

TARTU ÜLIKOOL

Sporditeaduste ja füsioteraapia instituut

Mark Leinfeld

**Lihaste kontraktsioonijärgse potentseerumise efekti kasutamine
treeningprotsessis**

The application of postactivation potentiation in training process

Bakalaureusetöö

Kehalise kasvatuse ja spordi õppekava

Juhendaja:

Lektor, M. Viru (knd)

Tartu, 2018

SISUKORD

SISUKORD	2
KASUTATUD LÜHENDID	3
SISSEJUHATUS	4
1. LIHASTE KONTRAKTSIOONIJÄRGSE POTENTSEERUMISE(PAP) OLEMUS	5
1.1 Väsimus vs potentseerumine	5
1.2 Üksikkontraktsiooni uuringud	5
1.3 H-refleksi uuringud	7
1.4 Väsimuse ja potentseerumise koos eksisteerimine.....	8
2. PAPI KASUTAMINE KIIRUS-JÕUALADEL	10
2.1 Jõutreeningu kogemuse ja sportlase treenituse mõju PAPle	11
2.2 PH tüübi ja intensiivsuse ning sportlaste soo ja vanuse mõju PAPle.....	12
2.3 Kükkimise tehnika mõju PAPle	13
2.4 PH ja järgneva soorituse vahelise puhkepausi mõju PAPle	14
2.5 Harjutuste seeriade arvu mõju PAPle.....	15
2.6 PH ajal kasutatud kangiraskuse mõju PAPle.....	16
3. PAPI KASUTAMINE KERGEJÕUSTIKU TREENINGUS	17
3.1 PAP efekti kasutamine sprindijooksu tulemuste parandamiseks.....	17
3.2 PAP efekti kasutamine hüpete tulemuste parandamiseks.....	18
3.3 PAP efekti kasutamine heitealade tulemuste parandamiseks	20
3.4 PAP efekti kasutamine vastupidavusalade tulemuste parandamiseks	21
KOKKUVÕTE	23
KASUTATUD KIRJANDUS	25
SUMMARY	28
LISA 1	30
LISA 2	31

KASUTATUD LÜHENDID

PAP- (*post-activation potentiation*) lihaste kontraktsioonijärgne potentseerumine.

ÜP- (*twitch potentiation*) üksikkontraktsiooni potentseerumine.

MKAK- (*myosin light chain kinase*) müosiini kerge ahela kinaas.

PAL- (*post-activation depression*) postaktiivne langus.

PTP- (*post-tetanic potentiation*) post-tetaaniline potentseerumine.

MRKA- (*regulatory light chains of myosin*) müosiini reguleerivad kerged ahelad.

PH- (*conditioning activity*) potentseeriv harjutus.

KM- (*repetition maximum*) kordusmaksimum.

SISSEJUHATUS

Üheks olulisimaks kehaliseks võimeks tänapäeva spordis peetakse võimet produtseerida jõudu. Jõuvõimete suurendamine on kriitilise tähtsusega mitmete spordialade tulemuslikkusele (Wilson et al., 2013). Seega võivad kõik meetodid, millel on potentsiaali tõsta jõuvõimeid, otseselt mõjutada sportliku tulemust (Jeffreys, 2008). Idee, et maksimaalne või submaksimaalne lihaskontraktsioon võib tõsta sellele järgneva harjutuse jõu produktsiooni ning parandada järgneva soorituse taset, on pakkunud juba pikka aega huvi mitmetele teadlastele, sportlastele ning treeneritele (Seitz & Haff, 2016). Üks treeningmeetod, mis on olnud oma potentsiaalse jõuvõimeid tõstva olemuse tõttu paljude teadusuuringute keskmes, on lihaste kontraktsioonijärgne potenseerumine ehk PAP (Jeffreys, 2008). Lisaks kiirus-jõualadele on PAP efekti kasutamine näidanud ka tulemuste paranemist vastupidavusaladel (Sale, 2002).

Kuigi PAP efekti mõju sportliku saavutusvõime tõstmisele on näidanud mitmed uuringud (Sale, 2002; Hodgson et al., 2005; Jeffreys, 2008; Stone et al. 2008) on selle efekti kasutamine praktilises spordis piiritletud. Seda seetõttu, et mitmed uuringud on näidanud erinevaid tulemusi (Jefferys, 2008) ning PAP efekti ulatust mõjutavad mitmed faktorid (Seitz & Haff, 2016). Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks on uurida PAP mõju organismile ja saavutusvõimele ning välja tuua võimalused, kuidas kasutada PAP efekti kergejõustiku treeningus. Töö annab ülevaate PAP efekti füsioloogiast, kasutamisest kiirus-jõualadel, erinevatest PAP efekti mõjutavates tegurites ning PAP efekti kasutamisest kergejõustiklaste treeningus. Töö autorile pakkus teema huvi eelkõige kümnevõistlejate treeningu efektiivsemaks muutmise tõttu. Kuna enamike kümnevõistluse alade tulemuslikkus sõltub just kiirus- ja jõuvõimetest pakub selle teema uurimine võimalust muuta kümnevõistlejate treening ning võistluseelne soojendus efektiivsemaks. Töö võiks pakkuda huvi nii harrastus- kui tippsportlastele ning fitnessi- ja kergejõustikutreeneritele.

Märksõnad: kontraktsioonijärgne potenseerumine, sooritusvõime, jõutreening, kergejõustik.

Keywords: post-activation potentiation, performance, strength training, athletics.

1. LIHASTE KONTRAKTSIOONIJÄRGSE POTENTSEERUMISE(PAP) OLEMUS

1.1 Väsimus vs potentseerumine

Skeletilihase reageerimine tahtlikult esile kutsutud kontraktsioonile või elektrilisele stiimulile oleneb lihase varasemast aktivatsioonist. Lihase korduvad stimulatsioonid lühikese aja vältel tõstavad sellele järgneva lihaskontraktsiooni näitajaid, tekib potentseerumine (Rassier & Macintosh, 2000). On tõendeid, et lihase eelnev kontraheerumine võib aidata kaasa tahtlikult kontraktsiooni jõu suurenemisele. Seda efekti tuntakse lihase kontraktsioonijärgse potentseerumise (PAP) fenomenina (Sale, 2002). Kui aga korduvad stimulatsioonid jätkuvad pikema aja vältel, tekib väsimus ning stimulatsioonile järgneva lihaskontraktsiooni näitajad vähenevad. Kuna mõlemad efektid on lihase eelneva stimulatsiooni tulemus, võib oletada, et need kaks protsessi eksisteerivad, kodruvate stimulatsioonide ajal ning mõnda aega ka pärast seda, koos (Rassier & Macintosh, 2000). Selleks, et mõista kuidas need kaks mehhanismi saavad koos eksisteerida, tuleb kõigepealt aru saada, kuidas mõlemad protsessid toimivad.

Väsimuse mehhanismi seletamisel tuleb arvestada ka väsimust tekitanud stimulatsiooniga, sest sellel on oluline roll väsimuse tekkel. Kõikide järjestikuste protsesside tõrge, mis eelnevad lihase aktivatsioonile, võivad olla väsimuse tekke põhjuseks (Rassier & Macintosh, 2000). Kuid mehhanismid, mis takistavad jõu genereerimist pärast eelnevaid kontraktiilseid tegevusi tulenevad kas langenud kaltsiumi kontsentratsioonist müoplasmas või vähenenud kaltsiumi tundlikkusest (Allen et al., 2008). Vähenenud kaltsiumi tundlikus tuleneb peamiselt vähenenud pH tasemest ja anorgaanilise fosfaadi kontsentratsiooni tõusust (Rassier & Macintosh, 2000). Lisaks on täheldatud aktsioonipotsensiaali juhtivuse langust sarkolemmil ja T-torukeses (Allen et al., 2008).

Kaks olulisemat näitajat, millega mõõdetakse lihase võimekust, et hinnata eelneva kontraheerumise mõju jõu genereerimisele, on lihase üksikkontraktsiooni vastus (Sale, 2002) ja H-refleksi amplituud (Hodgson et al., 2005).

1.2 Üksikkontraktsiooni uuringud

Lihase üksikkontraktsioon (inglise keeles: *muscle twitch*) on lihase lühiajaline kontraktsioon, mille tekitab üksik või sünkroniseeritud aktsioonipotensiaal (Hodgson et al.,

2005). Üksikkontraktsiooni jõudu tõstab eelnevalt tehtud maksimaalne tahtlik kontraktsioon ning ka teised stiimulid (Hamada et al., 2000). Lisaks üksikkontraktsiooni jõu suurendamisele on võimalik läbi erinevate kontraktiilsete tegevuste (maksimaalne või submaksimaalne pingutus) tõsta ka kontraktsiooni jõu saavutamise kiirust ning vähendada maksimaalse jõu genereerimise aega, mida tuntakse üksikkontraktsiooni potentseerumisena (ÜP) (Sale, 2002). Üks arvatav moodus, kuidas ÜP toimib, on läbi müosiini reguleerivate kergete ahelate (MRKA) fosforüleerimise, mitmed uuringud on näidanud korrelatsiooni potentseerumise ulatuse ja MRKA fosforüleerimise vahel (Rassier & Macintosh, 2000). Fosforüleerimine toimib müosiini kerge ahela kinaasi (MKAK) kaudu. MKAK aktiveerub, kui kaltsiumi tase tõuseb. Teadaolevalt tõstab lihasaktivatsioon kaltsiumi kontsentratsiooni, MKAK aktiveerub ning MRKA fosforüülub. Fosforüülunud MRKA tõttu paraneb aktiini ja müosiini koostoime, muutes mõlemad valgud tundlikumaks sarkoplasmaatilisest retiikulumist vabanenud kaltsiumile ning suurendades ristsillakeste tekke kiirust (Hodgson et al., 2005; Rassier & Macintosh, 2000).

