keskiviikko	keskiviikko	keskiviikko
LEPOPÄIVÄ	LEPOPÄIVÄ	LEPOPÄIVÄ
torstai	torstai	torstai
NOPEUSKESTÄVYYS 1 Teho matala -> kohtalainen 75-80 % 1 Lämmittely juoksu 2 Venyttely 3 Askelkoordinaatio 4 Pystylähdöt 4x30m /80% palautus 5 min. 5 Nopeuskestävyys 3 x 250m /75% palautus 5 min. 6 Kevyt, palauttava juoksu 1 x 40m 1 2 3 4 5 6	NOPEUSKESTÄVYYS 1 Teho matala -> kohtalainen 75-80 % 1 Lämmittely juoksu 2 Venyttely 3 Askelkoordinaatio 4 Pystylähdöt 4x30m /80% palautus 5 min. 5 Nopeuskestävyys 4 x 250m /75% palautus 5 min. 6 Kevyt, palauttava juoksu 1 x 40m 1 2 3 4 5 6	NOPEUSKESTÄVYYS 1 Teho matala -> kohtalainen 75-80 % 1 Lämmittely juoksu 2 Venyttely 3 Askelkoordinaatio 4 Pystylähdöt 4x30m /80% palautus 5 min. 5 Nopeuskestävyys 3 x 250m /75% palautus 5 min. 6 Kevyt, palauttava juoksu 1 x 40m 1 2 3 4 5 6
perjantai	perjantai	perjantai
LEPOPÄIVÄ	LEPOPÄIVÄ	LEPOPÄIVÄ
lauantai	lauantai	lauantai
VOIMAHARJOITUS 2	VOIMAHARJOITUS 2	VOIMAHARJOITUS 2
sunnuntai	sunnuntai	sunnuntai
LEPOPÄIVÄ	LEPOPÄIVÄ	LEPOPÄIVÄ

Huomioita harjoittelusta: _____

Pikajuoksuharjoittelu, viikkorytmitys
v. 2003 Jakso 2 Viikot 4 - 7

viikko 4	viikko 5	viikko 6	viikko 7
maanantai	maanantai	maanantai	maanantai
NOPEUSHARJOITUS 1 Teho kova 90 % 1 Lämmittely 2 Venyttely 3 Askelkoordinaatio 4 Päkiähyppely 1x10 (testil.) 5 Lähdöt telineistä 120m 4 x 30 m/90% palautus 5 min. 6 Nopeus 240 m pystystä 3 x 80m/90% palautus 5 min. 1 2 3 4 5 6	NOPEUSHARJOITUS 1 Teho kova 90-95 % 1 Lämmittely 2 Venyttely 3 Askelkoordinaatio 4 Päkiähyppely 2x10 (testil.) 5 Lähdöt telineistä 120m 4 x 30 m/95% palautus 5 min. 6 Nopeus 240 m pystystä 3 x 80m/90% palautus 7 min. 1 2 3 4 5 6	NOPEUSHARJOITUS 1 Teho kova 95 % 1 Lämmittely 2 Venyttely 3 Askelkoordinaatio 4 Päkiähyppely 2x10 (testil.) 5 Lähdöt telineistä 120m 4 x 30 m/95% palautus 5 min. 6 Nopeus 180 m pystystä 1 x (40,60,80 m) 95% palautus 7 min. 1 2 3 4 5 6	NOPEUSHARJOITUS 1 Teho kova 98 % 1 Lämmittely 2 Venyttely 3 Askelkoordinaatio 4 Päkiähyppely 2x10 (testil.) 5 Lähdöt telineistä 90m 3 x 30 m/98% palautus 5 min. 6 Nopeus 90 m 3 x lentävä 30m/98% palautus 7 min. 1 2 3 4 5 6
tiistai	tiistai	tiistai	tiistai
VOIMAHARJOITUS	VOIMAHARJOITUS	VOIMAHARJOITUS	VOIMAHARJOITUS
keskiviikko	keskiviikko	keskiviikko	keskiviikko
LEPOPÄIVÄ	LEPOPÄIVÄ	LEPOPÄIVÄ	LEPOPÄIVÄ
torstai	torstai	torstai	torstai
NOPEUSHARJOITUS 2 TAI KILPAILU Teho kova 90 % 1 Lämmittely 2 Venyttely 3 Askelkoordinaatio 4 Lähdöt telineistä 240m 2 x 3 x 40 m/90% palautus 5/7 min. 5 Nopeus 150 m pystystä 3 x 50m/90% palautus 5 min. 1 2 3 4 5	NOPEUSHARJOITUS 2 TAI KILPAILU Teho kova 90-95 % 1 Lämmittely 2 Venyttely 3 Askelkoordinaatio 4 Lähdöt telineistä 120m 4 x 30 m/95% palautus 5 min. 5 Nopeus 180 m pystystä 3 x 60m/90% palautus 7 min. 1 2 3 4 5	NOPEUSHARJOITUS 2 TAI KILPAILU Teho kova 95 % 1 Lämmittely 2 Venyttely 3 Askelkoordinaatio 4 Lähdöt telineistä 160m 4 x 40 m/95% palautus 5 min. 5 Nopeus 180 m pystystä 3 x 60m/95% palautus 7 min. 1 2 3 4 5	NOPEUSHARJOITUS 2 TAI KILPAILU Teho kova 98 % 1 Lämmittely 2 Venyttely 3 Askelkoordinaatio 4 Lähdöt telineistä 90m 3 x 30 m/98% palautus 7 min. 5 Nopeus 150 m pystystä 3 x 50m/98% palautus 7 min. 1 2 3 4 5
perjantai	perjantai	perjantai	perjantai
LEPOPÄIVÄ	LEPOPÄIVÄ	LEPOPÄIVÄ	LEPOPÄIVÄ
lauantai	lauantai	lauantai	lauantai
VOIMAHARJOITUS	VOIMAHARJOITUS	VOIMAHARJOITUS	VOIMAHARJOITUS
sunnuntai	sunnuntai	sunnuntai	sunnuntai
LEPOPÄIVÄ	LEPOPÄIVÄ	LEPOPÄIVÄ	LEPOPÄIVÄ

Pikajuoksuharjoittelu, viikkorytmit

v. 2003 Jakso 3 Viikot 8 - 10

viikko 8	viikko 9	viikko 10
maanantai	maanantai	maanantai
NOPEUSHARJOITUS 1 Teho kova 98% 1 Lämmittely 2 Venyttely 3 Askelkoordinaatio 4 Lähdöt telineistä 60m 2 x 30 m /98% palautus 5 min. 5 Nopeus pystystä 120m 2 x 60/98% palautus 7 min. 1 2 3 4 5	NOPEUSHARJOITUS 1 Teho kova 95-98% 1 Lämmittely 2 Venyttely 3 Askelkoordinaatio 4 Lähdöt telineistä 120m 4 x 30 m /98% palautus 5 min. 5 Nopeus pystystä 120m 2 x 60/95% palautus 7 min. 1 2 3 4 5	NOPEUSHARJOITUS 1 Teho kova 98% 1 Lämmittely 2 Venyttely 3 Askelkoordinaatio 4 Lähdöt telineistä 60m 2 x 30 m /98% palautus 5 min. 5 Nopeus pystystä 120m 2 x 60/98% palautus 7 min. 1 2 3 4 5
tiistai	tiistai	tiistai
VOIMAHARJOITUS 1	VOIMAHARJOITUS 1	VOIMAHARJOITUS 1
keskiviikko	keskiviikko	keskiviikko
LEPOPÄIVÄ	LEPOPÄIVÄ	LEPOPÄIVÄ
torstai	torstai	torstai
VERRYTTELY	NOPEUSHARJOITUS 1 Teho kova 98% 1 Lämmittely 2 Venyttely 3 Askelkoordinaatio 4 Lähdöt telineistä 120m 4 x 30 m /98% palautus 5 min. 5 Nopeus pystystä 120m 3 x 40/98% palautus 5 min. 1 2 3 4 5	
perjantai	perjantai	perjantai
VERRYTTELY/KOORDINAATIO	LEPOPÄIVÄ	LEPOPÄIVÄ
lauantai	lauantai	lauantai
SM-KISAT	VOIMAHARJOITUS 2	
sunnuntai	sunnuntai	sunnuntai
LEPOPÄIVÄ SM-KISAT	LEPOPÄIVÄ	LEPOPÄIVÄ

