

TARTU ÜLIKOOL
Sporditeaduste ja füsioteraapia instituut

Reili Kaljund

Suhteline energiadefitsiit spordis (RED-S) ja luutihedus
Relative energy deficiency in sport (RED-S) and bone mineral density

Bakalaureusetöö

Kehalise kasvatuse ja spordi õppekava

Juhendaja: PhD, M. Mooses

Tartu, 2018

SISUKORD

KASUTATUD LÜHENDID	3
SISSEJUHATUS	4
1. LUU KOOSTIS JA ARENG	5
1.1 Luu koostis	5
1.2 Luu areng	5
2. BMD MÕÕTMINE DEXA MEETODIL.....	7
2.1 DEXA. T-skoor ja Z-skoor	7
2.2 DEXA ohutus ja usaldusväarsus.....	8
3. LUUHÕRENEMISE RISKITEGURID	9
3.1 TRIAD ja RED-S.....	9
3.2 Spordiala	10
3.3 Sugu ja vanus.....	10
4. BMD NÄITAJAD VASTUPIDAVUSALADE NÄITEL.....	12
5. LUUHÕRENEMISE ENNETAMINE	13
6. NAASMINE SPORTI PÄRAST RED-S-I VÕI TRIAD-I SÜMPTOMITE AVALDUMIST	14
KOKKUVÕTE.....	16
KASUTATUD KIRJANDUS.....	17
SUMMARY.....	20
AUTORI LIHTLITSENTS TÖÖ AVALDAMISEKS.....	21

KASUTATUD LÜHENDID

BMD — luutihedus (ingl *bone mineral density*)

EA — energia saadavus (ingl *energy availability*)

DEXA — kahe energiatasemega röntgenabsorptsiomeetria (ingl *dual energy X-ray absorptiometry*)

LEA — madal energia saadavus (ingl *low energy availability*)

RED-S — suhteline energiadefitsiit spordis (ingl *relative energy deficiency in sport*)

TRIAD — naissportlaste triaad (ingl *female athlete triad*)

SISSEJUHATUS

Bakalaureusetöö eesmärk on anda ülevaade luutiheduse ja suhtelise energiadefitsiidi seosest spordis (RED-S). Töös käsitletakse luutiheduse (BMD) näitajaid erinevate spordialade näitel, samuti madala BMD potentsiaalseid põhjuseid, mis on seotud suhtelise energiadefitsiidi ja naissportlaste triaadi (TRIAD) teiste sümptomitega. Ühtlasi analüüsitakse võimalikke viise, kuidas kirjeldatud olukorra teket vältida ja kui juba on tekkinud, siis kuidas on võimalik spordi juurde võimalikult kiiresti naasta.

Hiljutine uuring (Muia et al., 2015) näitas, et Kenya noortest tipptasemel naisjooksjatest oli energia saadavus (EA) 17,9%-l kliiniliselt madal ja 76%-l subkliiniliselt madal. Erinevatel andmetel kannatab ligikaudu 20% eliittasemel naisjooksjatest ja 8% meesjooksjatest toitumishäirete all (Mountjoy et al., 2014; Sundgot-Borgen & Torstveit, 2010). Lisaks on leitud, et 65% ülikooli tasemel pikamaajooksjaid kannatab sekundaarse amenorröa käes, mis tähendab, et menstruatsioon jääb ära kolmel järjestikusel kuul (Dušek, 2001). Kui kirjeldatud olukorrale õigel ajal tähelepanu ei pöörata, võivad probleemid süveneda ning lõpuks viia näiteks BMD vähenemiseni.

Terve sportlane, kellel on optimaalne energiatarbimine, regulaarne menstruatsioon ja terved luud, võib ajapikku seista silmitsi vastupidise olukorraga, kus loetletud tegurid on asendunud amenorröa, vähese energiatarbimise ja osteoporoosiga (Nattiv et al., 2004; Mountjoy et al., 2014). Souza et al. (2014) on märkinud, et kui naissportlasel esineb üks või mitu kolmest triaadi komponendist, on varane sekkumine hädavajalik. Nii saab ennetada seda, et haigusseisund ei areneks toitumishäireks, amenorröaks, osteoporoosiks ega tuleks loobuda sportlaskarjäärast.

Järjest rohkem leidub vastupidavus- või esteetiliste aladega tegelevaid sportlasi, kes kellel on leitud madala luutihedus. Kuna see on muutumas aina suuremaks probleemiks mainitud alade harrastajate hulgas, tuleks uurida madala BMD tekkepõhjuseid ning parandada sportlaste teadlikkust, kuidas luude probleeme ennetada, sest võib eeldada, et peale luumurdude ja teiste vigastuste võib madal luude tihedus olla suur probleem ka pärast sportlaskarjääri lõppu.