ÜP esilekutsumine ning potentseerumise ulatus läbi tahtliku kontraktsiooni oleneb kahest tegurist: kontraktsiooni intensiivsusest ning selle pikkusest (Hamada et al., 2000). ÜP ulatus pärast maksimaalset tahtliku kontraktsiooni oli kõige kõrgem 10 sekundilise pingutuse järel, kauem kestval pingutusel pärssis potentseerumist väsimuse teke. On leitud, et kontraktsioon, mis on alla 75% maksimaalsest tahtlikust kontraktsioonist, ei tekitata märgatavat potentseerumist. Seega tekitavad suurima ÜP maksimaalsed tahtlikud kontraktsioonid, mis kestavad umbes 10 sekundit (Hodgson et al., 2005).

ÜP ulatus on suurem kiiretes, II A ja II B tüüpi lihaskiududes, sest nendes toimub ulatuslikum fosforüleerimine müosiini kergetes ahelates. Samuti on ühes uuringus leitud, et kiirema üksikkontraktsiooni ajaga ning suurema arvu II A ja II B tüüpi lihaskiududega inimesed näitavad ka ulatuslikumat ÜPd (Hamada et al., 2000).

Kuid uurides ÜP seost kehaliste võimete kasvuga pole vähesed tehtud uuringud korrelatsiooni leidnud. On leitud, et 10 sekundilise maksimaalse pingutuse järel tekkinud väsimus ületab võimaliku potentseerumise kasu ning, et pärast 15 sekundilist puhkust, ei suurene maksimaalne kiirendus ning jõud dünaamilisel põlve sirutusel, vaatamata kõrgele ÜP tasemele (Hodgson et al., 2005). Kuid on tõendeid ning teoreetiliselt võimalik, et ÜP aitab, läbi maksimaalse jõu saavutamise kiirendamise, jõu- ja kiirusvõimeid tõsta (Sale, 2002).

1.3 H-refleksi uuringud

H-refleks on monosünaptiline refleks, mille kutsus esile Ia aferentse närvi elektriline stimulatsioon. Uuemad uuringud on näidanud, et vaid üks osa H-refleksist on monosünaptiline, mis välistab selle kasutamist α -motoneuroni erutuse mõõtmiseks. Kuigi seda kasutatakse tihti seljaaju refleksi hindamiseks, on oluline teada, et mitmed meetodilised probleemid võivad põhjustada H-refleksi valet tõlgendamist ning takistada selle kasutamist mõõtevahendina. Seetõttu tuleb uuringutes kasutada ka korrektseid vahendeid, et saavutada H-refleksi täpne tõlgendamine ning suhtuda uuringutesse, kus meetodikat täpselt ei jälgita, ettevaatlikult (Hodgson et al., 2005).

H-refleksis on täheldatud, pärast tahtliku aktivatsiooni, kahte peamist muutust: refleksi aktivatsioonijärgset langust (PAL) ning kontraktsioonijärgset potentseerumist, mida tuntakse ka refleksi potentseerumisena (Trimble & Harp, 1998). PALi tekitavad erinevad protsessid presünaptilises pilus, täheldatud on erinevate transmitterite vabanemise vähenemist (Hultborn et al., 1996). PAL tekib pärast lihase lõdvestumist ning olenevalt eelnevast kontraktsioonist kestab 10-60 sekundit või mõne minuti (Trimble & Harp, 1998).

H-refleksi potentseerumist, pärast Ia afferentse närvi elektrilist stimulatsiooni, mida tuntakse ka kui post-tetaaniline potentseerumine (PTP), on täheldatud lestlihases. Pärast stimulatsiooni tekib refleksi potentseerumine kiirelt ning kestab 1 kuni 16 minutit (Boxtel, 1986). PTP mehhanismi seostatakse presünaptilise kaltsiumi taseme tõusuga, mis suurendab neurotransmitterite vabanemist presünaptilisest pilust (Hodgson et al., 2005).

H-refleksi potentseerumist, pärast tahtliku aktivatsiooni on vähem uuritud kui PALi. Samas ütleb teooria, et kui suudetakse tahtliku aktivatsiooniga esile kutsuda mõningad tegurid, mis esinevad ka elektrilisel stimulatsioonil, näiteks kõrge mootorsete ühikute rekruteerimise arv, võib refleksi potentseerumine aset leida ka pärast tahtliku aktivatsiooni (Trimble et al., 1998). Trimble (1998) ja kaasautorid näitasid oma uuringus, et pärast tsüklilist kontsentriils-ekstsentrilist harjutust sääre kolmpealihasele, tekkis aktivatsiooni järgselt H-refleksi langus. PALi kestus oli 10-60 sekundit, millele järgnes märkimisväärne H-refleksi potentseerumine kaksik-sääremarjalihase lateraalses peas ning mõningal juhul potentseerumine ka lestlihases. Samade tulemusteni jõuti ka teises uuringus, kus analüüsiti H-refleksi muutusi kaksik-sääremarjalihases ja lestlihases, pärast maksimaalset isomeetrilist plantaarfleksiooni. Selles uuringus jagati osalejad kahte rühma ning täheldati, et mõlemal rühmal toimus koheselt pärast harjutust H-refleksi amplituudi langus, kuid ainult treenitud kiirus-jõualade sportlastel esines

pärast PALi H-refleksi potentseerumine, kuid treenimata kehalise kasvatuse tudengitel mitte (Güillich & Schmidtbleicher, 1996).

1.4 Väsimuse ja potentseerumise koos eksisteerimine

Kui arvestada teadaolevaid fakte, et väsimus tekib vähenenud kaltsiumi tundlikkusest ning potentseerumine suurenenud kaltsiumi tundlikkusest, oleks välistatud mõlema efekti koos eksisteerimine. Kuid on olemas mitmeid fenomene, mil väsimus ja potentseerumine koos eksisteerivad. Samuti on olukordi, kus väsimus ja potentseerumine eksisteerivad eraldi, kuid vähendavad üksteise mõju (Rassier & Macintosh, 2000).

Üks mehhanism, kus on näha väsimuse ja potentseerumise koos eksisteerimist on erinevate sagedustega stimulatsioonide vastuse lahknevus stimulatsiooni ajal tekkivale jõule. Olukorras, kus kõrge sagedusega stimulatsioonil tekkivat jõudu vähendab väsimus, kuid MRKA on fosforüleeritud, võib koos eksisteerida üksikkontraktsiooni jõu suurenemine ning kõrge sagedusega stimulatsiooni kontraktiilse vastuse vähenemine (Rassier & Macintosh, 2000). Rakin (1998) ja teised mõõtsid enda uuringus lestlihase ja pika varvaste sirutaja individuaalsete mootorsete ühikute üksikkontraktsiooni ja tetaanilist kontraktiilset vastust pärast mõõdukat tetaanilist kontraktsiooni. Leiti, et paljudes pika varvaste sirutaja mootorsetes ühikutes toimus üksikkontraktsiooni jõu suurenemine ning samal ajal tetaanilise kontraktsiooni vastuse vähenemine, mis on ilmne näide väsimuse ja potentseerumise koos eksisteerimisest.

Järgmine näide, kus väsimus ja potentseerumine koos eksisteerivad, on olukorras, kus lihas on juba väsimusseisundis ning seda aktiveeritakse sellisel viisil, mis kutsub esile potentseerumise. Macintosh (1993; 1996) ja kaasautorid mõõtsid enda uuringutes madala sagedusega väsimuse mõju jõu genereerimisele 10Hz stimulatsiooni või tetaanilise kontraktsiooni ajal. Uuringute tulemused näitasid, et väsimusseisundis lihases toimub üksikkontraktsiooni jõu tõus pärast madala sagedusega stimulatsioone (Macintosh et al., 1993) ning pärast tetaanilist kontraktsiooni (Macintosh et al., 1996). Samuti leiti, et aktivatsioonijärgne potentseerumine on korrelatsioonis MRKA fosforüleerimisega.

Üksikkontraktsiooni näitajaid saab iseloomustada ka ajaliste karakteristikute — kontraktsiooni aja ja poole lõõgastuse aja, kaudu. Väsimuse puhul suurenevad mõlemad näitajad, seega nende näitajate suurenemine pärast aktivatsioonijärgset potentseerumist on selge märk väsimuse ja potentseerumise koos eksisteerimisest. Aktivatsioonijärgne potentseerumine võib aset leida ka ilma kontraktsiooni- ja poole lõõgastuse aja vähenemiseta,

samas on mitmed uuringud näidanud, et PTP ajal suureneb mõlema näitaja ajaline pikkus, mis viitab väsimuse tekkele (Rassier & Macintosh, 2000).

