

TARTU ÜLIKOOL

Sporditeaduste ja füsioteraapia instituut

Mihkel Kurvits

Jõutõstmise kolmevõistlusalade biomehaanilised iseärasused ja nende seos vigastuste riskiga: süstemaatiline ülevaade

Biomechanical Characteristics in Powerlifting Events and Their Association with Injury Risk: A Systematic Review

Magistritöö

Füsioteraapia õppekava

Juhendaja:

PhD, M. Pääsuke

Tartu 2023

SISUKORD

TÖÖS KASUTATUD LÜHENDID.....	2
LÜHIÜLEVAADE.....	3
ABSTRACT	4
1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE.....	5
1.1 Jõutõstmise.....	5
1.2 Võistlusalade kirjeldus ning nende biomehaanika	6
1.2.1 Kükkimise biomehaanilised iseärasused	8
1.2.2 Lamades surumise biomehaanilised iseärasused.....	8
1.2.3 Jõutõmbe biomehaanilised iseärasused	9
1.3 Vigastused jõutõstmises	9
1.4 Vigastuste tüübid ning asukoht	10
2. TÖÖ EESMÄRK JA ÜLESANDED	11
3. TÖÖ METOODIKA.....	12
3.1 Uuringu valimi sisse- ja väljaarvamis kriteeriumid.....	14
4. TÖÖ TULEMUSED.....	15
4.1 Artiklite ülevaade	15
4.2 Tõstealade sooritustehnikate biomehaanilised erinevused.....	15
4.3 Intensiivsuse mõju kineetikale	18
4.4 Erivarustuse kasutus ning muutused biomehaanikas.....	20
4.5 Vigastustest haaratud piirkonnad jõutõstjatel.....	21
5. ARUTELU	23
6. JÄRELDUSED.....	28
KASUTATUD KIRJANDUS	29

TÖÖS KASUTATUD LÜHENDID

1RM – Ühe korduse maksimum

AMRAP – Nii palju kordusi kui võimalik (ingl. *As Many Reps As Possible*)

EMG - Elektromüograafia

MVC% - Maksimaalne tahteline lihasjõu %

RPE –Tajutud koormuse hinnang (ingl. *Rate of Perceived Exertion*)

ROM – Liigesliikuvus ulatus (ingl. *Range of Motion*)

LÜHIÜLEVAADE

Eesmärk: Käesoleva süstemaatilise ülevaate eesmärgiks oli selgitada välja jõutõstmise kolmevõistlusalade biomehaanilised iseärasused ja nende seos vigastuste kujunemisega jõutõstjatel.

Metoodika: Artiklite otsimiseks kasutati kolme andmebaasi: GoogleScholar (aastad 2013-2023), PubMed (aastad 2013-2023) ning EBSCO Medline (aastad 2013-2023). Artiklite selekteerimine süstemaatilisse ülevaatesse toimus PRISMA juhiste põhjal.

Tulemused: Süstemaatilisse ülevaatesse kaasati 28 artiklit, mis peamiselt hindasid tõstetehnikate biomehaanilisi erisusi, tõstealade kineetilisi muutusi seoses intensiivsuse suurendamisega, erineva varustuse kasutuse mõju biomehaanilistele muutustele ning peamisi vigastuste asukohti jõutõstjatel. Tõstetehnikate erinevused mõjutavad peamiselt soorituse intensiivsust jõutõstjatel ning põhjustavad jõumomentide ja liigete nurkade muutusi. Intensiivsuse suurendamisega toimub peamiselt soorituse kontsentrilise ja ekstsentrilise faasi ajalise kestuse suurenemine. Erivarustuse kasutamine põhjustab põhiliselt muutusi liigete nurkade muutustes ning suurendab 1RM tulemust. Peamised vigastustest haaratud piirkonnad jõutõstjate seas hõlmavad üla- ning alajäset, lülisammast, puusa ning pea ja kaela piirkonda. Uuritavad seostasid vigastusi peamiselt suure intensiivsuste kasutamisega nii treeningutel kui võistlustel, suure treeningmahuga ja ebakorrekse tehnika kasutamisega.

Kokkuvõte: Jõutõstmise kolmevõistlusalade biomehaanilised iseärasused on oma olemuselt kompleksed. Jõutõstjad rakendavad individuaalseid strateegiaid, mis on nende jaoks optimaalsemad. Korrekse tehnika kasutamine treeningutel ja võistlustel on olulisel kohal vigastuste ennetamiseks.

Märksõnad: Jõutõstmine, biomehaanika, kineetika, erivarustus, vigastused

ABSTRACT

Aim: The aim of this systematic review was to identify the biomechanical characteristics of the three powerlifting disciplines and their relationship to injury development in powerlifters.

Methods: Three databases, namely Google Scholar (years 2013-2023), PubMed (years 2013-2023), and EBSCO Medline (years 2013-2023), were utilized for article retrieval. The process of article selection for inclusion in the systematic review followed the PRISMA guidelines.

Results: 28 articles were included in this systematic review, which primarily assessed biomechanical differences in lifting techniques, kinetic changes in lifting disciplines with increasing intensity, the impact of varied equipment usage on biomechanical changes, and the main injury locations among powerlifters. The variations in lifting techniques mainly influence the utilization of intensity among the participants and result in changes of torque and joint angles. Increasing intensity primarily leads to an elongation of the concentric and eccentric phase duration. The use of specific equipment causes significant alterations in joint angles and enhances 1RM performances. The major injury-prone areas among powerlifters include the upper and lower extremities, spine, hips, head and neck regions. The participants primarily associated injuries with using high-intensities in training and in competition, excessive training volume and the usage of improper technique.

Conclusion: The biomechanical characteristics of powerlifting's disciplines are inherently complex. Powerlifters employ individual strategies that are optimal for their own performance. The use of proper technique during training and competition plays a crucial role in preventing injuries.

Keywords: Powerlifting, biomechanics, kinetics, equipment, injuries

1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

1.1 Jõutõstmine

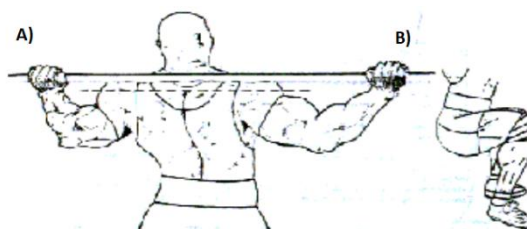
Jõutõstmine on üks tõstesporti liikidest, kus sportlase peamiseks eesmärgiks on ühe korduse sooritamise maksimaalse raskusega kolmes erinevas alas. Nendeks aladeks on kükkimine, lamades surumine ning jõutõmme. Igal võistlejal on kolm soorituskatset igas alas ning võistleja punktisumma kujuneb eelmainitud alade parimate katsete summana (Aasa et al., 2016; IPF, 2023; Siewe et al., 2011; Travis et al., 2020). Võistlustel kasutavad sportlased raskusi, mis ületavad mitmeid kordi nende enda kehamassi (Bengtsson et al., 2018). Jõutõstmise võistlusi peetakse nii maailmamängudel kui ka paraolümpial (Siewe et al., 2011), viimases osaletakse vaid lamades surumises (Willick et al., 2015). Rahvusvahelist Jõutõstmise Föderatsiooni (IPF, inglise keeles *International Powerlifting Federation*) peetakse jõutõstmise alaliite ühendavaks ning juhtivaks spordiorganisatsiooniks (IPF, 2023; Travis et al., 2020). IPF korraldab iga-aastaselt maailmameistrivõistlusi (Travis et al., 2021).

Jõutõstmise võistlustel on spetsiaalse varustuse kasutamine osaliselt lubatud. Varustuse all peetakse silmas näiteks randme- ning põlvesidemeid, tõstevöösid ning spetsiaalseid trikoosid. Klassikalises jõutõstmises on näiteks trikoode ning põlvesidemete kasutamine keelatud, mistõttu jaguneb jõutõstmine kaheks eraldi liigiks – klassikaliseks jõutõstmise kolmevõistluseks ning erivarustusega jõutõstmise kolmevõistluseks (IPF, 2023; Travis et al., 2021). Võistlustel on määratud kaalukategooriad nii meestele kui ka naistele. Naiste kaalukategooriad algavad 43 kg-st ning kõrgeim kaalukategooria on üle 84 kg. Meeste kaalukategooriad algavad 53 kg-st ning kõrgeim kaalukategooria on üle 120 kg. Samad võistlusreeglid ning tingimused kehtivad nii mees- kui naissportlastel (IPF, 2023).

Jõutõstmine on viimastel aastatel populaarsust kogunud (Siewe et al., 2011). Kükkimist, lamades surumist ning jõutõmmeid peetakse aina enam peamiseks harjutusteks, mis arendavad treenitava jõunäitajaid kõige enam. Eelnimetatud harjutused on ülemaailmselt populaarsed (Kompf & Arandjelović, 2016; Travis et al., 2021), mida kaasavad regulaarselt treeningprogrammidesse ka teiste spordialade (Androulakis-Korakakis et al., 2021; Faigenbaum et al., 2009; Gentil et al., 2016) mees- ja naissportlased (Travis et al., 2021). Jõutõmbed, kükid ning lamades surumine on mitut lihasgruppi haaravad ning liigest tööse kaasavad harjutused, mis arendavad teistel spordialadel kiirusjõu näitajaid ning üleüldist sooritusvõimet (Faigenbaum et al., 2009; Gentil et al., 2016).

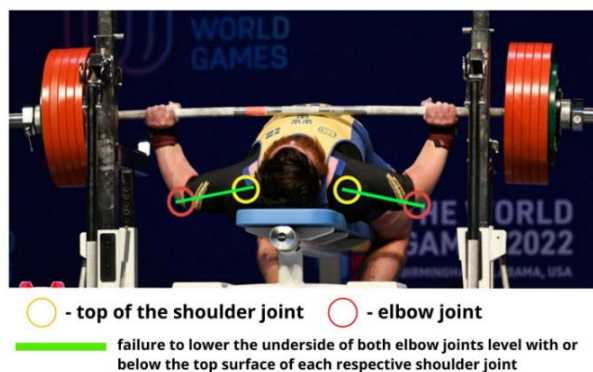
1.2 Võistlusalade kirjeldus ning nende biomehaanika

Jõutõstmise võistlusaladel on kehtestatud kindlad tingimused arvestava soorituse saamiseks. Kükkimisel peab võistleja kõigepealt puki peal oleva kangi asetama horisontaalselt oma turjale ning haarama pealhaardega mõlema käega kangist. Seejärel eemaldab võistleja kangi pukilt ning sammub tahapoole lähtepositsiooni. Kohtuniku verbaalsel käsul, peab võistleja end põlvedest kõverdama ning laskuma sügavkükki seni, kuni puusaliigese piirkonnas olev reie ülaosa on madalamal tasemel kui põlveliiges (joonis 1) (IPF, 2023; Siewe et al., 2011). Seejärel tuleb võistlejal tagasi tulla püstiasendisse, lukustama end põlveliigestest ning jääma liikumatult paigale. Pärast sooritust annab kohtunik käsu võistlejale kangi pukile tagasi panekuks (IPF, 2023).



