

# **SUORITUSANALYYSI PAINONNOSTOSSA**

Jaakko-Antti Peltola

Biomekaniikan Pro gradu -tutkielma

Kevät 2017

Liikuntabiologia

Liikuntatieteellinen tiedekunta

Jyväskylän yliopisto

Ohjaajat:

Jarmo Piirainen

Heikki Peltonen

## TIIVISTELMÄ

Peltola, Jaakko-Antti. Suoritusanalyysi painonnostossa. Liikuntabiologian laitos, Biomekaniikan Pro gradu -tutkielma 2017.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on 1) tutkia ja löytää kilpailumenestyksen kannalta tärkeimmät korrelaatiot levytangon dynamiikassa ja vartalon nivelkulmissa 2) testata, kehittää ja validoida edullinen suoritusanalyysimalli, jolla tekniikan ja levytangon muuttujien analysointi onnistuu lähes keneltä tahansa niin harjoitus- kuin kilpailutilanteessa sekä 3) toteuttaa case-study-harjoitustutkimus Varalan urheiluopistolle klusteriharjoittelusta ja sen akuuteista vaikutuksista huippupainonnostajan suorituskykyyn ja nostotekniikkaan.

Kilpailututkimuksessa nostajat jaettiin kahteen kategoriaan: mitalisteihin (N=43) ja ei- mitalisteihin (N=56), joita vertailtiin tilastollisesti. Kilpailumenestyksen ja suoritusanalyysin kannalta merkittävimmät tekijät ja avainindikaattorit ovat tämän tutkimuksen mukaan levytangon vertikaali- ja kokonaisteho suhteutettuna kehonpainoon ( $p=0,005$  ja  $p=0,009$ ) sekä kokonaisvoima ( $p=0,007$ ). Lisäksi mitalistien levytangon nostokorkeus on keskimäärin 7,5 % alempana ( $p<0,001$ ) ja vastaanotto tapahtuu keskimäärin 15,8 % pienemmällä lantion nivelkulmalla ( $p<0,001$ ) verrattuna ei- mitalisteihin. Näin ollen kilpailumenestykseen tarvitaan myös hyvää ketteryyttä ja tasapainoa. Huomattavaa oli sekin, että lantion nivelkulman ojentuminen oli mitalisteilla keskimäärin 10,1 % hitaampi kuin ei- mitalisteilla. Tämän osalta voidaan vahvistaa teoria lantion nivelkulmanopeuden hidastumisesta kuorman kasvaessa. Harjoittelututkimuksen perusteella klusteriharjoitus parantaa dynaamisia voimantuotto-ominaisuuksia, oletettavasti Post Activation Potentiation -ilmiön seurauksena.

Tämän tutkimuksen perusteella voidaan yleisesti todeta, että tempauksen veto- ja vastaanottovaiheen biomekaaniset perushaasteet ovat kuorman nostaminen mahdollisimman vertikaalisti noin 0,8–0,9 metrin korkeuteen ja syöksyminen levytangon alle noin 0,3–0,4 sekunnissa kädet lukittuina vastaanottamaan kuorma ennen sen tippumista. Kilpailumenestyksen kanssa korreloivat vahvasti vetovaiheen mekaaninen teho ja voima. Vetovaiheen onnistuminen vaatii yksilön voimantuoton kannalta optimaalista nostorytmiä, jossa kineettisen ketjun periaatteet toteutuvat. Vastaanottovaiheen onnistuminen vaatii ketteryyttä ja tasapainoa erityisesti syvässä kyykyssä, jossa alaraajojen nivelkulmat ovat pienet. Nostotekniikan harjoittelussa tulee huomioida yksilön ruumiinrakenne sekä toiminnalliset ja fysiologiset ominaisuudet. Tutkimuksen perusteella harjoittelun perusluonteeksi voidaan suositella systemaattista lähestymistapaa, jota ohjaavat ”voimaharjoittelussa ei voi oikoa” ja ”ilman määrää ei ole laatua” -periaatteet. Fyysisten ominaisuuksien kehittämiseksi pitkällä aikavälillä kannattaa kuitenkin kokeilla rohkeasti, yksilön harjoitustaustasta riippuen, erilaisia harjoitusmenetelmiä noudattaen venäläisen, bulgarialaisen ja klusteriharjoitussysteemien periaatteita. Teknologian ja suoritusanalyysin avulla voidaan suorituksesta saada paljon objektiivista tietoa harjoittelun tueksi, valmentaa paremmin ja optimoida urheilijoiden kehitys. Teknologia voi myös lisätä harjoittelun mielekkyyttä, nopeuttaa kehitystä sekä luoda tarvittavaa kilpailuetua.

## ABSTRACT

Peltola, Jaakko-Antti. Performance Analysis in Weightlifting. Department of Biology of Physical Activity, M.Sc. Thesis in Biomechanics 2017.

The objectives of this study are 1) to study and determine the correlations in barbell dynamics and joint angles that are the most critical for success in competitions 2) test, develop and validate an affordable performance analysis model which enables effortless analysis of lifting technique and barbell-dynamic variables in training and competitive settings by almost anyone 3) execute a case study for Varala Sports Institute about cluster training and its acute effects on the performance and lifting technique of a top weightlifter.

In the competition segment of the study, the lifters were divided into two categories, medalists (N=46) and non-medalists (N=56), which were compared in the statistical analysis. The study indicates that the most significant factors for competitiveness are the vertical and overall power of the barbell, normalized to the lifter's bodyweight ( $p=0.005$  and  $p=0.009$ ), and total force ( $p=0.007$ ). In comparison to the other competitors, the medalists lifted the barbell on average 7.2% lower ( $p<0.001$ ) and their hip joint angle was on average 15.8% smaller ( $p<0.001$ ) in the catch phase. Good agility and balance, therefore, are essential for any weightlifter in order to succeed in competitions. It was also observed in the study that the medalists' hip joint angle extension was on average 10,1% slower than in the non-medalists. This observation confirms the theory of the correlation between decrease of the hip joint angular velocity and increase of load. Based on the training study, cluster training improves dynamic force production properties, presumably by causing a phenomenon known as Post Activation Potentiation.

Based on the study, it can be concluded that the basic biomechanical challenges of the pull and catch phases of the snatch are the vertical pulling of the load explosively to approximately 0.8–0.9 meters' height and squatting under the barbell in roughly 0.3–0.4 seconds, maintaining the arms fully extended in order to receive the load. High competition results correlate strongly with pulling-phase mechanical power and force production rate. A successful pull phase requires a lifting rhythm that is optimal for the lifter's force production and follows the principles of the kinetic chain. A successful catch phase requires agility and balance, mainly due to the small lower-body joint angles. Lift technique training should be accommodated to the individual's physique and functional and physiological characteristics. 'There are no short cuts' and 'without quantity there can not be quality' are principles that characterize the systematic approach to weightlifting training and which can be recommended based on the results. For long-term physical performance development, however, experimenting with different training methods is recommended from time to time while mainly applying the principles of the Russian and Bulgarian schools of training as well as cluster training methods. Technology and performance analysis may assist in improving the quality of training and coaching and optimize the progress and ultimately, help the athlete succeed in competitions.

# SISÄLTÖ

1 JOHDANTO .....	6
2 PAINONNOSTO .....	8
2.1 Painonnosto urheilulajina.....	9
2.2 Painonnosto oheisharjoitteluna .....	12
2.3 Painonnoston harjoitustavat .....	13
2.4 Klusteriharjoittelu painonnostossa .....	15
3 TEMPAAKSEN BIOMEKANIikka JA TEKNIikka .....	17
3.1 Nostamisen biomekaniikka.....	20
3.2 Tempaus tekniikan vaiheet ja variaatiot.....	21
3.3 Tasapainoalue.....	23
3.4 Polven ohituksen strategiat .....	26
4 LIIKE- JA SUORITUSANALYYSI .....	27
4.1 Liikeanalyysi tempauksessa.....	28
4.2 Tempauksen kinematiikka .....	29
4.3 Tempauksen kinetiikka .....	30
5 TUTKIMUKSEN TARKOITUS .....	32
5.1 Tutkimusongelmat .....	33
5.2 Hypoteesit .....	35
6 MENETELMÄT .....	36
6.1 Tutkimuksen vaiheet .....	36
6.2 Tutkimusprotokollat ja menetelmät .....	38
6.3 Analysoitavat muuttujat .....	40

6.4 Tilastollinen analyysi .....	42
7 TULOKSET .....	43
7.1 Klusteriharjoitustutkimuksen tulokset .....	44
7.2 Kilpailututkimuksen tulokset .....	46
8 POHDINTA .....	48
8.1 Klusteriharjoittelututkimuksen pohdinta.....	48
8.2 Kilpailututkimuksen pohdinta.....	53
9 JOHTOPÄÄTÖS .....	57
10 LÄHTEET.....	59

# 1 JOHDANTO

Olympianostot eli klassinen painonnosto on yksi vanhimpia ja perinteisimpiä modernin ajan urheilulajeja. Nykymuotoisessa painonnostossa on kaksi lajia, tempaus ja työntö. Tempausta pidetään näistä kahdesta teknisesti haastavampana (Vorobyev 1978). Tämä tutkimus käsittelee lähes ainoastaan tempausnostoa. Tempauksessa nostajalla on kolme yritystä, tavoitteena nostaa levytangossa oleva mahdollisimman suuri kuorma yhdellä yhtäjaksoisella liikkeellä maasta pään yläpuolelle suorille käsille. Tekninen periaate on nostaa suurin mahdollinen kuorma, pienimmällä mahdollisella energian kulutuksella (Storey & Smith 2012). Tämä tapahtuu nostamalla kuorma mahdollisimman vertikaalista reittiä suoraan ylöspäin. Mitä enemmän kuorma liikkuu suorituksen aikana horisontaalisesti, sitä enemmän nostaminen vaikeutuu teknisesti (Garhammer 1993). Tempauksen tekniikkaa on tutkittu viimeisen 20 vuoden aikana kattavasti eri näkökulmista. Levytangon nopeus ja liikerata 2. vedon aikana ovat todettu tärkeimmiksi yksittäisiksi tekijöiksi onnistuneessa nostossa (Garhammer 1993, Storey & Smith 2012).

Painonnostoharjoittelu perustuu pitkälti maksimi- ja nopeusvoimaharjoittelun periaatteisiin toistojen, palautusaikojen ja suoritustavan osalta (Stone et al. 2006). Painonnoston harjoitustavoissa ja harjoittelun ohjelmoinnissa tunnetaan kaksi pääkoulukuntaa, venäläinen ja bulgarialainen harjoitussysteemi (Takano 2012, Stone et al. 2006, Drechsler 1998). Näiden välimuotona toimii klusteriharjoitteluperiaate, jossa usean toiston sarja jaetaan yksittäisiin erillisiin toistoihin, joiden välissä on lyhyt palautus. Näin ollen harjoitus voidaan viedä läpi korkeammalla intensiteetillä kuin mihin suorilla sarjoilla kyetään ja toisaalta saadaan volyyymia ja harjoitusadaptaatiota sekä metaboliselle että hermostolliselle puolelle (Haff et al. 2008).

Tämän tutkimuksen tavoitteena on 1) tutkia ja löytää kilpailumenestyksen kannalta tärkeimmät korrelaatiot levytangon dynamiikassa ja vartalon nivelkulmissa 2) testata, kehittää ja validoida edullinen suoritusanalyysimalli, jolla tekniikan ja levytangon muuttujien

analysointi onnistuu lähes keneltä tahansa niin harjoitus- kuin kilpailutilanteessa sekä 3) toteuttaa case-study harjoitustutkimus Varalan urheiluopistolle klusteriharjoittelusta ja sen akuuteista vaikutuksista huippupainonnostajan suorituskykyyn ja nostotekniikkaan. Kilpailututkimuksesta saadun tiedon avulla pyritään määrittelemään tempauksen avainindikaattorit ja suoritusanalyysimallin avulla osoitetaan, miten ne voidaan käytännön läheisesti mitata. Tutkimuksen tavoite on myös toimia eräänlaisena esimerkkinä siitä, miten tutkimus ja valmennus voisi toimia paremmin yhteistyössä urheilijaa palvelleen. Tämä myös mukailee kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskuksen ”tiedolla johtamisen” strategiaa ja visiota valmennusosaamisen vahvistajana ja kilpailuetuna (Lämsä & Lehtonen 2015). Kilpailututkimuksessa kerättyä aineistoa voidaan käyttää myös valmennusta ja koulutusta hyödyttävänä tietopankkina.

Suoritusanalyysi (performance analysis) on osa nykyaikaista urheiluvalmennusta yksilö- ja joukkuelajeissa (O'Donoghue 2014). Suoritusanalyysi on käytännönläheinen ja luonnollisessa ympäristössä tapahtuva urheilu-suorituksen analysointimalli, joka pyrkii mittaamaan ja analysoimaan suorituksen keskeisimpiä muuttujia tavoitteena parantaa urheilijan tai joukkueen suoritusta (Hughes et al. 2008). Suoritusanalyysissä sovelletaan liikeoppia ja videoanalyysia, biomekaniikkaa ja fysiologiaa sekä tilastollisia menetelmiä. Analyysin avulla ymmärretään urheilu-suoritusta yksilön tai joukkueen kannalta paremmin sekä sillä voidaan optimoida harjoittelua ja peliin valmistautumista. Tiedetään myös, että suorituksen näkeminen videokuvasta (visuaalinen palaute) yhdistettynä sanalliseen palautteeseen on todettu olevan taidon oppimisen kannalta tehokkain menetelmä (Mero et al. 2016). Visuaalisen palautteen avulla on myös pystytty lisäämään merkittävästi tempauksen ja rinnallevedon tehoa ja levytangon nopeutta harjoitusjakson aikana (Winchester et al. 2009, Sakadjian et al. 2014). Suoritusanalyysin avulla pystytään myös kehittämään urheilijan tekniikkaa ja pelitaktiikkaa merkittävästi. Suoritusanalyysit ovat arkipäivää isoissa joukkuelajeissa, kuten jalkapallossa ja rugbyssa sekä mailapeleissä kuten squashissa ja tenniksessä. Suoritusanalyysien tarve kasvaa koko ajan. (O'Donoghue 2014, Hughes et al. 2008). Hakulausekkeella ”Performance Analysis in Weightlifting” tehty haku tuotti 0 osua keskeisissä urheilututkimustietokannoissa (scholar.google.fi, SPORTDiscus, pubmed.gov 2.3.2017).