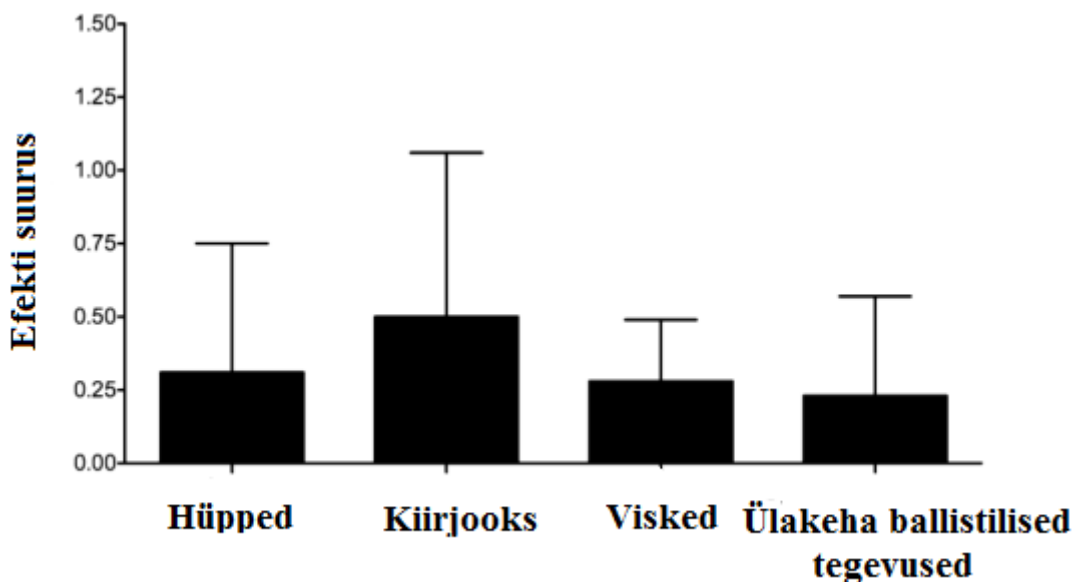
2. PAPI KASUTAMINE KIIRUS-JÕUALADEL

Võime genereerida jõudu on suurima tähtsusega näitaja enamikel kiirus-jõualadel ning määrab tihtipeale ka selliste spordialade tulemuse taseme. Arvestades seda on kõikidel meetoditel, mis tõstavad jõu produtseerimist, võimalus tõsta ka sportliku saavutusvõimet. Kuid enne, kui saab selliseid meetodeid sportlaste treeningutes kasutada, tuleb läbi viia põhjalikud uuringud, et teada saada meetodi potentsiaalne efekt ning selle optimaalne kasutamine. Üheks uurituimaks meetodiks, mis võib jõu produtseerimist tõsta on PAP (Jeffreys, 2008).

Nagu esimeses peatükis kirjeldatud on PAPI võimalik esile kutsuda läbi elektrilise stimulatsiooni, aga ka läbi eelneva tahtliku kontraktsiooni, mida nimetatakse potensteerivaks harjutuseks (PH) (Seitz & Haff, 2016). See idee on viinud erinevate treeningmeetodite väljatöötamiseni. Üks nendest on kompleksne treening ehk jõu-võimsus-potentseerumise kompleks, mis tähendabki jõu võimete kasvu erinevatel harjutusel, eelnevalt tehtud PH abil. Näiteks võib soorituse eelselt raske raskusega kükkimine kaasa tuua tulemuste paranemise vertikaalsetel hüpetel ja kiirjooksus (Stone et al., 2008). PH all mõeldakse harjutust, mille käigus toimub maksimaalne või sub-maksimaalne lihase kontraktsioon (Seitz & Haff, 2016).

Võimsust saab defineerida järgnevalt: $\text{võimsus} = \text{jõud} \times \text{liigutuse pikkus} / \text{liigutuse aeg}$. Seega peaks PAP mõjutama maksimaalse jõu genereerimist, jõu genereerimise kiirust, või mõlemat korraga. Uuringud on näidanud, et maksimaalne isomeetriline jõud ei tõuse PAPI käigus, samuti ei tõuse maksimaalne lihase lühenemise kiirus. Samas on ÜP uuringud näidanud tõusu üksikkontraktsiooni maksimaalses jõus, mille järgi võib eeldada, et PAP-il on vähene mõju maksimaalse jõu genereerimisele (Jeffreys, 2008). Väga selgelt on uuringud näidanud aga PAPI mõju jõu genereerimise kiiruse suurenemisele. See efekt esineb enim II B ja II A tüüpi lihaskiududes ning on seetõttu oluline tegevustes, kus jõu genereerimise kiirus on oluline tegur (Sale, 2002). Jõu genereerimise kiiruse kasvuga kasvab ka igasuguse liigutuse kiirus, mida demonstreerisid hästi Stone (2008) ja kolleegid, kes näitasid oma uuringus maksimaalse kiirenduse tõusu dünaamilistel harjutustel treninud jõutõstjatel, pärast suure raskusega reie keskkohast tehtud jõutõmmet (Joonis 1, vt. LISA 1).

Mitmed uuringud on näidanud sportliku soorituse tõusu läbi PAPI kasutamise. Seizi ja Haffi (2016) ülevaateartiklis leiti, et PAP efekti kasutamine soorituse parandamiseks on väiksem hüpetel, visetel ning ülakeha ballistilistel tegevustel ning suurem kiirjooksus (Joonis 2).



Joonis 2. PAP efekti kasutamise ulatus erinevatel tegevustel (Seitz & Haff, 2016 järgi).

Samas ei ole teised tehtud uuringud näidanud võimete kasvu ning on näidanud isegi soorituse langust pärast PAPI (Jefferys, 2008). Nende uuringute põhjal võib väita, et PAPI kasutamine soorituse parandamiseks on iga sportlase osas väga individuaalne ning oleneb mitmest tegurist (Seitz & Haff, 2016).

2.1 Jõutreeningu kogemuse ja sportlase treenituse mõju PAPile

Uuringud näitavad, et paremate jõuvõimete inimesed saavutavad suurema PAP efekti, kui nõrgema tasemega (Seitz & Haff, 2016). Samuti on leitud statistiliselt oluline erinevus PAP efekti ulatuses sportlaste, treenitud ja treenimata inimeste vahel, näidates, et sportlased saavutavad ulatuslikuma PAP efekti (Wilson et al., 2013).

Seitzi (2014) ja kaasautorite uuringus osales 18 professionaalset ragbi mängijat, kes jagati kahte rühma: heade jõuvõimete - 1 kordusmaksimum (KM) suurem või võrdne kahekordse kehamassiga; ja nõrgemad - 1 KM väiksem kui kahekordne kehamass. Uuritavad sooritasid soojenduse (5 minutit rattasõitu + dünaamilised soojendusharjutused), pärast seda puhati 2 minutit ning sooritati seejärel 3 üleshüpet poolkükki asendist. Seejärel puhati 10 minutit ning sooritati PH, milleks oli 1 seeria kükke, kus tehti 3 kordust 90%-ga 1 KM. Seejärel sooritati üleshüpped 15 sekundilise, 3, 6, 9 ja 12 minutilise puhkuse järel. Tulemused näitasid, et tugevamate grupp näitas ulatuslikumat PAPI efekti absoluutse ja suhtelise maksimaalse jõu genereerimisele ning üleshüppe kõrgusele 3, 6 ja 9 minutilise puhkuse järel kui nõrgemate grupp. Samade järeldesteni jõudsid ka teised autorid, kes uurisid potentseerumise mõju

erinevatele jõunäitajatele tõkkehüpete ajal, pärast tõusvate koormustega kükkimist (5 kordust 30%-ga 1KMat, 3 kordust 70%-ga 1KMat ja 3 kordust 90%-ga 1KMat). Tulemused näitasid, et ainult tugevamad inividid, kelle kükkimise 1KM oli suurem või võrdne nende kahekordse kehamassiga, saavutavad potentseerumise efekti (Ruben et al., 2010).

Sellist nähtust võib seletada sellega, et tugevamatel isikutel eksisteerib rohkem IIA ja IIB tüüpi lihaskiude, milles toimub ulatuslikum MRKA fosforüleerumine. Lisaks võib tugevamatel isikutel olla paremini arenenud vastupanu väsimusele submaksimaalsel pingutusel (Hamada et al., 2000). Eelnev jõutreeningu kogemus mõjutab PAPI järgnevalt: isikud, kellel puudub eelnev jõutreeningu kogemus, on üldiselt ka nõrgemad ning ei suuda näidata nii kõrget jõu genereerimise taset ning seetõttu on neil ka PAPI efekt väiksem (Seitz & Haff, 2016).

2.2 PH tüüpi ja intensiivsuse ning sportlaste soo ja vanuse mõju PAPIle

Uuringud näitavad, et plüomeetriselised harjutused ning kõrge intensiivsusega PHd tekitavad suurema PAP efekti kui mõõduka intensiivsusega ja maksimaalsed isomeetriselised PHd (Seitz & Haff, 2016).

Uuringus, kus jälgiti erinevate soojenduste mõju hüppevõimele, kinnitati ka eelnevat väidet. Osalejateks olid 12 treenitud võrkpalli mängijat, kes sooritasid pärast standardset soojendust erinevad hüppevõimet näitavad testid, mille tulemused registreeriti elektroonilise matiga. Uuringu tulemused näitasid, et sügavushüpete, mida tehti 20.,40. ja 60.cm kõrguselt ning kus eesmärgiks oli koosjalu maksimaalselt kõrgele hüpata, kõrgus kasvas rohkem pärast lisaraskusega viite hüpet(kõrguse tõus 4,18%), mida tehti 3 seeriat ning pärast spetsiifilist võrkpallurite soojendust, mis koosnes neljast plüomeetrisest harjutusest (tõus 4,49%). Vähem kasvas sügavushüppe kõrgus pärast kangiga kükkimist, kus tehti: 4 kordust 80% 1KMst, mida tehti 2 seeriat ja 2 kordust 85% 1KMst, mida tehti samuti 2 seeriat (tõus 2,98%). Seega võib väita, et plüomeetriselised harjutused kutsuvad esile ulatuslikuma PAPI efekti kui traditsioonilised jõuharjutused. Ühe seletusena võib oletada, et plüomeetriselised harjutused haaravad töösse rohkem IIB tüüpi lihaskiude ning tekitavad seetõttu ka suurema PAP efekti (de Villarreal et al., 2007). Samuti võivad plüomeetriselised harjutused tekitada väiksema väsimuse kui intensiivsed jõuharjutused, mille tulemusena tõuseb potentseerumine ja väheneb maksimaalse PAP tasemeni jõudmise aeg (Seitz & Haff, 2016). Samas uuringus täheldati, et pärast kõrge intensiivsusega jõuharjutusi, säilisid paranenud hüppevõime näitajad ka pärast pikka, 6. tunnist puhkust, kuid mitte pärast plüomeetriselisi harjutusi (de Villarreal et al., 2007).