Märksõnad: BMD, energia saadavus, DEXA

Keywords: bone mineral density, energy availability, DEXA

1. LUU KOOSTIS JA ARENG

1.1 Luu koostis

Inimese luustik toetab keha ja koosneb rohkem kui 200 luust. Luud jaotatakse nende kuju järgi neljaks: pikad ja lühikesed luud, lameluud ning segaluud. Pika luum ehk toruluu mõlemad otsad on paksenenud — neid osi nimetatakse epifüüsiks, mis moodustavad koos teise luuga liigese. Toruluu keskmist osa nimetatakse diafüüsiks (Bronner et al., 2010). Epifüüsi ja diafüüsi vahele jäävat osa nimetatakse metafüüsiks. Epifüüsi ja metafüüsi eraldab kasvavas luus õhuke epifüüsiplaat (Roosalu, 2010). Tänu luuotstes olevatele liigesekõhredele ja liigesevedelikule suudab luum vastu pidada suurele raskusele (Bronner et al., 2010). Luu koosneb peamiselt plink- ja käsnainest. Käsnaine peab hästi vastu surve- ja tõmbejõududele (Roosalu, 2010). Luu omadusi mõjutab suuresti poorsus. Plinkollusele on iseloomulik väike poorsus, käsnollusele aga suur poorsus (Bronner et al., 2010). Plinkollus paikneb luu ümber ja on väga vastupidav väändejõududele (Roosalu, 2010). Käsnollust leidub peamiselt toruluu otstes (Bronner et al., 2010). Luud ümbritseb periost, mille all paikneb plinkollus. Periost koosneb kahest kihist — välimisest ja sisemisest. Sisemises kihis leidub osteoblaste, mis võtavad osa luukoe moodustamisest ning tänu neile rakkudele kasvab luum jämedusse (Roosalu, 2010).

Liiga suure luumassi korral on liikumine ebaökoonomne, kuid liiga väikse luumassi korral on luum nõrk, millest tulenevalt suureneb luumurdude risk (Bronner et al., 2010).

1.2 Luu areng

Luum on esialgu mesenhüüm ehk algeline sidekude. Luu areng algab 8. nädalal pärast viljastumist membraani- ja kõhresisese luustumisega, millele järgneb ossifikatsioon. Luukoe arenemine toimub intramembranoosse ja enkondraalse ossifikatsiooni teel. Intramembranoosse ossifikatsiooni korral muunduvad mesenhüümi rakud (diferentseeruvad) osteoblastideks ja asendavad sidekoe membraanid luuga. Sellisel viisil moodustuvad kolju lameluud ja mõned segaluud. Enkondraalse ossifikatsiooni abil kujuneb suurem osa luid. Enkondraalse ossifikatsiooni korral asendub hüaliinne kõhrkude luulise koega. Selline areng toimub koostöös kõhre suurenemise, maatriksi kujunemise ja kõhre kaltsifitseerumisega. Epifüüsiplaatidel toimub toruluu pikikasv enkondraalse ossifikatsiooni teel. Luukoe lisandumisega suureneb toruluu läbimõõt sidekoelise luuümbrise all (Bronner et al., 2010). Toruluu läbimõõt suureneb ilmselt kogu inimese eluea. Naistel kasvab luum laiusesse ka pärast 86-aastaseks saamist (Borer, 2005). Tänu diameetri suurenemisele suudavad luud kanda suurenevat kehamassi. Toruluu paksus suureneb intramembranoosse ossifikatsiooni teel (Bronner et al., 2010).

Pärast sündi tekivad epifüüsid tavaliselt sekundaarsed luustumiskeskused. Sellel ajal asenduvad hüaliinsed kõhrkoed täielikult, välja arvatud kahes piirkonnas: liigespindadel, mis püsivad liigesekõhredena, ning epifüüsiplaat, mis säilib koos kõhrega epifüüsi ja diafüüsi vahel. Luu kasvab pikkusesse epifüüside pool paiknevas osas kõhrerakkude paljunemise teel, diafüüsi osas kõhr muutub, seejärel kaltsifitseerub ning asendub siis luuga. Luu pikikasv jätkub lapsepõlvest noorukieani kuni inimese kasvu lõpuni. Kui kõhr on tervenisti luurakkudega asendunud, luustub epifüüsi- ehk kasvuplaat täielikult (Bronner et al., 2010). Kui energiatarbimine on ebapiisav, pidurdub luu pikikasv. Kui lapsed treenivad suurte koormustega, vähendatakse EA'd kasvamiseks, mille tulemuseks on hilinevad luu pikikasv ning puberteedi algus. Puberteedi hilinevad noortel naissportlastel tuleneb östrogeeni ja kasvuhormooni aeglustunud toimest. Neil kahel hormoonil on stimuleeriv ja anaboolne toime ning täiendavalt aitavad nad kaasa pikaajalisele kasvule (Borer, 2005).

2. LUUTIHEDUSE MÕÕTMINE DEXA MEETODIL

2.1 T-skoor ja Z-skoor luutiheduse mõõtmisel

Kahe energiatasemega röntgenabsorptsiomeetriaga (DEXA) on võimalik mõõta BMD-d mitteinvasiivselt (Carey et al., 2007). DEXA uuringut kasutatakse osteoporoosi diagnoosiks, patsientide luumurru riski hindamiseks ja ravile allumise vaatlemiseks (Blake & Fogelman, 2007). Peamised piirkonnad, mida DEXA-ga mõõdetakse on lülisamm, reieluu ning ka kogu keha skaneering (Carey et al., 2007; Langsetmo et al., 2010). DEXA mõõdab BMD-d $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ ühikus ning tarkvara arvutab Z- ja T-skoore, kasutades BMD väärtuseid ning demograafilisi näitajaid. BMD hindamisel ja luuhõrenemise diagnoosimisel kasutatakse just Z- ja T-skoori, mitte tegelikku BMD näitajat ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$). Z-skoor on uuritava tulemus, mis saadakse siis, kui võrreldakse samavanuste ning ühesuguse etnilise tausta, kehamassi ja pikkusega inimeste BMD-ga. Tulemus esitatakse standardhälvena ehk kõrvalekaldeks. Standardhälve näitab, kui suur on kõrvalekalle rahvastiku keskmisest tulemusest. T-skoor on uuritava tulemus, mis saadakse siis, kui BMD-d võrreldakse noorte täiskasvanutega, kes on eeldatavasti saavutanud luu tippmassi ehk maksimaalse luumassi (Carey et al., 2007). Ivković et al. (2007) töid oma uuringus välja, et Maailma Terviseorganisatsioon (*World Health Organization*) määratleb Z-skoori tulemust -2.5 või väiksem luuhõrenemiseks ehk osteoporoosiks. See tulemus võib viidata luu ebapiisavale moodustumisele ja/või enneaegsele luukaole. See on noorte täiskasvanute keskmisest tulemusest madalam ning selle tagajärjeks on luumassi vähenemine ja suurenenud risk luumurruks. Sellekõrval võib välja tuua, et arvamusi leidub erinevaid. Mountjoy kolleegidega (2014) määratlesid oma uuringus sekundaarsete kliiniliste riskitegurite (söömis- ja/ või toitumishäired, hüponadism, eelnevad luumurrud) ja Z-skoori -2.0 koos esinemist luuhõrenemiseks (Nattiv et al., 2007).