Joonis 1. Näide kangi asetusest turjal (A) ning nõutud küki sügavusest (B) (IPF, 2023).

Lamades surumisel on võistleja selili pingil. Võistleja peab kogu soorituse vältel hoidma oma pead, õlavöödet ja tuharaid kontaktis pingiga ning jalad peavad olema tasased põrandaga (IPF, 2023), kuid ülesirutatud selja asendi kasutamine on lubatud (Vecchio et al., 2018), Seejärel haarab võistleja kangist pealhaardega, kuid nimetissõrmede kaugus ei tohi olla kaugemal kui 81cm üksteisest. Tõstekangil on olemas vastavad markeeringud. Võistlejal tuleb asetada käed markeeringute vahele või katma need oma nimetissõrmedega. Viimane meetod tagab võistlejal lubatud maksimaalse haardeulatuse. Seejärel eemaldab võistleja sirgete kätega kangi pukilt ning viib selle rindkere kohale, küünarliigestest lukustatult, ning ootab kohtuniku käsku. Pärast verbaalse käsu saamist, peab võistleja langetama kangi vastu rindkere või kõhu piirkonda ning hoidma kangi liikumatult paigal. Küünarliigesed peavad jääma õlaliigestega ühele kõrgusele või madalamale (joonis 2). Seejärel annab kohtunik vastava käskluse ning võistleja peab suruma kangi tagasi algasendisse ning küünarliigestest lukustama. Kui kang jääb võistlejal liikumatult sirgetel kätel paigale, annab kohtunik verbaalse käsu kangi pukile tagasi panekuks (IPF, 2023).



Joonis 2. Õla- ning küünarliigeste asetus lõppasendis (IPF, 2023).

Jõutõstmisel tuleb võistlejal seista platvormil oleva kangi ette, painutada end hüppeliigestest, põlvedest ja puusadest ning haarata kangist sirgete kätega. Sellel alal on lubatud kasutada erinevaid haardeid – pealthaare, althaare ning segahaaret, kus üks käsi on pealthaardes ning teine althaardes (Bengtsson et al., 2018; Escamilla et al., 2000; IPF, 2023; Kapicioglu et al., 2021) kui ka tehnikaid – traditsiooniline jõutõmme ning sumo jõutõmme (joonis 3), kus jalgade asetus on laiemalt ning käed asetsevad põlvede vahel (Escamilla et al., 2000). Seejärel peab võistleja kangi maast lahti tõstma seni, kuni ta seisab sirgelt, põveliidestest lukustatult (Siewe et al., 2011) ning viinud õlad taha. Kui võistleja on püstunud, peab ta kangi hoidma liikumatult paigal enne, kui kohtunik annab verbaalse käsu selle maha panekuks (IPF, 2023).



Joonis 3. Jõutõmbe algasend, kasutades sumo tehnikat (Siewe et al., 2011).

Üheks peamiseks vigastuse riskitegurina jõutõstmises peetakse äärmuslike liigete asendit soorituste ajal ning suurte koormuste jõudude avaldust skeleti-lihaskonnale (Aasa et al., 2016; Ferland & Comtois, 2019; Sjöberg et al., 2020). Spetsiaalse varustuse kasutamine on vigastuste ohtu vähendanud, kuid paraku pole kõik vigastused ennetatavad (Ferland & Comtois, 2019; Travis et al., 2020). Teiseks tuleb arvestada suurel mahul ning suurtel intensiivsustel treeningut (Androulakis-Korakakis et al., 2021; Demirkıran et al., 2021). Näiteks teevad jõutõstjad igapäevaselt täiskükke (Aasa et al., 2016).

1.2.1 Kükkimise biomehaanilised iseärasused

Korrekse kükkimise tehnika on oma olemuselt kompleksne liigutus, mis nõuab koordinatsiooni nii ülakehas kui ka alajäsemetes. Liigutuse keerulisus ning mitmekesisus võimaldab sportlasel kasutada erinevaid strateegiaid selle sooritamiseks (Bengtsson et al., 2018; Stone et al., 2019; Swinton et al., 2012). Näiteks kasutavad enamus jõutõstjaid laiemat tugipinda kükkimiseks (Swinton et al., 2012) ning madalamat kangi asetust turjal (Glassbrook et al., 2017). Lisaks eelnevale, on sportlastel soovitatud hoida sääri võimalikult vertikaalselt kükkimisel, et vältida põlvede ettesuunas nihkumist, mis omakorda vähendab ülemäärast koormust põlve struktuuridele. Laiema tugipinnaga ning säärite vertikaalse asetusega kükkimine rakendab puusa sirutajalihaseid rohkem tööle (Bengtsson et al., 2018; Swinton et al., 2012).

Vaatamata eelnevatele soovitudele, leidsid Fry ja kolleegid (2003), et säärite vertikaalne hoiak kükkimisel vähendasid küll jõumomenti põlveliigestes, kuid samal ajal suurendasid seda puusaliigestes. Põlvede ettesuunas nihkumise vältimiseks tuleb sportlasel viia puusad rohkem tahasuunas kükkimise ajal. Sellega kaasneb ka ülakehast ettevajumine, mis kompenseerib muutusi jalgade asetuse suhtes ning keharaskuskeskme suhtes, kuid samal ajal suurendab nihkejõude lülisamba nimmepiirkonnas. Tulemused võivad viidata sellele, et põlvede ettenihkumise vältimine kükkimise ajal võib tekitada potentsiaalselt vigastavaid jõude lülisamba nimmepiirkonda, peamiselt ülakeha asendi muutuste tõttu (Fry et al., 2003).

1.2.2 Lamades surumise biomehaanilised iseärasused

Lamades surumisel rakendub peamiselt tööle glenohumeraalliigest ümbritsev skeetilihaskond. Sportlaste käte asetuse kangil ning haardeulatus mängib olulist rolli glenohumeraalliigeste abduktsiooni ning välisrotatsiooni nurkade kujunemisel. Lamades surumisel võib glenohumeraalliigeste abduktsiooni nurk kujuneda kuni 90°. Vigastuse kujunemise risk on tõenäolisem suurema abduktsiooni ning välisrotatsiooni nurgaga glenohumeraalliigestes. Sportlased valivad endale haardeulatuse, mis nende arvates tagab suurima jõudluse. Haardeulatus, mis on ≥ 2 biakromilaaset laiust, suurendab glenohumeraalliigeste abduktsiooni nurka üle 75°, kuid $\leq 1,5$ biakromiaalne haardeulatus hoiab abduktsiooni alla 45°. Väiksem haardeulatus vähendab vigastuse tekkeriski ning ei põhjusta olulisi muudatusi lihaste rekruteerimises ega jõu genereerimisel. Üle 1,5 biakromiaalse laiuse haardeulatusega lamades surumisel suureneb jõumoment glenohumeraalliigestes. Lamades kangi alla langetamisel rindkere kohale, liigub õlavars taha suunas sirutusse, mis põhjustab traktsiooni akromioklavikulaarses liigestes. Kitsama haarde kasutus ning väiksem

glenohumeraalliigese abduktsiooninurk vähendab jõudude teket akromioklavikulaar liigeses, alumises glenohumeraal sidemes ning suures rinnalihases (Bengtsson et al., 2018; Green & Comfort 2007; Schwarzkopf et al., 2008).

1.2.3 Jõutõmbe biomehaanilised iseärasused

Jõutõmbed avaldavad suurt koormust sportlase lülisamba nimmepiirkonda. Uuringud on näidanud, et 75%-100% 1RM jõutõmbed võivad meestel avaldada kuni 18 kN survejõudu ning 3 kN nihkejõudu lülisambale, ning naistel vastavalt 8 kN ja 2 kN. Suurimad jõud lülisambale avalduvad jõutõmbe lähteasendist ning esmase raskuse pörandalt ülesse tõstmise faasis. Lülisamba vigastuslävi jääb keskmiselt 5-10 kN survejõudude ja 1-2 kN nihkejõudude vahele. Samuti sõltub jõudude avaldamine sportlase posturaalsest asendist. Jõutõmbed rakendavad tööle nimme- ning paraspinaallihased ning järjepidevad kordused põhjustavad väsimust nendes lihastes. Väsimus vähendab sportlase posturaalset kontrolli, mis omakorda suurendab vigastuse tekkeriski. Nimme- ning paraspinaallihaskonna väsimuse korral on sportlasel suurem tõenäosus lülisambast ettesuunas vajuda jõutõste ajal (Ramirez et al., 2022). Painutatud lülisambale avaldub suurem surve- ning nihkejõud. Samuti suureneb mehaaniline koormus lülisamba pehmekudedele, mis peavad tagama lülisambas stabiilsuse kogu jõutõste vältel (Bengtsson et al., 2018; Ramirez et al., 2022). Korreksete biomehaaniliste liigutusmuustrite järgimine jõutõstmisel on olulisel kohal vigastuste ennetamiseks (Demirkıran et al., 2021; O'Reilly et al., 2017; Siewe et al., 2011; Snyder et al., 2017).

1.3 Vigastused jõutõstmises

Spordivigastuse definitsioon on uuringutes varieeruv (Aasa et al., 2016), kuid enamasti võib seda kirjeldada kui kahjustusena kehalises funktsioonis, mis mõjutab sportlase treeningutes ning võistlustel osalemist. Sportlase vigastused võivad piirduda vaid valuga (Timpka et al., 2014) kui ka tõsisemate tagajärgedena, nagu näiteks pehmekoe rebenditena (Aasa et al., 2016). Võrreldes teiste spordialadega, on jõutõstmise vigastuse esinemissagedus madalam ning keskmisel sportlasel esineb 1,0-4,4 vigastust iga 1000 treeningtunni kohta (Dudagoitia et al., 2021). Samuti tuleb arvesse võtta sportlaste ealised iseärasused (Dudagoitia et al., 2021; Huebner & Ma 2022), soolised erinevused (Quatman et al., 2009), elustiili, kui ka soorituste tehnika, intensiivsuse ja spordialaga kogemuse (Saraceni et al., 2021; Siewe et al., 2011; Snyder et al., 2017).

1.4 Vigastuste tüübid ning asukoht

Naissportlastel on vigastuste esinemine käte, randmete ja kaela piirkonnas tihedam võrreldes meessportlastega, kuid meestel esineb rohkem reie ja rinna piirkonna vigastusi (Bengtsson et al., 2018; Siewe et al., 2011). Vigastuste esinemissagedus vanustegruppide vahel ei ole eristatav, kuid vanemates populatsioonides on täheldatud rohkem õla, küünarnuki ning randme vigastusi (Siewe et al., 2011). Jõutõstmises esineb nii akuutseid kui ka ülekoormusest tingitud vigastusi, mis peamiselt tulenevad kükkimisest, lamades surumisest ning jõutõmmetest (Bengtsson et al., 2018).