Nii pikk PAP efekti pikkus erineb suuresti teiste uuringutega, kus PAP efekti kestvus oli tunduvalt lühem.

Kõrgema intensiivsusega PH mõju suurema PAP efekti esile kutsumiseks tõestasid Fukutani (2014) ja tema kolleegid. Nende uuringus osales 8 jõutõstjat, kellel lasti teha kahe erineva intensiivsusega PHd. Intensiivne PH koosnes kükkimisest, mida tehti järgnevalt: 5 kordust 45% 1KMst, 5 kordust 60% 1KMst, 3 kordust 75% 1KMst ja 3 kordust 90% 1KMst. Vähem intensiivseks PHks valiti samuti kangiga kükkimine, mida tehti järgnevalt: 5 kordust 45% 1KMst, 5 kordust 60% 1KMst ja 3 kordust 75% 1KMst. Enne ja pärast PHd tegid vaatlusalused 3 hüpet poolkükki laskumisega (Joonis 3, vt. LISA 2). Mõlema PH puhul kasvas üksikkontraktsiooni jõud ning hüppe kõrgus, kuid inetnsiivsema PH puhul olid mõlemad näitajad suuremad kui vähem intensiivsema PH puhul, millest järeldati, et intensiivsemad PHd kutsuvad esile ulatuslikuma PAP efekti. Sarnaseid tulemusi on näidatud ka ülakeha lihaste osas, kus rinnalt surumise PH, mida sooritati 87% 1KMi juures näitas sellele järgneva ülakeha ballistilise soorituse juures paremaid tulemusi kui 30% 1KMi juures tehtud rinnalt surumine (West et al., 2013). PAP efekti suuremat ulatust intensiivsematel koormustel saab seletada suurema hulga II tüüpi mootorsete ühikute rekruteerimisega (Seitz & Haff, 2016).

Wilsoni (2013) ja kolleegide poolt tehtud ülevaateuuringus ei leitud statistilist erinevust PAPI esilekutsumisel meeste ja naiste vahel. Kuna kõikides, autorile teadaolevates uuringutes, mis on tehtud PAPI kohta, on osalenud vaid nooremad inimesed (kuni 35 eluaastani), ei saa teha mingeid järeldusi vanuse mõju kohta PAP efekti esile kutsumisel.

2.3 Kükkimise tehnika mõju PAPIle

Traditsiooniliselt kasutatakse PAP esile kutsumiseks PHna kükkimist. Uuemad uuringud on aga näidanud, et ka kükkimise sügavusel on samuti mõju PAPI efekti ulatusele. Seitz ja Haff (2016) väidavad oma ülevaateuuringus, et väiksem kükkimise sügavus kutsub esile suurema PAP efekti kui sügavam kükk. Selline väide läheb aga vastuollu teise uuringuga, kus analüüsiti kükki laskumisega üleshüpete tulemuste paranemist pärast veerand- ja poolkükki. Uuringus osales 27 ragbi mängijat, kes sooritasid enne ja pärast PHd poolkükki laskumisega üleshüppe. PHks oli kas veerand- või poolkükki, mida tehti 3 kordust 3KMi raskuse juures. Mõlemad harjutused kutsusid esile PAP efekti ja üleshüppe näitajate suurenemise, kuid näitajad pärast poolkükki olid paremad kui veerandkükil (hüppe kõrgus: $4,6 \pm 2$ cm vs $3,5 \pm 2$ cm; maksimaalne võimsus: 285 ± 109 W vs 215 ± 96 W) (Esformes & Bampouras, 2013).

Põhjus kahe erineva arvamuse vahel seisneb jällegi isiku jõu näitajates. Kükkimise sügavuse mõju PAP efekti ulatusele oleneb suuresti indiviidi tugevusest. Kuna sügavam kükkimise ajal on ka pingutuse aeg pikem, tekitab see ka rohkem väsimust, seda eriti nõrgematel inimestel. Tugevatel, kellel on suurem vastupanu väsimusele, tekib pool- ja veerandküki ajal sarnasel tasemel väsimus (Seitz & Haff, 2016). Seega on mõlemad arvamused õiged: veerandkukk kutsub esile ulatuslikuma PAP efekti nõrgematel ja vähem treenitud inimestel, sügavamad kükid aga tugevamatel.

2.4 PH ja järgneva soorituse vahelise puhkepausi mõju PAPile

Selleks, et saada maksimaalset kasu PAPst kiirus-jõu aladel ning hinnata selle mõju paranenud võimetele, tuleb arvestada PH mõju. Suurim potentseerumine leiab aset kohe pärast PHd, ühelt poolt on see ajaperiood, mil tekib suurim PAP, teiselt poolt pole see aga aeg, mil toimub suurim tõus võimekuses. Seda seetõttu, et koheselt pärast harjutust on ka väsimus kõige suurem. PAPI ja väsimuse ulatus sõltub PH olemusest ning samuti sportlase võimekusest. Kui sooritada intensiivne PH, on ka potentseerumine suurem, kuid samamoodi on suurem ka väsimus. Madalama intensiivsusega PH tekitab vähem väsimust, kuid samas on ka potentseerumine väiksem. Sama kehtib ka PH ja sellele järgneva harjutuse ajalise vahe kohta: mida suurem aeg PH ja harjutuse vahel, seda suurem taastumine väsimusest, kuid teiselt poolt tekib suurem potentseerumise vähenemine. Seetõttu tuleks prima PAPI kasutamise aja määramiseks individuaalsel sportlasel kasutada katse-eksituse meetodit (Jeffreys, 2008).

PAP efekti kasutamiseks soorituse parandamisel peaks PHle järgnev tegevus toimuma vähemalt 30 minuti jooksul. Kui sooritus toimub hiljem ei ole potentseerumine enam piisav soorituse tõstmiseks (Rixon et al., 2007). Uuringud näitavad, et pikemad puhkepausid kutsuvad esile ulatuslikuma PAP efekti kui lühemad. Wilsoni (2013) ja kolleegide andmed näitavad, et potentseerumine on ulatuslikum pärast 3-7 ja 7-10 minutilist puhkepausi kui pärast puhkepausi, mis kestis alla 2 minuti. Seda leidu saab põhjendada väsimuse ja potentseerumise koos eksisteerimisega: lühemate puhkepauside puhul on väsimus domineeriv, vähendades PAP efekti ning pikemate puhkepauside ajal väsimus väheneb ning potentseerumine hakkab domineerima (Rassier & Macintosh, 2000).

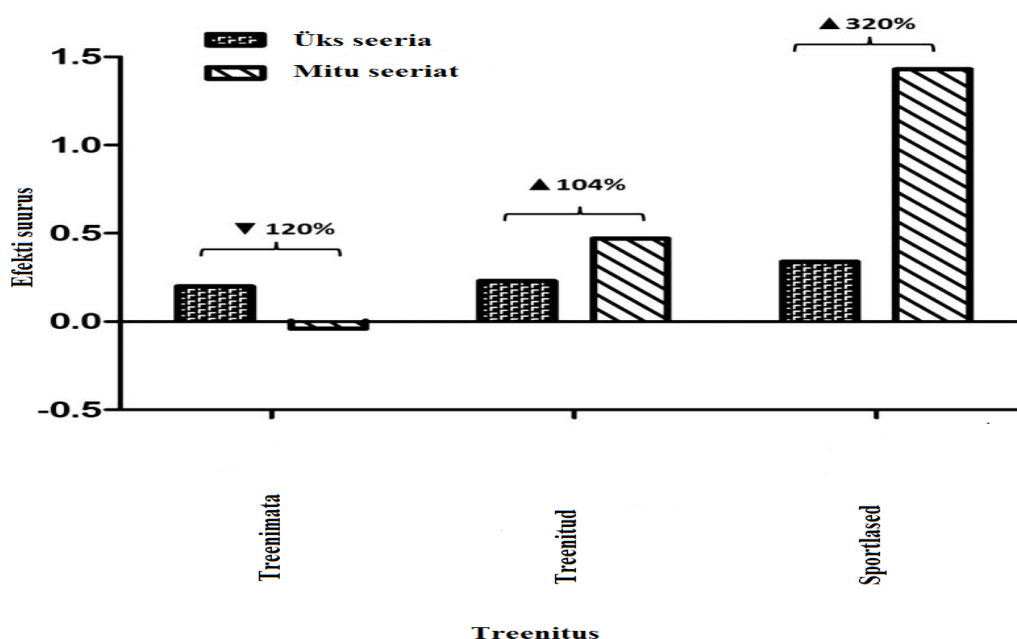
Parim PAP efekti realiseerimise ajavahemik sõltub ka PH tüübist. Tobin ja Delahunt (2014) näitasid oma uuringus, et plüomeetrilised harjutused kutsuvad esile sarnase üleshüppe tulemuste paranemise, mis rasked jõuharjutused, kuid seda oluliselt lühema puhkepausi järel.

Nende uuringus oli PAP efekti ulatus suurim pärast 1 minutilist puhkust. Ülevaateartiklid väidavad, et suurim PAP efekt tekib 0,3-4 minutit pärast plüomeetrilist PHd ning 5 minutit pärast traditsioonilisi kõrge- ja/või madala intensiivsusega PHd (Seitz & Haff, 2016; Wilson et al., 2013).