12 kuud on soovitatav aeg DEXA kordusuuringuks täiskasvanud sportlastele, kel on oht BMD vähenemiseks või kelle BMD näitajaid üritatakse parandada. Noorukitel on soovitatavaks ajaks minimaalselt kõige varem 6 kuud (Mountjoy et al., 2014).

Peamiselt kasutatakse kahte DEXA aparati — nendeks on Lunar (*General Electric*, Madison, WI, USA) ja Hologic (Hologic Inc., Bedford, MA, USA). Lunar arvestab T-skoori hindamisel vaid sugu. Z-skoori hindamisel võtab Lunar arvesse nii soo, etnilise tausta, kehamassi kui ka vanuse. Hologic arvestab T-skoori hindamisel nii sugu kui ka etnilist tausta. Z-skoori hindamisel võtab Hologic arvesse soo, etnilise tausta ja vanuse, kuid mitte kehamassi (Carey et al., 2007).

2.2 DEXA ohutus ja usaldusväärsus

DEXA-t kasutatakse luude näitajate uurimisel ja diagnoosimisel palju kliinilises praktikas. DEXA meetodi kasutamiseks on vajalik väga hea väljaõppega spetsialistide kohalolu, kes mõõtmist läbi viib (Jürimäe, 2014), kuid DEXA-ga on kehakoostist odavam hinnata ja see pole magnetresonantstomograafia ja kompuutertomograafiaga võrreldes nii invasiivne (Chen et al., 2007). DEXA kasuks räägivad ka kiire skaneering, tulemuste korratavus (Jürimäe, 2014), uuritavaid on kiire ja lihtne uuringuks ette valmistada, vähene radiatsiooni hulk ning mõõtmistäpsus (Blake & Fogelman, 2007). Patsiendi jaoks on DEXA meetod suhteliselt mugav, sest patsient peab ainult lamama ning kogu protseduur võtab vaid 15-20 minutit. Mõõtmisel kasutatakse nii madala (40kV) kui ka suure (70-100kV) energiaga röntgenkiiri (Jürimäe, 2014). Lisaks on DEXA-t on võrreldud kuldse standardiga ehk hüdrostaatilise kaalumisega (Garg & Kharb, 2013).

DEXA täpsus puusaliigeses on üle 90%. Mõningad vead võivad siiski esineda erinevatel põhjustel, mis on seotud tehnika enda ja selle kasutamisega. Mõned tegurid võivad seega DEXA usaldusväärsuse kahtluse alla seada. Näiteks kui patsiendil esineb osteomalaatsia, osteoartriit, *Scheuermann*-i tõbi, raskekujuline skolioos või suur rasvumus. Samuti kui patsiendil on varasemalt olnud lülisamba-, puusa- või randmemurd (Kanis 2002).

3. LUUHÕRENEMISE RISKITEGURID

3.1 Naissportlaste triaad ja suhteline energiadefitsiit spordis

Márquez ja Molinero (2013) tõstsid esile naiste suhtumist spordi. Tänu sotsiaalsetele muutustele viimastel aastakümnetel on suhtumine muutunud positiivsemaks — seeläbi on naiste ja tüdrukute arv eri tasemega spordivõistlustel märkimisväärselt suurenenud. Enamikule naistele on sport positiivne kogemus, tänu millele on neil parem füüsiline vorm ja tervis, kuid hoolimata sellest on naissportlastel avaldunud neile omane meditsiiniline probleem, mida nimetatakse TRIAD-iks.

TRIAD on seisund, mis esineb sageli kehaliselt aktiivsetel tütarlastel ja naistel. Triaad koosneb peamiselt kolmest komponendist: (i) vähesest energiatarbimisest, mis võib ilmnedas koos toitumis- ja/või söömishäirega, (ii) menstruaaltsükli häiretest ning (iii) madalast BMD-st. (Souza et al., 2014). Samuti on Souza kolleegidega (2014) märkinud, et kui naissportlastel esineb üks või mitu kolmest triaadi komponendist, on varajane sekkumine hädavajalik. Nii saab ennendada, et haigusseisund ei areneks toitumishäireks, amenorröaks, osteoporoosiks ega tuleks loobuda sportlaskarjäärast.

Márquez ja Molinero (2013) tõid välja, et vähene energiatarbimine põhjustab amenorröad ja östrogeeni taseme vähenemist, mis viib lõpuks luuhõrenemiseni. Sportlastel, kellel esineb amenorröa, on madalam BMD kui neil, kellel ei ole probleeme menstruaatsiooniga. Seega võivad menstruaaltsükli häiretega seotud tegurid olla riskiteguriteks sportlaste luu tervisele — ebanormaalselt madal BMD ja oht luuhõrenemise tekkeks.