Kükist tingitud vigastused esinevad peamiselt alajäsemetes kui ka lülisambas. Enamasti esinevad vigastused lihas- ning kõõlusrebendite näol. Samuti on vigastustesse haaratud põlve struktuurid, nagu meniskid ja sidemed (Bengtsson et al., 2018). Lamades surumises on vigastuste esinemine kõige sagedasem õla struktuurides, kuna õlaliigesed on kangiga surumise ajal äärmuslikes asendites, mis omakorda võimendab jõudude avaldust liigest ümbritsevatele struktuuridele (Bengtsson et al., 2018; Willick et al., 2015). Kuna jõutõsted avaldavad suuri jõude lülisambale, on ka vigastuse osakaal selles piirkonnas suurem, eriti lumbosakraalses osas. Samuti on alajäsemete vigastuse osakaal suurenenud, eriti tagareie lihaste rebendite näol (Bengtsson et al., 2018). Jõutõmbed avaldavad suuri eksentrilisi jõude ka õlavarre kakspealihase distaalsele kõõlusele ning rebendite tõenäosus on suur (Kapicioglu et al., 2021).

2. TÖÖ EESMÄRK JA ÜLESANDED

Käesoleva süstemaatilise ülevaate eesmärgiks oli selgitada välja jõutõstmise kolmevõistlusalade biomehaanilised iseärasused ja nende seos vigastuste kujunemisega jõutõstjatel.

Töös püstitati järgmised ülesanded:

1. Võrrelda jõutõstmise erinevate sooritustehnikate biomehaanilisi näitajaid.
2. Hinnata soorituse kinemaatilisi näitajaid seoses intensiivsusega.
3. Selgitada välja erivarustuse kandmise mõju soorituse biomehaanilistele näitajatele.
4. Selgitada välja peamised vigastustest haaratud piirkonnad jõutõstjatel.

3. TÖÖ METOODIKA

Artiklite otsimiseks süstemaatilise ülevaate koostamise jaoks kasutati järgmisi andmebaase: EBSCO Medline (aastad 2013-2023); PubMed (aastad 2013-2023) ning Google Scholar (2013-2023). Otsing lõpetati 01.05.2023. Otsinguprotsess ning artiklite sobivuse leidmine põhines *Preferred Reporting Items for Systematic review and Meta-analysis* (PRISMA) juhistel (Shamseer et al., 2015) ning on välja toodud joonisel 4.

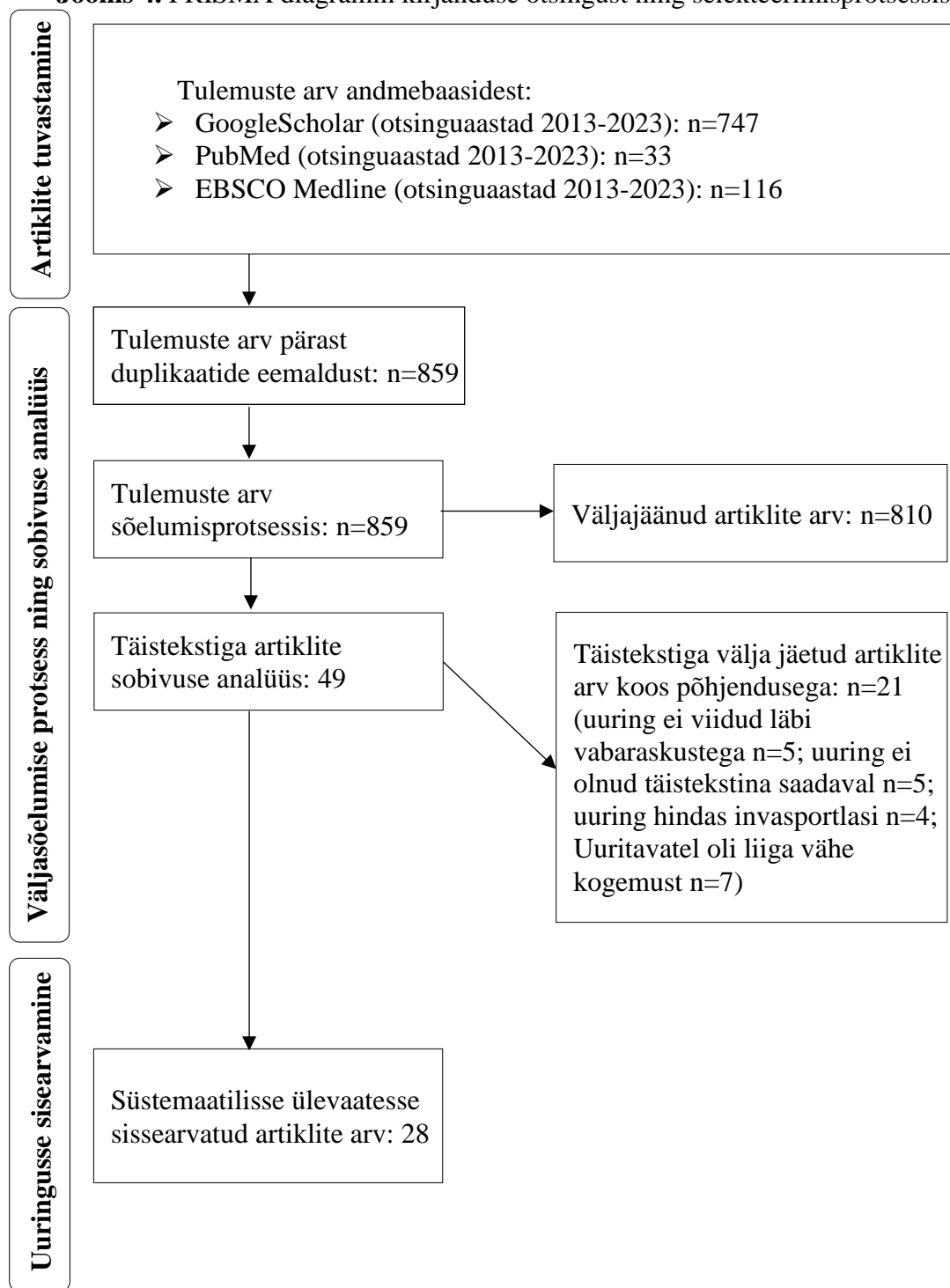
EBSCO Medline otsingusisendiks kasutati: ("powerlifting" OR "power lifting" OR "power-lifting" OR "powerlifters") AND ("squat" OR "squatting" OR "squat technique" OR "squat biomechanics" OR deadlifting" OR "deadlift technique" OR "deadlift biomechanics" OR "bench press" OR "bench pressing" OR "bench press technique" OR "bench press biomechanics") AND ("injuries" OR "injury rates" OR "injury patterns" OR "injury locations" OR "injury mechanisms")

PubMed otsingusisendiks kasutati: ("powerlifting" OR "power lifting" OR "power-lifting" OR "powerlifters") AND ("kinematics" OR "biomechanics" OR "technique" OR "form" OR "sumo" OR "conventional" OR "grip width" OR "high-bar" OR "low-bar" OR "bench press*" OR "squat*" OR "deadlift*") AND ("injuries" OR "injury" OR "injury rates" OR "injury patterns" OR "injury locations" OR "injury mechanisms").

Google Scholar otsingusisendiks kasutati: ("powerlifting" OR "power lifting" OR "power-lifting" OR "powerlifters") AND ("squat" OR "squatting" OR "squat technique" OR "squat biomechanics" OR deadlifting" OR "deadlift technique" OR "deadlift biomechanics" OR "bench press" OR "bench pressing" OR "bench press technique" OR "bench press biomechanics" OR "form" OR "sumo" OR "conventional" OR "grip width" OR "high-bar" OR "low-bar") AND ("injuries" OR "injury rates" OR "injury patterns" OR "injury locations" OR "injury mechanisms").

Esialgsete otsingutulemuste puhul vaadati läbi artiklite pealkirjad ning kokkuvõtted, mille põhjal tehti otsus, kas artikkel on sobiv antud süstemaatilise ülevaate konteksti. Google Scholar otsingusisend andis 747 tulemust, mis olid relevantsuse põhjal järjestatud. EBSCO Medline ning PubMedi otsingusisendid andsid vastavalt 116 ning 33 täistekstiga saadaval artiklit. Kokku vaadati läbi 896 artiklit ning pärast duplikaatide eemaldamist ning väljasõelumise protsessi, jäi järele 28 artiklit, mis arvati süstemaatilisse ülevaatesse sisse.

Joonis 4. PRISMA diagramm kirjanduse otsingust ning selekteerimisprotsessist.



3.1 Uuringu valimi sisse- ja väljaarvamis kriteeriumid

Käesoleva süstemaatilise ülevaate sissearvamise kriteeriumiteks olid: a) uuringus osalejad olid jõutõstjad või omasid vähemalt ühe aastast kogemust vastavas jõutõste alas; b) uuritavate vanusevahemik jäi 18-65 aastani; c) uuringus hinnati jõutõste alade sooritust vabaraskustena; d) uuring oli eesti või inglise keeles.

Aritikkel jäeti valimist välja juhul, kui: a) uuringus osalejad olid invasportlased; b) uuring ei olnud originaalartikkel; c) uuring ei olnud täistekstina saadaval.

4. TÖÖ TULEMUSED

4.1 Artiklite ülevaade

Käesoleva süstemaatilise ülevaate sissearvamise kriteeriumitele vastas 28 uuringut, millest 13 on eksperimentaaluuringud, 10 ristuuritud, 2 vaatlusuuringut ning 3 eeluurimusliku artiklit. Kõikide uurigute peale osales 689 uuritavat, kellest 461 on mehed ning 228 naised. Osalejate arv uuringutes varieerus 3-st kuni 120-ni. Vaatlusaluste vanus varieerus 18-35 aastat.

4.2 Tõstealade sooritustehnikate biomehaanilised erinevused

Sooritustehnikate biomehaanilisi omadusi hindas 11 artiklit, millest 4 artiklit (Brice et al., 2020; Kristiansen et al., 2019; Larsen et al., 2021a; Zavala et al., 2020) hindasid kükkimise biomehaanilisi iseärasusi, 2 artiklit (Larsen et al., 2021b; Lockie et al., 2017) hindasid lamades surumise biomehaanilisi iseärasusi, 4 artiklit (Bengtsson et al., 2022; Edington et al., 2018; Eltoukhy et al., 2016; García-Jaén et al., 2022) hindasid jõutõmmete biomehaanilisi iseärasusi ning 1 artikkel (Aasa et al., 2022) hindas uuritavatel nii kükkimise kui ka jõutõmmete biomehaanilisi iseärasusi.