## 2 PAINONNOSTO

Olympianostot eli klassinen painonnosto on yksi vanhimpia ja perinteisimpiä modernin ajan urheilulajeja. Lajia on harrastettu eri muodoissa ihmiskunnan historian alkuajoista lähtien mm. muinaisen Egyptin, antiikin Kreikan ja Kiinan dynastian aikakausilla. Painonnostolla on pitkät perinteet myös olympialaisten urheiluhistoriassa. Ensimmäisen kerran painonnosto on ollut olympialaisten kilpailuohjelmassa jo Ateenassa 1896, jolloin painonnosto oli yksi yleisurheilun kenttälajeista. Kilpailulajeina oli tällöin sekä yhden että kahden käden nostoja. Nykymuotoisessa painonnostossa miehet ovat kilpailleet aina 1928 Amsterdamin olympialaisissa asti. Tällöin yhden käden nostot jätettiin pois kilpailulajeista ja painonnoston lajeina olivat tempaus, työntö ja punnerrus. 1972 Münchenin olympialaisista jätettiin punnerrus pois, jonka jälkeen painonnoston lajeina ovat olleet tempaus ja työntö. Naiset ovat kilpailleet painonnoston maailmanmestaruuskilpailuissa vuodesta 1987 alkaen ja olympiatasolla ensimmäistä kertaa Sydneyssä vuonna 2000. (iwf.net)

Suomi on saavuttanut painonnostossa yhteensä kolme olympiamitalia. Tämä oikeuttaa olympialaisten mitalitaulukossa sijalle 35. Ensimmäisen mitalin toi Suomeen Kaarlo Kangasniemi Mexicon olympialaisista 1968. Hän voitti kultaa 90kg sarjassa yhteistuloksella 517,5kg. Los Angelesin olympialaisissa 1984 sekä Jouni Grönman että Pekka Niemi ottivat pronssimitalit sarjoissa 67,5kg ja 100kg. Viisi eniten mitaleita saavuttanutta maata ovat Neuvostoliitto 62 mitalia, Kiina 50 mitalia, Yhdysvallat 43, Bulgaria 36 ja Kazakstan 14. Painonnoston historiassa neljä nostajaa on pystynyt voittamaan kolme olympiakultaa. Pyrros Dimas Kreikasta, Naim Süleymanoğlu Turkista, Kakhi Kakhiashvili Kreikasta ja Halil Mutlu Turkista. Yhteistä kaikille nostajille on, että he edustivat tai ovat syntyneet Balkanin alueen valtioissa. Süleymanoğlu ja Mutlu syntyivät ja edustivat Bulgariaa uransa alkuvaiheessa, myöhemmin Turkia. Painonnoston mainetta olympiahistoriassa ovat varjostaneet lukuisat dopingkäryt, jonka seurauksena kokonaisia valtioita on jouduttu sulkemaan pois olympiakisoista. (iwf.net)



## 2.1 Painonnosto urheilulajina

Nykymuotoisessa painonnostossa kilpailulajeja on kaksi, tempaus ja työntö. Nostajalla on molemmissa lajeissa kolme yritystä, tavoitteena nostaa maksimipaino päänsä yläpuolelle. Tankoon voi ainoastaan lisätä painoa, joten aloituspainon ja korotusten määrittely kilpailutilanteessa, tekee lajista erittäin taktisen. Nostajan paras tempaus- ja työntötulos lasketaan yhteen, jolloin yhteistulos ratkaisee voittajan omassa sarjassaan. Sarjat ovat miehissä 56 kg, 62 kg, 69 kg, 77 kg, 85 kg, 94 kg, 105 kg ja yli 105 kg. Naiset kilpailevat sarjoissa 48 kg, 53 kg, 58 kg, 63 kg, 69 kg, 75 kg ja yli 75 kg. Arvokilpailuissa, kuten olympialaisissa, MM-kisoissa, EM-kisoissa ja SM-kisoissa, jaetaan myös erikseen tempauksen ja työntönsä lajikohtaiset mitalit (Ho et al. 2014, Storey & Smith 2012).

Tempaus on kahdesta lajista teknisesti vaativampi (Vorobyev 1978). Siinä nostaja yrittää nostaa levytangon maasta suorille käsille yhdellä liikkeellä. Tempaus suoritetaan tarttumalla levytankoon noin kahden hartian leveydeltä ja tempaisemalla räjähtävästi levytanko päänsä yläpuolelle mennessä nopeasti kyykkyyntangon alle. Sen jälkeen pyritään pitämään tasapaino ja nousemaan ylös suorille jaloille. Työnnössä nostaja yrittää nostaa levytangon maasta suorille käsille kahdella liikkeellä. Ensin levytanko nostetaan rinnalle (rinnalleveto), tarkalleen ottaen etuolkapäiden päälle, mennessä nopeasti kyykkyyntangon alle. Sen jälkeen nousemaan pystyyn ja työnnetään levytanko suorille käsille. Työntövaihe suoritetaan työntämällä levytanko räjähtävästi suoraan ylös, menemällä saksiin tai kyykkyyntangon alle ja nousemalla sieltä ylös suorille jaloille. Työnnössä nostetaan yleensä suuremmat painot johtuen kaksivaiheisuudesta ja pidemmästä suoritusajasta (Storey & Smith 2012). Molemmissa lajeissa onnistunut nosto voidaan myös hylätä, mikäli nostaja ei ole nostanut painoja suoraan suorille käsille vaan on käyttänyt ns. pumppausta. Molemmissa nostoissa voidaan käyttää hivenen eri tekniikoita, mutta pääpiirteittäin ne ovat samat. Suurimmat tekniikka-erot ovat työntövaiheen eroavaisuudet sekä harvoin kilpailuissa nähdyt ”raakanostot”, joissa levytangon alle ei pudotauduta vaan se otetaan kiinni korkeammalta ja suuremmalla polvikulmalla.

Olympianostot ovat teknisesti erittäin vaativia ja kokonaisvaltaisia moninivelliikkeitä, joiden oikeaoppiseen suorittamiseen vaaditaan nostajalta kovaa fyysistä ja psyykkistä suorituskykyä (Ho et al. 2014). Painonnostajan keskeiset fyysiset ominaisuudet ovat räjähtävä voimantuotto, hyvä tasapaino ja kineettisen ketjun hallinta sekä riittävä liikkuvuus (Storey & Smith 2012). Psyykkisesti laji vaatii kovaa tahtoa, rohkeutta ja päättäväisyyttä (Mahoney 1989). Mikäli nostaja haluaa onnistua maksiminostossaan, lavalle mennessään ei voi epäröidä hetkeäkään ”nouseeko rauta”.

Painonnostajan on luonnollisesti oltava erittäin vahva ja nopea (Fry et al. 1993). Suorituksen kesto on muutamia sekunteja - tempaus 3-4,5 sekuntia ja työntö yli 6 sekuntia. Energialähteenä toimivat kilpailusuorituksessa näin ollen välittömät adenosiniinifosfaatti (ATP) ja kreatiinifosfaattivarastot (Fry et al. 2003). Harjoittelu perustuu pitkälti maksimi- ja nopeusvoimaharjoittelun periaatteisiin toistojen, palautusaikojen ja suoritustavan osalta (Stone et al. 2006). Lihassolutyypiltään ihannepainonnostaja omaa paljon nopeita IIA- ja IIB-tyypin lihassoluja, jotta räjähtävää voimantuottopotentiaalia on mahdollisimman paljon (Fry et al. 2006). Kestävyysominaisuudet tulee kuitenkin huomioida harjoittelussa, tehokkaamman palautumisen ja yleisen harjoitettavuuden näkökulmasta (Arvonen & Kailajärvi 2002). On etua, jos nostaja on lyhyempi ja omaa lyhyemmät raajat, jolloin nostaminen on mekaanisesti taloudellisempaa (Storey & Smith 2012). Kuitenkin kaikenlaisilla ruumiinrakenteilla on voitettu olympiamitaleita. Yleisesti nostajan antropometria vaikuttaa nostamisen tekniikkaan, mutta peruseriaatteet ovat kuitenkin kaikille samat (Enoka 2008).

Huippunostajaksi tähtävän on aloitettava harjoittelu yleensä hyvin nuorena, jotta nostotekniikka ja lihaksisto kehittyvät riittävän hyväksi varhaisessa vaiheessa. Lisäksi harjoittelun on oltava luonteeltaan pitkäjänteistä ja systemaattista (Stone et al. 2006). Menestynyt painonnostomaa Kazakstan käyttää Master of Sport -tasojärjestelmää (taulukko 1.) ohjaamaan heidän valmennustaan ja lahjakkuuksien etsintää (Rojan et al. 2015). Master of Sport -tason saavuttamiseen juniorina pidetään yleisesti kahdeksaa harjoitteluvuotta.

Taulukko 1. Kazakstanin Master of Sport – järjestelmä (yhteistulos kg) (Rojan et al. 2015)

MASTER OF THE SPORT CHART - MALE LIFTERS									
Weight Class	Junior MOS	Youth MOS	Candidate MOS	13-14 Yrs	12-13 Yrs	11-12 Yrs	10-11 Yrs	9-10 Yrs	8-9 Yrs
30			89 Kg	72 Kg	62 Kg	56 Kg	48 Kg	42 Kg	37 Kg
34			95 Kg	80 Kg	70 Kg	65 Kg	55 Kg	50 Kg	45 Kg
38			110 Kg	95 Kg	85 Kg	75 Kg	65 Kg	55 Kg	48 Kg
42		145 Kg	125 Kg	110 Kg	95 Kg	85 Kg	72 Kg	65 Kg	58 Kg
46		160 Kg	142 Kg	125 Kg	105 Kg	96 Kg	85 Kg	75 Kg	67 Kg
50		180 Kg	160 Kg	140 Kg	124 Kg	108 Kg	92 Kg	5 Kg	75 Kg
56	250 kg	202 Kg	175 kg	155 Kg	135 Kg	120 Kg	105 Kg	92 Kg	83 Kg
62	275 Kg	224 Kg	195 kg	172 Kg	150 Kg	130 Kg	116 Kg	102 Kg	93 Kg
69	305 Kg	245 Kg	218 Kg	190 Kg	167 Kg	145 Kg	128 Kg	112 Kg	100 Kg
77	330 Kg	265 Kg	232 Kg	206 Kg	184 Kg	160 Kg	140 Kg	123 Kg	107 Kg
85	348 Kg	282 Kg	248 Kg	222 Kg	193 Kg	170 Kg	145 Kg	130 Kg	115 Kg
94	364 Kg	300 Kg	262 Kg	234 Kg	202 Kg	175 Kg	153 Kg	135 Kg	120 Kg
105	382 Kg	307 Kg	274 Kg	240 Kg	212 Kg	185 Kg	160 Kg	140 Kg	125 Kg
105+	395 Kg	318 Kg	280 Kg	245 Kg	218 Kg	190 Kg	165 Kg	145 Kg	130 Kg

MASTER OF THE SPORT CHART - FEMALE LIFTERS									
Weight Class	Junior MOS	Youth MOS	Candidate MOS	13-14 Yrs	12-13 Yrs	11-12 Yrs	10-11 Yrs	9-10 Yrs	8-9 Yrs
32			70 Kg	60 Kg	52 Kg	47 Kg	42 Kg	37 Kg	32 Kg
36			75 Kg	65 Kg	60 Kg	55 Kg	50 Kg	42 Kg	37 Kg
40			80 Kg	75 Kg	70 Kg	65 Kg	55 Kg	47 Kg	42 Kg
44	135 Kg	110 Kg	90 Kg	80 Kg	75 Kg	70 Kg	60 Kg	52 Kg	47 Kg
48	160 Kg	120 Kg	100 Kg	90 Kg	80 Kg	75 Kg	65 Kg	58 Kg	52 Kg
53	175 Kg	130 Kg	110 Kg	100 Kg	90 Kg	80 Kg	75 Kg	63 Kg	57 Kg
58	185 Kg	140 Kg	120 Kg	110 Kg	100 Kg	90 Kg	80 Kg	68 Kg	63 Kg
63	200 Kg	150 Kg	130 Kg	115 Kg	110 Kg	97 Kg	87 Kg	80 Kg	75 Kg
69	210 Kg	160 Kg	140 Kg	125 Kg	115 Kg	105 Kg	90 Kg	85 Kg	80 Kg
75	220 Kg	170 Kg	150 Kg	130 Kg	120 Kg	112 Kg	102 Kg	95 Kg	90 Kg
75+	230 Kg	180 Kg	155 Kg	137 Kg	127 Kg	117 Kg	110 Kg	100 Kg	97 Kg

## 2.2 Painonnosto oheisharjoitteluna

Tempausta ja työntöä sekä niiden osaharjoitteita käytetään osana urheilijoiden voimaharjoittelua laajalti eri lajeissa ympäri maailman (Duehring, 2009). USA:ssa 97% high-schoolin fysiikkavalmentajista käytti painonnostoliikkeitä osana urheilijoiden voimaharjoittelua. Suomessa Helsingin Sanomien selvityksen mukaan edustusurheilijoiden harjoittelusta peräti 24,9 prosenttia on painonnostoa tai sen eri muotoja (HS 14.3.2000, Risto Fors). Rinnalleveto, eli työnnön ensimmäinen liike on yleisin ja käytetyin yleisvoimaliike urheiluvalmennuksessa (Winchester et al. 2005, Zatsiorsky et al. 1995). Toiseksi yleisin voimaharjoitusliike on jalkakyykky, joka on painonnoston oheisharjoite (Szabo 2013). Suhteessa laitteilla tehtäviin voimaharjoitteisiin, levytanko- ja painonnostoharjoittelun on todettu olevan parempi ja tehokkaampi voimaharjoittelun muoto urheilijan suorituskyvyn parantamiseen (Lahtinen & Ahonen 1993). Lisäksi levytanko on todettu edelleen olevan yksi monipuolisimmista harjoitusvälineistä (Mälkiä 2000). Urheiluvalmennuksessa keskustellaan usein siitä, tulisiko painonnostoharjoittelua oheisharjoittelunaan tekevä urheilija tehdä olympianostot ja oheisharjoitteet ”syvään kyykkyy” vai ”raakana”. Tähän on haettu vastauksia eri näkökulmista, mutta selkeää suuntausta ei ole havaittavissa.

Painonnosto on kirjallisuudessa todettu olevan tehokkain oheisharjoittelun muoto parantamaan mm. juoksunopeutta, hyppykorkeutta, ketteryyttä, koko vartalon räjähtävää voimantuottoa sekä kineettisen ketjun toimintaa (Arabatzki, 2009, Newton 2013). Erityisesti lantion- polven- ja nilkkanivelen ojentumisen tehostumista on pidetty painonnoston liikkeiden suurimpana etuna (Pennington et al. 2010). Tämä ”triple-extension” on myös todettu olevan tärkein yksittäinen vartalon liikkeen ominaisuus urheilussa (Newton et al. 2009, Frounfelter, 2009). Painonnostoharjoittelulla voidaan myös saavuttaa parempi lihastasapaino kuin laitteilla ja suljetuilla liikeradoilla tehtävä voimaharjoittelu (Lahtinen & Ahonen 1993). Lihastasapaino pitää sisällään koordinaation (hermolihastoiminta), liikkuvuuden (nivelten toiminta) ja voimantuoton (lihasten toiminta). Myös levytankoharjoittelussa saavutetaan parempi lihasten sagittaalitasoon symmetria kuin esimerkiksi käsipainoilla tehtävässä harjoittelussa (Lahtinen & Ahonen 1993). Lisäksi

painonnostosuorituksella on myös todettu olevan samankaltaisuutta useiden urheilusuoritusten liikeratojen sekä voimantuottonivelkulmien kanssa, erityisesti 2. vedon osalta (Arvonen & Kailajärvi 2002). Tämä on myös yleisesti todettu olevan tärkein vaihe nostosuorituksessa (Garhammer 1985).