Burke et al. (2018) kirjeldas oma uuringus, et RED-S sündroomi mõiste võeti kasutusele kui meessportlastel avastati madal energia saadavus (LEA). Tõepoolest on meessportlaste hulgas märgatud LEA-d, mis tuleneb suurest kehalisest koormusest ning ebapiisavast energiatarbimisest. Madal energia tarbimine avaldab negatiivset mõju tervisele ja sooritusvõimele. Kuigi termin RED-S sündroom võeti kasutusele meessportlasi uurides, kuuluvad selle sündroomi alla nii mehed kui ka naised.

Järjest rohkem on leitud tõendeid, et meestel toimuvad sarnased füsioloogilised muutused nagu naissportlastel. Meessportlastele spetsiifilisteks muutusteks on endokriinsüsteemi funktsioonide häired, sealhulgas suguhormooni testosterooni vähenemine, mis võib nõrgendada luu näitajaid ja suurendada luu ülekoormusvigastusi. Lisaks võib madalast energiatarbimisest olla tingitud ka südame-veresoonkonna haigused, meeleoluhäired ning nõrgenenud jõunäitajad ja sooritusvõime. RED-S riskiteguriteks on tsükliline äärmusliku kehamassi ja koostise saavutamine ehk teatud ajaks kindla kehamassi saavutamine. Mõnede treeningute kõrget energiakulu on keeruline katta energiatarbimisega. Samuti mõjutavad

toitumist rahaliste vahendite puudumine ning tahtmatu energiatarbimise piiramine (Burke et al., 2018).

3.2 Spordiala

Márquez ja Molinero (2013) märkisid, et energiatarbimine on vähene siis, kui energiat kulutatakse rohkem kui tarbitakse — see võib ilmneda näiteks kestvusspordialadel. Naissportlased, kes tegelevad näiteks võimlemise, balleti või iluuisutamisega, kus rõhutakse kõhnusele ja esteetikale, sobituvad TRIAD-i riskiprofiiliga, mistõttu võib neil kujuneda halb toitumisalane käitumine, mille tagajärjeks on LEA. Tenforde kolleegidega (2013) kirjeldasid väsimusmurdu kui ületreenimisega seotud vigastust, mis tavaliselt esineb neil sportlastel, kelle spordiala nõuab korduvaid koormusi luukoele ja mehaanilisi stressoreid, mis häirivad luude remodelleerimist ning kohanemist. Väsimusmurrud moodustavad kuni 20% kõigist sportlaste vigastustest ja kergejõustiklastel esineb suurim väsimusmurdude sagedus.

Korduvalt on tõestatud, et keharaskust kandvad spordialad suurendavad nii meeste kui ka naiste BMD-d (Pollock & Hamilton, 2008). Goolsby ja Boniquit (2017) tõid oma uuringus välja, et füüsiline aktiivsus on ainuke võimalus, et suurendada luumassi ja luude tugevust. Selleks, et treening suurendaks, mitte ei vähendaks luu näitajaid ning saavutaks maksimaalset kasu luu tervisele, peaks treening olema dünaamiline, mitte staatiline ning treening peaks koosnema kindlatest ning piisavatest puhkepausidest (Borer, 2005). Ühtlasi peaks treeningukoormus olema sportlase võimetele vastava intensiivsusega. Lisaks tuleks õiget treeningut toetada küllaldase toitumisega.

3.3 Sugu ja vanus.

Soolised erinevused mõjutavad luude näitajaid (Warden et al., 2014). Kanis (2002) on toonud välja, et naissugu on üheks riskiteguriks luuhõrenemisest tingitud murdude tekkeks — see väide näib olevat seotud EA, menstruaaltsükli ja luumassiga. Nagu varem kirjeldatud, kuuluvad need kolm näitajat TRIAD-i komponentide hulka. Naissportlased kuuluvad riskigruppi, kui neil esineb üks või mitu kolmest triaadi komponendist, kuid keskne tegur paistab olevat LEA. See võib tuleneda vähesest energiatarbimisest, on see siis tahtmatu, tahtlik või psühhopaatoloogiline kui ka väga suurest treeningkoormusest, millega kulutatakse palju energiat. Muutused menstruaaltsükli ja skeleti muutused on seotud just vähese energiatarbimisega ning need muutused vähendavad luu võimet koormusele vastu panna ja/või kahjustavad luu võimet parandada pisivigastusi (Warden et al., 2014). Samuti esineb naistel luu kadu valdavalt pärast menopausi (Kanis 2002). Iwamoto ja Takeda (2003) tõid välja veel põhjuseid, miks naissportlased on vastuvõtlikumad väsimusmurdude suhtes — naised ei

pruugi raske treeninguga kohaneda nii hästi kui mehed. Samuti arvasid nad, et naised, kel on suurenenud oht väsimusmurrude tekkeks, kaasatakse rohkem uuringutesse kui mehi.

Goolsby ja Boniquit (2017) tõid välja skeletisüsteemi tervise — see on oluline nii noorte kui vanade sportlaste jaoks. Füüsiline aktiivsus on kasulik nii luukasvule kui ka oluline tegur luuhõrenemise ennetamiseks ning raviks. Tugevad luud võimaldavad olla füüsiliselt aktiivsed kogu elu jooksul. Whitfield et al. (2015) märkisid, et füüsilisel aktiivsusel on lapseas suur mõju luu lisandumisele, mis võib avaldada positiivset mõju luustiku tervisele kogu eluks. Ameerika Ühendriikide Tervishoiu- ja Teenindusministeeriumi (*US Department of Health and Human Services*) 2008. aasta füüsilise aktiivsuse juhiste jälgimine või selle lähedane täitmine võib täiskasvanutel takistada vananemisega seotud BMD vähenemist ja optimaalselt tõsta BMD-d 1-2% aastas. Seetõttu on kehaline aktiivsus luustiku tervise seisukohalt oluline muutlik tegur. Kanis kolleegidega (2005) on toonud välja, et üks olulisemaid riskitegureid luu hõrenemisel on vanus. Vanemaealistel on palju suurem luumurrude oht kui noortel. Näiteks suureneb puusaluu murrude risk 50-80 aastastel 30-kordselt, viidates sellele, et vanuse suurenemine on olulisem kui muutused BMD-s (Kanis et al., 2005).