Lisaks PH tüübile sõltub optimaalne PAP efekti kasutamise vahemik ka jõu näitajatest. Parema jõuvõimekusega inimesed näitavad suurimat PAP efekti ulatust 5-7 minutit pärast PHd, nõrgemad vajavad aga vähemal 8 minutilist puhkepausi (Seitz & Haff, 2016). See väide ühtib Seitzi (2014) ja kolleegide uuringuga, kes näitasid, et tugevamatel isikutel esineb suurim PAP efekt 6. minutilise ning nõrgematel 9. minutilise puhkepausi järel.

2.5 Harjutuste seeriade arvu mõju PAPle

Mõlemad ülevaateuuringud väidavad, et mitme seeriaga PHd kutsuvad esile ulatuslikuma PAP efekti kui ühe seeriaga PHd. Samas on uuringute järgi selline leid suuresti mõjutatud treenituse poolt (Seitz & Haff, 2016; Wilson et al., 2013). Vähesel treenitusega inimesed näitasid 120%-st jõuvõimete langust mitme seeriaga PHd sooritades, võrreldes ühe seeria PHga. Treenitud isikud näitasid aga 104% ning sportlased 320% paremaid jõuvõimeid pärast mitme seeriaga PHd, võrreldes ühe seeria PHga mis on välja toodud ka joonisel 4 (Wilson et al., 2013).



Joonis 4. Ühe versus mitme seeria mõju jõule treenimata ja treenitud isikutel ning sportlastel (Wilson et al., 2013 järgi).

Pidev jõutreening parandab läbi puhverduvõime ja lihaskahjustuste vastupanuvõime tõusu ka vastupanuvõimet väsimusele. Seega ületab väsimus vähem treenitud inimestel PAP efekti kui sooritatakse mitme seeriaga PH. Treenitud isikutel on aga väsimuse vastupanuvõime suurem ning PAP efekti suurenemine, sooritades mitu seeriat, domineerib väsimuse üle (Wilson et al., 2013).

2.6 PH ajal kasutatud kangiraskuse mõju PAPle

Seitzi ja Haffi (2016) ülevaateuuring leiab, et 1KM lähedased raskused tekitavad ulatuslikuma PAP efekti kui submaksimaalsed raskused. Nii nagu seeriade arv on ka kasutatud raskuse efekt PAPi tekkele mõjutatud inimese treenituse poolt. PAP efekt on treenitud isikutel ulatuslikum pärast 1KM lähedase raskuse kasutamist kui submaksimaalsete raskuste korral. Treenimata inimesed näitavad suuremat PAP efekti pärast submaksimaalsete raskustega sooritatud PHd. Seda seetõttu, et submaksimaalsed raskused tekitavad ka vähem väsimust ning PAP efekt domineerib. Tugevamad isikud suudavad aga suurte koormustel väsimuse tekkele paremini vastu pidada ning PAPi ulatus, tänu suurema arvu II tüüpi motoorsete ühikute rekruteerimisele, tõuseb.

3. PAPI KASUTAMINE KERGEJÕUSTIKU TREENINGUS

Mitmed uuringud on näidanud, et PAP efekti kasutamine kiirus-jõualadel, milleks on ka enamik kergejõustiku alasi, parandab soorituse taset. Samuti on leitud, et PH sooritamine vahetult enne sprindijooksu, hüppeid ning viskeid parandab sportlase tulemust (Seitz & Haff, 2016). Samas on mitmete uuringute tulemused üksteisega vastuolus.

3.1 PAP efekti kasutamine sprindijooksu tulemuste parandamiseks.

Uuringud sprindijooksu tulemuste parandamise kohta läbi PAP efekti on näidanud erinevaid tulemusi. Crewther (2011) koos kolleegidega analüüsis oma uuringus 9 treenitud meessoost ragbimängija testide tulemuste dünaamikat pärast kükkimist. Testideks olid: poolkükki laskumisega üleshüppe; 5. ja 10. meetri sprint; ning 100 kilogrammise kelgu lükkamine. Pärast ühte seeriat kükkimist raskusega 3KM näitasid testide tulemused, et statistiliselt oluline erinevus leiti üleshüppe tulemuste paranemises (tulemuse paranemine $6,4 \pm 2,1\%$), kuid mitte 100 kilogrammise kelgu lükkamises ($1,4 \pm 0,6\%$) ning 5. ($2,6 \pm 1,0\%$) ja 10. meetri ($1,8 \pm 1,0\%$) sprindi testides.

Tihti kasutatakse PAPi esile kutsumiseks kükkimise harjutusi, mis ei pruugi aga olla parim variant. Võib oletada, et kükkimine parandab rohkem nende harjutuste tulemust, mille biomehaanilised karakteristikud on kükiga sarnased, näiteks üleshüppeid poolkükki laskumisega, kuid vähem teistsuguste liikumismustritega harjutusi, näiteks kiirjooksu (Crewther et al., 2011). Seega võiksid sprindile biomehaaniliselt sarnasemad PHd siiski selle harjutuse tulemust parandada, mida on kinnitanud ka mitmed uuringud.

Uuringus, milles jälgiti küki ja rinnalevõtu mõju lihaste potentseerumisele, näitas, et rinnalevõtt parandab oluliselt rohkem 20m sprindijooksu aega (protsentuaalne kasv $3,05\% \pm 1,08\%$) kui kükkimine ($2,16\% \pm 1,07\%$). Samuti oli statistiliselt oluline erinevus rinnalevõtu ja küki vahel, jälgides kiiruse ($3,22\% \pm 1,15\%$ vs $2,25\% \pm 1,11\%$) ja kiirendusvõime ($6,61\% \pm 2,36\%$ vs $4,59\% \pm 2,26\%$) näitajaid, kus rinnalevõtu kasutamine tagas paremad tulemused. Uuringu autorid seostasid sellised tulemused sprintimise kinemaatikaga, väites, et rinnalevõtul avaldub jõud suurematel kiirustel ning seetõttu on see kiirjooksule lähedasem harjutus (Seitz et al., 2014). Sellest uuringust võib järeldada, et sellised harjutused nagu rinnalevõtt ja rebimine on paremad PAP efekti esilekutsujad kiirusaladel, kui harjutused, milles avalduvad suured jõud aeglasemal liigutusel, näiteks kükil.

Smithi (2014) ja kolleegide uuringus osalesid 24 treenitud meest ja naist, kes sooritasid enne ja pärast PHd 40 jardi sprindi testi. PHks kasutati kiirjooksu kelguga nelja erineva raskusega: vastavalt 0%, 10%, 20% ja 30% kehamassist. Tulemused näitasid, et osalejate 40 jardi sprindi ajad paranesid 2,14% pärast 0%-se raskusega, 1,21% pärast 10%-se raskusega, 2,11% pärast 20%-se raskusega ja 2,24% pärast 30%-se raskusega kelguga jooksu.

Chatzopoulos (2007) ja kaasautorid näitasid, et 90% 1KM juures tehtud poolkükki toob siiski kaasa tulemuste paranemise 30 meetri paigalt lähtest kiirjooksul. Keskmine 30 meetri aja paranemine pärast viie minutilist puhkust oli $0,08 \pm 0,01$ sekundit. Autorid järeldasid tulemustest, et rasket jõutreeningut saab hästi kombineerida maksimaalse kiiruse arendamisega samal treeningtunnil.

Kuigi sprindijooksu aegade parandamine eelnevalt tehtud jõuharjutuste abil on näidanud tulemuste paranemist, ei pruugi reaalses võistlusolukorras olla see väga praktiliselt kasutatav ning vajalik inventar ei pruugi olemas olla igal staadionil. Ferreira-Júnior (2018) uuris oma kolleegidega erinevate PHde mõju 100 meetri jooksu tulemustele. Uuringus osales 11 meessoost noort (keskmine vanus 16,3 aastat) kergejõustiklast. Osalejad sooritasid 100 meetri jooksu pärast seitsme minutilist puhkust PHst. PHks olid: 2 seeriat 20 meetrist sprinti; 2 seeriat 20 meetrist ekspanderkummi vastupanuga sprinti; ning lisaraskusega (10% kehamassist) plüomeetrilised harjutused (10 jalalt-jalale sammhüpet). Võrreldes kontrolltestiga (100m sprindi aeg $12,40 \pm 0,52$ sekundit) paranesid 100m sprindi ajad pärast vastupanuta sprinte (100m sprindi aeg $12,29 \pm 0,46$ sekundit) ja plüomeetrilisi harjutusi (100m sprindi aeg $12,29 \pm 0,45$ sekundit), kuid statistiliselt oluliselt paranes 100m jooksu aeg vaid pärast vastupanuga sprinte (100m sprindi aeg $12,24 \pm 0,53$ sekundit). Seega on vastupanuga sprindid hea vahend kutsumaks esile PAP efekti noortel kergejõustiklastel.