### **2.3 Painonnoston harjoitustavat**

Painonnostoharjoitteluun liittyvä filosofia, perustutkimus ja valmennusosaaminen tulevat pääosin Venäjältä (silloinen Neuvostoliitto), joihin valtiojohtoisesti investoitiin huomattavasti usean vuosikymmenen aikana 50-, 60- ja 70-luvuilla (Poletaev & Cervera 1995). Perustutkimusta ja valmennusmetodeita on sittemmin jatkokehitetty muiden maiden toimesta, kuten Bulgariassa, Kazakstanissa ja Kiinassa. Painonnoston harjoitustavoissa ja harjoittelun ohjelmoinnissa tunnetaan kuitenkin kaksi pääkoulukuntaa, venäläinen ja bulgarialainen harjoitussysteemi (Takano 2012, Stone et al. 2006, Drechsler 1998). Lisäksi voidaan löytää muita erilaisia harjoitustapoja kuten kiinalainen, amerikkalainen ja kazakstanilainen systeemi, mutta ne pohjautuvat kuitenkin pitkälti venäläiseen systeemiin (Rojan et al. 2015). Molemmilla koulukunnilla on omat lähestymistapansa siihen, miten maksimoidaan suorituskyky painonnostossa. Menestystä on saavutettu kuitenkin monilla eri harjoitus- ja nostotavoilla (Stone et al. 2006).

Venäläisen painonnostoharjoittelun peruselementtejä ovat Matveyevin periodisaatiomallin mukainen jaksotus, harjoitusvolyymin painopiste 60-80%:n kuormissa, suuri nostoharjoitteiden määrä sekä huomattava harjoitusvolyymin ja intensiteetin variointi (Poletaev & Cervera 1995). Venäläisessä systeemissä valmistautumisjakso ja kilpailujakso rakentuvat kolmesta progressiivisesti nousevasta ja yhdestä kevyestä mikrosyklistä, jonka jälkeen kierto alkaa edellisen syklin toisesta viikosta (Stone et al. 2006). Päivittäin harjoitellaan kaksi noin kahden tunnin sessiota, joissa pääosa harjoitusvolyymista tehdään 3-5 toiston sarjoissa 60-80% kuormalla maksimista. Alle 5%, eli noin 600 olympianostoa, tehdään vuosittain 90-100% kuormalla. Harjoitusohjelmassa käytetään noin 15-20 erilaista oheisharjoitetta mukaan lukien erilaiset kyykky-, veto-, työntö- ja keskivartaloharjoitteet

(Garhammer & Takano 2003). Riittäväällä ärsykevaihtelulla ja eri adaptaatiomekanismeja hyödyntämällä pyritään saamaan aikaan jatkuvaa kehitystä. Venäläistä systeemiä pidetään yleisesti ottaen hyvänä mallina rakentaa ”pohjia” sekä painonnoston että yleisen voimaharjoittelun näkökulmasta. (Everett 2009, Takano 2012)

Bulgarialaisen painonnostoharjoittelun peruselementtejä ovat yksinkertaisempi harjoittelun jaksotus, suuri määrä yli 90% kuorman maksiminostoja sekä vähäinen oheisharjoitusten määrä (Zatsiorsky & Kraemer 1995, Drechsler 1998). Valmentaja Ivan Abadzhievin kehittämä periodisointi kulkee 2-3 viikon progressiivisissa sykleissä, jonka aikana seurataan 1RM:n kehitystä ja arvioidaan seuraavien viikkojen harjoituskuormat. Yksilöstä riippuen, vuosittain tehdään kilpailunostoja noin 1500-4000 yli 90% kuormalla (Drechsler 1998). Viikossa on kolme maksimiharjoitusta, yleensä maanantaina, keskiviikkona ja perjantaina, jolloin sarjapainoissa nousee 95-100% maksimista asti. Välipäivinä harjoitellaan pääasiassa 85% kuormalla, edellisen päivän maksimista. Päivittäin harjoitellaan kolme noin tunnin sessiota joista lähes jokainen alkaa ja loppuu etu- ja takakyökkyyhin. Niiden välissä tehdään olympianostoja eri intensiteeteillä (Takano 1989). Luonnollisesti bulgarialainen systeemi on hermostollisesti erittäin kuormittava ja ainoastaan huippuyksilöt pystyvät seuraamaan tämän kaltaista ohjelmointia. Bulgarialaista systeemiä voidaan kuitenkin kiistatta pitää menestyksekkäänä, sillä lähes kaikki menestyneet huippunostajat ovat harjoitelleet bulgarialaisilla metodeilla, varsinkin myöhemmässä vaiheessa uraa. Vaihdaminen venäläisestä tavasta bulgarialaiseen on kuitenkin ottanut yleensä aikaa ja kehitys on potentoitunut vasta muutaman harjoitusvuoden jälkeen. (Rojas et al. 2015. Boffa et al. 2016)

Venäläistä ja bulgarialaista systeemiä pidetään yleisesti toistensa vastakohtina ohjelmoinnin, intensiteetin ja volyymin varioinnin sekä oheisharjoittelun suhteen. Pitää kuitenkin muistaa, että venäläisessä systeemissä maksikuorma (1RM) määritellään viimeisen, parhaan kisanoston mukaan (Zatsiorsky & Kraemer 1995). Bulgarialaisessa systeemissä maksimikuorma (1RM) elää jatkuvasti harjoitusykyssä ja näin ollen on 10-15% (riippuen painoluokasta) pienempi harjoituskaudella kuin herkemällä kilpailukaudella (Storey & Smith 2012). Kun tämä asia huomioidaan ja luvut normalisoidaan, harjoitustavat tulevat

lähemmäksi toisiaan. Lisäksi bulgarialaisesta harjoitussysteemistä puhuttaessa on mahdollista, että anabolisten steroidien käytöllä on ollut merkittävä vaikutus palautumiseen, kehittymiseen ja kykyyn harjoitella kovemmalla intensiteetillä, koska testausmenetelmät eivät olleet samaa luokkaa verrattuna nykypäivään. Bulgarialaisia nostajia on jäänyt kuitenkin kiinni dopingtesteissä huomattava määrä eri aikakausina, minkä seurauksena koko valtio on toistaiseksi hyllytetty IWF:n ja kansainvälisen olympiakomitean kilpailutoiminnasta. (Poletaev & Cervera 1995, Storey & Smith 2012, iwf.net)

## **2.4 Klusteriharjoittelu painonnostossa**

Klusteriharjoittelu on tehokas voimaharjoittelutapa, jossa usean toiston sarja jaetaan pienempiin osiin tai yksittäisiin erillisiin toistoihin, joiden välissä on lyhyt palautus (Haff et al. 2008). Näin ollen harjoitus voidaan viedä läpi korkeammalla intensiteetillä kuin mihin suorilla sarjoilla kyetään. Toisaalta lyhyet palautukset aiheuttavat todennäköisesti hieman metabolista lihasväsymystä verrattuna maksimivoimaperiaatteen 3-5min sarjapalautuksiin. Klusteriharjoittelua voidaan pitää venäläisen ja bulgarialaisen harjoitussysteemin välimuotona. Suuremman mekaanisen kokonaisuormituksen seurauksena klusteriharjoituksen hermostollinen vaikutus ja adaptaatio on todettu korkeammaksi kuin perinteisellä suoralla sarjalla (Haff et al. 2003). Klusteriharjoittelua suositellaan kokeneelle urheilijalle, joka pystyy käsittelemään fyysisesti ja psyykkisesti useita korkean intensiteetin toistoja samassa harjoituksessa ja harjoitusjaksossa (Haff et al. 2008). Klusteriharjoittelun jaksotuksessa tulisi huomioida, että hermoston palautuminen ja hormonitoiminnan kehittyminen vaativat myös hieman normaalia pidempää palautumista. (Haff et al. 2008)

Aikaisemmat klusteriharjoittelututkimukset ovat keskittyneet pääasiassa hypertrofisen voimaharjoittelun suoran sarjan (6-12 toistoa, 60-80% 1RM:stä) ja pilkotun klusterisarjan vertailuun. Näin ollen on olemassa jonkun verran tietoa klusteriharjoittelun vaikutuksista lihaskasvuun ja hormonitoimintaan (Haff et al. 2008). Niissä tulokset viittaavat siihen, että perinteiset suorat sarjat aiheuttavat suuremman metabolisen lihasväsymyksen, jonka seurauksena lihaskasvu olisi suorissa sarjoissa suurempaa verrattuna klusterisarjoihin.

Neuraalisen maksimivoimaharjoittelun (toistot 3-6, 85-95% 1RM:stä) aiheuttaman harjoitusvasteen eroista suoran ja pilkotun klusterisarjan välillä ei juurikaan ole aikaisempaa tutkimustietoa. (Tufano et al. 2016)

Klusteriharjoittelun vaikutuksia on tutkittu myös voima- ja painonnoston lajiharjoittelun näkökulmasta (Haff et al. 2003). Tällöin tärkeimmät seurattavat muuttujat ovat olleet levytangon nopeus ja optimaalinen liikerata sekä suorituksen keski- ja huipputeho. Tulokset viittaavat siihen, että noin 85-90% 1RM:stä tehdyillä kuormilla tehty pidempiaikainen klusteriharjoittelujakso parantaa merkittävästi levytangon nopeutta sekä liikerataa. Keski- ja huipputeho on myös parantunut klusteriharjoittelun seurauksena. Lisäksi joissain tutkimuksissa on viitteitä siitä, että klusteriharjoittelu kehittää välittömien energianlähteiden ATP:n ja kreatiinifosfaattivarastojen (KP) nopeampaa täyttymistä (Sahlin & Ren 1989). Harjoittelututkimuksissa on käytetty pääosin 3-5 toiston sarjoja ja klusteritoistojen välissä on ollut noin 30 sekunnin palautus. (Haff et al. 2008)

Aiempiin tutkimuksiin nojaten voidaan olettaa, että klusteriharjoittelu antaa paremman harjoituksellisen vasteen hermolihäsjärjestelmälle nopeus- ja maksimivoimaominaisuuksien näkökulmasta kuin perinteinen suora sarja. Klusteriharjoittelusta hyötyvät eniten teholajien urheilijat sekä myös kestävyysurheilijat, joiden tavoitteena on lisätä nopeaa voimantuotto-ominaisuutta. Painonnostajat ja voimanostajat hyötyvät klusteriharjoittelusta monin tavoin. Kirjallisuuden mukaan hyvin tehty klusteriharjoitusjakso parantaa nostolinjaa, nostotekniikkaa ja suoritusvarmuutta yli 85% 1RM:stä tehdyissä nostoissa (Haff et al. 2008). Kehittymisen kannalta on kuitenkin selvää, että jokainen toisto pitäisi pystyä tekemään mahdollisimman laadukkaasti tekniikan, nostolinjan ja nopeuden näkökulmasta. Lihaskasvuun tähtäävään harjoitteluun voidaan edelleen suositella perinteisiä suorja sarjoja 60-80% kuormalla ja 6-12 toistoalueella.



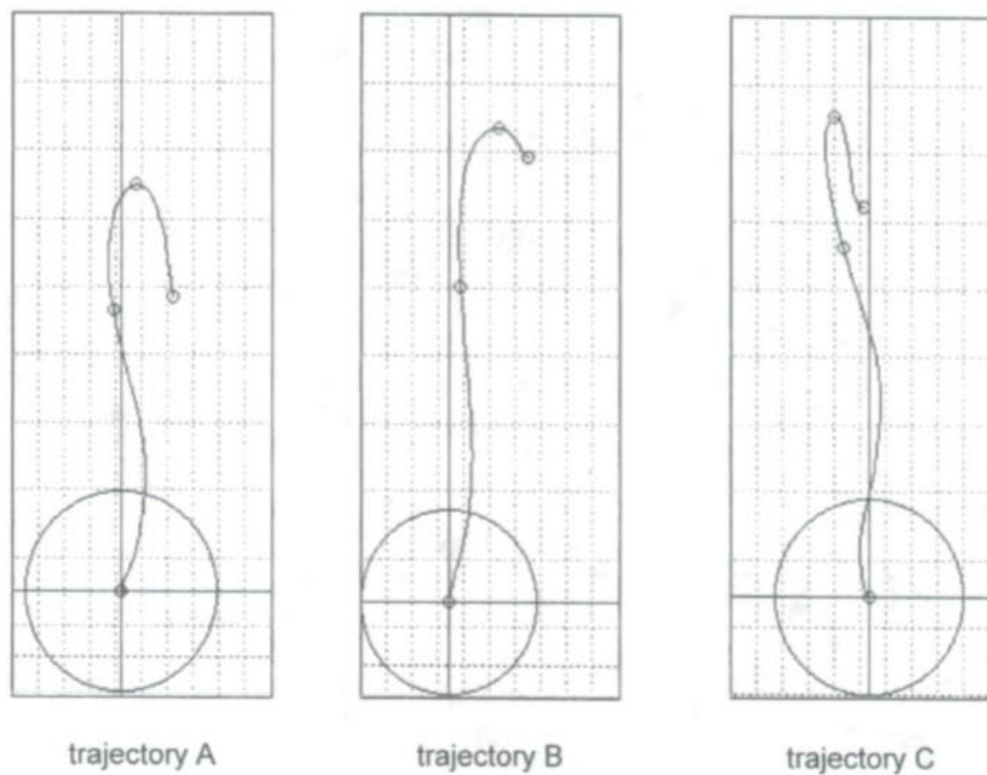
### 3 TEMPAUKSEN BIOMEKANIikka JA TEKNIikka

Painonnoston yleiset nostotekniset periaatteet pohjautuvat biomekaniikkaan ja näin ollen ovat kaikille samat (Enoka, 2008). Yksilöllisiin teknisiin eroihin vaikuttavat lähinnä nostajan kehon rakenne ja mittasuhteet sekä keskeisten lihasryhmien voimatasot ja nivelten liikkuvuus (Storey & Smith 2012). Yleensä nostajat pystyvät löytämään vuosien harjoittelukokemuksen jälkeen kehon rakenteita ja toiminnallisia ominaisuuksia vastaavat tekniikan, jolla saavutetaan parhaat tulokset (Vorobjev, 1986, Kauhanen 1989, Kauhanen et al. 1984, Campos et al. 2006). Tempaus suoritetaan yhdellä yhtäjaksoisella liikkeellä maasta pään yläpuolelle suorille käsille. Tekninen periaate on nostaa suurin mahdollinen kuorma, pienimmällä mahdollisella energian kulutuksella (Kauhanen 1989, Storey & Smith 2012, Rahmati et al. 2014). Tämä tapahtuu nostamalla kuorma mahdollisimman vertikaalista reittiä suoraan ylöspäin. Mitä enemmän kuorma liikkuu suorituksen aikana horisontaalisesti, sitä enemmän nostaminen vaikeutuu teknisesti sekä myös loukkaantumisen riski kasvaa (Garhammer 1985, Bartoniez 1996)

Tempauksen tekniikkaa on tutkittu viimeisen 20 vuoden aikana kattavasti eri näkökulmista. Levytangon nopeus ja liikerata ovat todettu tärkeimmiksi yksittäisiksi tekijöiksi onnistuneessa nostossa (Garhammer 1993, Storey & Smith 2012, Vorobyev 1978, Kipp et al. 2015). Suoritustekniikan osalta on tutkittu myös eroja onnistuneiden ja epäonnistuneiden nostojen välillä, jotta voidaan määritellä hyvän suoritustekniikan kriteerit (Garhammer & Hatfield, 1985; Sato et al. 2009, Safrushahar et al. 2012). Muita tutkittavia muuttujia ovat olleet nostajan nivelkulmat (Harbili 2012, Harbili & Alptekin 2014), mekaanisen työn ja tehon muutokset eri intensiteeteillä (Garhammer 1998, Garhammer & Hatfield 1985). Täydellistä suoritustekniikkaa on vaikea määritellä täysin, johtuen nostajien antropometrisistä eroista (Storey & Smith 2012). Pidempien nostajien on kyettävä tuottamaan tankoon suurempi huipputeho, jotta se nousee riittävän korkealle alle menoa varten. Lisäksi tangon liikeradassa ja kiihtyvyydessä on eroja kilpa- ja huipputaso nostajien välillä (Stone et al. 2006; Garhammer & Hatfield 1985).