4. LUUTIHEDUSE NÄITAJAD VASTUPIDAVUSALADE NÄITEL

Tam et al. (2017) uuringus osales 15 Keenia eliitjooksjat, kelle kümne kilomeetri rekord oli alla 29 minuti. Uuringu eesmärgiks oli kirjeldada Kenya eliitjooksjate luude tervist ning võrrelda neid kontrollgrupiga. Kontrollgrupis oli 23 Lõuna-Aafriklast ning arvatavasti oli tegemist tervete meestega. Sportlasi testiti jooksulindil viie kilomeetrise jooksuga. Samuti mõõdeti nende pikkus, kehamass ning arvutati kehamassiindeks. Uuringu käigus viidi läbi ka DEXA uuring, kus selgus, et jooksjate reieluu proksimaalse osa tihedus oli kõrgem võrreldes kontrollgrupiga. Kuuel jooksjal viieteistkümnest oli nimmepiirkonna BMD Z-skoor vähem kui -2.0.

Burrows et al. (2003) uuris võimalikke tegureid, mis põhjustavad naispikamaajooksjate hulgas madalat BMD-d. Antud uurimistöös vaadeldi 52-t Suurbritannia naisjooksjat, kelle distantsideks oli 1500 meetrit kuni maraton, vanuses 18-44 aastat. Uuringust võtsid osa nii eliitjooksjad kui ka harrastajad. Uuringus mõõdeti nimmeluu ja reieluukaela BMD-d. Selgus, et neist 12-l esines menstruaaltsükli häireid. Mõõtmisel leiti, et BMD näitaja on seotud vanuse, kehamassi, keharasva protsendi, jooksja distantsipikkusest ning magneesiumi ja tsingi tarbimisest.

Lisaks uuris Smathers et al. (2009) võistlusspordiga tegelevate maanteejalgratturite ja treenimata kontrollgrupi BMD-d. Maanteejalgratturite keskmiseks võistluskarjääri pikkuseks oli 9,4 aastat ning nad treenisid 7-22 tundi nädalas. Kokku osales 62 meest, kellest 32 olid võistlustasemel jalgratturid. Mõlema grupi BMD-d mõõdeti. Kuigi ratturite kaltsiumi tarbimine oli oluliselt kõrgem, oli nende selgroo tihedus oluliselt madalam. T-skoori järgi oli 9%-l ratturitest osteoporoos ning 25% ratturitest olid lähedal luuhõrenemisele.

Pollocki ja Hamiltoni (2008) üksikjuhtumi uuring Kenya eliitjooksjast andis ülevaate antud sportlase sääreloomurrust ja luude üldistest näitajatest. Antud jooksja viimase kolme kuu treeningute maht oli 160 kilomeetrit nädalas ning selja taga oli õnnestunud hooaeg, kui võistlustel ootamatult paremas jalas valu tundis ning enam jalale toetuda ei saanud. Sportlasel ei olnud söömishäireid, samuti ei olnud varasemalt suguvõsas esinenud osteoporoosi. Erinevate testide tulemused olid normaalväärtuste piirides, sealhulgas kaltsiumi, vitamiin D ning testosterooni tase. DEXA uuring näitas, et BMD nimmepiirkonnas oli T-skoor -2.9, mille tulemuse alusel klassifitseerub see osteoporoosi ehk luuhõrenemise alla. Jooksja kandis kergelt lahast 8 nädalat, järgmised 4 nädalat *Aircast* saabast ning sooritas liikuvust parandavaid ning proprioretseptiivseid harjutusi. 12 nädalat hiljem sai ta jälle jalale toetuda valu tundmata.

5. LUUHÕRENEMISE ENNETAMINE

Goolsby ja Boniquit (2017) nimetasid oma uuringus ennetustööd TRIAD-i ja RED-S-i parimaks raviks. Kodudes ja koolides tuleb saavutada tervislik lähenemine treeningute ja toitumise vahel, mis loodetavasti aitaks kaasa energiadefitsiidi vältimisele. Selleks, et varakult sekkuda ja minimaliseerida riske sportlase tervisele, tuleb läbi viia uuringuid, et kindlaks määrata need sportlased, kel on oht kuuluda TRIAD-i või RED-S-i riskigruppi või kes juba kuuluvad. Nii TRIAD-i kui ka RED-S-i ravi vajab ranget lähenemist ja keskendub vähese energiatarbimise korrigeerimisele ning olulisim on sportlase harimine sündroomi olemusest ja ohtudest. Mountjoy et al. (2014) tõi välja ainsa strateegia, mis on läbiviidud teadusliku uurimise raames. Strateegia kujutas endas lisaks tavapärasele energiatarbimisele kaloririkaste toidulisandite kasutamist ning puhkepäeva lisamist iganädalasesse treeningplaani. Vaatamata väiksele valimile, oli see sekkumine edukas. Küll aga ei toimi see strateegia kõigis uuringutes, kuna tegevuskava ei pruugi lahendada paljusid psühholoogilisi ning toiduga seotud tegureid. Goolsby ja Boniquit (2017) tõi välja toitumis- ja treeningute alase nõustamise ja psühholoogilise abi- need kõik on olulised ravi saamisel. Kehamassi ja normaalse menstruatsiooni taastamine on peamised TRIAD-i ravimise eesmärgid ning on olulised edasise luukadu vältimiseks.