Larsen et al., 2021a võrdlesid erinevate tugipindade (laiem või kitsam) ja kangi asetuse (kõrgemal turjal või madalamal õlgadel, ingl. vastavalt *high-bar* ja *low-bar*) kombinatsioone ning nende biomehaanilisi erisusi kükkimisel. Kitsamal tugipinnal olid uuritavad võimelised rakendama suuremat intensiivsust ($p \leq 0,001$) kükkimisel. Madalama kangi asetusega rakendati uuritavate poolt samuti suuremat intensiivsust ($p \leq 0,001$), sõltumata tugipinnast. Kitsama tugipinna puhul täheldati uuritavatel märkimisväärseid kangi lineaarse liikumissuuna nihkeid võrreldes laiema tugipinnaga kükkimisel ($p < 0,001$). Laiema tugipinnaga kükkimine põhjustas suurema ettekallutuse seljast ($p = 0,003$) ning suurema abduktsiooni nurga puusaliigestes ($p \leq 0,034$) võrreldes kitsama tugipinnaga kükkimisega kogu kontsentrilise faasi jooksul. Kitsama tugipinnaga kükkimisel täheldati suuremat nurga muutust hüppe- ning põlveliigestes flektsioonil ($p \leq 0,041$) kogu kontsentrilise faasi jooksul. Kitsa tugipinna ning madalama kangi asetusega kükkimine põhjustas suurimat jõumomenti puusa sirutamisel kogu kontsentrilise faasi jooksul, laia tugipinna ning madala kangi asetusega kükkimisel oli jõumoment puusa sirutamisel suurem kui kitsama tugipinnaga ning kõrgema kangi asetusega kükkimistel. Kitsama tugipinnaga ning kõrgema kangi asetusega kükkimine põhjustas suuremat jõumomenti põlve sirutamisel võrreldes laia tugipinnaga ning kõrge kangi asetusega kükkimistega, kuid kitsa tugipinnaga ning madala kangi asetusega kükkimisel täheldati oluliselt väiksemat ($p \leq 0,05$) jõumomenti põlve sirutamisel võrreldes teiste kombinatsioonidega. Kitsama tugipinnaga

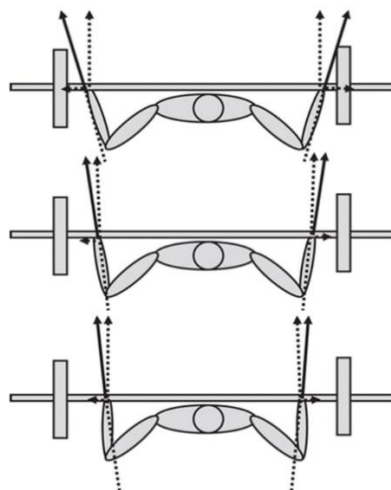
kükkimistel täheldati suuremat jõumomenti põlve ja hüppeliigese abduktsioonis, kuid laiema tugipinnaga kükkimisel avaldus suurem jõumoment põlve ja hüppeliigese adduktsioonil (Larsen et al., 2021a).

Biomehaanilised eripärad sõltuvad suuresti indiviidi geneetilistest eripäradest ning antropomeetristest näitajatest. Kristiansen et al. (2021) täheldasid uuritavatel statistiliselt olulist ($p \leq 0,05$) varieeruvust kükkimisel kogu kontentrilise faasi kiiruses ning puusa-, põlve-, ning hüppeliigese nurkkiiruse muutustes, mis olid seotud uuritavate erinevate alajäseme pikkustega (Kristiansen et al., 2021). Samuti sõltuvad biomehaanilised eripärad küki sügavusest. Zavala et al. (2021) hindasid küki sügavuse ja erinevate intensiivsuste mõju patellofemoraalse liigese reaktsioonjõududele ning mehaanilise pinge muutustele. Intensiivsuse suurenemisel ning küki sügavuse suurenemisel oli statistiliselt oluline seos ($p = 0,002$) põlveliigese jõuõla suurenemisega. See tähendab, et suurtemate intensiivsuste ning sügavamate kükkide korral avaldub suurem reaktsioonjõud ning mehaaniline pinge patellofemoraalses liigeses nii kõrgema kui madalama kangi asetuse korral (Zavala et al., 2021).

Aasa et al. (2022) võrdlesid kõrge ning madala kangi asetusega kükkimise mõju rindkere- ja nimmeosa ning nimme- ja vaagnaosa nurkade muutustele. Uuritavad tegid vastavaid korrekture spinaalsegmentides sagitaal-, frontaal-, ning horisontaaltasapinnas kükkimisel, kuid tehinkate vahel ei täheldatud statistiliselt olulist erinevust (Aasta et al., 2022). Brice et al. (2020) uuringus märgati osalejatel kompensatoorseid muutusi nimme- ja vaagnaosas ning samal ajal vähenes jõumoment põlve sirutamisel, kui uuritavad sooritasid kükke 80% 1RM AMRAP printsiibil olenemata kangi asetusest (Brice et al., 2020).

Larsen et al. (2021b) hindas uuritavatel biomehaanilisi erisusi lamades surumises vastavalt kitsa, keskmise ning laia haardeulatuse kasutamisega (joonis 5). Suurimad muutuseid eristati õla- ning küünarliigese liikuvuses kui ka kineetikas. Õlaliigese abduktsiooni, flektsiooni ning küünarliigese ekstensiooni nurkades märgati statistiliselt olulist ($p < 0,01$) varieeruvust erinevate haarete korral. Kitsama haarde korral oli õlaliigese abduktsiooninurk kõige väiksem võrreldes keskmise ning laiema haardega ($p < 0,01$). Keskmise haarde korral oli õlaliigese abduktsiooni nurk väiksem ($p < 0,01$) võrreldes laia haardega surumisel kangi kõige madalamas asendis rinnal ning esimeses kontsentrilises faasis. Õlaliigese flektsiooni nurk oli väiksem kitsa haardega surumisel ning suurim laia haardega surumisel viimastes kontsentrilistes faasides ($p < 0,01$). Laia haardega surumisel oli küünarliigese ekstensiooninurk suurim ($p < 0,01$) kangi kõige madalamas asendis rinnal, võrreldes keskmise ning kitsama haardega. Peamisi kineetilisi erisusi märgati õla- ja küünarliigese jõuõlgades, kus laiema haardega surumisel on jõuõlg õlaliigeses suurem kui keskmise ja kitsama haarde puhul ($p < 0,05$), kuid kitsama ja keskmise

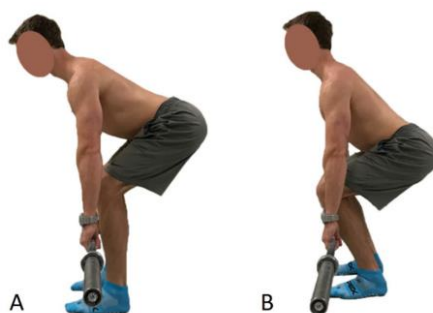
haarde puhul oli jõuõlg küünarliigeses suurem võrreldes laiema haardega surumisega ($p < 0,01$). 1RM intensiivsus oli suurem laia ning keskmise haardega surumisel ($p < 0,01$) võrreldes kitsama haardega surumisel (Larsen et al., 2021b). Laiema haarde kasutuse ning suurema maksimaalse intensiivsuse rakendamise uuritavatel leidis kinnitust ka Lockie et al. (2017) poolt läbi viidud uuringus. Lisaks ei täheldatud statistiliselt olulist erinevust soorituse kestuse osas kitsama ja laiema haardega surumise puhul (Lockie et al., 2017).



Joonis 5. Lai, keskmine ning kitsas haardeulatus lamades surumisel (Larsen et al., 2021b)

Edington et al. (2018) võrdlesid tõstekangi asetuse mõju biomehaanilistele näitajatele traditsioonilisel jõutõmbel. Lähemal asetusega on tõstekang navikulaarluu kohal ning kaugemal asetusega on tõstekang MTP liigeste kohal (joonis 6), millest tulenevad ka algasendis vastavad nurgamuutused erinevates segmentides. Tõstekangi lähemal asetusega on liigeste nurkade asetus statistiliselt oluliselt ($p < 0,05$) erinevad võrreldes kaugemal asetusega, peamiselt hüppeliigeses (51.29 ± 8.38 vs 68.63 ± 6.63 kraadi), põlveliigeses (51.29 ± 8.38 vs 68.63 ± 6.63 kraadi), vaagnas (34.36 ± 13.77 vs 28.57 ± 13.49 kraadi) ning torakaalosas (77.56 ± 5.29 vs 69.0 ± 4.46 kraadi). Teiseks täheldati suuremat EMG aktiivsust *m. biceps femoris* ($p < 0,05$) ja *m. erector spinae* ülemises osas ($p < 0,05$) lähemal asetusega, kuid suuremat aktiivsust *m. vastus lateralis* kaugemal asetusega ($p < 0,05$). Lisaks märgati suuremat jõumomenti põlveliigestes kaugema asetuse puhul (22.00 ± 31.52 vs 50.59 ± 42.59 Nm, $p < 0,05$). Tehnikate vahel ei täheldatud statistiliselt olulist erinevust nihke- ning survejõudude avaldumises nimme osas (Edington et al., 2018), kuid peamiselt avaldub suurim ettesuunaline nihkejõud ning kompressioonjõud L5 tasemel. Survejõud suureneb kogu soorituse vältel ning suurim jõud avaldub sooritust lõpetades. Paindejõudude avaldus nimmeosale on segmentide vahel konstantne (Eltoukhy et al., 2015). Aasa et al. (2022) ning Bengtsson et al. (2022) täheldasid uuritavatel rindekere- ja nimmeosa ning nimme- ja vaagnaosa nurga muutusi jõutõmmete ajal

võrreldes algasendiga. Uuritavad tegid vastavaid korrekture spinaalsegmentides sagitaal-, frontaal-, ning horisontaaltasapinnas jõutõmmete soorituse ajal (Aasta et al., 2022; Bengtsson et al., 2022.).



Joonis 6. Tõstekangi lähemal (A) ning kaugemal (B) asetus algasendis (Edington et al., 2018)

García-Jaén et al. (2022) võrdlesid sumo tehnika jõutõmbe ning traditsioonilise jõutõmbe EMG näitajaid erinevates lihastes. Traditsioonilise jõutõmbe puhul täheldati suuremat aktiivsust *m. latissimus dorsi* osas. Üldiselt märgati kõige suuremat aktiivsust *m. erector spinae* nimmeosas mõlema tehnika puhul. Traditsiooniline tehnikaga oli MVC% suurem kui sumo tehnika puhul, kuid tulemused ei omanud statistiliselt olulist erinevust (García-Jaén et al., 2022).

4.3 Intensiivsuse mõju kineetikale

Jõutõstealade intensiivsuse mõju ning muutusi kineetikale hindas 7 artiklit, millest 2 artiklit (Kubo et al., 2018; Van den Tillaar et al., 2019) keskendusid kükkimise kineetika muutustele, 2 artiklit (Larsen et al., 2022; Schonfield et al., 2016) keskendusid lamades surumise kineetika muutustele, 2 artiklit (Kasovic et al., 2019; Spencer & Croiss, 2015) keskendusid nii jõutõmmete kui ka kükkimise kineetiliste muutuste uurimisele ning 1 artikkel (Carzoli et al., 2019) hindas lamades surumise kui ka kükkimise kineetilisi muutusi.