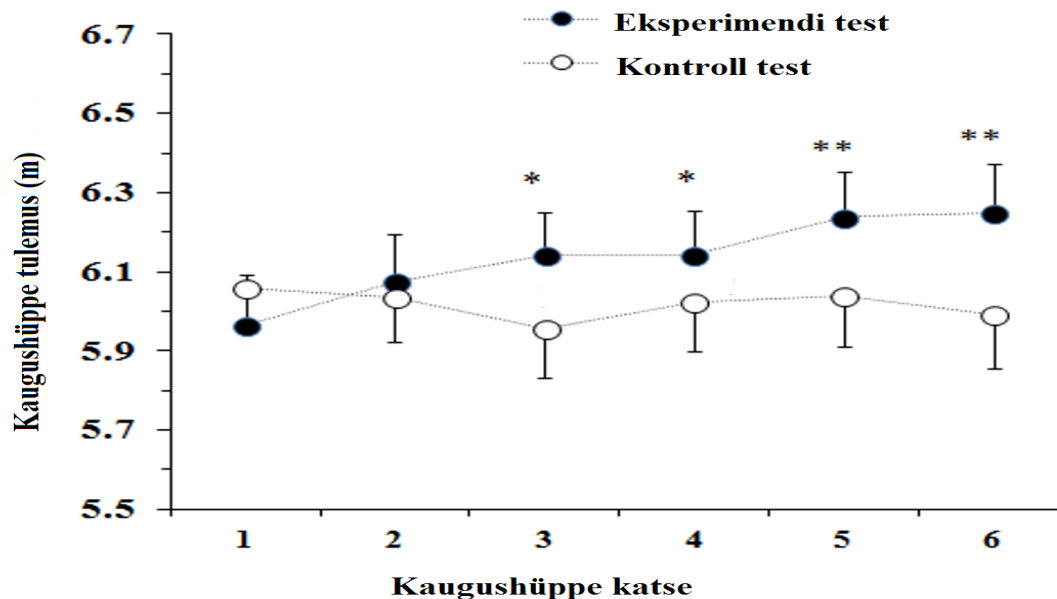
Arutelus leidsid autorid, et teistes uuringutes, kus on kasutatud plüomeetrilisi harjutusi ning vastupanuta sprinte kiirjooksu tulemuste parandamiseks, osalesid rohkem treenitud sportlased. Autorid järeldasid, et tehtud harjutused polnud piisavalt intensiivsed, et haarata töösse suurt hulka II tüüpi motoorseid ühikuid ning seetõttu ei kutsunud esile piisavalt ulatusliku PAP efekti (Ferreira-Júnior et al., 2018).

3.2 PAP efekti kasutamine hüpete tulemuste parandamiseks

Nagu eelnevalt mainitud on mitmed uuringud näidanud tulemuste paranemist poolkükki laskumisega tehtud üleshüpetel peale suure raskusega tehtud kükkimise harjutust (de Villarreal

et al., 2007; Crewther et al., 2011; Fukutani et al., 2014). Suure raskusega kükkimine parandab vertikaalsete hüpete tulemust 3-5% ning hüppevõimete näitajaid, samuti võib paraneda kiirjooksu tulemus 0,87- 5%. Kuna enamikel kergejõustiku hüppealadel on hea tulemuse saavutamiseks vaja mõlemat, kiiret hoojooksu ning suurt vertikaalset väljalennu kiirust, võib järeldada, et kergejõustikualade hüpete tulemust saab läbi PAP efekti esile kutsumise parandada (Bogdanis et al., 2017).

Bogdanis (2017) tõestas koos kolleegidega eelnevat väidet kaugushüppe näitel. Nende uuringus osales 8 rahvuslikul tasemel kümnevõistlejat, kes sooritasid kokku 6 kaugushüppe katset, iga katse vahele jäi 10. minutiline puhkepaus. Kontrolltestis sooritasid osalejad katse vahel 7. minutilise aktiivse taastumise protseduuri, mis koosnes dünaamilistest venitustest, kahest 15 meetri jooksust ja hüppetehnika imiteerimisest ning valmistusi seejärel katseks. Eksperimendi testis sooritasid osalejad plüomeetrilise harjutuse 7. minutil, milleks oli 3 koosjalu pörkega üleshüpet maksimaalse pingutusega, ning valmistusi seejärel katseks. Mõlema testi puhul võrreldi tulemusi esimese kaugushüppe katse tulemusega. Uuringu tulemused näitasid, et eksperimendi testis kasvas tulemus oluliselt alates kolmandast katsest, kolmas katse oli keskmiselt 3% ehk 17,5 cm parem kui esimene. Tulemuse paranemine suurenes järk-järgult jõudes kuuendaks katseks keskmiselt 4,8% ehk 28,2 sentimeetrit. Kaugushüppe tulemus kontrolltestis ei muutunud katsete jooksul (Joonis 5). Kaugushüppe tulemuste paranemist seostati suurema vertikaalse kiirusega äratõukel. Autorid järeldasid, et pikk puhkepaus katsete vahel, mis on tavaline võistlusolukorras, on hea võimalus, läbi plüomeetriliste harjutuste, parandada järgneva katse tulemust.



Joonis 5. Kaugushüppe tulemused kontroll ja eksperimendi testides (Bogdanis et al., 2017 järgi). *: $P < 0,05$; **: $P < 0,001$ – oluliselt erinev algsest mõõtmisest.

3.3 PAP efekti kasutamine heitealade tulemuste parandamiseks

Peamine jõuliik, mis mõjutab kergejõustiku heite- ja viskealade tulemust on plahvatuslik jõud (Judge et al., 2016). PAPi peamine mõju tulemuste paranemisele tuleneb peamiselt jõu genereerimise kiiruse suurenemisest ning seega plahvatusliku jõu näitajad paranevad (Sale, 2002). Seega on väga reaalne, et läbi PAP efekti saab kergejõustiku heite- ja viskealade tulemust parandada, mida on uuringud ka kinnitanud.

Üheks liigutuslikult sarnasemaks harjutuseks kergejõustiku heitealadele peetakse kahe käega kuuliheidet üle pea taha, sest harjutuse tegemisel on liikumise ulatused, liigesnurgad ning liigutuskiirused vägagi sarnased tervik heidetele ning seetõttu võib seda seostada ka heidete, eelkõige kuulitõuke, tulemustega (Judge et al., 2016). Ka tänapäeva heitjate hulgas on tavaline, et enne võistlust sooritatakse spetsiifilised harjutused, et parandada järgnevat sooritust. Üheks populaarseimaks harjutuseks ongi kahe käega kuuli heited ette ja taha (Terzis et al., 2009).

Seega peaks selliste harjutuste sooritamine kaasa tooma PAP efekti ja tulemuste paranemise. See idee pakkus huvi Judgeile (2016) ja kolleegidele, kes püstitasid hüpoteesi, et raskete vahendite heitmine peaks esile kutsuma PAP efekti ning parandama nendele järgnevat sooritust. Antud uuringus osales 41 treenitud tudengit (23 meest ja 18 naist), kes sooritasid 3 kahe käega kuuliheidet üle pea taha pärast kergete ja raskete kuulide heitmist. Iga test algas

soojendusega, millele järgnes kolme raskusega kuuli heited taha: kontrollraskuseks oli võistluskuuli raskus (7,260 kg meestel ja 4 kg naistel), kergeks raskuseks kasutati 1 kg kergemat ning raskeks raskuseks 1 kg raskemat kuuli. Tulemused näitasid, et raskete kuulide heidetega soojendus, aitas kõige rohkem kaasa järgnevate heidete tulemuse tõusule (järgnevate heidete keskmine tulemus 14.39 ± 1.82 m), sellele järgnes kergete kuulidega tehtud soojendus ($14,18 \pm 1,68$ m) ning kolmandana kontrollraskusega kuulidega läbi viidud soojendus ($14,15 \pm 1,70$ m). Seega toob raskete raskuste heitmine kaasa PAP efekti ning treenitud tudengitel kahe käega kuuliheite üle pea taha ning eeldatavalt ka kergejõustiku heitealade tulemuste paranemise. PAP efekti heitjatel kutsuvad esile ka sügavushüpped, mida tõestas Terzis (2009) kolleegidega, kes täheldasid kuuliheite alt ette tulemuste paranemise pärast viite sügavushüpet 40. cm kastilt alla. Heidete tulemused: $8,25 \pm 1,1$ m (kontrollgrupp) vs. $8,63 \pm 1,3$ m (sügavushüpete grupp).

Kuigi Judgei (2016) ja kolleegide uuring näitas, et raskete raskuste heitmine soorituse eelselt parandab tulemuse ning lihasvõimsuse taset, leidub heidete rütmi ja ajastuse tõttu ka teisi arvamusi. Nimelt arvavad mitmed treenerid, et rasked raskused mõjuvad negatiivselt heidete rütmile ning äraheite ajastusele, mida peaksid aga parandama kergete raskustega heited. Seega ei tasuks välistada ka kergete raskustega soojenduse tegemist.

3.4 PAP efekti kasutamine vastupidavusalade tulemuste parandamiseks

Mitmed uuringud on näidanud, et PAP efektil on mõju kiirus-jõualade tulemuslikkuse parandamisel, kuid PAP efekti roll vastupidavus aladel on saanud oluliselt vähem tähelepanu (Boullosa et al., 2018). Seda selle tõttu, et PAP efekt kestab suhteliselt lühiajaliselt ning tõstab eelkõige jõuvõimeid ning on suurim IIA ja IIB tüüpi lihaskiududes (Seitz & Haff, 2016). Samas on mõned uuringud näidanud sarnasel tasemel MRKA fosforüleerimist nii kiiretes kui aeglastes lihaskiududes. Nagu eelnevalt mainitud oleneb PAP efekti ulatus ka väsimuse ja potentseerumise vahekorra. Kuna aga aeglastes lihaskiududes tekib väsimus aeglasemalt on tõenäoline, et vastupidavussportlased suudavad näidata ulatuslikumat PAP efekti, sest väsimuse teke pole nii ulatuslik (Boullosa et al., 2018). Seda silmas pidades näitasid Mettler & Griffin (2012), et maksimaalse potentseerumiseni jõudmise aeg vähenes intensiivsuse suurenedes vastupidavussportlastel ning järeldasid, et vastupidavusalade sportlased näitavad suuremat jõu produtseerimise kasvu pärast kauem kestvate submaksimaalset pingutust.