Lisaks märkisid Goolsby ja Boniquit (2017), et BMD vähenemise ärahoidmiseks on vajalik kaltsiumi ja D-vitamiini piisav tarbimine ning tasakaalu saavutamine treeningute ja toitumise vahel. D-vitamiin mõjutab märkimisväärselt luu tervist — see on vajalik luukasvu ja -tiheduse ning luu remodelleerimise jaoks hädavajalik. Samuti mängib see kesksel rollil luustiku mineraliseerumisel ja kaltsiumi reguleerimisel. D-vitamiini puudus võib suurendada sportlase luumurru riski. Kõige enam mõjutab see sportlasi, kes treenivad ja võistlevad siseruumides ning neid, kes elavad ja treenivad ekvaatorist kõige kaugemal. D-vitamiini leidub munades, kala- ja piimatoodetes, kuid toiduga saadav kogus moodustab väikese osa D-vitamiini vajadusest. D-vitamiini peamine allikas tagatakse UVB kiirgusega.

Kaltsiumi roll luude tugevdamisel on ebaselge (Goolsby & Boniquit, 2017). Tai et al., (2015) tõi välja, et piimatoodetes sisalduva kaltsiumi koguse suurendamine tõstab BMD-d sama palju kui kaltsiumilisandite tarbimine. Mõlemal juhul on tõus väike (1-2%) ega oma suurt mõju aja möödudes BMD-le. Kontrollgrupiga läbiviidud uuringud ei viita suuremale kasule kaltsiumi suurema annuse tarbimisel. Väike mõju BMD-le ei muuda tõenäoliselt luumurdude olulist vähenemist. Seetõttu inimesed, kes on mures oma BMD pärast, ei pruugi kaltsiumi rohkema tarbimisega saavutada suuremat kasu.

6. NAASMINE SPORTI PÄRAST RED-S-I VÕI TRIAD-I SÜMPTOMITE AVALDUMIST

Mountjoy et al. (2014) tõi uuringus välja, et *Norwegian Olympic Training Center* ja *IOC Consensus group* on välja töötanud mudeli (Tabel 1), mis aitab hinnata spordiga tegelemisel tulenevaid RED-S-i ja TRIAD-i riske. Sportlased, kes kuuluvad kõrge riskiga kategooriasse, ei tohiks spordiga tegeleda kuni nad on läbinud arstliku kontrolli ning saanud loa jätkamiseks. Vastasel juhul võivad nad põhjustada tõsist ohtu enda tervisele ja lisaks võib tekkida olukord, kus sportlane ei pööra piisavalt tähelepanu enda ravile ning taastumisele. Samuti on soovitatud, et sportlased, kes kuuluvad kõrge riski gruppi, allkirjastaksid lepingu, kus on kirjas raviplaani nõuded, mis aitaks kindlustada ravi kordaminekut. Sportlased, kel esineb mõõdukas risk ehk kes peaksid olema ettevaatlikud, tohiks sportida ainult juhul, kui nende treeningud toimuvad järeelvalve all ning neile on koostatud meditsiiniline raviplan. 1-3 kuu tagant tuleks uuesti hinnata sportlase seisundit selleks, et tuvastada muutusi.

Tabel 1. RED-S-i ja TRIAD-i riskide määramise mudel spordiga tegelemisel (Mountjoy et al., 2014 järgi)

Kõrge risk	Mõõdukas risk	Madal risk
<ul style="list-style-type: none"> Anoreksia ja teised söömishäired Teised tõsised meditsiinilised seisundid, mis on seotud LEA-ga Äärmuslikud kehamassi alandamisvõtted, mille tagajärjeks on eluohtlik seisund 	<ul style="list-style-type: none"> DEXA-ga mõõdetud ebanormaalselt madal keha rasvaprotsent Märkimisväärne kehamassi kaotus (5-10%-ne kehamassi kadu ühe kuuga) Nooruki eeldatava kasvu ja arengu nõrgenemine Menstruaaltsükli häired Vähenenud luutihedus(eelnenud mõõtmisest või Z-skoori tulemus -1.0) Varasem väsimusmurd, mis tulenes hormonaalsetest häiretest või LEA-st Sportlased, kel on füüsilised/vaimsed probleemid (LEA/söömishäired) Kauakestev suhteline energiadefitsiit Söömishäiretest tulenev käitumine mõjutab negatiivselt ka treeningkaaslast Ravile mitteallumine 	<ul style="list-style-type: none"> Tervislik toitumine koos piisava EA-ga Normaalsed hormonaalsed ja ainevahetusfunktsioonid

Tabel 2 toob välja lubatud ning keelatud tegevused ning nõuded kõigile riskigruppidele, mida tuleks jälgida, et sportlasel oleks võimalik spordi juurde tagasi naasta.

Tabel 2. Sporti naasmise mudel pärast RED-S-i ja TRIAD-i avaldumist (Mountjoy et al., 2014 järgi)

Kõrge risk	Mõõdukas risk	Madal risk
<ul style="list-style-type: none"> Võistlustel mitteosalemine 	<ul style="list-style-type: none"> Meditsiinilise kontrolli läbimisel võistlemine lubatud Raviplaani jälgimisel treenimine lubatud 	<ul style="list-style-type: none"> Spordiga tegelemine lubatud
<ul style="list-style-type: none"> Treeningud lubatud järelvalve all 		
<ul style="list-style-type: none"> Kirjalik leping ravi saamise kohta 		

Kui sportlane eirab või ei suuda jälgida raviplaani, siis üldjuhul tähendab see seda, et problem võib olla psühholoogiline. Mida tõsisem on söömis- või toitumishäire, seda enam sportlane tavaliselt eirab raviplaani. Samuti võib olla vajalik tegeleda ka kaasnevate probleemidega nagu depression, ärevus ja muud psühholoogilised häired. Ravi tüüp, sagedus ning kestus sõltuvad toitumisharjumuste tõsidusest. Ideaalis võiks toitumisharjumusi ravida ambulatoorselt. Ravi kestus on tavaliselt mitu kuud (Mountjoy et al., 2014). Nende probleemidega tuleb tegeleda siis, kui luunäitajad on juba ohtlikult madalad ning sportlane eirab täielikult probleemi ega mõista selle ulatust.