Van den Tillaar et al., 2019 hindasid kükkimisel lihaste EMG aktiivsust seoses intensiivsuse tõstmisega ning täheldasid statistiliselt olulist muutust *m. semitendinosus* ja *m. rectus femoris* aktiivsuses. Seoses *m. rectus femoris*, täheldati regulaarset lihaste aktivatsiooni suurenemist koos intensiivsuse suurenemisega vastavalt 30%-40%, 40-70% ning 70%-100% 1RM vahemikes ning *m. semitendinosus* aktivatsiooni suurenemine toimus vastavalt 30%-70% ja 50%-100% 1RM vahemikes. Ülejäänud nelja hinnatud lihase (*m. gluteus maximus*, *m. vastus lateralis et medialis* ja *m. biceps femorise*) puhul täheldati sarnast suundumust, kuid tulemused

ei olnud statistiliselt olulised. Lisaks EMG analüüsile, hinnati ka soorituse kiirust ekstsentrilises ja kontsentrilises faasis ning leiti, et ekstsentriline faas kestis keskmiselt $1,7 \pm 0,4$ s kõikide intensiivsuste puhul, v.a 100% 1RM korral, kus ekstsentriline faas kestis keskmiselt $1,98 \pm 0,45$ s. Kontsentrilise faasi kiirus vähenes ning soorituse ajaline kestus suurenes vastavalt intensiivsuse tõusuga (Van den Tillaar et al., 2019). Sarnaseid tulemusi ekstsentrilise faasi ajalisest kestusest leidis ka Spencer & Croiss (2015), kus uuritavate ekstsentriline faas kükkimisel oli ajaliselt kauem kestev suurtemate intensiivsuste puhul. Lisaks pikemale ekstsentrilise faasile, oli uuritavate kontsentriline faas ning kogu soorituse ajaline kestus 100% 1RM intensiivsusel suurem võrreldes 70% ($p < 0,05$), 80% ja 90% 1RM intensiivsuste puhul (Spencer & Croiss, 2015). Intensiivsuse tõusu ning kontsentrilise pingutuse ajalise kestuse suurenemise seost kinnitas ka Kubo et al. (2018) uuring, milles uuritavatel hinnati kükkimise kontsentrilise faasi ajalise kestuse ja kiirenduse seost vastavalt intensiivsuse tõusuga. Tulemused näitasid statistiliselt olulist ($p < 0,001$) seost kontsentrilise faasi ajalise kestuse ja intensiivsuse tõusu vahel, ehk mida kõrgem oli intensiivsus, seda kauem kestis kontsentriline faas kükkimisel (Kubo et al., 2018).

Schoenfeld et al. (2016) viisid läbi EMG uuringu lamades surumise lihaste (*m. pectoralis major* rinnaku ning klavikulaarse osa, *m. triceps brachii* ning *m. deltoideus* eesmise osa) aktivatsiooni osas, kus uuritavad kasutasid 50% ning 80% 1RM intensiivsust AMRAP printsiibil. Kõrgema intensiivsuse korral täheldati keskmise EMG amplituudi osas statistiliselt olulist vahet võrreldes madalama intensiivsusega lihaste aktivatsiooni osas ($113,74 \pm 38,02\%$ vs $97,86 \pm 43,11\%$, $p < 0,01$), peamiselt *m. pectoralis major* rinnaku osas ($121 \pm 33\%$ vs. $103 \pm 39\%$) ning *m. triceps brachii* osas ($94 \pm 30\%$ vs. $69 \pm 23\%$, $p < 0,01$). EMG maksimaalse amplituudi osas täheldati statistiliselt olulist vahet vaid *m. triceps brachii* ($237 \pm 109\%$ vs. $202 \pm 91\%$) osas (Schoenfeld et al., 2016). Võrreldes Schoenfeld et al. (2016) uuringuga, leidsid Larsen et al. (2022) sarnaseid tulemusi *m. ticeps brachii caput medialis* aktivatsiooni osas, mis suurenes intensiivsuse kasvuga ning peamiselt kontsentrilise faasi kiirenduse lõppfaasis ($p < 0,05$). Veel märgati *m. biceps brachii* aktivatsiooni vähenemist samas faasis, kus *m. triceps brachii caput medialis* aktivatsioon suurenes ($p < 0,05$). Lisaks võrreldi 10RM, 6RM, 3RM ja 1RM vahelisi muutusi ülajäsemete liigete nurkades kontsentrilises faasis kui ka soorituse kiirust ning kiirendust. Liigete nurkade muutustes ei täheldatud statistiliselt olulist ($p > 0,058$) muutust intensiivsuste vahel, kuid 10RM intensiivsustel täheldati suuremat nurkkiirust õlaliigeses kontsentrilise pingutuse korral, võrreldes 3RM ja 1RM intensiivsustega ($p < 0,027$) (Larsen et al., 2022).

Carzoli et al. (2019) võrdlesid eksentrilise faasi ajalise kestuse mõju kontsentrilise faasi näitajatele kükkimisel ning lamades surumisel vastavalt 60% ja 80% 1RM kordustena. Lühemaajaline kükkimise eksentriline faas 60% ja 80% 1RM intensiivsustel põhjustas statistiliselt olulisema ($p \leq 0,038$) kontsentrilise faasi keskmise kiirenduse ning maksimaalse kiiruse suurenemise võrreldes aeglasema eksentrilise faasiga. Lamades surumisel ilmnes selline nähtus vaid 60% 1RM intensiivusel ($p \leq 0,026$). Ainult 80% 1RM intensiivsusega ning lühemaajalise eksentrilise faasiga lamades surumisel märgati statistiliselt olulist ($p = 0,017$) mõju maksimaalse kiirenduse suurenemisele kontsentrilises faasis. Kummagi jõutõste alas ei täheldatud erisusi ROM-is ega tõstkangi liikumissuunas erineva intensiivsusega soorituste vahel (Carzoli et al., 2019).

Kasovic et al. (2019) võrdlesid traditsioonilise jõutõmbe ning sumo tehnikaga sooritatud jõutõmbe kineetilisi eripärasid. Suurim erisus esines soorituse lineaarse liikumissuuna distantsis, kus sumo tehnika kasutamise korral oli lineaarne liikumissuuna distants oluliselt lühem ($p < 0,05$) võrreldes traditsioonilise jõutõmmelega erinevate intensiivsuste korral. Kummagi tehnika korral ei täheldatud 1RM testi puhul olulist erinevust keskmises kontsentrilise faasi kiirenduses (Kasovic et al., 2019). Samas Spencer & Croiss (2015) uuringus täheldati seost intensiivsuse suurendamise ning kontsentrilise faasi samaaegse ajalise kestuse pikenedamise vahel (peamiselt 70% 1RM ja 100% 1RM traditsioonilise jõutõmbe kontsentrilise faasi ajalise kestuse vahel, mis oli statistiliselt oluline; $p < 0,05$).

4.4 Erivarustuse kasutus ning muutused biomehaanikas

Erivarustuse mõju tõstealade biomehaanilistele parameetritele hindasid 6 artiklit, millest 4 artiklit (Lee et al., 2019; Legg et al., 2016; Sinclair et al., 2015; Southwell et al., 2016) hindasid tõstesaapa mõju kükkimise kineetikale, 2 artiklit (Hammer et al., 2018, Valenzuela et al., 2021) hindasid erinevate jalanõude mõju jõutõmme kineetikale, 1 artikkel (Fong et al., 2022) hindas tõstevöö kasutamise mõju jõutõmme kineetikale ning 1 artikkel (Michal et al., 2020) hindas kompressioonvarustuse kasutuse mõju kõikide jõutõstealade kineetikale.

Tõstesaapa kasutamisega kükkimisel väheneb hüppeliigeses dorsaalfleksiooni nurk (Legg et al., 2016, Southwell et al., 2016), põlve välisrotatsiooni nurk (Southwell et al., 2016), ning suureneb põlve fleksiooni nurk (Lee et al., 2019; Legg et al., 2016; Southwell et al., 2016) ja siserotatsiooni nurk (Southwell et al., 2016) ning hüppeliigese plantaarfleksiooni nurk (Southwell et al., 2016). Samuti suureneb jõumoment põlveliigeses (Legg et al., 2016; Southwell et al., 2016). Tõstesaapa kasutamine ei põhjusta muutusi lülisamba asetuses kükkimisel (Lee et al., 2019; Legg et al., 2016) ning ei muuda nihke- ning survejõudude

avaldust lülisambale (Southwell et al., 2016). Seejuures ei täheldatud olulisi muutusi kere- ning alajäsemete lihaste EMG aktiivsuses (Lee et al., 2019; Sinclair et al., 2015).

Jalanõude kandmine suurendab lineaarse liikumissuuna nihkeid ja mehaanilise töö mahtu ning pikendab soorituse ajalist kestus nii traditsioonilise (Hammer et al., 2018) kui ka sumo tehnikaga sooritatud jõutõmmete korral, võrreldes ilma jalanõuta sooritustega (Valenzuela et al., 2021). Lisaks täheldati statistiliselt olulist ($p < 0,05$) erinevust traditsioonilise ja sumo tehnikaga sooritatud jõutõmmete vahel. Toereaktsioon, mehaanilise töö maht ning lineaarse liikumissuuna nihked olid suuremad traditsioonilise jõutõmmete puhul, kuid soorituse kestus oli ajaliselt pikem sumo tehnikaga sooritatud jõutõmmetel olenemata jalanõust (Valenzuela et al., 2021).

Fong et al. (2022) hindasid tõstevöö mõju jõutõmmete kineetikale. Uuritavad olid tõstevöö kasutamisega võimelised kiiremini soorituse lõpuni viima ning uuritavate RPE hinnang oli statistiliselt oluliselt ($p < 0,001$) väiksem võrreldes tõstevööta jõutõmmete sooritamisega. Tõstevöö kasutamine ei omanud mõju spinaalsegmentide kineetikale (Fong et al., 2022).

Michal et al. (2020) võrdlesid 2013-2019 aastate IPF jõutõstjate rekordtulemusi klassikalises jõutõstmise kolmevõistluses ning erivarustusega jõutõstmise kolmevõistluses. Viimases on lubatud erineva kompressioonvarustuse kasutamine. Erivarustusega jõutõstmise rekordid olid suuremad kui klassikalises jõutõstmises, peamiselt kükkimises ($p < 0,001$) ning lamades surumises ($p < 0,001$) nii mees- kui naissportlastel. Jõutõmmete rekordid ei omanud statistiliselt olulist erinevust mõlemas populatsioonis (Michal et al., 2020).

4.5 Vigastustest haaratud piirkonnad jõutõstjatel

Vigastuse esinemisagedust ning lokalisatsiooni käsitlesid 2 artiklit (Reichel et al., 2019; Strömback et al., 2018) ning mõlemad uuringud viidi läbi küsitlustena.

Reichel et al. (2019) uuringu põhjal esineb jõutõstjatel vigastusi ülajäsemes (peamiselt õla- ning küünarliigese piirkonnas), alajäsemes, lülisambas (peamiselt nimme, vaagna ja SI liigese piirkonnas) ning pea ja kaela piirkonnas. Strömback et al. (2018) uuringu põhjal esineb enamasti vigastusi samuti õla, puusa ning nimme ja vaagna osas (Strömback et al., 2018). Mõlemas uuringus osalejad seostasid oma vigastusi peamiselt treeningute suure intensiivsusega (Reichel et al., 2019, Strömback et al., 2018) ja mahuga (Strömback et al., 2018), ebakorrekse tehnika rakendamisega (Reichel et al., 2019; Strömback et al., 2018), piiratud liigesliikuvuse ulatusega (Strömback et al., 2018) ning ebapiisava tähelepanu pööramisega sooritusele (Reichel

et al., 2019). Vigastuste esinemissagedus oli väiksem üle 30-aastastel ning pikema treeningu ja võistluse staažiga sportlastel (Reichel et al., 2019). Strömback et al. (2018) seostasid vigastuse kujunemist treeningutel peamiselt kükkimisega (42%), jõutõmmetega (31%) ning lamades surumisega (27%). Võistluste ajal olid vigastuste esinemissagedus vastavalt 4%, 17% ning 7%. Lülisamba vigastusi seostasti jõutõmmete treeningutega, puusa ning reie piirkonna vigastusi kükkimise treeninguga ning õla piirkonna vigastusi lamades surumisega.