Seega võiks PAP efektist olla kasu vastupidavusalade tulemuste parandamiseks, mida on kinnitanud ka mõned uuringud. Silva-Junior (2014) näitas koos kolleegidega 20.km rattasõidu

aegade paranemist kui soojendusele lisati neli seeriat 5KM-ga tehtud jalapress. Tulemuste paranemist seostati paranenud ökonoomsusega ning suurema jõu produtseerimisega esimesel 10%-l distantsist. Nagu mainitud, kestab PAP efekt pärast PHd üpris lühikest aega, seega võib selle positiivseid mõjusid vastupidavusaladel näha esimeste minutite jooksul ning sobib seetõttu paremini lühikest aega kestvatele vastupidavusaladele, näiteks keskmaajooksule (Boullosa et al., 2018).

Samuti jõudis Boullosa (2018) koos kolleegidega oma ülevaateartiklis järeldusele, et submaksimaalne vastupidavustöö ise võib pikematel distantsidel, läbi PAP efekti esile kutsumisele, osutada vastupanu väsimuse tekkimisele ning parandada seeläbi tempo hoidmist ja energiatootmise mehhanismide efektiivsust.

KOKKUVÕTE

Üks treeningmeetod, mis on olnud oma potentsiaalse jõuvõimeid tõstva olemuse tõttu paljude teadusuuringute keskmis, on lihaste kontraktsioonijärgne potenseerumine ehk PAP. Lisaks kiirus-jõualadele on PAP efekti kasutamine näidanud ka tulemuste paranemist vastupidavusaladel.

Skeletilihase reageerimine tahtlikult esile kutsutud kontraktsioonile või elektrilisele stiimulile oleneb lihase varasemast aktivatsioonist. Lihase korduvad stimulatsioonid lühikese aja vältel tõstavad lihaskontraktsiooni näitajaid, tekib potenseerumine. Kui aga korduvad stimulatsioonid jätkuvad pikema aja vältel, tekib väsimus ning lihaskontraktsiooni näitajad vähenevad. Väsimuse tekke põhjusteks peetakse peamiselt langenud kaltsiumi kontsentratsiooni müoplasmas või vähenenud kaltsiumi tundlikkust. Potentseerumise põhiliseks mehhanismiks peetakse MRKA foforüülumist, mille tõttu paraneb lihasvalkude aktiini ja müosiini koostoime, muutes mõlemad valgud tundlikumaks vabanenud kaltsiumile ning suurendades ristsillakeste tekke kiirust. Teine arvatav mehhanism toimib läbi H-refleksi potenseerumise, mida tuntakse ka kui post-tetaaniline potenseerumine.

PAP efekti kasutamine praktilises spordis on piiritletud, sest mitmed uuringud on näidanud erinevaid tulemusi. PAPI kasutamine soorituse parandamiseks oleneb mitmest tegurist. Paremate jõuvõimetega inimesed ning sportlased näitavad suuremat PAP efekti kui treenimata isikud. PAP efekti ulatus sõltub ka PH tüübist ja intensiivsusest, näidates, et plüomeetrilised ja intensiivsemad harjutused kutsuvad esile suurema PAP efekti, kõrgeim potenseerumine toimub 0,3-4 minutit pärast plüomeetrilist PHd ning 5 minutit pärast traditsioonilisi kõrge- ja/või madala intensiivsusega PHd. Ka kükkimise tehnika mõjutab PAPI: sportlased näitavad suuremat PAP efekti pärast poolkükke, treenimata isikud aga pärast veerandkükke. Sportlased saavutavad suurema PAP efekti pärast 1KMi lähedaste raskuste ja mitme seeriaga PHd, treenimata isikud aga pärast submaksimaalsete raskuste ning ühe seeriaga PHd.

PAP efekti saab hästi kasutada kergejõustiku treeningus. Uuringud on näidanud, et läbi PAP efekti saab parandada kiirjooksu-, hüppe-, heite- ja vastupidavusalade tulemusi. Kiirjooksu tulemusi parandavad rohkem sprintimisele biomehaaniliselt sarnasemad PHd, näiteks rinnalevõtt ja rebimine, hüpete tulemusi saab hästi mõjutada plüomeetriliste harjutustega. Heidete tulemustele mõjuvad positiivselt raskete vahendite heitmine soorituse eelselt, parimaks harjutuseks pakutakse välja kahe käega kuuliheidet üle pea taha. Intensiivsete

harjutuste lisamine vastupidavusalade sportlase soojendusse võib näidata tulemuste paranemist keskmaajooksus ning ka pikematel distantsidel.

PAP efekti kasutamine on individuaalne iga sportlase osas ning käesolevas töös välja toodud soovitused ei pruugi igale ühele sobida. Seega tuleks treeneritel treening käigus veenduda, millised vahendid on sportlase tulemuse parandamiseks parimad ning kasutama vajadusel katse-eksituse meetodit. Mitmed uuringud on näidanud PAP efekti mõju kiirusjõualade tulemuslikkuse parandamisel, kuid PAP efekti roll vastupidavusaladel on saanud oluliselt vähem tähelepanu. Edasised uuringud peaksid keskenduma PAP efekti rollile vastupidavusaladel.

KASUTATUD KIRJANDUS

- 1) Allen DG, Lamb GD, Westerblad H. Skeletal Muscle Fatigue: Cellular Mechanisms. *Physiol Rev.* 2008; 88 (1): 287–332.
- 2) Bogdanis GC, Tsoukos A, Veligeas P. Improvement of long jump performance during competition using a plyometric exercise. *Int J Sports Physiol Perform.* 2017; 21 (2): 235-240.
- 3) Boulosa D, Del Rosso S, Behm DG, Foster C. Post-activation potentiation (PAP) in endurance sports: A review. *Eur J Sport Sci* (in press).
- 4) Chatzopoulos DE, Michailidis CJ, Giannakos AK, Alexiou KC, Patikas DA, et al. Postactivation potentiation effects after heavy resistance exercise on running speed. *J Strength Cond Res.* 2007; 21 (4): 1278–1281.
- 5) Crewther BT, Kilduff LP, Cook CJ, Middleton MK, Bunce PJ, et al. The acute potentiating effects of back squats on athlete performance. *J Strength Cond Res.* 2011; 25 (12): 3319–3325.
- 6) de Villarreal ESS, González-Badillo JJ, Izquierdo M. Optimal warm-up stimuli of muscle activation to enhance short and long-term acute jumping performance. *Eur J Appl Physiol.* 2007; 100 (4): 393–401.
- 7) Esformes JI, Bampouras TM. Effect of back squat depth on lower-body postactivation potentiation. *J Strength Cond Res.* 2013; 27 (11): 2997–3000.
- 8) Ferreira-Júnior JB, Guttierrez APM, Encarnação IGA, Lima JRP, Borba DA, et al. Effects of Different Conditioning Activities on 100-m Dash Performance in High School Track and Field Athletes. *Percept Mot Skills* (in press).
- 9) Fukutani A, Takei S, Hirata K, Miyamoto N, Kanehisa H, et al. Influence of the intensity of squat exercises on the subsequent jump performance. *J Strength Cond Res.* 2014; 28 (8): 2236–2243.
- 10) Güllich A, Schmidtbleicher D. MVC-induced short-term potentiation of explosive force. *N Stud Athlet* 1996; 11 (4): 67-81.
- 11) Hamada T, Sale DG, MacDougall JD, et al. Postactivation potentiation, fiber type, and twitch contraction time in human knee extensor muscles. *J Appl Physiol.* 2000; 88 (6): 2131-2137.
- 12) Hodgson M, Docherty D, Robbins D. Post-activation potentiation: underlying physiology and implications for motor performance. *Sports Med.* 2005;35(7):585–595.

- 13) Hultborn H, Illert M, Nielsen J, et al. On the mechanism of the post-activation depression of the H-reflex in human subjects. *Exp Brain Res* 1996; 108 (3): 450-462.
- 14) Jeffreys I. A review of post-activation potentiation and its application in strength and conditioning. *Professional Strength Cond.* 2008; (12): 17-25.
- 15) Judge LW, Bellar DM, Craig BW, Gilreath EL, Cappos SA, et al. Influence of postactivation potentiation on shot put performance of collegiate throwers. *J Strength Cond Res.* 2016; 30 (2): 438-445.
- 16) Macintosh BR, Grange RW, Cory CR, Houston ME. Myosin light chain phosphorylation during staircase in fatigued skeletal muscle. *Pflügers Arch – Eur J Physiol.* 1993; 425 (1): 9-15.
- 17) Mettler JA, Griffin L. Postactivation potentiation and muscular endurance training. *Muscle Nerve.* 2012; 45 (3): 416–425.
- 18) Rankin LL, Enoka RM, Volz KA, Stuart DG. Coexistence of twitch potentiation and tetanic force decline in rat hindlimb muscle. *J Appl Physiol.* 1988; 65 (6): 2687-2695.
- 19) Rassier D, Macintosh B. Coexistence of potentiation and fatigue in skeletal muscle. *Braz J Med Biol Res.* 2000; 33 (5):499–508.
- 20) Rixon KP, Lamont HS, Bemben MG. Influence of type of muscle contraction, gender, and lifting experience on postactivation potentiation performance. *J Strength Cond Res.* 2007; 21 (2): 500–505.
- 21) Ruben RM, Molinari MA, Bibbee CA, Childress MA, Harman MS, et al. The acute effects of an ascending squat protocol on performance during horizontal plyometric jumps. *J Strength Cond Res.* 2010; 24 (2): 358–69.
- 22) Sale D G. Postactivation potentiation: role in human performance. *Exerc Sport Sci Rev* 2002; 30 (3): 138-143.
- 23) Seitz LB, de Villarreal ES, Haff GG. The temporal profile of postactivation potentiation is related to strength level. *J Strength Cond Res.* 2014; 28 (3): 706–715.
- 24) Seitz LB, Haff GG. Factors Modulating Post-Activation Potentiation of Jump, Sprint, Throw, and Upper-Body Ballistic Performances: A Systematic Review with Meta-Analysis. *Sports Med.* 2016, 46 (2): 231–240.
- 25) Seitz LB, Trajano GS, Haff GG. The back squat and the power clean: elicitation of different degrees of potentiation. *Int J Sports Physiol Perform.* 2014; 9 (4): 643–649.
- 26) Smith CE, Hannon JC, McGladrey B, Shultz B, Eisenman P, et al. The effects of a postactivation potentiation warm-up on subsequent sprint performance. *Hum Mov.* 2014; 15 (1): 33–41.