Rossi et al. (2007) tutkimuksen lopputulos oli, että levytangon oikean ja vasemman pään liikeradassa ei ollut merkittävää eroa tempaus- ja työntösuorituksissa.

Sen sijaan tangon liikeradasta on käyty debattia eri tutkijoiden kesken. Esimerkiksi Rossin (2007) tutkimuksen luokittelun teoria ei mene yhteen Garhammerin (1998) tekemän tangon liikerata luokittelun mukaisesti. Rossin tutkimuksessa tempauksen levytangon noudatti C-liikerataa (kuva 1). Garhammer taas esitti, että suurin osa onnistuneista kansainvälisen tason nostoista noudattaa A-liikerataa, kun taas selkeä vähemmistö C-liikerataa. Useita muitakin risteäviä tutkimuksia on esitetty, jotka osoittavat, etteivät parhaimmat nostot noudata aina kaikista optimaalisinta A-liikerataa (Isaka 1996).

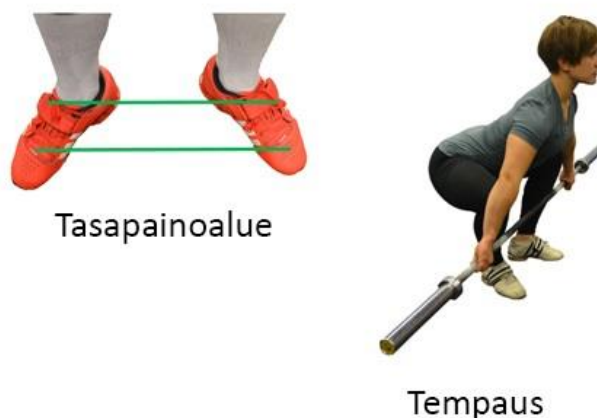


Kuva 1. Tutkimuksen levytangon liikeradan luokitukset (Ross et al. 2007)

Harbilin (2012) ja Harbili & Alptekin (2014) tutkimuksissa kävi ilmi, että raskaimmalla painolla tehdyssä tempauksessa levytangon nopeus ja korkeus olivat merkittävästi pienempiä kuin kevyemmällä painolla tehdyissä suorituksissa. Mekaanisessa työssä ei ollut merkittäviä eroja nostojen välillä, mutta kakkosvedon nopeus oli raskaimmalla painolla merkittävästi alempi kuin kevyemmällä painolla. Lantion ojentumisen kulmanopeus oli merkittävästi suurempi raskaimmalla painolla. Lisäksi tutkimus osoitti, että lantion nivelkulman lisääntyneellä kiertonopeudella ykkösvedossa on suora yhteys levytangon nopeuteen kakkosvedossa. Polven kulmanopeus tulisi olla myös kakkosvedossa nopeampi kuin ykkösvedossa sekä lantion kulman tulisi olla näistä kaikkein nopein. Näin ollen yleisenä oletuksena voidaan pitää, että lantion merkitys voimantuotossa kasvaa painon kasvaessa.

### 3.1 Nostamisen biomekaniikka

Nostamisen peruseräteenä on, että kuorma kulkee mahdollisimman lähellä nostajan tasapainoaluetta (kuva 2) (Kauhanen 1985, Kauhanen et al. 1994). Koska kuormaa nostetaan aina maanvetovoimaa vastaan, tehokkain tapa on nostaa mahdollisimman vertikaalista reittiä suoraan ylöspäin. Kuorman irrotessa maasta, nostaja ja levytanko muodostavat yhdessä systeemin, jolla on yhteinen painopiste (Szabo 2012). Mikäli yhteinen painopiste liikkuu pois tasapainoalueelta ja kauemmas tukipisteestä, nostamiseen tarvitaan suurempi voima sekä nostaminen muuttuu vähemmän taloudelliseksi (Kauhanen et al. 1994). Myös loukkaantumisen riski kasvaa. Nostajan ei myöskään kannata ohjailta tai muuttaa omaa painopistettä lähemmäs tukipisteitä noston aikana, sillä levytangossa oleva kuorma alkaa ohjailta nostajaa ja suorituksesta tulee teknisesti vaikeampi ja tehottomampi. Tämä korostuu etenkin, kun kuorma on suurempi kuin nostajan massa. Levytangon ollessa kuormana, nostajan luut toimivat vipuvarsina ja nivelet tukipisteinä. Nostosuorituksen mekaaninen tehokkuus saavutetaan jokaisessa nostovaiheessa liikuttamalla kuormaa tukipisteitä kohti. (Bartonez 1996, Baumann 1988)



Kuva 2. Tempauksen tasapainoalue ja alkuasento (voimanpolku.info)

### 3.2 Tempaus tekniikan vaiheet ja variaatiot

Tempauksen opettamiseen käytetään yleensä kolmen vaiheen mallia – alkuasento, veto täyteen ojennukseen, allemenno- ja ylösnousu-vaihe. Tempauksen tekniikkaa on tutkimuksissa analysoitu yleensä kuuden vartalon asennon ja niiden välissä olevien viiden vaiheen -mallin mukaisesti. (Garhammer, 1985, Harbili et al. 2012, 2014, Akkus 2012, Gang et al. 2012, Tysz, 2010).

Kuusi vartalon asentoa ovat 1) lähtöasento, 2) levytanko polven korkeudella, 3) teho-asento (power position), 4) vartalon ojentuminen, 5) vastaanotto kyykyssä ja 6) palautus. Asentojen väliset vaiheet ovat 1) 1. veto 2) transition-vaihe 3) 2.veto 4) allemenno-vaihe ja 5) palautusvaihe. (Harbili et al. 2012, 2014)

Lähtöasennossa katse tulee suunnata hieman yläviistoon, jolloin yläselän tukilihakset saavat suurimman aktivaation ja stabiliteetin. Lisäksi keskivartaloon luodaan painetta ”valsalva manoever” tekniikalla, jotta koko selkäranka ja lantion seutu jäməköityvät. Yleensä hengitystä pidätetään koko suorituksen ajan. Hartialinja tulee olla tangon päällä tai hieman sen etupuolella sekä jalat noin hartioiden leveydellä, polvien ja varpaiden ollessa samassa linjassa. Yleensä jalkaterät osoittavat tässä kohtaa suoraan eteenpäin jolloin tasapaino on paras. (Vorobyev 1978)

Ensimmäinen vaihe eli **1. veto** alkaa painojen irrotessa maasta ja päättyy levytangon ollessa polven tasalla. Tanko irrotetaan lattiasta käyttäen pääosin jalkojen ojentajalihaksia eli vaihe suoritetaan lantion ja polven ojentumisen avulla, selän ja alustan kulman pysyessä muuttumattomana (Bottcher, 1999). Tangon liike on suoraan ylöspäin tai hieman nostajaa kohden. Tanko ei saa siirtyä irrotusvaiheessa eteenpäin, jolloin nosto alkaisi virheellisesti selällä. Hartiat pysyvät edelleen levytangon päällä tai hieman sen etupuolella. 1. veto on ajallisesti pisin vaihe, keston määräytyessä nostettavan kuorman mukaan.

Toisen vaiheen eli **transitio-vaiheen** aikana nostajan painopiste siirtyy hieman enemmän päkiöille levytangon liukuessa polven ohi ja lähemmäs nostajan painopistettä, mahdollistaen lonkan ojentajalihasten tehokkaan käytön. Tänä aikana myös polvet koukistuvat hieman levytangon alle. Tämän vaiheen aikana nostajalla on mahdollisuus aloittaa lihasjännekompleksin venymis-lyhenemissyklin ”virittäminen”, jolloin 2.vedossa saataisiin lihasten elastinen energia ja sitä kautta suurempi voimantuotto käyttöön. Tätä tekniikkaa kutsutaan amerikkalaisessa kirjallisuudessa ”double knee bendiksi” ja eurooppalaisessa ”re-adjustmentiksi”, joka on seurausta polvi- ja lantionivelen oikea-aikaisesta ojentumisesta ja rytmistä. Monissa yhteyksissä tämä on todettu olevan osa huipputekniikkaa. (Isaka 1996, Enoka 2008, Stone 2006, Storey & Smith 2012).

Kolmas vaihe eli **2.veto** alkaa levytangon ohitettua polvet. Tämä on tempaussuorituksen tärkein vaihe ja sen aikana saavutetaan nostosuorituksen suurimmat tehot (Garhammer 1993). Tällöin nostaja aloittaa kiihdyttämään nostoa voimakkaasti tuoden lantiota eteenpäin ja ojentamalla selkää. Valmennuksessa käytetään usein tämän vaiheen osalta ohjetta ”lantio menee tangon luokse, ei toisinpäin” (Jaakko Kailajärvi, Lasten ja nuorten voimaharjoittelun seminaari 2016). Levytanko liikkuu reittä pitkin kohti lantiota, hartioden ollessa edelleen tangon päällä. Tässä vaiheessa paino on vielä koko jalalla. 2. vedon jälkimmäinen vaihe, eli loppuponnistus alkaa levytangon ollessa yläreidellä. Tällöin nostaja ponnistaa itsensä voimakkaasti täysojennukseen. Polvet ja lonkka ojentuvat voimakkaasti ja nostaja nousee päkiöille asti, samalla täydentäen loppuponnistusta vetämällä hartiaseudun lihaksilla levytangolle lisää kiihtyvyyttä kineettisen ketjun periaatteiden mukaisesti. Hartioden veto on loppuponnistuksen jatkumo ja suuntaa tankoa ylöspäin. Tässä vaiheessa tangon kiihtyvyys tulisi olla suurimmillaan. Loppuponnistus viedään aina vartalon täyteen ojennukseen asti, jolloin levytankoon tuotetaan vertikaalista voimaa mahdollisimman pitkään.

Vartalon ollessa täydessä ojennuksessa, alkaa ketteryyttä ja tasapainoa vaativa **allemeno-vaihe**, jossa nostaja syöksyy levytangon alle kyykkyyyn vastaanottamaan tippuvaa kuormaa. Valmennuksessa allemeno vaiheesta käytetään usein myös nimitystä **3. veto**. Tämä kuvaa hyvin allemeno-vaiheen aktiivisuutta ja ajatusmallia siitä, että nostaja ”vetää itsensä

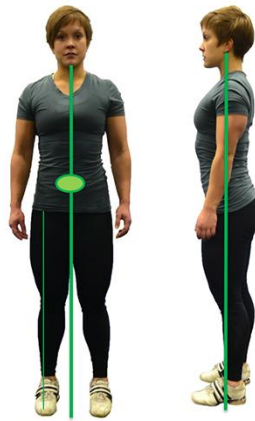
levytangon alle”. Kuorma tulisi ottaa kiinni mahdollisimman lähellä nousukorkeuden lakipistettä. (Storey & Smith, 2012, Garhammer, 1980)

Kun kuorma on saatu vakautettua kyykkyasennossa, alkaa **palautusvaihe** jossa nostaja pyrkii nousemaan kyykystä ylös suorille jaloille. (Gourgoulis et al. 2009, Harbili & Alptekin, 2014)

### 3.3 Tasapainoalue

Jokaisella kappaleella on painopiste. Niin kauan kuin painopiste sijaitsee tukipisteen päällä tai tukipisteiden välisellä alueella, kappaleen sanotaan olevan tasapainossa. Säännöllisillä kappaleilla, kuten painonnostotangolla, voidaan määrittää painopisteen sijainti suhteellisen helposti. Epäsäännöllisillä kappaleilla, kuten ihmisellä jonka ääriviivat muuttuvat, on vaikeampaa määrittää painopisteen sijaintia (Enoka 2008).

Ihmisen seistessä ryhdikkäänä, painopiste sijaitsee navan korkeudella (kuva 3). Naisilla hieman lähempänä lantiota, johtuen antropometrisistä eroista miehiin verrattuna. Tasapainoalueen hallinta on tärkeää niin painonnosto- kuin missä tahansa urheilusuorituksessa. Se antaa suoritukseen taloudellisuutta tehokkuutta sekä teknistä varmuutta mahdollistaen koko kineettisen ketjun läpi kulkevan voimantuoton. Tasapainoalue vartalossa voidaan määrittää sivulta katsoen linjauksella korva, hartia, lonkka, polvilumpio ja jalkaterän keskilinja. Alaraajoissa suoliluun etukärki, sääriluun kyhmy, 2. varvas - jalkaterien asennosta riippumatta. (voimanpolku.info)



Kuva 3. Painopisteen ja tasapainoalueen määrittäminen (voimanpolku.info)

Tasapainoalue on jalkaterässä varpaiden ja kantapään välinen alue (kuva 4). Turvallinen ja tehokas nostaminen on mahdollista silloin, kun kuorma säilyy koko noston ajan tasapainoalueen sisällä. Nostajan tulisi kuvitella oman jalkaterän mukainen putki, jonka sisällä kuorma liikkuu koko noston ajan. Tasapainoalue vaihtuu hieman nostosuorituksen aikana. A) kuvaa tasapainoaluetta maasta irrotuksen jälkeen - levytanko siirtyy nostajaa kohti ja B) tasapainoalue ponnistusvaiheessa tempauksessa (voimanpolku.info).



Kuva 4. Tasapainoalue ja levytangon siirtymä liikkeen aikana (voimanpolku.info)

Jalkaterien tulee olla hieman auki tempauksen alkuun. Tämä mahdollistaa lannerangan neutraalin asennon säilymisen lähdössä sekä pakaralihaksen voimakkaan aktivoitumisen 2.vedossa ja vastaanotossa. Lähtöasennossa jalat tulee olla lantion leveydellä, koko



jalkapohja lattiassa, polvet ja varpaat samaan suuntaan, yläselkä kevyessä jännityksessä ja katse hiukan yläviistoon. Painopisteen tulee olla koko jalkapohjalla, kuorman liikkussa koko noston ajan lähellä vartaloa. Nostaminen aloitetaan jaloilla ja vasta polven ohituksen jälkeen selän kulma suhteessa alustaan muuttuu. Kuorman irrotessa lattiasta pää johtaa nostosuoritusta niin että selässä oleva paine ja lukitus pysyvät, antaen nostolle tarvittavan stabiiliteetin. Vetovaiheet (kuva 5) ovat tärkein osa nostoa ja sen hallitseminen mahdollistaa tehokkaan, turvallisen ja voimantuoton kannalta optimaalisen tavan nostaa (voimanpolku.info).