Huomioita harjoittelusta:

Pikajuoksuharjoittelu, viikkorytmitys

v. 2003 Jakso 4 Viikot 11 - 13

viikko 11	viikko 12	viikko 13
maanantai	maanantai	maanantai
NOPEUSKESTÄVYYS 1 Teho matala ->kova 75-90% 1 Lämmittely 2 Venyttely 3 Askelkoordinaatio 4 Vauhditon 3-loikka 4x 5 Lähdöt telineistä (yht. 90m) 3 x 30m /90% palautus 5 min. 6 Nopeuskestävyys (yht. 600m) 4 x 150m/80% palautus 5 min.	NOPEUSKESTÄVYYS 1 Teho kohtalainen ->kova 80-90% 1 Lämmittely 2 Venyttely 3 Askelkoordinaatio 4 Vauhditon 3-loikka 4x 5 Lähdöt telineistä (yht. 90m) 3 x 30m /90% palautus 5 min. 6 Nopeuskestävyys (yht. 750m) 5 x 150m/80% palautus 5 min.	NOPEUSKESTÄVYYS 1 Teho kohtalainen ->kova 85-90% 1 Lämmittely 2 Venyttely 3 Askelkoordinaatio 4 Vauhditon 3-loikka 3x 5 Lähdöt telineistä (yht. 90m) 3 x 30m /90% palautus 5 min. 6 Nopeuskestävyys (yht. 400m) 4 x 100m/80% palautus 5 min.
1 lämm.	1 lämm.	1 lämm.
2 venytt.	2 venytt.	2 venytt.
3 koord.	3 koord.	3 koord.
4 3-loikka	4 3-loikka	4 3-loikka
5 lähdöt	5 lähdöt	5 lähdöt
6 nopeus	6 nopeus	6 nopeus
tiistai	tiistai	tiistai
VOIMAHARJOITUS 1	VOIMAHARJOITUS 1	VOIMAHARJOITUS 1
keskiviikko	keskiviikko	keskiviikko
LEPOPÄIVÄ (Lämmittely+venyttely)	LEPOPÄIVÄ (Lämmittely+venyttely)	LEPOPÄIVÄ (Lämmittely+venyttely)
torstai	torstai	torstai
NOPEUSHARJOITUS 2 Teho kova 90% 1 Lämmittely 2 Venyttely 3 Askelkoordinaatio 4 Pääkiähyppely 2 x 10 5 Lähdöt telineistä (yht. 120m) 4 x 30m /90% palautus 5 min. 6 Nopeus (yht. 300m) 5 x 60m/90% palautus 5 min.	NOPEUSHARJOITUS 2 Teho kova 90% 1 Lämmittely 2 Venyttely 3 Askelkoordinaatio 4 Pääkiähyppely 2 x 10 5 Lähdöt telineistä (yht. 150m) 5 x 30m /90% palautus 5 min. 6 Nopeus (yht. 360m) 6 x 60m/90% palautus 5 min.	NOPEUSHARJOITUS 2 Teho kova 90% 1 Lämmittely 2 Venyttely 3 Askelkoordinaatio 4 Pääkiähyppely 2 x 10 5 Lähdöt telineistä (yht. 90m) 3 x 30m /90% palautus 5 min. 6 Nopeus (yht. 240m) 4 x 60m/90% palautus 5 min.
1 lämm.	1 lämm.	1 lämm.
2 venytt.	2 venytt.	2 venytt.
3 koord.	3 koord.	3 koord.
4 pääkiäh.	4 pääkiäh.	4 pääkiäh.
5 lähdöt	5 lähdöt	5 lähdöt
6. nopeus	6. nopeus	6. nopeus
perjantai	perjantai	perjantai
LEPOPÄIVÄ	LEPOPÄIVÄ	LEPOPÄIVÄ
lauantai	lauantai	lauantai
VOIMAHARJOITUS 2	VOIMAHARJOITUS 2	VOIMAHARJOITUS 2
sunnuntai	sunnuntai	sunnuntai
LEPOPÄIVÄ (Lämmittely+venyttely)	LEPOPÄIVÄ (Lämmittely+venyttely)	LEPOPÄIVÄ (Lämmittely+venyttely)

Huomioita harjoittelusta:

Pikajuoksuharjoittelu, viikkorytmitys

v. 2003 Jakso 5 Viikot 14 - 16

viikko 14	viikko 15	viikko 16
maanantai	maanantai	maanantai
NOPEUSHARJOITUS 1 Teho kohtalainen 85% 1 Lämmittely 2 Venyttely 3 Askelkoordinaatio 4 Vauhditon 5-loikka 3x 5 Nopeuslämmittely (yht. 60m) Pystylähtö 1 x 60m kevyt 6 Nopeus (yht. 320m) Pystylähtö 2x60m, 2x100m/85% Palautus 5 min. 1 lämm. 2 venytt. 3 koord. 4 5-loikka 5 lämm. 6 nopeus	NOPEUSHARJOITUS 1 Teho kova 90% 1 Lämmittely 2 Venyttely 3 Askelkoordinaatio 4 Vauhditon 5-loikka 3x 5 Nopeuslämmittely (yht. 60m) Pystylähtö 1 x 60m kevyt 6 Nopeus (yht. 400m) Pystylähtö 4x40m, 4x60m/90% Palautus 5 min. 1 lämm. 2 venytt. 3 koord. 4 5-loikka 5 lämm. 6 nopeus	NOPEUSHARJOITUS 1 Teho kova 90% 1 Lämmittely 2 Venyttely 3 Askelkoordinaatio 4 Vauhditon 5-loikka 3x 5 Nopeuslämmittely (yht. 60m) Pystylähtö 1 x 60m kevyt 6 Nopeus (yht. 220m) Pystylähtö 1x60m, 2x80m/95% Palautus 5 min. 1 lämm. 2 venytt. 3 koord. 4 5-loikka 5 lämm. 6 nopeus
tiistai	tiistai	tiistai
VOIMAHARJOITUS 1	VOIMAHARJOITUS 1	VOIMAHARJOITUS 1
keskiviikko	keskiviikko	keskiviikko
LEPOPÄIVÄ (Lämmittely+venyttely)	LEPOPÄIVÄ (Lämmittely+venyttely)	LEPOPÄIVÄ (Lämmittely+venyttely)
torstai	torstai	torstai
NOPEUSHARJOITUS 2 Teho kohtalainen 85% 1 Lämmittely 2 Venyttely 3 Askelkoordinaatio 4 Pääkiähyppely 1 x 10 5 Lähdöt telineistä: (yht. 120m) 3 x 10m lämmittely 3 x 30m kiihdytys/85% 6 Nopeus (yht. 270m) Pystylähtö 3 x 50m, 2 x 60m/85% palautus 5min. 1 lämm. 2 venytt. 3 koord. 4 pääkiäh. 5 lähdöt 6 nopeus	NOPEUSHARJOITUS 2 Teho kova 90% 1 Lämmittely 2 Venyttely 3 Askelkoordinaatio 4 Vauhditon 5-loikka 5x 5 Lähdöt telineistä: (yht. 120m) 3 x 10m lämmittely 3 x 30m kiihdytys/90% 6 Nopeus (yht. 330m) Pystylähtö 3 x 50m, 2 x 60m/90% palautus 5min. 1 lämm. 2 venytt. 3 koord. 4 pääkiäh. 5 lähdöt 6 nopeus	NOPEUSHARJOITUS 2 Teho kova 90% 1 Lämmittely 2 Venyttely 3 Askelkoordinaatio 4 Pääkiähyppely 1 x 10 5 Lähdöt telineistä: (yht. 120m) 3 x 10m lämmittely 3 x 30m kiihdytys/95% 6 Nopeus (yht. 220m) Pystylähtö 2 x 50m, 2 x 60m/95% palautus 5min. 1 lämm. 2 venytt. 3 koord. 4 pääkiäh. 5 lähdöt 6 nopeus
perjantai	perjantai	perjantai
LEPOPÄIVÄ	LEPOPÄIVÄ	LEPOPÄIVÄ
lauantai	lauantai	lauantai
VOIMAHARJOITUS 2	VOIMAHARJOITUS 2	VOIMAHARJOITUS 2
sunnuntai	sunnuntai	sunnuntai
LEPOPÄIVÄ (Lämmittely+venyttely)	LEPOPÄIVÄ (Lämmittely+venyttely)	LEPOPÄIVÄ (Lämmittely+venyttely)