- 27) Stone MH, Sands WA, Pierce KC, Ramsey MW, Haff GG Power and power potentiation among strength-power athletes: preliminary study. *Int J Sports Physiol Perform.* 2008; 3(1): 55–67.
- 28) Terzis G, Spengos K, Karampatsos G, Manta P, Georgiadis G. Acute effect of drop jumping on throwing performance. *J Strength Cond Res.* 2009; 23 (9): 2592–2597.
- 29) Tobin DP, Delahunt E. The acute effect of a plyometric stimulus on jump performance in professional rugby players. *J Strength Cond Res.* 2014; 28 (2): 367–372.
- 30) Trimble MH, Harp SS. Postexercise potentiation of the H-reflex in humans. *Med Sci Sports Exerc* 1998; 30 (6): 933-941.
- 31) Tubman LA, Macintosh BR, Maki WA. Myosin light chain phosphorylation and posttetanic potentiation in fatigued skeletal muscle. *Pflügers Arch – Eur J Physiol.* 1996; 431 (6): 882-887.
- 32) van Boxtel A. Differential effects of low-frequency depression, vibration-induced inhibition, and posttetanic potentiation on H-reflexes and tendon jerks in the human soleus muscle. *J Neurophysiol* 1986; 55 (3): 551-568.
- 33) West DJ, Cunningham DJ, Crewther BT, Cook CJ, Kilduff LP. Influence of ballistic bench press on upper body power output in professional rugby players. *J Strength Cond Res.* 2013; 27 (8): 2282–2287.
- 34) Wilson JM, Duncan NM, Marin PJ, Brown LE, Loenneke JP, et al. Meta-analysis of post activation potentiation and power: effects of conditioning activity, volume, gender, rest periods, and training status. *J Strength Cond Res.* 2013; 27 (3): 854–859.

SUMMARY

The application of postactivation potentiation in training process

Power production may be the most important characteristic of sport performance, and may determine the results of performance. In this way, any training intervention that has the capability of enhancing power performance has the potential to directly enhance sports performance. One training intervention that has been the focus of an increasing degree of research into its potential power enhancement properties is postactivation potentiation or PAP. In addition to better results in speed, strength and power events, PAP has also shown better results in endurance sports.

The contractile response of a muscle depends to a great extent on the history of its activation. A brief period of repetitive stimulation results in enhanced contractile response—potentiation, while continued stimulation results in impaired or attenuated contractile response—fatigue. Depression of active force, as a consequence of prior activity, results from either decreased peak, or average myoplasmic free Ca^{2+} concentration, or decreased sensitivity to Ca^{2+} . Activity-dependent potentiation results from phosphorylation of the regulatory light chains of myosin via myosin light chain kinase, which theoretically renders actin-myosin interaction more sensitive to Ca^{2+} released from the sarcoplasmic reticulum. Leading to an increase in the rate by which myosin cross-bridges move from a non-force producing state to a force producing state. One other proposed mechanism of postactivation potentiation is H-reflex potentiation, more commonly known as posttetanic potentiation.

The application of postactivation potentiation to sports is limited, because its effect on sports performance are equivocal. While a number of studies have demonstrated increased performance via PAP, others have shown no change or even a deterioration in performance. Also the level of potentiation is dependent on the level of strength and resistance training experience of the individual, the type of conditioning activity, the depth of the squat when a back squat is used to elicit a PAP effect, the rest period between the conditioning activity and subsequent performance, as well as the number of set(s) and type of effort of the conditioning activity. Evidence suggests that stronger individuals are able to exhibit a greater PAP effect than their weaker counterparts. It is also suggested that plyometric and traditional high-intensity conditioning activities produce considerably larger PAP effects than traditional moderate-intensity and maximal isometric conditioning activities. When a back squat is employed as traditional conditioning activity, a shallower depth produces a considerably larger effect in

weaker individuals than a deeper depth, stronger individuals express greater potentiation levels after a deeper depth conditioning activity. The greatest PAP effect seems to be elicited 0.3–4 min after a plyometric conditioning activity and at least 5 min following traditional high- and moderate-intensity conditioning activities. Multiple sets result in a greater augmentation of power than single sets. Specifically, individuals with low training experience demonstrate declines in power when performing multiple as compared to single sets. In contrast trained individuals and experienced athletes augmented power, when comparing multiple with single sets. It is also suggested that using an repetition maximum load during the conditioning activity produces greater levels of potentiation than a submaximal load performed at a given percentage of 1 repetition maximum.

PAP effect can be potentially used in athletics. Studies have shown, that the results in sprints, jumping-, throwing and endurance events can be enhanced. In sprints, it may be reasoned that conditioning activities, with similar biomechanical patterns, for example the snatch and power clean, are more likely to enhance performance. The results in jumping events can be increased via plyometric exercises. The results in throwing events can be enhanced by throwing heavy implements in a warm-up, the best exercise to induce PAP effect in throwers is the overhead back shot put throw, because it is very similar to actual competition throwing and duplicates the actual ranges of motion, specific joint angles, and speeds that are used when performing the events. Adding high-intensity conditioning activities to the warm-up of an endurance athlete is proposed to show enhanced performance in middle- and long distance running.

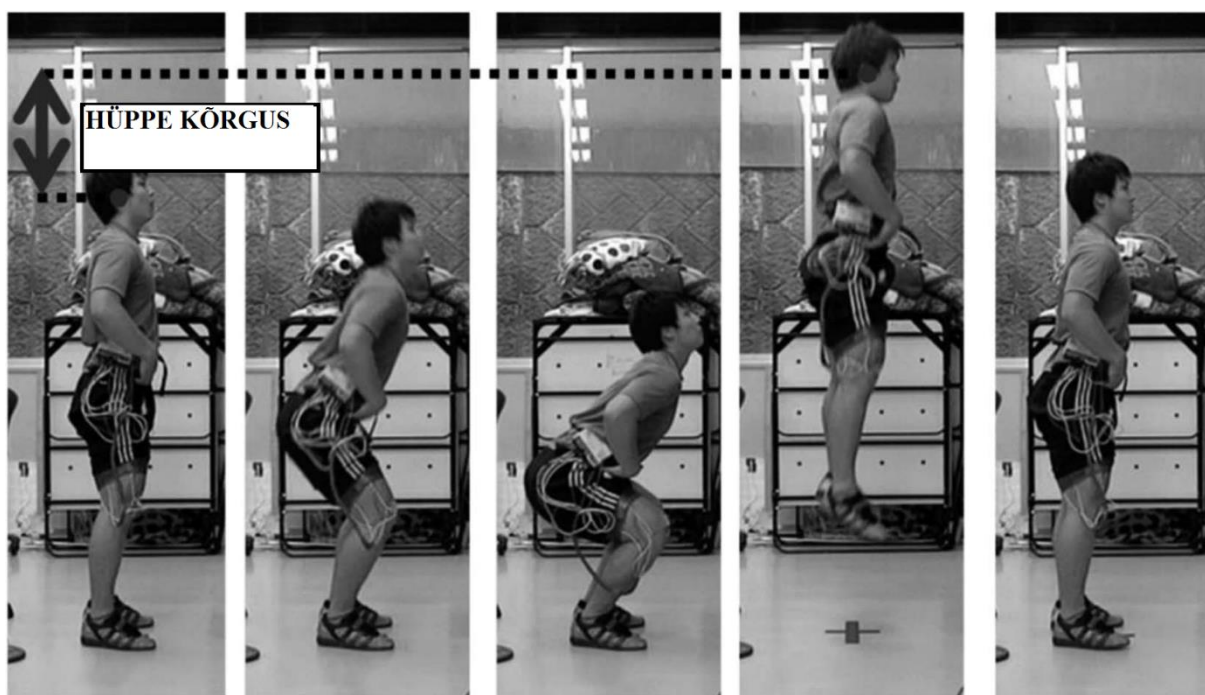
The use of PAP effect is highly individual for each athlete and the recommendations in this thesis may not suit everyone. It is likely that a degree of trial and error will be required in determining the optimal PAP effect for an individual athlete. While there is strong support of the usefulness of post-activation potentiation phenomenon in power demanding sports, the role that PAP could play in endurance sports has received less attention. Future research should be focused on the effect of postactivation potentiation in endurance sports.

LISA 1



Joonis 1. Jõutõmme reie keskkohast (Stone, 2008 järgi).

LISA 2



Joonis 3. Üleshüpe poolkükki laskumisega (Fukutani et al., 2014 järgi).

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina: Mark Leinfeld

(sünnikuupäev: 31.01.1995)

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

Lihaste kontraktsioonijärgse potentsseerumise efekti kasutamine treeningprotsessis, mille juhendaja on Mehis Viru,

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