Kuva 5. Tempauksen vetovaiheet jaettu neljään osaan (voimanpolku.info)

### 3.4 Polven ohituksen strategiat

Noston vaativin ja vaikein tilanne on noston keskivaihe (transitio-vaihe) eli polven ohitus (Storey & Smith 2012). On usein sanottu, että suurin osa epäonnistuneista nostoista ratkaistaan tällä alueella. Levytangon ollessa tässä kohdassa, on useita tukipisteitä toiminnassa – nilkka, polvi, lantio ja hartiat. Nostajan tulee päättää, mikä nivel liikkuu kohti levytankoa. Tämä on ratkaiseva noston onnistumisen ja turvallisen nostamisen kannalta. Mikäli polvi ohitetaan nostajan voimantuoton, toiminnallisuuden ja antropometrian kannalta epäedullisesti, on tuloksena heikko 2.vedon voimantuotto tai epäonnistunut nosto. Tästä voi seurata myös pitkässä juoksussa tekniikkavirheitä. Myöskään nostaja ei kykene maksimoimaan omaa potentiaaliaan. Polven ohittamiseen voidaan näin ollen luoda erilaisia strategioita perustuen nostajan aiemmin mainittuihin yksilötason ominaisuuksiin.

Käytännössä polven ohituksen eri strategiat vaikuttavat selän ja alustan kulman muutokseen 1. vedon aikana sekä transitiovaiheessa. Strategian tulisi pohjautua yksilön antropometriaan pyrkimyksenä maksimoida lihasten venymis-lyhemissyklin aktivointi ja käyttö 2.vedossa. Esimerkiksi David Rigertin ja Yuri Vardanianin maailmanennätys tempausnostot eri painoluokissa 1978 eroavat nimenomaan selän ja alustan kulman suhteen transitio-vaiheessa (John Garhammer & Harvey Newton, US-Olympic Committee 1980). Levytangon siirtyessä kohti nivusia, 2. vedon aikana, noston eri vaiheet lähestyvät nivelkulmien osalta toisiaan. Polven ohituksen eri strategiat voivat pohjautua myös yksilön koordinaatio-ominaisuuksiin. Jotkut nostajat haluavat nostosuoritukseen enemmän dynaamisuutta ja elastisuutta, toiset staattisuutta ja liikehallintaa.

## 4 LIIKE- JA SUORITUSANALYYSI

Liikeanalyysillä tarkoitetaan jonkin liikkeen analysointia kaksi- tai kolmiulotteisesti esimerkiksi nivelkulmien, etäisyyksien tai nopeuksien osalta (Garhammer & Newton 2013). Kuvantamismenetelmien käyttäminen ihmisten tai eläinten liikkeiden analysoinnissa on alkanut noin 1800-luvun lopulla alan pioneerien Eadweard Muybridgen, Wilhelm Braunen ja Otto Fischerin toimesta. Klassinen liikeanalyysitutkimus on Muybridgen 1878 tekemä ”The Horse in Motion”, jossa tutkittiin hevosen laukka-askelien symmetriaa, ilmalentoa ja tekniikkaa. Urheilua on tutkittu liikeanalyysin avulla ensimmäistä kertaa 1900-luvun alussa, jolloin 32fps (kuva per sekunti) kameroilla pystyttiin tutkimaan lantion, polven ja nilkan nivelkulmien muutoksia juoksussa.

Liikeanalyysin käyttäminen tutkimusmenetelmänä koki murroksen digitaalisten teknologioiden myötä 1970-luvulla, jolloin kamerat kykenivät peräti 400 kuvaan per sekunti ja niiden liittäminen sen ajan tietokoneiden kanssa oli mahdollista. Tällöin myös kinemaattisten muuttujien horisontaalinen ja vertikaalinen (2D) analysointi ihmiskehoon kiinnitettävien passiivisten markkereiden avulla oli helpompaa. 1990-luvulla videokameroiden hintojen lasku ja ohjelmistojen kehittyminen toivat liikeanalyysin mahdolliseksi lähes kaikille. Samoihin aikoihin digitaaliset kolmiulotteiset liikeanalyysit yleistyivät terveydenhuollon ja yliopistojen kautta urheiluun. Kolmiulotteisen liikeanalyysin avulla objektien seuraaminen pystyttiin automatisoimaan sekä suorituksen täydellinen mallintaminen ja tarkastelu kaikista liikkeen tasoista tuli mahdolliseksi. Suoritustekniikan analysointiin on kehitetty myös erilaisia kolmiulotteisia mallinnuksia (Principal component analysis, PCA), joiden avulla liikkeen mekaniikkaa voidaan tutkia paremmin (Federolf et al. 2012). Digitaalisuus on mahdollistanut myös reaaliaikaisen palautteen antamisen, jolloin liikeanalyysi on tullut lähemmäksi valmennusprosessia. Liikeanalyysin mahdollisuuksien hyödyntäminen urheiluvalmennuksessa on kuitenkin vielä tiensä alussa. Liikeanturien käyttö on pelkän datan keräämisen kannalta kuitenkin tehokkaampi menetelmä (Camomilla et al. 2010). Sanallinen palaute yhdistettynä suorituksen näkemiseen videokuvasta pidetään tehokkaimpana taidon oppimisen menetelmänä (Mero et al. 2016). Tämän niin sanotun

visuaalisen palautteen avulla on myös pystytty lisäämään merkittävästi tempaus- ja rinnalleveto-suorituksen keskeisiä tekijöitä kuten nopeutta ja tehoa (Winchester et al. 2009, Sakadjian et al. 2014).

#### **4.1 Liikeanalyysi tempauksessa**

Painonnosto on yksi ensimmäisistä urheilulajeista, jossa suoritusta on tutkittu liikeanalyysin avulla tieteellisesti jo 50- ja 60-luvulta (Garhammer & Newton 2013, Storey & Smith 2012). Osa syynä tähän oli painonnoston rooli kylmän sodan aikaan propagandan välineenä idän ja lännen välillä. Tällöin välineenä oli 16mm kamerat, joiden avulla voitiin mitata nivelkulmia ja tangon liikerataa. Näihin aikoihin myös esitettiin ensimmäiset painonnostoa koskevat tieteelliset julkaisut David Websterin toimesta.

Kaksiulotteinen liikeanalyysi on todettu olevan hyvä ja kustannustehokas keino analysoida painonnostosuoritusta nimenomaan valmennuksen näkökulmasta, vaikka sen tarkkuutta on epäilty monissa yhteyksissä (Storey & Smith 2012). Kaksiulotteista menetelmää on käytetty erityisesti kilpailusuoritusten ja harjoittelun analysoinnissa. Tieteelliseen käyttöön suositellaan edelleen kolmiulotteista menetelmää, johtuen sen tarkkuudesta sekä datan keräämisen monipuolisuudesta (Irwin, 2010, Lenjan-Nejadian et al. 2010). Liikeanalyysillä analysoidaan yleensä urheilusuorituksen vaiheita, liikkeen tasoja, kehon segmenttien järjestystä ja kineettistä summautumista sekä venymis-lyhenemissykliä (Ferdinands 2010).

Nykypäivänä analyysit ovat osittain automatisoituneet ja myös omasta painonnostosuorituksesta voi saada palautetta kännykkäsovellukseen kehitetyn applikaation avulla (Lady 2014). Myös aktiivisuusrannekkeen käyttöä on testattu painonnostoharjoittelussa, josta käyttäjät ovat antaneet hyvää palautetta (Velloso 2013). Painonnostosuorituksen palautteen automatisointi kiinnostaa sen tehokkuuden vuoksi myös monia huippu-urheiluinstituutioita (Moon et al. 2003).

Liikeanalyysia voidaan pitää osana laajempaa suoritusanalyysi-konseptia (performance analysis), joka on osa nykyaikaista urheiluvalmennusta yksilö- ja joukkuelajeissa. Suoritusanalyysi on käytännönläheinen ja luonnollisessa ympäristössä tapahtuva urheilusuorituksen analysointimalli, joka pyrkii mittaamaan ja analysoimaan suorituksen keskeisimpiä muuttujia tavoitteena parantaa urheilijan tai joukkueen suoritusta (Hughes et al. 2008). Suoritusanalyysissa sovelletaan liikeoppia ja videoanalyysia, biomekaniikkaa ja fysiologiaa sekä tilastollisia menetelmiä. Analyysin avulla ymmärretään urheilusuoritusta yksilön tai joukkueen kannalta paremmin sekä sillä voidaan optimoida harjoittelua ja peliin valmistautumista. Suoritusanalyysien tarve kasvaa koko ajan perustuen niiden tehokkuuteen valmennuksen työkaluna ja taidon oppimisen menetelmänä. (O'Donoghue 2014, Hughes et al. 2008)

Tämän tutkimuksen yhtenä tavoitteena on luoda painonnostoon soveltuva edullinen ja helpokäyttöinen suoritusanalyysimalli, jolla mahdollistetaan laadukkaampi valmennus.

## **4.2 Tempauksen kinematiikka**

Kinematiikka tutkii kappaleen liikettä geometrian kannalta, ottamatta huomioon liikkeen syitä tai voimia. Kinematiikka on voimaopin, eli dynamiikan perusta. Yleisimpiä kinematiikan suureita ovat kappaleen nopeus, kiihtyvyys ja kulmanopeus (Enoka 2008).

Painonnostossa levytangon ja nostajan kinematiikkaa on tutkittu paljon liikeanalyysin avulla (Akkus 2012). Yleisin menetelmä on kuvata nostosuoritus suurnopeuskameralla sagittaalitasossa, seurata jälkikäteen liikeanalyysityökalulla haluttua objektia ja tallentaa sen liikerata. Painonnostosuorituksen kuvaaminen sivulta on helppo, suosittu ja edullinen tapa analysoida nostoa sekä levytangon liikeradan, että vartalon nivelkulmien suhteen. 3D-analyysi on yleistynyt tutkimuskäytössä, mutta valmennuksen ja yksilön näkökulmasta se on liian hidas ja kallis menetelmä (Garhammer & Newton 2013).

Aiempien levytangon kinematiikkaan keskittyneiden tutkimusten pohjalta voidaan sanoa, että huippunostajilla tempauksen 2. vedon aikana saavutetaan suurin levytangon nopeus, kiihtyvyys sekä lantion ojentumisen kulmanopeus (Garhammer 1980, Harbili & Alptekin 2014). Levytangon vertikaalinopeus maksimikuormilla on parhaimmillaan 2,1m/s ja submaksimaalisilla kuormilla vieläkin korkeampi. Yleisesti ottaen 1,7-1,8m/s pidetään kansainvälisen tason nopeutena (Garhammer 1985, Gourgoulis et al. 2000). Naisnostajilla on raportoitu olevan hivenen kovempia huippunopeuksia kuin miehillä, johtuen pienemmistä kuormista (Harbili 2012). Antropometrian vaikutuksia levytangon nopeuksiin ei tunneta.

Nivelien kulmanopeuksia on raportoitu pääosin nilkan, polven ja lantion osalta. Polven kulmanopeus on suurin 1. vedon aikana noin 170-250 °/s ja siihen vaikuttaa kuorman suuruus. Lantion kulmanopeus on todettu olevan suurin 2. vedon aikana noin 420-470 °/s eikä kuorma vaikuta siihen oleellisesti. Miehillä on todettu olevan hieman suurempi lantion kulmanopeus kuin naisilla. (Garhammer et al. 2013, Okada et al. 2008, Gourgoulis et al. 2000, Harbili, 2012, Akkuş, 2012, Harbili & Alptekin, 2014) Tämä alleviivaa 2. vedon olevan tärkein vaihe tempauksessa.

### **4.3 Tempauksen kinetiikka**

Kinetiikka, eli voimaoppi, tutkii kappaleiden liikettä, voimia ja niiden yhteyksiä toisiinsa. Kinetiikan suureita ovat tyypillisesti gravitaatio, voima, työ ja teho (Enoka 2008). Biomekaniikassa käytetään yleisesti käänteisen dynamiikan (inverse dynamics) menetelmää, jossa voima, työ ja teho lasketaan liikkeen perusteella (Garhammer 1993). Painonnostosuorituksen mekaanista voimaa, työtä ja tehoa on tutkittu useilla eri menetelmillä kuten voimalevyillä, antureilla ja liikeanalyysin avulla (Baumann et al. 1998, Sato 2009 & 2012, Garhammer 1993). Voimalevyillä päästään tarkimpaan lopputulokseen, koska nostajan alustaan tuottama voima nähdään absoluuttisena. Anturit ovat osoittautuneet luotettavaksi ja tarkaksi menetelmäksi mitata levytangon kinematiikkaa (Sato et al. 2009, 2012, Camomilla et al. 2010). Kuitenkin kisatilanteessa, voimalevyn asentaminen nostolavaan tai anturin asettaminen levytankoon on hyvin harvoin mahdollista. Näin ollen arvokilpailutason

suorituksia päästään tutkimaan käytännössä ainoastaan käänteisen dynamiikan ja liikeanalyysin avulla. Monessa urheilulajissa kuten hyppylajeissa, pikajuoksussa ja painonnostossa menestyminen riippuu urheilijan kyvystä tuottaa suuri voima ja teho. (Stone et al. 2006, Garhammer 1992)

Teho kertoo tehdyn työn määrän aikayksikössä tai on voiman ja nopeuden tulo. Tempauksessa nostajan tekemää mekaanista työtä voidaan laskea kaavalla  $W = \Delta ME$ , missä  $W$  on painovoimaa vastaan tehty työ, ja  $\Delta ME$  on levytangon mekaanisessa energiassa tapahtunut muutos. Mekaaninen energia on objektin potentiaali ja kineettisen energian summa. Kineettinen energia lasketaan kaavasta  $KE = mv^2/2$  ja potentiaalienergia  $PE = mgh$ . Kineettisen energian kaavassa  $m$  on levytangon massa,  $v$  on sen nopeus,  $h$  sen korkeus lähtötasosta ja  $g$  on gravitaatiovoima  $9,81\text{m/s}^2$ . Tässä yhtälössä potentiaalienergia on hallitsevampi elementti. (Garhammer 1993) Tempauksen 2.vedon aikana saavutettuja tehoja on raportoitu kansallisella tasolla 2000-4000W ja huippunostajilla 4000-6000 W väliltä, riippuen sukupuolesta ja painoluokasta. Esimerkiksi raskaansarjan tempauksessa on todettu olevan noin 4000W teho. (Stoney & Smith 2012, Garhammer 1992 & 1993) Miehet ovat saavuttaneet 2.vedon aikana noin 52W/kg ja naiset noin 40W/kg keskitehon suhteessa painokiloon. (Garhammer 1991)

## 5 TUTKIMUKSEN TARKOITUS

Tämän tutkimuksen tavoitteena on 1) tutkia ja löytää kilpailumenestyksen kannalta tärkeimmät korrelaatiot levytangon dynamiikassa ja vartalon nivelkulmissa 2) testata, kehittää ja validoida edullinen suoritusanalyysimalli, jolla tekniikan ja levytangon muuttujien analysointi onnistuu lähes keneltä tahansa niin harjoitus- kuin kilpailutilanteessa sekä 3) toteuttaa case-study harjoitustutkimus Varalan urheiluopistolle klusteriharjoittelusta ja sen akuuteista vaikutuksista huippupainonnostajan suorituskykyyn ja nostotekniikkaan. Kilpailututkimuksesta saadun tiedon avulla pyritään määrittelemään tempauksen avainindikaattorit ja suoritusanalyysimallin avulla osoitetaan, miten ne voidaan käytännön läheisesti mitata. Tutkimuksella ei ole varsinaisia tilaajia mutta painonnostoliitto sekä useat seurat ja urheilijat ovat ilmaisseet kiinnostuksensa tutkimusta kohtaan. Lisäksi tutkimuksen aikana kehitettyä teknologiaa voidaan käyttää synnyttämään uutta yhteistyötä ja liiketoimintaa.