KOKKUVÕTE

Käesolevas bakalaureusetöös on käsitletud suhtelise energiadefitsiidi ja BMD näitajate seost sportlaste seas. Suhteline energiadefitsiit mõjutab mitmeid faktoreid, sealhulgas ka luu tervist.

Nii RED-S kui ka TRIAD mängib suurt rolli sportlase luude tervisele. Kuna luude tervis ei ole oluline mitte ainult sportlaskarjääri ajal, vaid kogu elu jooksul, on tähtis ennetada luutiheduse hõrenemist. Mehed ja naised, kes tegelevad spordialadega, kus esineb suur keheline koormus või kus rõhutakse esteetilisusele või kindlale kehamassile, neil sportlastel on suurem oht LEA ees ning sellest tulenevalt ka suurem tõenäosus luutiheduse hõrenemise ees.

Luutiheduse mõõtmisel soovitatakse kasutada DEXA meetodit, mida peetakse kuldseks standardiks oma täpsete tulemuste pärast. DEXA tarkvara arvutab Z- ja T-skoore, kasutades BMD väärtuseid ning demograafilisi näitajaid. Antud skoorid esitatakse standardhõlbena, mis näitab, kui suur on kõrvalekalle rahvastiku keskmisest tulemusest. Tänu DEXA tulemustele saab hinnata patsiendi luumurru riski, diagnoosida luu hõrenemist või vaadelda ravile allumist.

RED-S-i ja TRIAD-i sündroomide ravimisel on olulisel kohal energiatarbimise korrigeerimine — see peab olema kooskõlas energiakulutamisega. Nii on võimalik kõrvaldada hormonaalseid häireid, näiteks TRIAD-i kuuluvate naiste menstruaaltsükli häireid. Seeläbi paranevad ka luutiheduse näitajad. Sportlase harimine sündroomi mõistmisel on ravi juures hädavajalik ja on oluline teha selgeks, kui tähtis on energiatarbimise jälgimine ning kui oluline on järgida raviplaani.

Uuringutes on välja toodud ka treeningumeetodi olulisuse luutiheduse näitajate mõjutamisel. Selleks, et treening saavutaks maksimaalset kasu luu tervisele, peaks treening olema dünaamiline, koosnema kindlatest ja piisavatest puhkepausidest ning olema sportlase võimetele vastava intensiivsusega.

Kuna füüsilise aktiivsusega on võimalik mõjutada luutihedust — nii madaldada kui ka kõrgendada seda, tuleks seda teha teadlikult. Autor loodab, et käesolev töö tõi välja olulised aspektid, mida tuleks treenimisel jälgida, et luukasv oleks korrapärane ning kuidas treening võiks luid tugevdada.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. Blake GM, Fogelman I. The role of DXA bone density scans in the diagnosis and treatment of osteoporosis. *Postgrad Med J* 2007; 83:509–517.
2. Borer, KT. Physical activity in the prevention and amelioration of osteoporosis in women. *Sports med* 2005; 35:779-830.
3. Bronner F, Farach-Carson MC, Roach HI. Bone and development. London: Springer-Verlag Ltd; 2010.
4. Burke LM, Close G, Lundy B, Mooses M, Morton J, Tenforde A. Relative Energy Deficiency in Sport (RED-S) in male athletes. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. 2018. Publication in progress.
5. Burrows M, Nevill AM, Bird S, Simpson D. Physiological factors associated with low bone mineral density in female endurance runners. *Br J Sports Med* 2003; 37:67-71.
6. Carey JJ, Delaney MF, Love TE, Richmond BJ, Cromer BA, Miller PD, Manilla-McIntosh M, Lewis SA, Thomas CL, Licata AA. DXA-generated Z-scores and T-scores may differ substantially and significantly in young adults. *J Clin Densitom* 2007; 10:351-358.
7. Chen Z, Wang ZM, Lohman T, et al. Dual-energy X-ray absorptiometry is a valid tool for assessing skeletal muscle mass in older women. *J Nutr* 2007; 137:2775-2780.
8. De Souza MJ, Nattiv A, Joy E, Misra M, Williams N, Mallinson R, Gibbs JC, Olmsted M, Goolsby M, Matheson, G. 2014 Female athlete triad coalition consensus statement on treatment and return to play of the female athlete triad: 1st international conference held in San Francisco, California, May 2012 and 2nd international conference held in Indianapolis, Indiana, May 2013. *Clin J Sport Med* 2014; 24:96-119.
9. Dušek T. Influence of high intensity training on menstrual cycle disorders in athletes. *Croat Med J*. 2001; 42:79-82.
10. Garg MK, Kharb S. Dual energy X-ray absorptiometry: Pitfalls in measurement and interpretation of bone mineral density. *Indian J Endocrinol Metab* 2013; 17:203-210.
11. Goolsby MA, Boniquit N. Bone health in athletes. *Sports Health* 2017; 9:108-117.
12. Ivković A, Franić M, Bojanić I and Pećina M. Overuse Injuries in Female Athletes. *Croat Med J*. 2007; 48:767–778.
13. Iwamoto J & Takeda T. Stress fractures in athletes: review of 196 cases. *J Orthop Sci* 2003; 8:273–278.