Huomioita harjoittelusta:

Pikajuoksuharjoittelu, viikkorytmit

v. 2003 Jakso 6 Viikot 17 - 19

viikko 17	viikko 18	viikko 19
maanantai	maanantai	maanantai
NOPEUSHARJOITUS 1 Teho kova 98% 1 Lämmittely 2 Venyttely 3 Askelkoordinaatio 4 Juoksuloikka: 2 x 30m pal. 5min. 5 Nopeus: (yht. 280m) pystylähtö 2 x 60, 2 x 80/98%/ palautus 5 min.	NOPEUSHARJOITUS 1 Teho kova 98% 1 Lämmittely 2 Venyttely 3 Askelkoordinaatio 4 Juoksuloikka: 2 x 30m pal. 5min. 5 Nopeus: (yht. 320m) pystylähtö 2 x 60, 2 x 100/98%/ pal. 5 min.	NOPEUSHARJOITUS 1 Teho kova 98% 1 Lämmittely 2 Venyttely 3 Askelkoordinaatio 4 Juoksuloikka: 2 x 30m pal. 5min. 5 Nopeus: (yht. 120m) pystylähtö 2 x 30m, 1 x 60m /98%/ pal. 5min.
1 lämm.	1 lämm.	1 lämm.
2 venytt.	2 venytt.	2 venytt.
3 koord.	3 koord.	3 koord.
4 juoksul.	4 juoksul.	4 juoksul.
5 nopeus	5 nopeus	5 nopeus
tiistai	tiistai	tiistai
VOIMAHARJOITUS 1	VOIMAHARJOITUS 1	VOIMAHARJOITUS 1
keskiviikko	keskiviikko	keskiviikko
LEPOPÄIVÄ (Lämmittely+venyttely)	LEPOPÄIVÄ (Lämmittely+venyttely)	LEPOPÄIVÄ (Lämmittely+venyttely)
torstai	torstai	torstai
NOPEUSHARJOITUS 2 Teho kova 95-98% 1 Lämmittely 2 Venyttely 3 Askelkoordinaatio 4 Pääkiähyppely: 2 x 10 5 Lähdöt telineistä: (yht. 120m) 3 x 10m lämmittely/ pal. 3 min. 3 x 30m kiihdytys/95%/ pal. 3 min. 6 Nopeus: (yht. 270m) pystylähtö 2 x 50m, 2 x 60m/98% palautus 5min. 7 Nopeus: (yht. 200m) 2x100m/95%/pal.8min	NOPEUSHARJOITUS 2 Teho kova 98% 1 Lämmittely 2 Venyttely 3 Askelkoordinaatio 4 Juoksuloikka: 2 x 30m pal 5min. 5 Lähdöt telineistä: (yht. 120m) 3 x 10m lämmittely/ pal. 3 min. 3 x 30m kiihdytys/98%/ pal. 3 min. 6 Nopeus: (yht. 120m) pystylähtö 2 x 60m /98%/ pal. 5min. 7 Nopeus/nopeuskest.: (yht.250m) pystyl. 1x100m,1x150m/95%/pal.8	NOPEUSHARJOITUS 2 Teho kova 98% 1 Lämmittely 2 Venyttely 3 Askelkoordinaatio 4 Nopeus: (yht. 90m) pystylähtö 1x30m, 1x60m /98%/ palautus 5min. 5 Nopeuskestävyyt: pystylähtö 1x150m/95%
1 lämm.	1 lämm.	1 lämm.
2 venytt.	2 venytt.	2 venytt.
3 koord.	3 koord.	3 koord.
4 pääkiäh.	4 juoksul.	4 pääkiäh.
5 lähdöt	5 lähdöt	5 nopeus
6 nopeus	6 nopeus	
7 nopeus	7 nopeus/nop.kest.	
perjantai	perjantai	perjantai
LEPOPÄIVÄ	LEPOPÄIVÄ	LEPOPÄIVÄ
lauantai	lauantai	lauantai
VOIMAHARJOITUS 2	VOIMAHARJOITUS 2	LEPOPÄIVÄ (Lämmittely+venyttely)
sunnuntai	sunnuntai	sunnuntai
LEPOPÄIVÄ (Lämmittely+venyttely)	LEPOPÄIVÄ (Lämmittely+venyttely)	LEPOPÄIVÄ

Huomioita harjoittelusta:

Pikajuoksuharjoittelu, viikkorytmitys

v. 2003 Jakso 7 Viikot 20 - 21

viikko 20 Testiviikko	viikko 21 Testiviikko	
maanantai	maanantai	
NOPEUSHARJOITUS 1 Teho kova 98% 1. Lämmittely 2. Venyttely 3. Askelkoordinaatio 4. Juoksuloikka: 3 x 30m pal 5min. 5. Nopeus: (yht. 180m) pystylähtö 2 x 30m, 2 x 60m/98%/ palautus 5 min. 1. lämm. 2. venytt. 3. koord. 4. juoksul. 5. nopeus	NOPEUSHARJOITUS 1 Teho kova 98% 1. Lämmittely 2. Venyttely 3. Askelkoordinaatio 4. Päkiähyppely: 2 x 10 5. Nopeus: (yht. 90m) pystylähtö 1 x 30m, 1 x 60m/98%/ palautus 5 min. 1. lämm. 2. venytt. 3. koord. 4. päkiähyppyt 5. nopeus	
tiistai	tiistai	
VOIMAHARJOITUS 1	LEPOPÄIVÄ	
keskiviikko	keskiviikko	
LEPOPÄIVÄ (Lämmittely + venyttely)	LEPOPÄIVÄ (Lämmittely + venyttely)	
torstai	torstai	
NOPEUSHARJOITUS 2 Teho kova 98% 1. Lämmittely 2. Venyttely 3. Askelkoordinaatio 4. Päkiähyppely: 2 x 10 5. Nopeus: (yht. 90m) pystylähtö 2 x 30, 1 x 60m/98% palautus 5 min. 6. Nopeuskestävyys: 1x150m 1. lämm. 2. venytt. 3. koord. 4. päkiäh. 5. nopeus 6. nop.kestävyys		
perjantai	perjantai	
LEPOPÄIVÄ		
lauantai	lauantai	
VOIMAHARJOITUS 2		
sunnuntai	sunnuntai	
LEPOPÄIVÄ (Lämmittely + venyttely)		

Huomioita harjoittelusta:

Nimi: _____

VOIMAHARJOITTELU, JAKSO 1

HYPERTROFIA, VIIKOT 1-3							HYPERTROFIA, VIIKOT 1-3						
TIISTAI (1. VOIMA)							LAUANTAI (2. VOIMA)						
TOISTOT 10-12, 50-65% 1:n TOISTON MAKSIMISTA							TOISTOT 10-12, 50-65% 1:n TOISTON MAKSIMISTA						
PERUSHARJOITTEET	VIIKKO 1	KG	VIIKKO 2	KG	VIIKKO 3	KG	PERUSHARJOITTEET	VIIKKO 1	KG	VIIKKO 2	KG	VIIKKO 3	KG
TYÖNTÖVETO POLVESTA PALAUTUS 1 min.	30 % 12 *		35 % 12 *		25 % 12 *		TYÖNTÖVETO POLVESTA PALAUTUS 1 min.	35 % 10 *		40 % 10 *		30 % 10 *	
	40 % 12 *		45 % 12 *		35 % 12 *			45 % 10 *		50 % 10 *		40 % 10 *	
	55 % 12 *		60 % 12 *		50 % 12 *			60 % 10 *		65 % 10 *		55 % 10 *	
	2.SARJA 12 *		2.SARJA 12 *		2.SARJA 12 *			2.SARJA 10 *		2.SARJA 10 *		2.SARJA 10 *	
	3. 12 *		3. 12 *					3. 10 *		3. 10 *			
			4. 12 *							4. 10 *			
JALKAPRÄSSI PALAUTUS 1 min: SELKÄ SUORASSA LAAJA LIIKE	45 % 12 *		50 % 12 *		40 % 12 *		JALKAPRÄSSI PALAUTUS 1 min: SELKÄ SUORASSA LAAJA LIIKE	50 % 10 *		55 % 10 *		45 % 10 *	
	55 % 12 *		60 % 12 *		50 % 12 *			60 % 10 *		65 % 10 *		55 % 10 *	
	2.SARJA 12 *		2.SARJA 12 *		2.SARJA 12 *			2.SARJA 10 *		2.SARJA 10 *		2.SARJA 10 *	
	3. 12 *		3. 12 *					3. 10 *		3. 10 *			
			4. 12 *							4. 10 *			
JALKOJEN APUHARJOITTEET	VIIKKO 1	KG	VIIKKO 2	KG	VIIKKO 3	KG	JALKOJEN APUHARJOITTEET	VIIKKO 1	KG	VIIKKO 2	KG	VIIKKO 3	KG
POLVEN KOUKISTUS HIDAS PALAUTUS	1.SARJA 10 *		1.SARJA 10 *		1.SARJA 10 *		POLVEN KOUKISTUS HIDAS PALAUTUS	1.SARJA 10 *		1.SARJA 10 *		1.SARJA 10 *	
	2. 10 *		2. 10 *		2. 10 *			2. 10 *		2. 10 *		2. 10 *	
	3. 10 *		3. 10 *		3. 10 *			3. 10 *		3. 10 *		3. 10 *	
LONKAN KOUKISTUS LANTIO EDESSÄ	1.SARJA 10 *		1.SARJA 10 *		1.SARJA 10 *		LONKAN KOUKISTUS LANTIO EDESSÄ	1.SARJA 10 *		1.SARJA 10 *		1.SARJA 10 *	
	2. 10 *		2. 10 *		2. 10 *			2. 10 *		2. 10 *		2. 10 *	
	3. 10 *		3. 10 *		3. 10 *			3. 10 *		3. 10 *		3. 10 *	
LONKAN OJENNUS *VOIMAKONE TAI *TALJAVETO REIDESTÄ	1.SARJA 10 *		1.SARJA 10 *		1.SARJA 10 *		LONKAN OJENNUS *VOIMAKONE TAI *TALJAVETO REIDESTÄ	1.SARJA 10 *		1.SARJA 10 *		1.SARJA 10 *	
	2. 10 *		2. 10 *		2. 10 *			2. 10 *		2. 10 *		2. 10 *	
	3. 10 *		3. 10 *		3. 10 *			3. 10 *		3. 10 *		3. 10 *	
LONKAN OJENNUS *TALJAVETO NILKASTA	1.SARJA 10 *		1.SARJA 10 *		1.SARJA 10 *		LONKAN OJENNUS *TALJAVETO NILKASTA	1.SARJA 10 *		1.SARJA 10 *		1.SARJA 10 *	
	2. 10 *		2. 10 *		2. 10 *			2. 10 *		2. 10 *		2. 10 *	
	3. 10 *		3. 10 *		3. 10 *			3. 10 *		3. 10 *		3. 10 *	
POHKEET SEISTEN SELKÄ SUORASSA	1.SARJA 10 *		1.SARJA 10 *		1.SARJA 10 *		POHKEET SEISTEN SELKÄ SUORASSA	1.SARJA 10 *		1.SARJA 10 *		1.SARJA 10 *	
	2. 10 *		2. 10 *		2. 10 *			2. 10 *		2. 10 *		2. 10 *	
	3. 10 *		3. 10 *		3. 10 *			3. 10 *		3. 10 *		3. 10 *	
MUUT APUHARJOITTEET	VIIKKO 1	KG	VIIKKO 2	KG	VIIKKO 3	KG	MUUT APUHARJOITTEET	VIIKKO 1	KG	VIIKKO 2	KG	VIIKKO 3	KG
PENKKIPUNNERRUS	1.SARJA 10 *		1.SARJA 10 *		1.SARJA 10 *		PUSHPRESSM (ylöstyöntö)	1.SARJA 10 *		1.SARJA 10 *		1.SARJA 10 *	
	2. 10 *		2. 10 *		2. 10 *			2. 10 *		2. 10 *		2. 10 *	
	3. 10 *		3. 10 *		3. 10 *			3. 10 *		3. 10 *		3. 10 *	
KP JUOKSUN KÄSIL. 0,75-1,25 kg HETI ILMAN PAINOA	2 X (1 *12)		2 X (1 *12)		2 X (1 *12)		KP JUOKSUN KÄSIL. 0,75-1,25 kg HETI ILMAN PAINOA	2 X (1 *12)		2 X (1 *12)		2 X (1 *12)	
	2 X (1 *10S.)		2 X (1 *10S.)		2 X (1 *10S.)			2 X (1 *10S.)		2 X (1 *10S.)		2 X (1 *10S.)	
SELÄN OJENNUS (PAINOLEVY)	20 *		20 *		20 *		SELÄN OJENNUS (PAINOLEVY)	20 *		20 *		20 *	
VATSALIHASLIIKE	20 *		20 *		20 *		VATSALIHASLIIKE	20 *		20 *		20 *	
	20 *		20 *		20 *			20 *		20 *		20 *	

Harjoituksen kesto _____ min. _____ min. _____ min.

Harjoituksen kesto _____ min. _____ min. _____ min.