5. ARUTELU

Käesoleva magistritöö eesmärgiks oli selgitada välja jõutõstmise kolmevõistlusalade biomehaanilised iseärasused ja nende seos vigastuste kujunemisega. Kõigi kolme tõsteala biomehaanilised näitajad ning erinevused on kompleksed. Erinevad uuringud ja nende eesmärgid on väga varieeruvad seoses ülesehituse ja mõõdetavate parameetritega, mis raskendab analüüsi.

Käesoleva magistritöö esimese ülesandena võrreldi erinevate jõutõstmise sooritustehnikate biomehaanilisi näitajaid. Töö tulemustest ilmnes, et kitsama tugipinnaga kükkimisel suutsid uuritavad rakendada suuremat intensiivsust võrreldes laiema tugipinnaga kükkimisega. Oluline tegur on ka kangi asetus turjal, millest tulenevad ülakeha ettepoole painutamine, puusaliigese abduktsiooni nurga suurenemine ning jõumomendi suurenemine puusa sirutamisel (Larsen et al., 2021a). Sellest tulenevalt võib järeldada, miks enamus jõutõstjaid eelistavad madalamat kangiasetust turjal (Glassbrook et al., 2017), kuna puusa piirkonna lihased on tugevamad võrreldes põlve piirkonna lihastega ning suurem puusa jõumoment tagab suurema jõudluse 1RM soorituseks (Larsen et al., 2021a). Laiema tugipinnaga kükkimisel väheneb jõumoment põlveliigestes, kuna sääred säilitavad vertikaalse asendi ning põlveliigete paindumus on väiksem (Bengtsson et al., 2018; Larsen et al., 2021; Swinton et al., 2012), kuid sellega kaasneb suurem ettekallutus ülakehast, mis leidis kinnitust ka Fry et al., 2003 uuringus (Fry et al., 2003). Käesoleva magistritöö valimisse ei leidunud artikleid, mis uuriksid jõudude mõju ning avaldust spinaalsegmentidele kükkimisel, kuid võib eeldada, et suurema ettepainutuse korral avalduvad suuremad ettesuunalised nihkejõud lülisambale ja eriti nimmeosale, kuna laiema tugipinnaga ja/või madalama kangi asetusega kükkimise lõppasend on sarnane jõutõmmete algasendiga (Edington et al., 2018; Eltoukhy et al., 2015).

Larsen et al. (2021b) uuringu tulemustest ilmnes, et laiema haardeulatusega lamades surumisel esineb suurem õlaliigese flektsiooni ja abduktsiooni nurk, mis tingib suurema jõumomendi õlaliigeses ning suurema 1RM tulemuse uuritavatel. Siiski täheldati, et keskmise haardega lamades surumise 1RM ei erinenud oluliselt laiema haardega surumisest (Larsen et al., 2021b.). Sellest võib ka järeldada, et vigastusohu vähendamiseks on otstarbekam kasutada keskmist haardeulatust lamades surumisel, kuna õlaliigese nurkade äärmuslikkus ei ole sel juhul sama suur kui laiema haardega surumise korral. Seda väidet kinnitab ka Green & Comfort (2007) uuring, kus leiti, et $\leq 1,5$ biakromiaalse laiusega lamades surumisel on õlaliigesed vähem abdutseeritud ja välisrotatsioonis ning see ei mõjuta oluliselt lihaste talilusse lülitamist ning

jõudlust 1RM soorituses (Green & Comfort, 2007). Käesoleva magistritöö valimisse ei leidunud artikleid, mis uuriksid ülakeha asetuse mõju lamades surumise biomehaanikale. Jõutõstjad kasutavad selja ülesirutatud asendit lamamisel, mis mõjutab lihaste talitlusse lülitumise muudatust ning toob rindkere kõrgemale pingi suhtes. Eelmainitud strateegia ning samaaegse laia haarde kasutamisel väheneb oluliselt kangi lineaarse liikumise trajektoor, mis tähendab, et jõutõstjad peavad võistlustel vähem pingutama arvestatava tulemuse saamiseks (Larsen et al., 2021b; Lockie et al., 2017; Vecchio et al., 2018). Kuna mõned võistlejad rakendavad väga suurt sirutust seljast lamades surumisel (Vecchio et al., 2018), oleks oluline uurida biomehaanilisi eripärasid lülisegmentides, eriti nihke- ja survejõudude avaldust.

Käesoleva magistritöös oli suurem rohkem rõhk traditsioonilise jõutõmmete biomehaaniliste eripärade uurimisel, kuna valimisse kuulusid vaid 2 artiklit (García-Jaén et al., 2022; Valenzuela et al., 2021), mis võrdlesid sumo tehnikaga ja traditsioonilise tehnikaga sooritatud jõutõmbe kineetilisi erisusi. Töö tulemustest ilmnes, et sumo tehnikaga sooritusel väheneb lineaarse liikumisuuna distants võrreldes traditsioonilise jõutõmbega ning lihaste EMG aktiivsus erineb mõlema tehnika korral vaid vähesel määral, kusjuures suurim aktiivsus ilmnes *m. erector spinae* lihases (García-Jaén et al., 2022; Valenzuela et al., 2021). Käesoleva magistritöö valimisse ei kuulunud artikleid, mis uuriksid põhjalikumalt sumo tehnika ning traditsioonilise jõutõmbe tehnika erisusi, eriti liigesnurkade erinevusi, jõumomentide erinevusi ning jõudude avadlumist spinaalsegmentides. Traditsioonilise jõutõmbe puhul avalduvad suurimad ettesuunalised nihkejõud algasendis, samas kui survejõud suurenevad soorituse käigus ja jõuavad maksimumini neutraalses lülisamba asendis (Eltoukhy et al., 2015). Sellest võib järeldada, et sumo tehnikaga jõutõmmetel on ettesuunalised nihkejõud väiksemad võrreldes traditsioonilise jõutõmmetega, samas kui survejõud lülisambale on pidev kogu soorituse vältel. See tuleneb sellest, et sumo tehnikaga on keha torakaalne segment märgatavalt vähem ettekallutatud võrreldes traditsioonilise jõutõmbega (Bengtsson et al., 2018). Kuna sumo tehnikaga sooritatud jõutõmbel on survejõud lülisambale olulisema osakaaluga kui nihkejõudud, võib eeldada, et sumo tehnikaga kaasneb väiksem vigastuse risk spinaalsegmentides võrreldes traditsioonilise jõutõmbega. See on tingitud sellest, et lülisamba struktuuride vigastuslävi jääb keskmiselt 5-10 kN survejõudude ja 1-2 kN nihkejõudude vahele (Ramirez et al., 2022). Sarnaselt laiema tugipinnaga kükkimisele võib järeldada, et sumo tehnika rakendamisel on jõumoment suurem puusa sirutamisel, mistõttu on vigastuse oht suurem selles piirkonnas. Magistritöö autori arvamuse kinnituseks ei leitud ühtegi artiklit.

Kristiansen et al. (2019) järeldasid, et antropomeetriliste näitajate erinevused mõjutavad jõumomentide ning liigesnurkade muutuste kujunemist kükkimistel. Näiteks lühema kere ning

reie pikkusega jõutõstjatel on väiksem ettekallutus seljast, väiksem jõumoment põlvedes ning lühem jõuõlg reies, mis soodustab suuremat jõumomenti puusas kükkimisel. Kükkimise erinevate tehnikate kasutus sõltub suuresti individuaalsetest eelistustest (Kristiansen et al., 2019). Sarnast loogikat võib rakendada ka jõutõmmete ning lamades surumise puhul, kus antropomeetrilised näitajad mõjutavad oluliselt jõumomentide, jõudude avalduse, jõuõlgade pikkuse ning liigesnurkade muutuste kujunemist, kuid magistr töö autori arvamuse kinnituseks ei leitud ühte artiklit.

Käesoleva magistr töö teiseks ülesandeks oli hinnata soorituse kinemaatilisi näitajaid seoses intensiivsusega. Töö tulemustes selgus, et intensiivsuse tõstmisega pikeneb peamiselt nii konstentrilise kui ka ekstsentrilise faasi ajaline kestus (Kubo et al., 2018; Larsen et al., 2022; Spencer & Croiss, 2015; Van den Tillaar et al., 2019) ning suureneb lihaste talitlusse lülitumine (rekruteerimine) kõikides jõutõste alades (Larsen et al., 2022; Schoenfeld et al., 2016; Van den Tillaar et al., 2019). Intensiivsuse suurenemisega kaasneva ajalise kestuse suhte seletamiseks võib viidata füüsikaseadusele, kus soorituse kiirendus võrdub rakendatava mehaanilise jõu ja massi jagatisega. Seega, mida suurem on rakendatav intensiivsus koos maksimaalse pingutusega jõutõstja poolt, seda väiksem on kiirendus, mistõttu pikeneb ka soorituse ajaline kestus (Van den Tillaar et al., 2019). Aeglasema ekstsentrilise faasi rakendamine valmistab jõutõstjat paremini ette kiiremaks kontsentrilise faasi sooritamiseks (Carzoli et al., 2019) peamiselt suurema venitus-lühenemistsükli (ingl. *stretch-shortening cycle*) mõju rakendamisel (Kristiansen et al., 2019). Van den Tillaar et al. (2019) järeldasid, et üle 70% 1RM kükkimisel on suurenenud lihaste aktivatsioon seotud ko-kontraktsiooni suurenemisega, mis tagab parema stabiilsuse põlve- ning vaagna struktuurides, eriti ekstsentrilise faasi üleminekul kontsentrilisse faasi (Van den Tillaar et al., 2019). Sellest järeldab ka magistr töö autor, et sarnane nähtus võib toimuda ka lamades surumisel, kuna lamades surumisel esineb sarnane üleminek ekstsentriliselt faasilt kontsentrilisse faasi nagu kükkimisel (Schoenfeld et al., 2016).

Käesoleva magistr töö kolmandaks ülesandeks oli selgitada välja erivarustuse kandmise mõju soorituse biomehaanilistele näitajatele jõutõstmises. Töö tulemustes selgus, et tõstesaapa kasutus mõjutab oluliselt liigeste nurkade muutusi kükkimisel (Lee et al., 2019; Legg et al., 2016; Southwell et al., 2016). Kuna Strömback et al. (2018) poolt uuritavad mainisid, et piiratud liigesliikuvus oli vigastuste kujunemisel üheks põhjuseks (Strömback et al., 2018), järeldab magistr töö autor, et tõstesaabaste kasutamine võib osaliselt kompenseerida piiratud liigesliikuvust jõutõstjatel, eriti alajäsemetes. Kuna tõstesaabaste kasutus suurendab jõumomenti põlveliigeses (Legg et al., 2016; Southwell et al., 2016), järeldub, et tõstesaapa kasutus võib kompenseerida põlve jõumomendi vähenemist laiema tugipinna ning madalama

kangi asetusega kükkimisel, kuna põlveliigese paindumus on selle tehnika puhul väiksem (Bengtsson et al., 2018; Larsen et al., 2021; Swinton et al., 2012) ning tõstesaaavad suurendavad põlve painutuse nurka täiskükis (Lee et al., 2019; Legg et al., 2016; Southwell et al., 2016).