Yksi suomalaisen huippu-urheilun ongelma on resurssien, seuravalmennuksen osaamisen sekä koulutuksen puute (Jukka Viitasalo, huippu-urheilun muutosryhmä-seminaari, 2011). Näin ollen tämä suoritusanalyysi toimii eräänlaisena esimerkkinä siitä, miten tutkimustoiminta ja valmennus voisi toimia paremmin yhteistyössä urheilijaa palvellen. Tämä tutkimus myös pyrkii mukailemaan ”tiedolla johtamisen strategiaa”, jota kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskus on peräänkuuluttanut erilaisissa esityksissään (Lämsä & Lehtonen 2015). Kilpailututkimuksessa kerättyä aineistoa voidaan käyttää myös valmennusta ja koulutusta hyödyttävänä materiaali- ja tietopankkina.



## 5.1 Tutkimusongelmat

Kilpailututkimuksen tavoitteena on kerätä merkittävä liikeanalyysiaineisto painonnoston SM-kilpailujen tempauksen kilpailusuorituksista sekä tutkia ja löytää kilpailumenestyksen kannalta tärkeimmät korrelaatiot levytangon dynamiikassa ja vartalon nivelkulmissa. Menestyneiksi urheilijoiksi luetaan mitalistit. Muut ovat ei-mitalisteja. Vaikka kirjallisuudessa löytyy paljon erilaisia painonnostosuoritusta käsitteleviä tutkimuksia, toistaiseksi kirjallisuudesta ei löydy tutkimusta, jossa olisi analysoitu levytangon dynamiikkaa sekä nostajan nivelkulmia, näinkin suuren, 195 onnistuneen tempaussuorituksen 2. vedon osalta kansallisen tason arvokilpailussa. Erityisesti nostosuorituksen kannalta tärkeimpien muuttujien - levytangon keskinopeuden, nostolinjan tehokkuuden ja vertikaalisen tehon osalta - ei ole saatavilla vastaavaa aineistoa. Lisäksi allemenovaiheen lantion nivelkulman nopeutta ei ole tutkittu aiemmin kirjallisuudessa, joten tarkoituksena on myös esitellä painonnostotutkimusmaailmalle uusi muuttuja ja sen yhteys kilpailumenestykseen. Tutkimuksen ison koehenkilömäärän avulla tarkoituksena on myös osoittaa luotettavia viitearvoja, joiden avulla tekniikan analysointia voidaan edelleen kehittää ja yksinkertaistaa. Vertaamalla tuloksia aiemmin kirjallisuudessa esitettyihin lukuihin, voidaan saada myös läpileikkaus suomalaisen painonnoston tasosta tempaussuorituksen osalta. Tämä voi auttaa valmentajia ja painonnostajia matkalla kohti kansallista ja kansainvälistä huippua.

Painonnosto suoritusanalyysin kehittämisen tarkoituksena on myös selvittää, voidaanko luoda valmennusta ajatellen edullista ja luotettavaa mallia, jolla tiedon keruu ja analysointi helpottuisivat niin harjoitus- kuin kilpailutilanteessa. Tähän tarpeeseen luotiin nostolaskuriniminen Excel-pohjainen työkalu, joka laskee x- ja y-koordinaattien perusteella levytangon dynamiikan tärkeimmät muuttujat nostosuorituksesta suoraan taulukkoon, niin että yhden noston analysointi vie työprosessin oppineelta muutaman minuutin. Tutkimusta varten testattiin myös GoPro-kameran soveltuvuutta painonnostosuorituksen kuvaamiseen kilpailutilanteessa sekä datan analysointiin käytettiin ilmaista Kinovea-liikeanalyysiohjelmistoa. Kumpaakaan ei tiettävästi ole käytetty aiemmin

painonnostosuoritusta käsittelevässä gradutason urheilututkimuksessa. Mikäli nämä ”joka miehen” menetelmät osoittautuvat luotettaviksi, kenellä tahansa, pienellä resursseilla toimivalla seura- tai henkilökohtaisella valmentajalla, olisi mahdollista saada valmennuksen tueksi riittävän paljon objektiivista tietoa suorituksesta, valmentaa paremmin sekä optimoida urheilijoiden kehitys.

Harjoitustutkimuksen tavoitteena on tuottaa tietoa klusteriharjoittelun akuuteista vasteista huippupainonnostajalla. Tätä tietoa voidaan käyttää niin painonnostovalmennuksessa kuin voimaharjoittelussakin laajemmin. Yksittäisen klusteriperiaatteella toteutetun painonnostoharjoituksen aikaisia nostotekniikan ja levytangon liikeradan muutoksia ei ole aiemmin tutkittu. Harjoittelututkimukset ovat painottuneet harjoitusjaksoa ennen ja jälkeen tehtyihin mittauksiin, joiden perusteella klusteriharjoituksen vaikutukset ovat todennettu (Haff et al. 2008). Lisäksi on epäselvää, miten yksittäinen painonnostoklusteriharjoitus vaikuttaa alaraajojen dynaamisiin ja isometrisiin voimantuotto-ominaisuuksiin. On kuitenkin tiedossa, että useat maailmanluokan huippupainonnostajat harjoittelevat klusteriperiaatteella varsinkin kilpailujen lähestyessä.

Tämä osa tutkimuksesta toteutettiin yhteistyössä Varalan urheiluopiston testauspäällikön sekä suomalaisen huippuvalmentajan ja -painonnostajan kanssa. Harjoitustutkimuksen aikana testattiin Nostolaskuri-työkalua, joka laskee suorituksen kannalta tärkeimmät levytangon dynamiikan muuttujat. Tällaisen työkalun kehittämiseen tuli tarve, kun huomattiin että kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskuksen 2004 kehittämä Optilift levytankoharjoittelun nostotekniikan mittaus- ja analysointijärjestelmä ei mittaa suoritusta riittävän tehokkaasti ja varmasti. Lisäksi ohjelmisto on monessa suhteessa käynyt vanhaksi eikä se sovi kilpailutilanteeseen.

## 5.2 Hypoteesit

Kilpailututkimuksen osalta hypoteesi on, että mitalistit saavat levytankoon tempauksen 2.vedon aikana kovemman vertikaalisen keskinopeuden ja vertikaalisen tehon suhteessa ei-mitalisteihin. Lisäksi mitalisteilla on tehokkaampi nostolinja sekä nopeampi lantion nivelkulma sekä 2.vedossa että allemenossa. Suoritusanalyysin osalta oletuksena on, että levytangon dynamiikkaa ja nostajan nivelkulmia voidaan analysoida ilmaisilla perustyökaluilla (GoPro ja Kinovea) suhteellisen kätevästi ja niin että palaute hyödyttää sekä urheilijaa että valmennusta. Suorituksen avainindikaattorit pyritään määrittelemään yksiselitteisesti.

Hypoteesina harjoittelututkimuksessa on, että klusteriharjoittelu heikentää isometrisia, mutta parantaa dynaamisia voimantuotto-ominaisuuksia. Kovalla intensiteetillä ja pienellä palautuksella tehdyt ykköstoistomaksimit väsyttävät todennäköisesti urheilijan hermolihasjärjestelmää siinä määrin, että isometrisessä voimatestissä tulokset ovat heikommat kuin ennen harjoitusta. Tämä johtuu mahdollisesti heikentyneestä fyysisestä ja psyykkisestä kyvystä rekrytoida kaikkia motorisia yksiköitä keskeisistä lihasryhmistä ja näin ollen tuottaa ja ylläpitää vaadittua voimaa. Dynaamiset testit voivat taas olla harjoituksen jälkeen parempia herkistyneen selkäydintason motoneuronialtaan, eksitoituneen hermolihasliitoksen ja tehostuneen lihasjännekompleksin toiminnan vuoksi. Klusteriharjoittelussa syke tuskin nousee anaerobiselle tasolle ja laktaattia ei myöskään muodostu urheilijalle sarjojen aikana, johtuen palautuksesta. Kuitenkin on mielenkiintoista nähdä kyseisen huippu-urheilijan osalta, mihin suuntaan tulokset menevät, koska klusteriharjoittelun vaikutukset ovat hyvin yksilölliset riippuen sukupuolesta, ominaisuuksista ja harjoittelukokemuksesta.

## 6 MENETELMÄT

Tutkimusaineiston kerääminen harjoitus- ja kilpailututkimuksessa oli kolmivaiheinen prosessi. Ensimmäisessä vaiheessa päätettiin testata kalustoa harjoitustutkimusta varten ja todeta eri menetelmien toimivuus painonnostosuorituksen mittauksessa. Toinen vaihe eli harjoittelututkimus alkoi noin viisi viikkoa ennen 27. päivä helmikuuta 2016 järjestettyjä SM-kilpailuja. Tutkimukseen otettiin mukaan huippupainonnostajan (nainen, 29-vuotias, 158cm, ~60kg) kolme klusteriperiaatteella tehtyä tempaus- ja kaksi työntöharjoitusta. Kolmas vaihe, eli kilpailututkimus toteutettiin Porin SM-kisoissa 27-28.2.2016, jossa GoPro-actionkameralla kuvattiin kaikki kisojen 645 nostoa. Tutkimusta varten analysoitiin 195 onnistunutta tempaussuoritusta. Tilastollisia ajoja varten, jokaiselta nostajalta otettiin paras tempaussuoritus eli 1RM. Nostojen kokonaismääräksi tuli näin ollen 99 tempausnostoa. N=99 (43 mitalistia ja 56 ei-mitalistia).

### 6.1 Tutkimuksen vaiheet

Tutkimus vietiin läpi seuraavassa aikajärjestyksessä. 1) testausvaihe 2) harjoittelututkimus ja 3) kilpailututkimus. Suoritusanalyysin kehittäminen alkoi testausvaiheessa ja menetelmät validoitiin harjoitustutkimuksen aikana. Kilpailututkimuksen datankeräysvaiheessa työkalut olivat suoritusanalyysin osalta valmiit.

Testausvaihe alkoi noin kolme viikkoa ennen harjoittelututkimusta. Eniten aikaa vei sopivien liikeanalyysityökalujen löytäminen sekä Musclelab- tehomittarin ja EMG-housujen käyttämisen testaaminen nostosuorituksessa. Muu tutkimuskaluston käytön soveltuvuus oli helpompi todeta, koska niitä ei käytetty nostosuorituksen aikana vaan ennen ja jälkeen harjoituksen sekä sarjojen välissä. Musclelab-tehomittarin käytön haasteena oli vaijerin pysyminen kiinni levytangossa tempaussuorituksen aikana. Lisäksi pelko laitteen rikkoontumisesta levytangon alas pudottamisen aikana oli todellinen. Näin ollen päädyttiin siihen, että tempaussuorituksen tehot mitattiin Musclelabilla ainoastaan työntöharjoituksessa.

Samoin päädyttiin myös EMG-housujen käytön suhteen, koska siinä oleva lähetin on levytangon tiellä 2.vedon aikana nostosuorituksessa.

Liikeanalyysityökalujen osalta testattiin ensin kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskuksen kehittämään Optilift-työkalua, joka monien vaiheiden jälkeen todettiin soveltuvan huonosti harjoitustilanteen ja varsinkin kilpailutilanteen mittaamiseen. Datan keräyksen onnistuminen oli epävarmaa eikä ohjelmisto toiminut ulkopuolisten kameroiden kanssa. Levytangon seuraaminen ei myöskään onnistunut jälkikäsitelystä eikä ohjelmisto toiminut nykyaikaisen kuvaresoluution ja frame-tarkkuuden kanssa. Näin ollen, nostot päätettiin kuvata GoPro-kameralla sekä tutkia jälkikäteen Kinovea-liikeanalyysiohjelmistolla. Tämän jälkeen syntyi tarve Excel-työkalulle, joka laskee käänteisen dynamiikan periaatteilla nostosuorituksen voima-, työ- ja tehomuuttujat. Näin kehittyi Nostolaskuri 2.4 -työkalu, joka pystyi koordinaattien syöttämisen jälkeen laskemaan suoraan nämä tarvittavat muuttujat. Laskuriin kehitettiin myös ominaisuus, jolla haluttu noston vaihe voitiin määritellä ja analysoida. Lisäksi kun dataa tulee paljon, laskuri taulukoi automaattisesti tärkeimmät muuttujat suoraan nostajakohtaiseen taulukkoon.

Toinen vaihe, eli harjoittelututkimus alkoi noin viisi viikkoa ennen 27. päivä helmikuuta 2016 järjestettyjä SM-kilpailuja. Harjoitustutkimuksen mittaukset toteutettiin Poltesalilla Tampereella, jossa koehenkilönä mukana ollut huippunostaja harjoittelee viikoittain. Tutkimukseen otettiin mukaan kolme klusteriperiaatteella tehtyä tempaus- ja kaksi työntöharjoitusta. Tempausharjoitukset tehtiin kokonaisina suorituksina maasta suorille käsille –periaatteella. Työntöharjoitukset tehtiin pukeilta, jolloin rinnallevetovaihe jäi pois nostoista kokonaan. Tempausharjoitukset sijoituivat tiistai-päivälle ja työntöharjoitukset perjantaille.

Kolmas vaihe, eli kilpailututkimus toteutettiin Porin SM-kisoissa 27-28.2.2016, jossa kuvattiin 6 metrin päähän nostolavasta asennetulla GoPro-actionkameralla kaikki kisojen 645 nostoa. Kuvauksiin osallistui kaksi tutkijaa, joista toinen toimi kameramiehenä ja toinen pöytäkirjan täyttäjänä. Järjestävän seuran Porin Puntti-Karhujen toimitsijat auttoivat myös

kuvauksien onnistumisessa sekä antoivat tukensa tutkimustoiminnalle. Kaikilta osin SM-kisojen kuvaaminen sujui erityisen hyvin.