Huomioita harjoituksista _____

Huomioita harjoituksista _____

Voimaharjoittelu, jakso 2

TIISTAI					MAKSIMIVOIMA , VIIKOT 4 - 7					LAUANTAI					NOPEUSVOIMA , VIIKOT 4 - 7						
					TOISTOT 3-6, 70-85% YHDEN TOISTON MAKSIMISTA (1RM), PAL. 2-3 MIN.										TOISTOT 4-6, 45-60% YHDEN TOISTON MAKSIMISTA (1RM), PAL. 3-4 MIN.						
PERUSHARJOITTEET		VIIKKO 4	kg	VIIKKO 5	kg	VIIKKO 6	kg	VIIKKO 7	kg	PERUSHARJOITTEET		VIIKKO 4	kg	VIIKKO 5	kg	VIIKKO 6	kg	VIIKKO 7	kg		
TYÖNTÖ VETO POLVESTA		VERR. 8 *	_____	VERR. 8 *	_____	VERR. 8 *	_____	VERR. 8 *	_____	TYÖNTÖVETO POLVESTA NOPEA VETO!		VERR. 8 *	_____	VERR. 8 *	_____	VERR. 8 *	_____	VERR. 8 *	_____		
		VERR. 5 *	_____	VERR. 5 *	_____	VERR. 5 *	_____	VERR. 6 *	_____			VERR. 5 *	_____	VERR. 5 *	_____	VERR. 6 *	_____	VERR. 6 *	_____	VERR. 6 *	_____
		70 % 6 *	_____	75 % 5 *	_____	80 % 5 *	_____	80 % 4 *	_____			60 % 5 *	_____	55 % 5 *	_____	50 % 6 *	_____	45 % 4 *	_____	45 % 4 *	_____
		70 % 6 *	_____	75 % 5 *	_____	80 % 5 *	_____	80 % 4 *	_____			60 % 5 *	_____	55 % 5 *	_____	50 % 6 *	_____	45 % 4 *	_____	45 % 4 *	_____
JALKAPRÄSSI		VERR. 8 *	_____	VERR. 5 *	_____	VERR. 4 *	_____	VERR. 3 *	_____	JALKAPRÄSSI RÄJÄHTÄVÄSTI YLÖS		VERR. 5 *	_____	VERR. 5 *	_____	VERR. 6 *	_____	VERR. 4 *	_____		
		70 % 6 *	_____	80 % 5 *	_____	85 % 4 *	_____	85 % 3 *	_____			60 % 5 *	_____	55 % 5 *	_____	50 % 6 *	_____	45 % 4 *	_____		
		70 % 6 *	_____	80 % 5 *	_____	85 % 4 *	_____	85 % 3 *	_____			60 % 5 *	_____	55 % 5 *	_____	50 % 6 *	_____	45 % 4 *	_____		
		80 % 5 *	_____	85 % 4 *	_____	85 % 3 *	_____	85 % 3 *	_____			55 % 5 *	_____	50 % 6 *	_____	50 % 6 *	_____	45 % 4 *	_____		
JALKOJEN APUHARJOITTEET		VIIKKO 4	kg	VIIKKO 5	kg	VIIKKO 6	kg	VIIKKO 7	kg	JALKOJEN APUHARJOITTEET		VIIKKO 4	kg	VIIKKO 5	kg	VIIKKO 6	kg	VIIKKO 7	kg		
POLVEN KOUKISTUS		70 % 6 *	_____	80 % 6 *	_____	80 % 6 *	_____	80 % 5 *	_____	POLVEN KOUKISTUS RÄJÄHTÄVÄSTI YLÖS		60 % 6 *	_____	60 % 6 *	_____	60 % 6 *	_____	45 % 6 *	_____		
		70 % 6 *	_____	80 % 6 *	_____	80 % 6 *	_____	80 % 5 *	_____			60 % 6 *	_____	60 % 6 *	_____	60 % 6 *	_____	45 % 6 *	_____		
		_____	_____	80 % 6 *	_____	80 % 6 *	_____	80 % 5 *	_____			60 % 6 *	_____	60 % 6 *	_____	60 % 6 *	_____	45 % 6 *	_____		
		_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	LONKAN KOUKISTUS *Taljaveto niskasta		6 *	_____	6 *	_____	6 *	_____	6 *	_____		
		_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____			6 *	_____	6 *	_____	6 *	_____	6 *	_____		
		_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____			6 *	_____	6 *	_____	6 *	_____	6 *	_____		
POHKEET ISTUEN		70 % 6 *	_____	80 % 6 *	_____	80 % 6 *	_____	80 % 5 *	_____	POHKEET SEISTEN		_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____		
		70 % 6 *	_____	80 % 6 *	_____	80 % 6 *	_____	80 % 5 *	_____			_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____		
		_____	_____	80 % 6 *	_____	80 % 6 *	_____	80 % 5 *	_____			_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____		
MUUT APUHARJOITTEET		VIIKKO 4	kg	VIIKKO 5	kg	VIIKKO 6	kg	VIIKKO 7	kg	MUUT APUHARJOITTEET		VIIKKO 4	kg	VIIKKO 5	kg	VIIKKO 6	kg	VIIKKO 7	kg		
PENKKIPUNNERRUS		VERR. 6 *	_____	VERR. 5 *	_____	VERR. 5 *	_____	VERR. 5 *	_____	KP JUOKSUN KÄSILIIKE 0,75-1,25 KG MAHD. NOPEASTI Heti ilman painoa		2 * (1 * 12)	_____	2 * (1 * 12)	_____	2 * (1 * 12)	_____	2 * (1 * 12)	_____		
		70 % 6 *	_____	75 % 5 *	_____	80 % 5 *	_____	80 % 5 *	_____			2 * (1 * 10s)	_____	2 * (1 * 10s)	_____	2 * (1 * 10s)	_____	2 * (1 * 10s)	_____		
		70 % 6 *	_____	75 % 5 *	_____	80 % 5 *	_____	80 % 5 *	_____			_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____		
		70 % 6 *	_____	75 % 5 *	_____	80 % 5 *	_____	80 % 5 *	_____			_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____		
SELÄN OJENNUS PAINOLEVY		_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	VATSALIHASLIIKE		20 *	_____	20 *	_____	20 *	_____	20 *	_____		
		_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____			20 *	_____	20 *	_____	20 *	_____	20 *	_____		
		_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____			20 *	_____	20 *	_____	20 *	_____	20 *	_____		

Harjoituksen kesto _____min. _____min. _____min.

Huomioita harjoituksista _____

Harjoituksen kesto _____min. _____min. _____min.

Huomioita harjoituksista _____

VOIMAHARJOITTELU, JAKSO 3

MAKSIMIVOIMA JA NOPEUSVOIMA VIIKOT 8-10							NOPEUSVOIMA, VIIKOT 8-10									
TIISTAI (1. VOIMA)			TOISTOT 2-4, 40-90% YHDEN TOISTON MAKSIMISTA				LAUANTAI (2. VOIMA)			TOISTOT 4-6, 50% YHDEN TOISTON MAKSIMISTA						
PALAUTUS 2-4 min							PALAUTUS 3-4 min									
PERUSHARJOITTEET		VIIKKO 8	KG	VIIKKO 9	KG	VIIKKO 10	KG	PERUSHARJOITTEET		VIIKKO 8	KG	VIIKKO 9	KG	VIIKKO 10	KG	
JALKAPRÄSSI RÄJÄHTÄVÄSTI YLÖS		VERR. 5 *	_____	VERR. 6 *	_____	VERR. 6 *	_____	JALKAPRÄSSI RÄJÄHTÄVÄSTI YLÖS		_____	_____	VERR. 4 *	_____	_____	_____	
		60 % 5 *	_____	VERR. 6 *	_____	60 % 4 *	_____			_____	_____	VERR. 4 *	_____	_____	_____	_____
		75 % 5 *	_____	60 % 6 *	_____	75 % 2 *	_____			_____	_____	50 % 4 *	_____	_____	_____	_____
		85 % 2 *	_____	80 % 4 *	_____	85 % 2 *	_____			_____	_____	50 % 4 *	_____	_____	_____	_____
KEVENNYSHYPPY HYPPY KERRALLAAN		5 X 5	_____	5 X 5	_____	5 X 5	_____	KEVENNYSHYPPY HYPPY KERRALLAAN		_____	_____	5 X 5	_____	_____	_____	
		_____	_____	_____	_____	_____	_____			_____	_____	_____	_____	_____	_____	
		_____	_____	_____	_____	_____	_____			_____	_____	_____	_____	_____	_____	
		_____	_____	_____	_____	_____	_____			_____	_____	_____	_____	_____	_____	
JALKOJEN APUHARJOITTEET		VIIKKO 8	KG	VIIKKO 9	KG	VIIKKO 10	KG	JALKOJEN APUHARJOITTEET		VIIKKO 8	KG	VIIKKO 9	KG	VIIKKO 10	KG	
POLVEN KOUKISTUS RÄJÄHTÄVÄSTI YLÖS		50 % 6 *	_____	75 % 6 *	_____	50 % 6 *	_____	POLVEN KOUKISTUS RÄJÄHTÄVÄSTI YLÖS		_____	_____	50 % 6 *	_____	_____	_____	
		50 % 6 *	_____	75 % 6 *	_____	50 % 6 *	_____			_____	_____	50 % 6 *	_____	_____	_____	
		_____	_____	75 % 6 *	_____	_____	_____			_____	_____	50 % 6 *	_____	_____	_____	
LONKAN KOUKISTUS LANTIO EDESSÄ RÄJÄHTÄVÄSTI		6 *	_____	6 *	_____	6 *	_____	LONKAN KOUKISTUS LANTIO EDESSÄ RÄJÄHTÄVÄSTI YLÖS		_____	_____	6 *	_____	_____	_____	
		6 *	_____	6 *	_____	6 *	_____			_____	_____	6 *	_____	_____	_____	
		_____	_____	6 *	_____	_____	_____			_____	_____	6 *	_____	_____	_____	
POHKEET SEISTEN SELKÄ SUORASSA		_____	_____	80 % 6 *	_____	_____	_____	POHKEET SEISTEN SELKÄ SUORASSA		_____	_____	_____	_____	_____	_____	
		_____	_____	80 % 6 *	_____	_____	_____			_____	_____	_____	_____	_____	_____	
		_____	_____	80 % 6 *	_____	_____	_____			_____	_____	_____	_____	_____	_____	
MUUT APUHARJOITTEET		VIIKKO 8	KG	VIIKKO 9	KG	VIIKKO 10	KG	MUUT APUHARJOITTEET		VIIKKO 8	KG	VIIKKO 9	KG	VIIKKO 10	KG	
PENKKIPUNNERRUS		_____	_____	80 % 4 *	_____	_____	_____	PENKKIPUNNERRUS		_____	_____	_____	_____	_____	_____	
		_____	_____	80 % 4 *	_____	_____	_____			_____	_____	_____	_____	_____	_____	
		_____	_____	80 % 4 *	_____	_____	_____			_____	_____	_____	_____	_____	_____	
SELÄN OJENNUS (PAINOLEVY)		20 *	_____	20 *	_____	20 *	_____	JUOKSUN KÄSILIIKE 0,75 - 1,25 kg KÄSIPAINOILLA HETI ILMAN PAINOA		_____	_____	2 x (1*12)	_____	_____	_____	
		20 *	_____	20 *	_____	20 *	_____			_____	_____	2 x (1 * 10s.)	_____	_____	_____	
		20 *	_____	20 *	_____	20 *	_____			_____	_____	20 *	_____	_____	_____	
VATSALIHASLIIKE		20 *	_____	20 *	_____	20 *	_____	VATSALIHASLIIKE		_____	_____	20 *	_____	_____	_____	
		20 *	_____	20 *	_____	20 *	_____			_____	_____	20 *	_____	_____	_____	