14. Jürimäe, J. Kaheenergialine röntgenabsorptsioomeetria. Veldre, G. Inimese keha ehitus ja kompositsioon. Tartu: Tartu Ülikooli Kirjastus; 2014, 26-28.
15. Kanis JA. Diagnosis of osteoporosis and assessment of fracture risk. *Lancet* 2002; 359:1929-1936.
16. Kanis JA, Borgstrom F, De Laet C, Johansson H, Johnell O, Jonsson B, Oden A, Zethraeus N, Pflieger B, Khaltayev N. Assessment of fracture risk. *Osteoporos Int* 2005; 16:581-589.
17. Langsetmo L, Leslie WD, Zhou W, Goltzman D, Kovacs CS, Prior JC, Josse R, Olszynski WP, Davison KS, Anastassiades T, Towheed T, Hanley DA, Kaiser S, Kreiger N. Using the same bone density reference database for men and women provides a simpler estimation of fracture risk. *J Bone Miner Res* 2010; 25:2108-2114.
18. Márquez S, Molinero O. Energy availability, menstrual dysfunction and bone health in sports; an overview of the female athlete triad. *Nutr Hosp.* 2013; 28:1010-1017.
19. Mountjoy M, Sundgot-Borgen J, Burke L, Carter S, Constantini N, Lebrun C, Meyer N, Sherman R, Steffen K, Budgett R, Ljungqvist A. The IOC consensus statement: beyond the Female Athlete Triad - Relative Energy Deficiency in Sports (RED-S). *Br J Sports Med* 2014; 48:491-497.
20. Muia EN, Wright HH, Onywera VO, Kuria EN. Adolescent elite Kenyan runners are at risk for energy deficiency, menstrual dysfunction and disordered eating. *J Sports Sci*, 2016; 34:598-606.
21. Nattiv A, Loucks AB, Manore MM, Sanborn CF, Sundgot-Borgen J, Warren MP. American College of Sports Medicine position stand. The female athlete triad. *Med Sci Sports Exerc* 2007; 39:1867-1882.
22. Pollock N, Hamilton B. Osteoporotic fracture in an elite male Kenyan athlete. *Br J Sports Med* 2008; 42:1000-1001.
23. Roosalu M. Luude ehitus ja kuju. In: Soosaar M, eds. Inimese anatoomia. Tallinn: Koolibri; 2010, 24-26.
24. Smathers AM, Bembem MG, Bembem DA. Bone density comparisons in male competitive road cyclists and untrained controls. *Med and Sci Sports and Exerc* 2009; 41:290-296.
25. Sundgot-Borgen J, Torstveit MK. Aspects of disordered eating continuum in elite high-intensity sports. *Scand J Med Sci Sports* 2010; 20:112-121.
26. Tai V, Leung W, Grey A, Reid IR, Bolland MJ. Calcium intake and bone mineral density: systematic review and meta-analysis. *BMJ* 2015; 351: h4183.

27. Tam N, Santos-Concejero J, Tucker R, Lamberts RP, Micklesfield LK. Bone health in elite Kenyan runners. *J Sports Sci* 2017; 36:456-461.
28. Tenforde AS, Sayres LC, McCurdy ML, Sainani KL, Fredericson M. Identifying sex-specific risk factors for stress fractures in adolescent runners. *Med Sci Sports Exerc* 2013; 45:1843-1851.
29. Warden SJ, Davis IS, Fredericson M. Management and Prevention of Bone Stress Injuries in Long-Distance Runners. *J Orthop Sports Phys Ther* 2014; 44:749– 765.
30. Whitfield GP, Kohrt WM, Pettee Gabriel KK, Rahbar MH, Kohl III HW. Bone mineral density across a range of physical activity volumes: NHANES 2007-2010. *Med Sci Sports Exerc* 2015; 47:326-334.

SUMMARY

The research gives a brief overview about the relationship between relative energy deficiency in sport and bone mineral density. RED-S has a large impact on a lot of factors, including bone mineral density.

RED-S and TRIAD have a huge impact on athletes bone health. Bone health is important throughout life not only while participating in sports. That is the reason why it is important to prevent osteoporosis. Athletes who have reported inadequate dietary intakes in light of the energy expenditure of their sport or whose sport is emphasized towards leanness and aesthetics, are more likely to have LEA and therefore low BMD.

The gold-standard method to assess BMD is DEXA. Because DEXA its precise results, it is the most preferred method. DEXA software calculates T- and Z-scores using BMD values and subject demographics. T- and Z-scores are expressed as standard deviation and it shows how much the BMD value is away from the mean of the reference population. Based on BMD results it is possible to diagnose osteoporosis, predict fracture risk and monitor response to treatment.

Treatment of the RED-S and TRIAD is focused on correcting the LEA. Restoration of weight and resumption of normal hormonal function are the main goals of treatment and are important in preventing further bone loss. Educating of the athlete is the key component in the treatment and it is important that the athlete will understand the consequences of LEA.

Studies have brought out that exercise should be dynamic, achieve adequate strain intensity, consist of discrete intermittent bouts and include variable loading patterns. If exercise consists of these factors the athlete will achieve maximum benefit on his/hers bone health.

Exercise causes large improvements in bone strength but can easily have the opposite effect on bone. In order to strengthen the bone it is important to exercise consciously. The author hopes that this research called reader's attention on important and essential aspects to follow for maximizing the bone health while exercising.

AUTORI LIHTLITSENTS TÖÖ AVALDAMISEKS

Mina, Reili Kaljund (sünnikuupäev: 04.04.1995),

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Suhteline energiadefitsiit spordis (RED-S) ja luutihedus“, mille juhendaja on Martin Mooses,

1.1. reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus, 07.05.2018