## 6.2 Tutkimusprotokollat ja menetelmät

Harjoitustutkimuksen harjoitusprotokolla pyrittiin vakioimaan, vaikka käytännön valmennuksessa joutuu kuitenkin joustamaan päivän kunnan mukaan ja kilpailuun valmistautumisen ehdoilla. Lämmittely piti sisällään urheilijan omien lämmittelyrutiinien mukaisesti juoksua, venyttelyä, kalvojen aukaisua, tankojumppaa noin 20 minuutin ajan. Ennen ja jälkeen harjoituksen tehtiin kevennys- ja staattiset hyppytestit voimalevyllä (Hyppytestilevy FP8, HUR Labs Oy, Finland). Parhaimmista hypyistä analysoitiin hyppykorkeus, maksimiteho ja elastisuusprosentti. Hyppytestien jälkeen testattiin alavartalon isometrinen maksimivoima jalkaprässissä (kustomoitu jalkadynamometri, Varalan urheiluopisto). Isometrisestä bilateraalista jalkojen ojennuksesta rekisteröitiin maksimaalinen voimantuotto ja voimantuottonopeus (RFD) käyttäen venymäliuska-anturia (Performance Recorder PR1, HUR Labs Oy, Finland). Molempia hyppyjä sekä isometristä jalkojen ojennusta suoritettiin 2-4 kappaletta alkuverryttelyn jälkeen ennen klusteriharjoituksen alkamista ja välittömästi sen jälkeen. Laktaattimittaus suoritettiin ennen ja jälkeen lämmittelyn sekä harjoituksen aikana jokaisen sarjan välissä. Siihen käytettiin pika-analysointia (Lactate Scout+). Harjoitusten aikana mitattiin myös nostajan sykekäyrä (Polar RS800CX) koko harjoituksen ajalta, jotta voitiin nähdä sydän- ja verenkiertoelimistön kuormitus nostoissa. Itse harjoituksessa tehtiin noin viisi klusterisarjaa, joissa oli kolme nostoa jokaisessa 40 sekunnin palautuksella. Sarjojen välissä oli noin 4 minuuttia palautusta. Harjoituskuormat liikkuivat välillä 75-97% 1RM:stä ja kuormaa nostettiin jokaisen sarjan välissä harjoituksen edetessä. Kaikki nostot kuvattiin GoPro-kameralla (GoPro HERO4 Black 100Hz) sivuperspektiivistä, jolloin levytangon liikeradan seuraaminen jälkikäteen oli mahdollista. Liikeradan seurantaan käytettiin Kinovea-liikeanalyysiohjelmistoa (versio 0.8.15), jonka avulla voitiin mitata nostojen levytangon nopeus, teho sekä liikerata.

Työntöharjoituksissa tehomuuttajat mitattiin suoraan käyttämällä vaijerilla levytankoon kiinnitettävää MuscleLab-tehomittaria (MuscleLAB, Ergotest). Urheilijalla oli koko harjoituksen ajan päällä EMG-housut (MBody, Myontec Oy, Finland), joiden avulla nähtiin etu- ja takareisien aktivaation taso sekä suhde toisiinsa. Dataa ei synkronoitu kuvan kanssa, jolloin aktivaatio suhteessa nostovaiheeseen jäi huomioimatta. EMG-housujen avulla voitiin kuitenkin seurata urheilijan lihasaktivaation symmetriaa.

Mittausmiehistö koostui 1-3 henkilöstä. Päävastuussa oli allekirjoittanut Pro-gradun kirjoittaja, joka vastasi nostojen kuvauksesta, sykemittauksesta, EMG-housujen asennuksesta ja mittauksesta sekä testauksen läpi viennistä. Varalan urheiluopiston testauspäällikkö tuki MuscleLab –mittauksilla työntöharjoituksia sekä toimi asiantuntijana mittauksien läpiviennin osalta. Lisäksi mukana oli tutkimusapulaisena liikuntabiologian maisteriopiskelija, joka toimi laktaatin mittaajana sekä avustajana useissa mittaustoimissa.

Harjoitustutkimuksen datan keräys ja mittaukset sujuivat niin testauksen kuin nostojen kuvaustenkin osalta hyvin. Tutkimusryhmä koki, että mittaaminen ei häirinyt urheilijan harjoittelua oleellisesti. Myös urheilija oli tätä mieltä. Viidestä mitatusta harjoituksesta (kolme tempausharjoitusta ja kaksi työntöharjoitusta) neljässä urheilija onnistui viemään läpi suunnitellut kuormat ilman yhdenkään noston epäonnistumista. Yhdessä harjoituksessa suorituskyky ei ollut paras mahdollinen (tempaus 2.2.2016). Joitain mittauksia jouduttiin hieman soveltamaan tilanteen mukaan sekä joskus myös mittaustekniikka petti, eikä dataa saatu tallennettua esimerkiksi sykkeen ja laktaatin osalta. Lisäksi harjoituksen alussa toteutetun isometrisen maksimivoimatestin todettiin heikentävän urheilijan suorituskykyä niin, että se päätettiin jättää pois kolmannen harjoituksen jälkeen.

Kun harjoitustutkimus oli suoritettu ja suoritusanalyysimalli testattu, toteutettiin varsinainen kilpailututkimus Porin SM-kisoissa 27-28.2.2016, jossa kuvattiin noin 6 metrin päähän nostolavasta asennetulla GoPro-actionkameralla kaikki kisojen 645 nostoa. Mittasuhteiden kalibrointia varten mitattiin ja merkattiin teipillä 2 metrin pituinen horisontaalinen linja. Kuvauksiin osallistui kaksi tutkijaa, joista toinen toimi kameramiehenä ja toinen pöytäkirjan

täyttäjänä. Kameramies käynnisti kuvauksen jokaisen nostajan saapuessa lavalle ja lopetti kuvauksen painojen tipahtaessa maahan. Kilpailujen jälkeen kasassa oli 645 videoklippia. Pöytäkirjan täyttäjä täytti nostosuorituksen ja videoklippien jälkikäsittelyn kannalta tärkeimmät asiat. Järjestävän seuran Porin Puntti-Karhujen toimitsijat auttoivat myös kuvauksien onnistumisessa sekä antoivat tukensa tutkimustoiminnalle. Kaikilta osin SM-kisojen kuvaaminen sujui erityisen hyvin.

### **6.3 Analysoitavat muuttujat**

Harjoitustutkimuksessa tärkeimmät analysoitavat muuttujat ovat vertikaalihinnoituksen korkeus (cm), maksimaalinen isometrinen voimantuotto (kg) ja nopeus (kg/s) sekä levytangon dynamiikassa 2. vedon nopeus ja nostolinjan tehokkuus-indeksi.

Kilpailututkimuksessa 195 onnistuneen tempausnoston 2. vedon levytangon dynamiikan tärkeimmät muuttujat ovat nopeus (m/s), voima (N), työ (J), teho (W), teho/kehonpaino (W/kg), nostokorkeus (cm) ja tehokkuus-indeksi (%). Kaikista muuttujista taulukoitiin erikseen vertikaali- ja horisontaalikomponentit sekä niiden yhteenlaskettu kokonaisarvo. Tehokkuus-indeksin avulla haluttiin verrata vertikaalisen ja horisontaalisen työn suhdetta toisiinsa levytankoa nostettaessa. Perustuen aiempiin tutkimuksiin, tehokkuus-indeksi on hyvä yksittäinen muuttuja määrittelemään nostajan suorituksen teknistä taloudellisuutta ja onnistumista (Garhammer 1993). Painonnoston lajiansalyysin mukaan noston tekninen periaate on nostaa mahdollisimman suuri kuorma suorille käsille mahdollisimman vähällä energiankulutuksella (Kauhanen 1993). Tehokkuus-indeksillä on myös pystytty näkemään eroja keskitason ja huippupainonnostajien välillä (Garhammer 1993). Laskumenetelmät automatisoitiin Excel-työkalussa niin, että yhden noston muuttujien analysointiin menee noin 5-10 min.

Nostajan vartalon nivelkulmien muutoksia seurattiin erityisesti lantion osalta jossa tärkeimmät muuttujat ovat lantion kulman suuruus (°) neljässä eri 2.vedon erikseen määritellyssä asennossa sekä nivelkulmanopeus 2.vedon ja allemenon aikana (°/s). 2. vedon



nivelkulman nopeuden suhteen haluttiin tietää, kasvaako lantion kulmanopeus kuorman kasvaessa, kuten kirjallisuudessa väitetään (Harbili 2012, Harbili & Alptekin 2014). Allemenon-vaiheen lantion nivelkulman nopeutta ei ole tutkittu aiemmin kirjallisuudessa, joten tämän tutkimuksen osalta on tarkoitus myös esitellä painonnostomaailmalle uusi muuttuja ja sen yhteys kilpailumenestykseen.

Tutkimusta varten analysoitiin 195 onnistunutta tempaussuoritusta. Ensin jokaisesta videoklipistä editoitiin varsinainen nostosuoritus aina painojen irrotessa lattiasta painojen pudottamiseen saakka. Tämän jälkeen kaikista nostoista mitattiin levytangon liikerata Kinovea -liikeanalyysiohjelmistolla. Objektin seurannan osalta tehtiin kuva kovalta äärimmäisen huolellista työtä, jotta data olisi mahdollisimman tarkkaa. Lisäksi lantion nivelkulmat mitattiin kulmatyökälulla 2. vedon aikana neljästä tarkkaan määritellystä kohdasta, jotta mittaus on kaikille nostajille sama. Nämä neljä asentoa ovat 1) teho -asento, eli levytanko on juuri ohittanut polven 2) ponnistusasento, jossa levytanko on sylissä ja kantapäät ovat maassa 3) 2. veto täyteen ojennukseen -asento, jossa vartalo ja nilkat ovat ojentuneet täydellisesti sekä 4) alle meno -asento, jolloin levytanko on ohittanut nostajan takaraivon ja rauta on silmillä havaittavasti ”otettu kiinni”. Tämä liikedata vietiin Exceliin, josta se kopioitiin aina edelleen Nostolaskuri-työkaluun. Nostolaskurissa oleva perusdata filteröitiin viiden pisteen liukuvalla keskiarvolla, jonka jälkeen valmiiksi luotujen laskentojen avulla saatiin levytangon dynamiikan tärkeimmät muuttujat, jotka taulukoitiin kilpailuissa tehtyyn pöytäkirjaan. Jotta kilpailumenestystä voitiin tutkia, poimittiin tilastollisia ajoja varten jokaiselta nostajalta paras tempaussuoritus eli 1RM. Nostojen kokonaismääräksi tuli näin ollen 99 tempausnostoa (43 miehet ja 56 naiset).

## 6.4 Tilastollinen analyysi

Tutkimusaineiston tilastollisen merkitsevyyden tutkiminen toteutettiin SPSS -ohjelmistolla (IBM, New York, USA). Kilpailumenestyksen tutkimista varten luotiin kaksi eri ryhmää, mitalistit ja ei-mitalistit, jonka  $N=99$  (43 mitalistia ja 56 ei-mitalistia). Lisäksi myös mies- ja naisnostajat laitettiin eri ryhmiin. Aineisto todettiin normaalijakautuneeksi.

Näiden kahden ryhmän välillä suoritettiin kahden riippumattoman otoksen t-testi. Erot todettiin tilastollisesti merkitseviksi, kun  $P<0.05$  ja erittäin merkitseviksi kun  $P<0.01$ .

## 7 TULOKSET

Kilpailututkimuksessa nostajat jaettiin kahteen kategoriaan, mitalisteihin ja ei-mitalisteihin, jonka pohjalta tehtiin tilastollinen vertailu näiden ryhmien välillä. Kilpailumenestyksen kannalta merkittävimmät tekijät ovat tämän tutkimuksen mukaan levytangon vertikaali- ja kokonaisteho suhteutettuna kehonpainoon ( $p=0.005$  ja  $p=0.009$ ) sekä kokonaisvoima ( $p=0.007$ ). Lisäksi mitalistien levytangon nostokorkeus on keskimäärin 7,2% alempana ( $p<0.001$ ) ja vastaanotto tapahtuu keskimäärin 15,8% pienemmällä lantion nivelkulmalla ( $p<0.001$ ) verrattuna ei-mitalisteihin. Huomattavaa oli myös se, että lantion nivelkulman ojentuminen oli mitalisteilla hitaampi kuin ei-mitalisteilla. Tämän osalta voidaan vahvistaa teoria lantion nivelkulman nopeuden hidastumisesta, kuorman kasvaessa (Harbili 2012, Harbili & Apltakin 2014).

Harjoitustutkimuksen perusteella selvisi, että klusterityyppinen harjoittelu parantaa akuutisti dynaamisia alavartalon voimantuotto-ominaisuuksia noin 5%, kun taas isometriset voimantuotto-ominaisuudet heikkenivät. Harjoituksen aikana sykkeet pysyivät anaerobisen kynnyksen alapuolella sekä laktaattia muodostui vähän. Myös nostojen 2. vedon keskinopeus ja tehokkuus paranivat klusteriharjoitusjakson aikana.

## 7.1 Kilpailututkimuksen tulokset

Kilpailumenestyksen kannalta merkittävimmät tekijät ja suoritusanalyysin osalta avainindikaattorit ovat tämän tutkimuksen mukaan vertikaali- ja kokonaisteho suhteutettuna kehonpainoon ( $p=0,005$  ja  $p=0,009$ ), vertikaali- ja kokonaisvoima ( $p=0,004$  ja  $p=0,003$ ) sekä maksimikokonaisvoima ( $p=0,007$ ). Lisäksi mitalistien levytangon nostokorkeus on keskimäärin 7,2% alempana ( $p<0,001$ ) ja vastaanotto tapahtuu keskimäärin 15,8% pienemmällä lantionivelkulmalla ( $p<0,001$ ) verrattuna ei-mitalisteihin. Huomattavaa oli myös se, että lantionivelkulman ojentumisen nopeuden keskiarvo oli mitalisteilla 268,8 °/s ja ei-mitalisteilla 299,0 °/s, eli 10,1% (keskihajonta 63,3 °/s) hitaampi kuin ei-mitalisteilla ( $p = 0,02$ ). (Taulukko 4.)