Harjoituksen kesto _____ min. _____ min. _____ min.

Harjoituksen kesto _____ min. _____ min. _____ min.

Huomioita harjoituksista _____

Huomioita harjoituksista _____

VOIMAHARJOITTELU, JAKSO 4

HYPERTROFIA, VIIKOT 11-13							MAKSIMIVOIMA, VIIKOT 11-13						
TIISTAI (1. VOIMA)			TOISTOT 8-10, 60-65% YHDEN TOISTON MAKSIMISTA				LAUANTAI (2. VOIMA)			TOISTOT 64-6, 80-85% YHDEN TOISTON MAKSIMISTA			
PALAUTUS 1-2 min							PALAUTUS 2-3 min						
PERUSHARJOITTEET	VIIKKO 11	KG	VIIKKO 12	KG	VIIKKO 13	KG	PERUSHARJOITTEET	VIIKKO 11	KG	VIIKKO 12	KG	VIIKKO 13	KG
TYÖNTÖVETO POLVESTA	VERR. 8 *	_____	VERR. 8 *	_____	VERR. 8 *	_____	TYÖNTÖVETO POLVESTA	VERR. 8 *	_____	VERR. 8 *	_____	VERR. 8 *	_____
	VERR. 8 *	_____	VERR. 8 *	_____	VERR. 8 *	_____		VERR. 5 *	_____	VERR. 6 *	_____	VERR. 6 *	_____
	60 % 8 *	_____	65 % 8 *	_____	65 % 8 *	_____		80 % 5 *	_____	85 % 4 *	_____	85 % 4 *	_____
	60 % 8 *	_____	65 % 8 *	_____	65 % 8 *	_____		80 % 5 *	_____	85 % 4 *	_____	85 % 4 *	_____
1/2 KYKKY SELKÄ SUORASSA POLVIKULMA 90 ASTETTA	VERR. 10 *	_____	VERR. 8 *	_____	VERR. 8 *	_____	1/2 KYKKY SELKÄ SUORASSA POLVIKULMA 90 ASTETTA	VERR. 5 *	_____	VERR. 4 *	_____	VERR. 4 *	_____
	60 % 10 *	_____	65 % 8 *	_____	65 % 8 *	_____		80 % 5 *	_____	85 % 4 *	_____	85 % 4 *	_____
	60 % 10 *	_____	65 % 8 *	_____	65 % 8 *	_____		80 % 5 *	_____	85 % 4 *	_____	85 % 4 *	_____
JALKAPRÄSSI RAUHALLISESTI ALAS, TERÄVÄSTI YLÖS	VERR. 10 *	_____	VERR. 8 *	_____	VERR. 8 *	_____	JALKAPRÄSSI RAUHALLISESTI ALAS, RÄJÄHTÄVÄSTI YLÖS	VERR. 6 *	_____	VERR. 4 *	_____	VERR. 4 *	_____
	60 % 10 *	_____	65 % 8 *	_____	65 % 8 *	_____		80 % 6 *	_____	85 % 4 *	_____	85 % 4 *	_____
	60 % 10 *	_____	65 % 8 *	_____	65 % 8 *	_____		80 % 6 *	_____	85 % 4 *	_____	85 % 4 *	_____
JALKOJEN APUHARJOITTEET	VIIKKO 11	KG	VIIKKO 12	KG	VIIKKO 13	KG	JALKOJEN APUHARJOITTEET	VIIKKO 11	KG	VIIKKO 12	KG	VIIKKO 13	KG
POLVEN KOUKISTUS RAUHALLISESTI ALAS, TERÄVÄSTI YLÖS	60 % 10 *	_____	65 % 8 *	_____	65 % 8 *	_____	POLVEN KOUKISTUS RAUHALLISESTI ALAS, TERÄVÄSTI YLÖS	80 % 6 *	_____	85 % 4 *	_____	85 % 4 *	_____
	60 % 10 *	_____	65 % 8 *	_____	65 % 8 *	_____		80 % 6 *	_____	85 % 4 *	_____	85 % 4 *	_____
	60 % 10 *	_____	65 % 8 *	_____	65 % 8 *	_____		80 % 6 *	_____	85 % 4 *	_____	85 % 4 *	_____
LONKAN KOUKISTUS LANTIO EDESSÄ RÄJÄHTÄVÄSTI YLÖS	10 *	_____	8 *	_____	8 *	_____	LONKAN KOUKISTUS LANTIO EDESSÄ RÄJÄHTÄVÄSTI YLÖS	6 *	_____	6 *	_____	6 *	_____
	10 *	_____	8 *	_____	8 *	_____		6 *	_____	6 *	_____	6 *	_____
	10 *	_____	8 *	_____	8 *	_____		6 *	_____	6 *	_____	6 *	_____
POHKEET SEISTEN SELKÄ SUORASSA	60 % 10 *	_____	65 % 8 *	_____	65 % 8 *	_____	POHKEET ISTUEN	80 % 6 *	_____	85 % 4 *	_____	85 % 4 *	_____
	60 % 10 *	_____	65 % 8 *	_____	65 % 8 *	_____		80 % 6 *	_____	85 % 4 *	_____	85 % 4 *	_____
	60 % 10 *	_____	65 % 8 *	_____	65 % 8 *	_____		80 % 6 *	_____	85 % 4 *	_____	85 % 4 *	_____
MUUT APUHARJOITTEET	VIIKKO 11	KG	VIIKKO 12	KG	VIIKKO 13	KG	MUUT APUHARJOITTEET	VIIKKO 11	KG	VIIKKO 12	KG	VIIKKO 13	KG
PENKKIPUNNERRUS	VERR. 10 *	_____	VERR. 8 *	_____	VERR. 8 *	_____		VERR. 8 *	_____	VERR. 4 *	_____	VERR. 4 *	_____
	60 % 10 *	_____	65 % 8 *	_____	65 % 8 *	_____		80 % 6 *	_____	85 % 4 *	_____	85 % 4 *	_____
	60 % 10 *	_____	65 % 8 *	_____	65 % 8 *	_____		80 % 6 *	_____	85 % 4 *	_____	85 % 4 *	_____
	60 % 10 *	_____	65 % 8 *	_____	65 % 8 *	_____		80 % 6 *	_____	85 % 4 *	_____	85 % 4 *	_____
VATSALIHASLIIKE 2,5-10kg LISÄPAINOLLA	10 *	_____	10 *	_____	10 *	_____	VATSALIHASLIIKE 2,5-10 kg LISÄPAINOLLA	10 *	_____	10 *	_____	10 *	_____
	10 *	_____	10 *	_____	10 *	_____		10 *	_____	10 *	_____	10 *	_____
	10 *	_____	10 *	_____	10 *	_____		10 *	_____	10 *	_____	10 *	_____

Harjoituksen kesto _____ min. _____ min. _____ min.

Harjoituksen kesto _____ min. _____ min. _____ min.