Töö tulemustest leiti seoseid jõutõmmete kineetiliste muutuste ning jalanõude valiku vahel, kus peamiselt märgati lineaarse liikumissuuna nihkeid, mehaanilise töö mahu suurenemist ning soorituse ajalise kestuse pikenedes seoses jalanõude kasutamisega (Hammer et al., 2018, Valenzuela et al., 2021). Valenzuela et al. (2021) järeldasid, et kuigi jalanõuta jõutõmmetel oli minimaalne erinevus ajalises kestuses ja mehaanilise töö mahu vähenemises, on jõutõmmetega treeningutes, kus tehakse mitmeid kordusi ning seeriaid, kogu ajalise kestuse ja mehaanilise töömahu vähenemise summa olulisemalt väiksem võrreldes jalanõuga jõutõmmetega (Valenzuela et al., 2021). Kuna kogu soorituse kestuse aeg väheneb jalanõuta jõutõmmetel, lüheneb ka nihke- ning survejõudude mõjumise aeg lülisamba segmentidele (Ramirez et al., 2022), mis magistr töö autori arvates võib vähendada vigastuse ohtu minimaalselt. Samuti tuleb arvestada soorituse stabiilsuse muutustega jalanõu ja jalanõuta jõutõmmetel (Hammer et al., 2018; Valenzuela et al., 2021). Töö tulemuste põhjal hinnati ka tõstevöö mõju jõutõmmetele. Fong et al. (2022) uuringu põhjal avaldus tõstevöö mõju oluliselt vaid uuritavate RPE hinnangu vähenemises. Uuring keskendus ka tõsterihmade mõju hindamisele biomehaaniliste muutuste kujunemisel (Fong et al., 2022), kuid kuna tõsterihmade kasutus on võistlustel keelatud (IPF, 2023), ei pidanud lõputöö autor seda oluliseks osaks töö tulemuste analüüsis. Käesoleva magistr töö valimisse ei leidunud rohkem artikleid, mis käsitleksid tõstevöö mõju jõutõmmete kui ka lamades surumise biomehaanilistele ja kineetilistele muutustele. Lisaks on võistlustel lubatud kasutada põlve- ning randmesidemeid (IPF, 2023), kuid ka nende varustuse kasutamise kohta puuduvad selles süstemaatilises aruandes vastavad artiklid.

Michal et al. (2020) võrdlesid peamiselt klassikalise ning erivarustusega jõutõstmise 1RM rekordeid. Kuigi uuringu autorid ei käsitlenud süvitsi varustuse kasutamise biomehaanilisi muutusi tõstealadel, põhjendasid nad jõutõmmete rekordite samaväärset taset mõlemas võistlusliigis ekstsentrilise faasi puudumisega jõutõmmete ajal. Kompressioonvarustus venib ekstsentrilise faasi ajal välja ja talletab elastsusenergiat ning vabastab selle konstantilise faasi ajal, mis tagab jõutõmmetel suurema jõudluse soorituse lõpetamiseks (Michal et al., 2020).

Käesoleva magistr töö neljandaks ülesandeks oli selgitada välja peamised vigastustest haaratud piirkonnad jõutõmmetel. Töö tulemustest selgus, et peamised vigastustest haaratud piirkonnad jõutõmmetel hõlmavad üla- ning alajäset, lülisammast, puusa ning pea ja kaela piirkonda. Uuritavad seostasid vigastusi eelkõige suure intensiivsuste kasutamisega nii

treeningutel kui võistlustel, suure treeningmahuga ja ebakorrekse tehnika kasutamisega (Reichel et al., 2019; Strömback et al., 2018). Varasemad uuringud on tähelepanu pööranud suure intensiivsustega kükkimiste kahjulikule mõjule põlve struktuuridele (Aasa et al., 2016; Fry et al., 2003), kuid Reichel et al. (2019) ning Strömback et al. (2018) ei täpsustatud põlve struktuuride vigastuste osakaalu uuritavatel. Võrreldes Bengtsson et al. (2018) süstemaatilise ülevaatega, oli põlvevigastuste osakaal seoses kükkimisega olemas, kuid vaid neljas juhtumiuuringus (Bengtsson et al., 2018).

Käesolev magistritöö ei võtnud arvesse jõutõstjate treeningmahtu ning peamiselt seostati vigastusi tõstetehnikate biomehaaniliste eripäradega. Strömback et al. (2018) poolt uuritavatel oli vigastuse kujunemine võistluse ajal väikese osakaaluga, kuid enamus võistlustel tekkinud vigastusi olid seotud jõutõmmetega. Jõutõmbed võivad olla peamisteks vigastuste põhjustajaks jõutõstjatel, kuid spetsiifiliste vigastuste esinemise kohta on vähesel määral uuringuid läbi viidud (Bengtsson et al., 2018). Treeningmahu, intensiivsuse ning taastumine tasakaal on peamiselt kohal vigastuste ennetamiseks jõutõstjatel (Androulakis-Korakakis et al., 2021; Demirkıran et al., 2021). Lisaks võib vigastuste tekkimise riski suurendada kvalifitseeritud treeneri puudumine. Reichel et al. (2019) uuringu kohaselt puudus enam kui pooltel vigastustega jõutõstjatel treener treeningutes ning veelgi väiksemal osal oli treener piisava kvalifikatsiooniga. Magistritöö autori arvamusel võib vigastuse osakaalu mõjutada ka soojenduse osa vahelejätmine enne treeninguid, kuid Reichel et al. (2019) uuringus ei leitud seost soojenduse vahelejätmise ja vigastuste tekke vahel.

Käesolevas magistritöös ei võrreldud vigastuste osakaalu mees- ja naissportlastel eraldi ning uuringusse kaasati sportlasi, kellel oli vähemalt 1-aastane kogemus jõutõstmise alades. Vigastuste esinemist võivad mõjutada soolised erinevused ning spordialaga tegelemise kogemus, sealhulgas võistluskogemus (Bengtsson et al., 2018; Reichel et al., 2019; Strömback et al., 2018). Näiteks täheldati Strömback et al. (2018) uuringus suuremat pea ning kaela vigastuste osakaalu naissportlastel, kuid täpsemaid põhjuseid ei teata. Vigastuste osakaalu põhjalikumaks hindamiseks oleks tulevikus otstarbekam teha eraldi analüüs mees- ja naissportlaste ning nende kogemuse alusel.

6. JÄRELDUSED

1. Biomehaanilisest aspektist erinevad jõutõstmise sooritustehnikad peamiselt soorituse käigus jõutõstjatel ilmnevate liigesnurkade ja jõumomentide muutuste ning soorituse intensiivsuse osas.
2. Jõutõstjatel toimub soorituse intensiivsuse suurenemisega kontsentrilise ja ekstsentrilise faasi ajalise kestuse pikenemine ning lihaste EMG aktiivsuse suurenemine.
3. Erivarustuse kasutamine põhjustab jõutõstjatel muutusi peamiselt liigesnurkades ja soorituse kineetikas, suurendades saavutusvõimet.
4. Peamised vigastustest haaratud piirkonnad jõutõstjatel on üla- ja alajäsemed, lülisammas, puusa ning pea ja kaela piirkond.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. Aasa I, Bengtsson V, Berglund L, Öhberg F. Variability of lumbar spinal alignment among power- and weightlifters during the deadlift and barbell back squat. *Sports Biomechanics* 2022; 21(6): 701-717.
2. Aasa U, Svartholm I, Andersson F, Berglund L. Injuries among weightlifters and powerlifters: a systematic review. *British Journal of Sports Medicine* 2016; 51(4): 211–219.
3. Androulakis-Korakakis P, Michalopoulos N, Fisher JP, Keogh J, Loenneke JP, et al. The Minimum Effective Training Dose Required for 1RM Strength in Powerlifters. *Frontiers in Sports and Active Living* 2021; 3: 713655.
4. Bengtsson V, Aasa U, Öhberg F, Berglund L. Thoracolumbar And Lumbopelvic Spinal Alignment During The Deadlift Exercise: A Comparison Between Men And Women. *International Journal of Sports Physical Therapy*. 2022; 17(6): 1063-1074.
5. Bengtsson V, Berglund L, Aasa U. Narrative review of injuries in powerlifting with special reference to their association to the squat, bench press and deadlift. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine* 2018; 4: e000382.
6. Brice SM, Doma K, Harland L, Spratford W. Impact of performing heavy-loaded barbell back squats to volitional failure on lower limb and lumbo-pelvis mechanics in skilled lifters. *Journal of Sports Sciences* 2020; 38(1): 100-105.
7. Carzoli JP, Sousa CA, Belcher DJ, Helms ER, Khamoui AV, et al. The effects of eccentric phase duration on concentric outcomes in the back squat and bench press in well-trained males. *Journal of Sports Sciences* 2019; 37(23): 2676-2684.
8. Demirkıran ND, Kılıç Aİ., Köyağasıoğlu O, Denizhan Demirkıran E. Incidence and Risk Factors of Sports Injuries Among National Competitive Deadlifters. *Cyprus Journal of Medical Science* 2021; 6(1): 44-9.
9. Dudagoitia E, García-de-Alcaraz A, Andersen LL. Safety of powerlifting: A literature review. *Science & Sports* 2021; 36(3): e59–e68.
10. Edington C, Greening C, Kmet N, Philipenko N, Purves L, et al. The Effect of Set Up Position on EMG Amplitude, Lumbar Spine Kinetics, and Total Force Output During Maximal Isometric Conventional-Stance Deadlifts. *Sports (Basel, Switzerland)* 2018; 6(3): 90.
11. Eltoukhy M, Travascio F, Asfour S, Elmasry S, Heredia-Vargas, et al. Examination of a lumbar spine biomechanical model for assessing axial compression, shear, and bending moment using selected Olympic lifts. *Journal of Orthopaedics* 2016; 13: 210–219.