Huomioita harjoituksista _____

Huomioita harjoituksista _____

VOIMAHARJOITTELU, JAKSO 5

MAKSIMIVOIMA, VIIKOT 14-16							NOPEUSVOIMA, VIIKOT 14-16								
TIISTAI (1. VOIMA)			TOISTOT 3-6, 80-90% YHDEN TOISTON MAKSIMISTA				LAUANTAI (2. VOIMA)			TOISTOT 6-8, 40-60% YHDEN TOISTON MAKSIMISTA					
PALAUTUS 2-3 min							PALAUTUS 3-4 min								
PERUSHARJOITTEET		VIIKKO 14	KG	VIIKKO 15	KG	VIIKKO 16	KG	PERUSHARJOITTEET		VIIKKO 14	KG	VIIKKO 15	KG	VIIKKO 16	KG
TYÖNTÖVETO POLVESTA		VERR. 8 *	_____	VERR. 8 *	_____	VERR. 8 *	_____	TYÖNTÖVETO POLVESTA		VERR. 8 *	_____	VERR. 7 *	_____	VERR. 8 *	_____
		VERR. 5 *	_____	VERR. 6 *	_____	VERR. 4 *	_____			VERR. 5 *	_____	VERR. 7 *	_____	VERR. 8 *	_____
		80 %	5 *	85 %	4 *	90 %	3 *			60 %	6 *	55 %	7 *	50 %	8 *
		80 %	5 *	85 %	4 *	90 %	3 *			60 %	6 *	55 %	7 *	50 %	8 *
		80 %	5 *	85 %	4 *	90 %	3 *			60 %	6 *	55 %	7 *	50 %	8 *
1/2 KYKKY RAUHALLISESTI ALAS, TERÄVÄSTI YLÖS		VERR. 5 *	_____	VERR. 4 *	_____	VERR. 3 *	_____	1/2 KYKKY RAUHALLISESTI ALAS, TERÄVÄSTI YLÖS		VERR. 6 *	_____	VERR. 7 *	_____	VERR. 8 *	_____
		80 %	5 *	85 %	4 *	90 %	3 *			55 %	6 *	50 %	7 *	40 %	8 *
		80 %	5 *	85 %	4 *	90 %	3 *			55 %	6 *	50 %	7 *	40 %	8 *
		80 %	5 *	85 %	4 *	90 %	3 *			55 %	6 *	50 %	7 *	40 %	8 *
JALKAPRÄSSI RAUHALLISESTI ALAS, TERÄVÄSTI YLÖS		VERR. 5 *	_____	VERR. 4 *	_____	VERR. 3 *	_____	JALKAPRÄSSI RAUHALLISESTI ALAS, RÄJÄHTÄVÄSTI YLÖS		VERR. 6 *	_____	VERR. 7 *	_____	VERR. 8 *	_____
		80 %	5 *	85 %	4 *	90 %	3 *			60 %	6 *	55 %	7 *	50 %	8 *
		80 %	5 *	85 %	4 *	90 %	3 *			60 %	6 *	55 %	7 *	50 %	8 *
		80 %	5 *	85 %	4 *	90 %	3 *			60 %	6 *	55 %	7 *	50 %	8 *
JALKOJEN APUHARJOITTEET		VIIKKO 14	KG	VIIKKO 15	KG	VIIKKO 16	KG	JALKOJEN APUHARJOITTEET		VIIKKO 14	KG	VIIKKO 15	KG	VIIKKO 16	KG
POLVEN KOUKISTUS TERÄVÄSTI YLÖS, HITAASTI ALAS		80 %	5 *	80 %	5 *	80 %	5 *	POLVEN KOUKISTUS RÄJÄHTÄVÄSTI YLÖS, HITAASTI ALAS		60 %	6 *	60 %	6 *	60 %	6 *
		80 %	5 *	80 %	5 *	80 %	5 *			60 %	6 *	60 %	6 *	60 %	6 *
		80 %	5 *	80 %	5 *	80 %	5 *			60 %	6 *	60 %	6 *	60 %	6 *
LONKAN KOUKISTUS LANTIO EDESSÄ RÄJÄHTÄVÄSTI YLÖS		5 *	_____	5 *	_____	5 *	_____	LONKAN KOUKISTUS LANTIO EDESSÄ RÄJÄHTÄVÄSTI YLÖS		6 *	_____	6 *	_____	6 *	_____
		5 *	_____	5 *	_____	5 *	_____			6 *	_____	6 *	_____	6 *	_____
		5 *	_____	5 *	_____	5 *	_____			6 *	_____	6 *	_____	6 *	_____
POHKEET SEISTEN SELKÄ SUORASSA		80 %	5 *	80 %	5 *	80 %	5 *	POHKEET ISTUEN		60 %	6 *	60 %	6 *	60 %	6 *
		80 %	5 *	80 %	5 *	80 %	5 *			60 %	6 *	60 %	6 *	60 %	6 *
		80 %	5 *	80 %	5 *	80 %	5 *			60 %	6 *	60 %	6 *	60 %	6 *
MUUT APUHARJOITTEET		VIIKKO 14	KG	VIIKKO 15	KG	VIIKKO 16	KG	MUUT APUHARJOITTEET		VIIKKO 14	KG	VIIKKO 15	KG	VIIKKO 16	KG
PENKKIPUNNERRUS		VERR. 5 *	_____	VERR. 5 *	_____	VERR. 5 *	_____			_____	_____	_____	_____	_____	_____
		80 %	5 *	85 %	4 *	90 %	3 *			_____	_____	_____	_____	_____	_____
		80 %	5 *	85 %	4 *	90 %	3 *			_____	_____	_____	_____	_____	_____
		80 %	5 *	85 %	4 *	90 %	3 *			_____	_____	_____	_____	_____	_____
		80 %	5 *	85 %	4 *	90 %	3 *			_____	_____	_____	_____	_____	_____
VATSALIHASLIIKE 2,5-10kg LISÄPAINOLLA		10 *	_____	10 *	_____	10 *	_____	JUOKSUN KÄSILIIKE 0,75 - 1,25 kg KÄSIPAINOILLA HETI UUDESTAAN ILMAN PAINOA		2 x (1*12)	_____	2 x (1*12)	_____	2 x (1*12)	_____
		10 *	_____	10 *	_____	10 *	_____			2 x (1 * 10s.)	_____	2 x (1 * 10s.)	_____	2 x (1 * 10s.)	_____
		10 *	_____	10 *	_____	10 *	_____			10 *	_____	10 *	_____	10 *	_____
		10 *	_____	10 *	_____	10 *	_____			10 *	_____	10 *	_____	10 *	_____
		10 *	_____	10 *	_____	10 *	_____			10 *	_____	10 *	_____	10 *	_____

Harjoituksen kesto _____ min. _____ min. _____ min.

Harjoituksen kesto _____ min. _____ min. _____ min.

Huomioita harjoituksista _____

Huomioita harjoituksista _____

VOIMAHARJOITTELU, JAKSO 6

MAKSIMIVOIMA, VIIKOT 17 - 19							NOPEUSVOIMA, VIIKOT 17 - 19						
TIISTAI (1. VOIMA)			TOISTOT 1-6, 80-95% YHDEN TOISTON MAKSIMISTA				LAUANTAI (2. VOIMA)			TOISTOT 6-8, 30-60% YHDEN TOISTON MAKSIMISTA			
PALAUTUS 2-3 min							PALAUTUS 3-4 min						
PERUSHARJOITTEET	VIIKKO 17	KG	VIIKKO 18	KG	VIIKKO 19	KG	PERUSHARJOITTEET	VIIKKO 17	KG	VIIKKO 18	KG	VIIKKO 19	KG
TYÖNTÖVETO POLVESTA	VERR. 6 *	_____	VERR. 6 *	_____	VERR. 6 *	_____	TYÖNTÖVETO POLVESTA	VERR. 6 *	_____	VERR. 5 *	_____	_____	_____
	VERR. 5 *	_____	VERR. 6 *	_____	VERR. 4 *	_____		VERR. 6 *	_____	VERR. 5 *	_____	_____	_____
	85 % 4 *	_____	90 % 3 *	_____	95 % 2 *	_____		60 % 6 *	_____	55 % 5 *	_____	_____	_____
	85 % 4 *	_____	90 % 3 *	_____	_____	_____		60 % 6 *	_____	55 % 5 *	_____	_____	_____
	85 % 4 *	_____	90 % 3 *	_____	_____	_____		_____	_____	_____	_____	_____	_____
1/2 KYKKY SELKÄ SUORASSA POLVIKULMA 90 ASTETTA	VERR. 3 *	_____	VERR. 3 *	_____	VERR. 3 *	_____	1/2 KYKKY SELKÄ SUORASSA POLVIKULMA 90 ASTETTA	VERR. 6 *	_____	VERR. 5 *	_____	_____	_____
	85 % 3 *	_____	90 % 2 *	_____	VERR. 3 *	_____		50 % 6 *	_____	40 % 5 *	_____	_____	_____
	85 % 3 *	_____	90 % 2 *	_____	95 % 1 *	_____		50 % 6 *	_____	40 % 5 *	_____	_____	_____
	85 % 3 *	_____	90 % 2 *	_____	_____	_____		_____	_____	_____	_____	_____	_____
	85 % 3 *	_____	90 % 2 *	_____	_____	_____	RAUHALLISESTI ALAS, RÄJÄHTÄVÄSTI YLÖS!	_____	_____	_____	_____	_____	_____
JALKAPRÄSSI RAUHALLISESTI ALAS, TERÄVÄSTI YLÖS	VERR. 3 *	_____	VERR. 3 *	_____	VERR. 3 *	_____	JALKAPRÄSSI RAUHALLISESTI ALAS, RÄJÄHTÄVÄSTI YLÖS!	VERR. 6 *	_____	VERR. 5 *	_____	_____	_____
	85 % 4 *	_____	90 % 3 *	_____	95 % 2 *	_____		60 % 6 *	_____	50 % 5 *	_____	_____	_____
	85 % 4 *	_____	90 % 3 *	_____	_____	_____		_____	_____	50 % 5 *	_____	_____	_____
	85 % 4 *	_____	90 % 3 *	_____	_____	_____		_____	_____	_____	_____	_____	_____
	85 % 4 *	_____	90 % 3 *	_____	_____	_____		_____	_____	_____	_____	_____	_____
JALKOJEN APUHARJOITTEET	VIIKKO 17	KG	VIIKKO 18	KG	VIIKKO 19	KG	JALKOJEN APUHARJOITTEET	VIIKKO 17	KG	VIIKKO 18	KG	VIIKKO 19	KG
POLVEN KOUKISTUS RÄJÄHTÄVÄSTI YLÖS, HITAASTI ALAS	80 % 6 *	_____	80 % 6 *	_____	80 % 6 *	_____	POLVEN KOUKISTUS RÄJÄHTÄVÄSTI YLÖS!	60 % 6 *	_____	60 % 5 *	_____	_____	_____
	80 % 6 *	_____	80 % 6 *	_____	80 % 6 *	_____		60 % 6 *	_____	60 % 5 *	_____	_____	_____
LONKAN KOUKISTUS LANTIO EDESSÄ RÄJÄHTÄVÄSTI YLÖS	6 *	_____	6 *	_____	6 *	_____	LONKAN KOUKISTUS LANTIO EDESSÄ RÄJÄHTÄVÄSTI YLÖS	6 *	_____	5 *	_____	_____	_____
	6 *	_____	6 *	_____	6 *	_____		6 *	_____	5 *	_____	_____	_____
POHKEET SEISTEN SELKÄ SUORASSA	80 % 6 *	_____	80 % 6 *	_____	80 % 6 *	_____	POHKEET ISTUEN	60 % 6 *	_____	60 % 5 *	_____	_____	_____
	80 % 6 *	_____	80 % 6 *	_____	80 % 6 *	_____		60 % 6 *	_____	60 % 5 *	_____	_____	_____
	_____	_____	_____	_____	_____	_____		_____	_____	_____	_____	_____	_____
MUUT APUHARJOITTEET	VIIKKO 17	KG	VIIKKO 18	KG	VIIKKO 19	KG	MUUT APUHARJOITTEET	VIIKKO 17	KG	VIIKKO 18	KG	VIIKKO 19	KG
PENKKIPUNNERRUS	VERR. 6 *	_____	VERR. 6 *	_____	VERR. 6 *	_____		_____	_____	_____	_____	_____	_____
	VERR. 6 *	_____	VERR. 4 *	_____	VERR. 4 *	_____		_____	_____	_____	_____	_____	_____
	80 % 5 *	_____	90 % 3 *	_____	95 % 2 *	_____		_____	_____	_____	_____	_____	_____
	80 % 5 *	_____	90 % 3 *	_____	_____	_____		_____	_____	_____	_____	_____	_____
	_____	_____	_____	_____	_____	_____		_____	_____	_____	_____	_____	_____
	_____	_____	_____	_____	_____	_____	JUOKSUN KÄSILIIKE 0,75 - 1,25 kg KÄSIPAINOILLA HETI ILMAN PAINOA	2 x (1*12)	_____	2 x (1*12)	_____	_____	_____
	_____	_____	_____	_____	_____	_____		2 x (1 * 10s.)	_____	2 x (1 * 10s.)	_____	_____	_____
VATSALIHASLIIKE 2,5-10kg LISÄPAINOLLA	10 *	_____	10 *	_____	10 *	_____	VATSALIHASLIIKE 2,5-10 kg LISÄPAINOLLA	10 *	_____	10 *	_____	_____	_____
	10 *	_____	10 *	_____	10 *	_____		10 *	_____	10 *	_____	_____	_____
	10 *	_____	10 *	_____	10 *	_____		10 *	_____	10 *	_____	_____	_____
	10 *	_____	10 *	_____	10 *	_____		10 *	_____	10 *	_____	_____	_____

Harjoituksen kesto

_____min. _____min. _____min.

Harjoituksen kesto

_____min. _____min. _____min.

Huomioita harjoituksista

Huomioita harjoituksista

VOIMAHARJOITTELU, JAKSO 7 (testiviikot)

NOPEUSVOIMA, VIIKOT 20-21						VIIKOT 20-21					
TIISTAI (1. VOIMA)		TOISTOT 4-6, 30-50% YHDEN TOISTON MAKSIMISTA PALAUTUS 3-4 MIN.				LAUANTAI					
PERUSHARJOITTEET	VIIKKO 20	KG	VIIKKO 21	KG		PERUSHARJOITTEET	VIIKKO 20	KG	VIIKKO 21	KG	
TYÖNTÖVETO POLVESTA	VERR. 6 *										
	VERR. 6 *										
	55 % 4 *										
	55 % 4 *										
1/2 KYKKY SELKÄ SUORASSA POLVIKULMA 90 ASTETTA RAUHALLISESTI ALAS, RÄJÄHTÄVÄSTI YLÖS!	VERR. 4 *										
	30 % 4 *										
	30 % 4 *										
JALKAPRÄSSI RAUHALLISESTI ALAS, RÄJÄHTÄVÄSTI YLÖS!	VERR. 4 *										
	40 % 4 *										
	40 % 4 *										
JALKOJEN APUHARJOITTEET	VIIKKO 20	KG	VIIKKO 21	KG		VIIKKO 20	KG	VIIKKO 21	KG		
POLVEN KOUKISTUS RÄJÄHTÄVÄSTI YLÖS, HITAASTI ALAS	50 % 4 *										
	50 % 4 *										
	50 % 4 *										
LONKAN KOUKISTUS LANTIO EDESSÄ RÄJÄHTÄVÄSTI YLÖS	4 *										
	4 *										
POHKEET SEISTEN SELKÄ SUORASSA	50 % 4 *										
	50 % 4 *										
	50 % 4 *										
MUUT APUHARJOITTEET	VIIKKO 20	KG	VIIKKO 21	KG		VIIKKO 20	KG	VIIKKO 21	KG		
JUOKSUN KÄSILIIKE 0,75 - 1,25kg KÄSIPAINOILLA HETI ILMAN PAINOA	2 x (1*12)										
	2 x (1 * 10s.)										
VATSALIHASLIIKE 2,5-10KG LISÄPAINOLLA	10 *										
	10 *										
	10 *										

Harjoituksen kesto _____min. _____min. _____min.

Huomioita harjoituksista