12. Escamilla RF, Francisco AC, Fleisig GS, Barrentine SW, Welch CM, et al. A three-dimensional biomechanical analysis of sumo and conventional style deadlifts. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 2000; 32(7): 1265-1275.
13. Faigenbaum AD, Kraemer WJ, Blimkie CJR, Jeffreys I, Micheli LJ, et al. Youth Resistance Training: Updated Position Statement Paper From the National Strength and Conditioning Association. *Journal of Strength and Conditioning Research* 2009; 23: S60–S79.
14. Ferland PM, Comtois AS. Classic Powerlifting Performance: A Systematic Review. *Journal of Strength and Conditioning Research* 2019; 33: S194-S201.
15. Fong SSM, Chung LMY, Gao Y, Lee JCW, Chang TC, Ma AWW. The influence of weightlifting belts and wrist straps on deadlift kinematics, time to complete a deadlift and rating of perceived exertion in male recreational weightlifters: An observational study. *Medicine (Baltimore)* 2022; 101(7): e28918.
16. Fry AC, Smith JC, Schilling BK. Effect of Knee Position on Hip and Knee Torques During the Barbell Squat. *Journal of Strength and Conditioning Research* 2003; 17: 629–633.
17. García-Jaén M, Sanchis-Soler G, Casanova-Juliá M, Sebastiaamat S, Cortell-Tormo JM. Can the craniocervical position modulate trunk muscle activation during a deadlift? A preliminary electromyographical analysis comparing conventional and sumo variations. *Journal of Physical Education and Sport* 2022; 22: 2904-2912.
18. Gentil P, Fisher J, Steele J. A Review of the Acute Effects and Long-Term Adaptations of Single- and Multi-Joint Exercises during Resistance Training. *Sports Medicine* 2016; 47(5): 843–855.
19. Glassbrook DJ, Helms ER, Brown SR, Storey AG. A Review of the Biomechanical Differences Between the High-Bar and Low-Bar Back-Squat. *Journal of Strength and Conditioning Research* 2017; 31(9): 2618–2634.
20. Green CM, Comfort P. The Affect of Grip Width on Bench Press Performance and Risk of Injury. *Strength and Conditioning Journal* 2009; 29(5): 10–14.
21. Hammer ME, Meir RA, Whitting JW, Crowley-McHattan ZJ. Shod vs. Barefoot Effects on Force and Power Development During a Conventional Deadlift. *Journal of Strength and Conditioning Research* 2018; 32(6), 1525–1530.
22. Huebner M, Ma W. Health challenges and acute sports injuries restrict weightlifting training of older athletes. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine* 2022; 8(2):e001372.

23. IPF Technical Rules Book 2023: 2-23.
[https://www.powerlifting.sport/fileadmin/ipf/data/rules/technical-rules/english/IPF Technical Rules Book 2023 1 .pdf](https://www.powerlifting.sport/fileadmin/ipf/data/rules/technical-rules/english/IPF_Technical_Rules_Book_2023_1_.pdf) 10.04.2023.
24. Kapicioglu M, Bilgin E, Guven N, Pulatkan A, Bilsel K. The Role of Deadlifts in Distal Biceps Brachii Tendon Ruptures: An Alternative Mechanism Described With YouTube Videos. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine* 2021; 9(3): 232596712199181.
25. Kasovic J, Martin B, Fahs CA. Kinematic Differences Between the Front and Back Squat and Conventional and Sumo Deadlift. *Journal of Strength and Conditioning Research* 2019; 33(12), 3213–3219.
26. Kompf J, Arandjelović O. The Sticking Point in the Bench Press, the Squat, and the Deadlift: Similarities and Differences, and Their Significance for Research and Practice. *Sports Medicine* 2016; 47(4): 631–640.
27. Kristiansen M, Rasmussen GHF, Sloth ME, Voigt M. Inter- and intra-individual variability in the kinematics of the back squat. *Human Movement Science* 2019; 67: 102510.
28. Kubo T, Hirayama K, Nakamura N, Higuchi M. Influence of Different Loads on Force-Time Characteristics during Back Squats. *Journal of Sports Science and Medicine*. 2018, 17(4): 617-622.
29. Larsen S, Gomo O, van den Tillaar R. A Biomechanical Analysis of Wide, Medium, and Narrow Grip Width Effects on Kinematics, Horizontal Kinetics, and Muscle Activity on the Sticking Region in Recreationally Trained Males During 1-RM Bench Pressing. *Frontiers in Sports and Active Living* 2021a; 2: 637066.
30. Larsen S, Kristiansen E, Helms E, van den Tillaar R. Effects of Stance Width and Barbell Placement on Kinematics, Kinetics, and Myoelectric Activity in Back Squats. *Frontier in Sports and Active Living* 2021b; 3: 719013.
31. Larsen S, Haugen M, van den Tillaar R. Comparison of Kinematics and Electromyographic Activity in the Last Repetition during Different Repetition Maximums in the Bench Press Exercise. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2022; 19: 14238.
32. Lee SP, Gillis C, Ibarra JJ, Oldroyd D, Zane R. Heel-Raised Foot Posture Do Not Affect Trunk And Lower Extremity Biomechanics During A Barbell Back Squat In Recreational Weightlifters. *Journal of Strength and Conditioning Research* 2019; 33(3): 606-614.

33. Legg HS, Glaister M, Cleather DJ, Goodwin, JE. The effect of weightlifting shoes on the kinetics and kinematics of the back squat. *Journal of Sports Sciences* 2016; 35(5), 508–515.
34. Lockie R, Callaghan S, Moreno M, Risso F, Liu T, et al. An Investigation of the Mechanics and Sticking Region of a One-Repetition Maximum Close-Grip Bench Press versus the Traditional Bench Press. *Sports (Basel, Switzerland)* 2017; 5: 46.
35. Michal W, Michal K, Marcin B. The influence of compressive gear on maximal load lifted in competitive powerlifting. *Biology of Sport* 2020; 37(4): 437-441.
36. O'Reilly MA, Whelan DF, Ward TE, Delahunt E, Caulfield BM. Classification of deadlift biomechanics with wearable inertial measurement units. *Journal of Biomechanics* 2017; 58: 155–161.
37. Quatman CE, Myer GD, Khoury J, Wall EJ, Hewett TE. Sex differences in "weightlifting" injuries presenting to United States emergency rooms. *The Journal of Strength and Conditioning Research* 2009; 23(7): 2061-2067.
38. Ramirez VJ, Bazrgari B, Gao F, Samaan M. Low Back Biomechanics during Repetitive Deadlifts: A Narrative Review. *IISE Transactions on Occupational Ergonomics of Human Factors* 2022; 10(1): 34-46.
39. Reichel T, Mitnacht M, Fenwick A, Meffert R, Hoos O, et al. Incidence and characteristics of acute and overuse injuries in elite powerlifters, *Cogent Medicine* 2019; 6(1): e1588192.
40. Saraceni N, Campbell A, Kent P, Ng L, Straker L, et al. Exploring lumbar and lower limb kinematics and kinetics for evidence that lifting technique is associated with LBP. *PLoS ONE* 2021; 16(7): e0254241.
41. Schoenfeld BJ, Contreras B, Vigotsky AD, Ogborn D, Fontana F, et al. Upper body muscle activation during low-versus high-load resistance exercise in the bench press. *Isokinetics and Exercise Science* 2016; 24(3): 217–224.
42. Schwarzkopf R, Ishak C, Elman M, Gelber J, Strauss DN, et al. Distal clavicular osteolysis: a review of the literature. *Bulletin of the NYU Hospital of Joint Diseases* (2008); 66(2): 94-101.
43. Shamseer L, Moher D, Clarke M, Gherzi D, Liberati A, Petticrew M, et al. Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015: elaboration and explanation. *BMJ* 2015; 349: g7647.
44. Siewe J, Rudat J, Röllinghoff M, Schlegel UJ, Eysel P, et al. Injuries and Overuse Syndromes in Powerlifting. *International Journal of Sports Medicine* 2011; 32(09): 703–711.

45. Sinclair J, McCarthy D, Bentley I, Hurst HT, Atkins S. The influence of different footwear on 3-D kinematics and muscle activation during the barbell back squat in males. *European Journal of Sport Science* 2015; 15(7): 583–590.
46. Sjöberg H, Aasa U, Rosengren M, Berglund L. Content Validity Index and Reliability of a New Protocol for Evaluation of Lifting Technique in the Powerlifting Squat and Deadlift. *Journal of Strength and Conditioning Research* 2020; 34(9): 2528-2536.
47. Snyder BJ, Cauthen CP, Senger SR. Comparison of Muscle Involvement and Posture Between the Conventional Deadlift and a “Walk-In” Style Deadlift Machine. *Journal of Strength and Conditioning Research* 2017; 31(10), 2859–2865.
48. Southwell DJ, Petersen SA, Beach TAC, Graham RB. The effects of squatting footwear on three-dimensional lower limb and spine kinetics. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 2016; (31): 111–118.
49. Spencer K, Croiss M. The effect of increasing loading on powerlifting movement form during the squat and deadlift. *Journal of Human Sport and Exercise* 2015; 10(3): 764–774.
50. Stone JD, King AC, Goto S, Mata JD, Hannon J, et al. Joint-Level Analyses of the Back Squat With and Without Intra-Set Rest. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 2019; 14: 583-589.
51. Strömbäck E, Aasa U, Gilenstam K, Berglund, L. Prevalence and Consequences of Injuries in Powerlifting: A Cross-sectional Study. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine* 2018; 6(5): 232596711877101.
52. Swinton PA, Lloyd R, Keogh JWL, Agouris I, Stewart A. A biomechanical comparison of the traditional squat, powerlifting squat and box squat. *Journal of Strength and Conditioning Research* 2012; 26(7): 1805-1816.
53. Zavala L, Flores V, Cotter JA, Becker J. Patellofemoral Joint Kinetics in Females when using Different Depths and Loads During the Barbell Back Squat. *European Journal of Sport Science* 2020; 21(7): 976-984.
54. Timpka T, Jacobsson J, Bickenbach J, Finch CF, Ekberg J, et al. What is a Sports Injury? *Sports Medicine* 2014; 44(4): 423–428.
55. Travis SK, Pritchard HJ, Mujika I, Gentles JA, Stone MH, et al. Characterizing the Tapering Practices of United States and Canadian Raw Powerlifters. *Journal of Strength and Conditioning Research* 2021; 1;35(Suppl 2): S26-S35.
56. Travis SK, Zourdos MC, Bazylar CD. Weight Selection Attempts of Elite Classic Powerlifters. *Perceptual and Motor Skills* 2020; 128(1): 507-521.

57. Valenzuela KA, Walters KA, Avila EL, Camacho AS, Alvarado F, et al. Footwear Affects Conventional and Sumo Deadlift Performance. *Sports (Basel, Switzerland)*. 2021, 9(2): 27.
58. Van den Tillaar R, Andersen V, Saeterbakken AH. Comparison of muscle activation and kinematics during free-weight back squats with different loads. *PLoS ONE* 2019; 14(5): e0217044.
59. Vecchio LD Daewoud H, Green S. The health and performance benefits of the squat, deadlift and bench press. *MOJ Yoga and Physical Therapy* 2018; 3(2): 40-47.
60. Willick SE, Cushman DM, Blauwet CA, Emery C, Webborn N, et al. The epidemiology of injuries in powerlifting at the London 2012 Paralympic Games: An analysis of 1411 athlete-days. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 2015; 26(10): 1233–1238.

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Mihkel Kurvits,
(autori nimi)

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose

Jõutõstmise kolmevõistlusalade biomehaanilised iseärasused ja nende seos vigastuste riskiga:
süsteemaatiline ülevaade,
(lõputöö pealkiri)

mille juhendaja on

Mati Pääsuke,
(juhendaja nimi)

reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada digitaalarhiivi DSpace kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.

2. Annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace kaudu Creative Commons'i litsentsiga CC BY NC ND 3.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.

3. Olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

4. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

Mihkel Kurvits

22.05.2023