Taulukko 4. Yhteenvedo levytangon dynamiikan ja vartalon nivelkulmien tuloksista kilpailututkimuksessa

n = 99	Sig - (2-tailed)	Mitalistit	Ei-mitalistit	yksikkö	%-erotus
Nopeus Y	0,039	1,35	1,40	(m/s)	96,8 %
<b>Nopeus Y MAX</b>	0	3,25	3,46	(m/s)	93,9 %
<b>Voima Y</b>	0,004	1133,9	926,6	(N)	122,4 %
<b>Voima XY</b>	0,003	1088,7	877,7	(N)	124,0 %
Voima Y MAX	0,026	20486,3	17403,3	(N)	117,7 %
<b>Voima XY MAX</b>	0,007	19763,2	15754,7	(N)	125,4 %
Teho Y	0,022	1533,3	1286,9	(W)	119,2 %
Teho XY	0,033	1868,6	1591,6	(W)	117,4 %
<b>Tehopainokilo Y</b>	0,005	20,4	17,7	(W/kg)	115,4 %
<b>Tehopainokilo XY</b>	0,009	24,7	21,9	(W/kg)	113,0 %
<b>Nosto korkeus</b>	0	75,0	80,8	(cm)	92,8 %
<b>lantionivelkulma (allemeno)</b>	0	60,5	71,8	°	84,2 %
Lantio vetovaihe	0,02	268,8	299,0	°/s	90,0 %

Mitalistien vertikaalitehon keskiarvo oli  $1533,3 \pm 583$  W ja kokonaistehon keskiarvo  $1868,6 \pm 720$  W, jotka ovat 19,2% ja 17,4% suurempia verrattuna ei-mitalistien vertikaali- ja kokonaiskeskitehon keskiarvoon. Erot osoittautuivat riippumattomien otosten t-testillä melkein merkitseväksi  $p=0.022$  ja  $p=0.033$ . Myös mitalistien painokiloon suhteutettu vertikaaliteho  $20,4 \pm 4,7$  W/kg ja kokonaisteho  $24,7 \pm 5,2$  W/kg osoittautui keskimäärin 15,4% ja 12,9% suuremmiksi kuin ei-mitalisteilla. Erot osoittautuivat riippumattomien otosten t-testillä merkitseväksi  $p=0.005$  ja  $p=0.009$ . Mitalistien levytangon vertikaali- ja maksiminopeus oli keskimäärin  $1,35 \pm 0,1$  m/s ja  $3,25 \pm 0,2$  m/s. Nämä ovat keskimäärin 3,2% ja 6,1% hitaampia kuin ei-mitalisteilla. Nämä erot osoittautuivat riippumattomien otosten t-testillä melkein merkitseväksi  $p=0.039$  ja erittäin merkitseväksi  $p < 0.001$ .

Mitalistien tempaussuorituksen vertikaali- ja kokonaisvoima oli keskimäärin  $1133,9 \pm 358,3$  N ja  $1088,7 \pm 345,8$  N, jotka ovat keskimäärin 22,4% ja 24,1% suurempia kuin ei-mitalisteilla. Tämän osalta erot osoittautuivat riippumattomien otosten t-testillä merkitseväksi  $p=0.004$  ja  $p=0.003$ . Myös mitalistien maksimikokonaisvoima oli keskimäärin 25,4% suurempi kuin ei-mitalisteilla. Tämä osoittautui riippumattomien otosten t-testillä merkitseväksi  $P=0.007$ .

Mitalistien levytangon nostokorkeuden ylin kohta oli keskimäärin  $74,96 \pm 7,21$  cm korkeudessa, joka on keskimäärin 7,2% alempana kuin ei-mitalisteilla. Lisäksi mitalistit ottavat levytangon vastaan allemenovaiheessa keskimäärin  $60,5^\circ$  lantion nivelkulmalla, joka oli keskimäärin 15,8% pienempi verrattuna ei-mitalisteihin. Erot osoittautuivat riippumattomien otosten t-testillä erittäin merkitseväksi  $p < 0.001$  ja  $p < 0.001$ .

Mitalistien lantion nivelkulman keskinopeus 2. vedon aikana oli keskimäärin  $268,8 \pm 63,3$  °/s, joka on 10,1% pienempi kuin ei-mitalisteilla. Ero osoittautui riippumattomien otosten t-testillä melkein merkitseväksi  $p=0.02$ . Mitalistien allemenovaihe on 6,6% nopeampi, mutta ei tilastollisesti merkitsevä tekijä.

## 7.2 Klusteriharjoitustutkimuksen tulokset

Kuten taulukko 2:stä voidaan huomata, hyppytestien tulokset ovat parantuneet harjoituksen jälkeen noin 5%. Myös ero staattisen ja kevennyshypyn välillä on parantunut noin 1,2%, keskihajonnan ollen noin 5,0%. Isometrisen voimatestin perusteella sekä absoluuttinen voima että voimantuotto-nopeus on heikentynyt merkittävästi harjoituksen jälkeen. Maksimisykkeet olivat klusterisarjassa olevien nostojen aikana noin 125-145bpm ja laktaatit eivät nousseet sarjojen välissä yli 3 mmol/l.

Taulukko 2. Hyppy- ja voimatestien tulokset ja muutokset ennen ja jälkeen yksittäisten klusteriharjoitusten

Test results (Snatch)	26.tammi	2.helmi	9.helmi
	Snatch 1	Snatch 2	Snatch 3
squat jump pre (cm)	39,83	39,09	40,59
squat jump after (cm)	42,16	41,2	42,28
change (%)	105,8	105,4	104,2
static jump pre (cm)	47,63	45,52	45,05
static jump after (cm)	46,1	46,4	49,47
change (%)	96,8	101,9	109,8
elasticity pre (%)	-16,38	-14,13	-9,9
elasticity after (%)	-8,55	-11,2	-14,53
elasticity change (%)	7,83	2,93	-4,63
isometric leg strength pre (kg)		192,2	
isometric leg strength after (kg)		170,2	
change (%)		88,6	
RFD pre (0-0,3s kg/s)		137,29	
RFD after (0-0,3s kg/s)		127,65	
change (%)		93	
Test results (Jerk)	29.tammi	5.helmi	
	Jerk 1	Jerk 2	
squat jump pre (cm)	40,12	39,56	
squat jump after (cm)	41,98	41,64	
change (%)	104,6	105,3	
static jump pre (cm)	45,61	43,79	
static jump after (cm)	46,27	47,64	
change (%)	101,4	108,8	
elasticity pre (%)	-12,04	-9,66	
elasticity after (%)	-9,27	-12,59	
elasticity change (%)	2,77	-2,93	
isometric leg strength pre (kg)	212,4	179,6	
isometric leg strength after (kg)	197,8	156,8	
change (%)	93,1	87,3	
RFD pre (0-0,3s kg/s)	265,5	158,6	
RFD after (0-0,3s kg/s)	109,89	117,6	
change (%)	41,4	74,1	

Kuten taulukko 3:sta voidaan huomata on trendi nouseva keskinopeuden, keskitehon ja tehokkuus-indeksin suhteen klusteriharjoittelussa.

Taulukko 3. Tempaus- ja työntöharjoitusten levytangon dynamiikka (sarjoissa kolmen klusteritoiston keskiarvo).

Laji	Kuorma	Levytangon dynamiikka		
Tempaus	Kuorma	Keskinopeus	Keskiteho	Tehokkuus-indeksi
<b>26.1.2016</b>	(kg)	(m/s)	(W)	(%)
1. sarja	70,0	1,45	1052,7	93,5
2.sarja	75	1,45	1098,0	94,4
3.sarja	77,5	1,43	1152,9	94,1
4.sarja	80	1,35	1136,2	94,6
<b>2.2.2016</b>	(kg)	(m/s)	(W)	(%)
1. sarja	65,0	1,60	1102,6	93,9
2.sarja	70,0	1,58	1137,3	92,8
3.sarja	75,0	1,43	1102,3	92,9
4.sarja	75,0	1,44	1106,0	92,9
5.sarja	75,0	1,48	1178,8	92,3
<b>9.2.2016</b>	(kg)	(m/s)	(W)	(%)
1. sarja	72,5	1,61	1232,2	92,6
2.sarja	77,5	1,56	1267,1	95,5
3.sarja	82,5	1,54	1332,0	95,7
Laji	Kuorma	Levytangon dynamiikka		
Työntö	Kuorma	Keskinopeus	Keskiteho	Huipputeho
<b>29.1.2016</b>	(kg)	(m/s)	(W)	(W)
1. sarja	87,5	0,95	1001,9	1979,8
2.sarja	92,5	0,94	1048,5	1931,8
3.sarja	95	0,91	1034,5	1873,3
4.sarja	95	0,92	1036,9	1897,6
5.sarja	97,5	0,92	1070,8	1915,8
<b>5.2.2016</b>	(kg)	(m/s)	(W)	(%)
1. sarja	90,0	0,96	1041,7	1992,6
2.sarja	90,0	0,97	1056,9	2020,6
3.sarja	95,0	0,97	1126,9	1985,2
4.sarja	100,0	0,92	1083,4	1999,2
5.sarja	100,0	0,89	1047,3	1976,3

## 8 POHDINTA

### 8.1 Kilpailututkimuksen pohdinta

Kilpailututkimuksen tavoitteena oli testata mittausmenetelmiä, kerätä merkittävä liikeanalyysiaineisto, sekä tutkia ja löytää kilpailumenestyksen kannalta tärkeimmät muuttujat levytangon kinematiikassa ja nostajan vartalon nivelkulmissa. Kilpailututkimus myös osoittaa, että suoritusanalyysin osalta avainindikaattorit ovat tämän tutkimuksen mukaan nostosuorituksen vertikaali- ja kokonaisteho suhteutettuna kehonpainoon, vertikaali- ja kokonaisvoima sekä maksimikokonaisvoima.

Mittausmenetelmien osalta voidaan todeta, että datan keräys ja nostolaskurin kehitys onnistuivat hyvin. Kinovea-ohjelmistoa ei ole käytetty laajemmin urheilututkimuksessa ja tämän tutkimuksen osalta voidaan todeta, että se soveltuu myös tutkimuskäyttöön. Levytangon ja nivelkulmien seuraaminen on suhteellisen vaivatonta, joskin koko prosessi on aikaa vievää puuhaa. Myös GoPro-kameran käyttöä voidaan suositella tutkimuskäyttöön, vaikka kyseessä on enemmänkin action-kamera eikä suurnopeuskamera. Suurnopeuskameran vaatimuksena on, että kamera todellisuudessa ottaa luvattun määrän kuvia sekunnissa. GoPro-kamerassa olevan FRM (Frame Rate Conversion) -kuvanpakkausalgoritmin avulla voidaan luoda kuvia kahden otetun kuvan ”väliin” perustuen niiden väliseen muutokseen ja näin ollen saavuttaa 120 fps kuvataajuus (Vatolin & Grishin 2006). Painonnostosuorituksen kuvaamiseen GoPro-actionkameran kuvataajuus ja laatu riittävät kuitenkin hyvin. Nostolaskuri-työkalun kehitys oli ehdoton edellytys näinkin laajan aineiston analyysin osalta, jolloin laskentojen automatisointi teki käytännössä tämän laajuisen työn mahdolliseksi. Liikeanalyysiaineisto sinänsä on hyvinkin merkittävä. Tämän tutkimuksen osalta analysoitiin 195 onnistunutta tempausnostoa, joten materiaalia on vielä jatkotutkimuksia varten jäljellä 131 epäonnistunutta tempausta sekä yhteensä 257 työntönostoa. Aineistoa voitaisiin käyttää tämän kaltaisten tutkimusten lisäksi koulutusmateriaalina tai onnistuneiden ja epäonnistuneiden nostojen väliseen laadulliseen arviointiin.



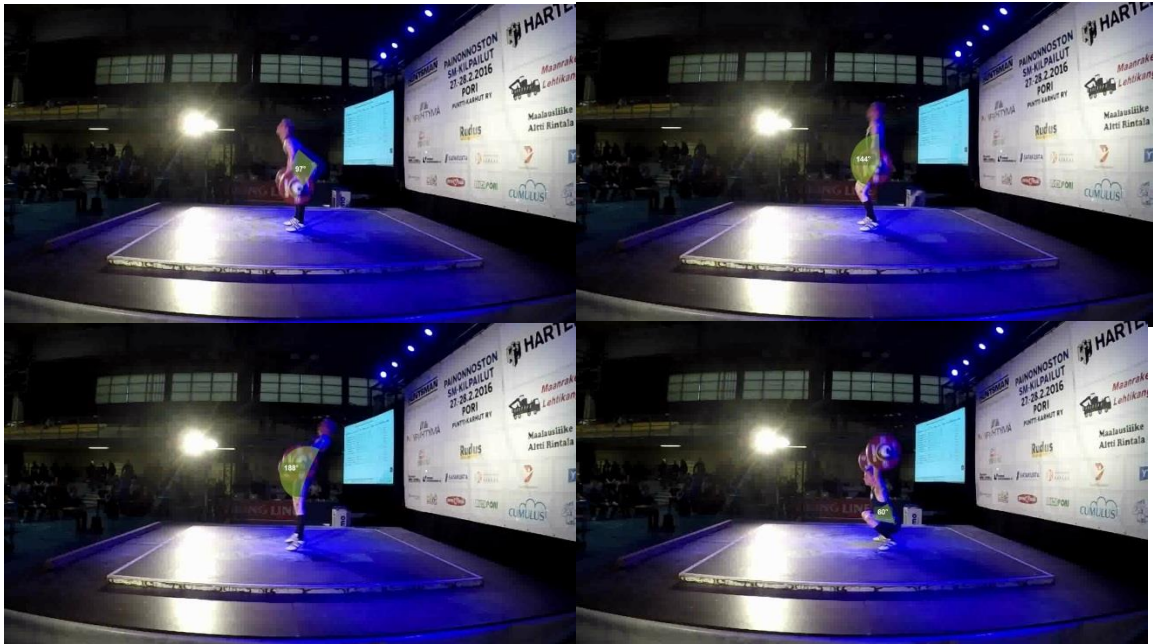
Kilpailututkimuksen tilastolliset yhteydet ja ryhmien väliset keskiarvovertailut osoittavat, että tempaussuorituksen kilpailumenestyksen suhteen merkittävimmät tekijät ovat perusteiltaan yksinkertaiset. Kilpailumenestyksen pohjalla on paremman nostajan kyky nostaa suurempaa kuormaa tehokkaammin. Tämän suhteen ei tarvitse luonnonlakeja kirjoittaa uusiksi. Mitalistit saavuttavat tempausnoston tärkeimmän vaiheen, eli 2.vedon aikana, keskimäärin 19,2% suuremman vertikaalisen keskitehon ja 17,4% suuremman kokonaistehon. Kuitenkin mitalisteilla levytangon vertikaalinen keskinopeus 2.vedon aikana on noin 3% hitaampi, joten oletettavasti paremmat voimantuotto-ominaisuudet mahdollistavat suuremman kuorman ja täten myös suuremman tehon suorituksessa. On myös huomattavaa, että mitalistinostajilla on 2.vedon aikana keskimäärin 15,4% parempi vertikaalikeskiteho verrattuna ei-mitalisteihin suhteutettuna kehonpainoon. Näin ollen voidaan olettaa, että menestyvillä nostajilla on enemmän rasvatonta lihasmassaa kehossaan, joka mahdollistaa suuremman voimantuoton. Nämä mainitut tulokset ovat yhteneväiset miesten ja naisten välillä.

Keskitehon absoluuttiset keskiarvot mitalisteilla ovat noin 2000W miehillä ja noin 1100W naisilla. Kolme suurinta saavutettua tehoa miesnostajilla on yli 2700W, naisilla yli 1300 W. Sinclair-pisteiden (iwf.org 1.3.2016) mukaan järjestettynä kymmenen parhaan miehen ja naisen tempausnoston keskiarvo on 2215W ja 1280W. Mitalisteilla keskiteho suhteessa kehonpainoon on noin 20,4W/kg, joista miehillä 23,1W/kg ja naisilla 17,5W/kg. Miesten osalta nämä lukemat ovat, kuten jo aiemmin todettu, hyvää kansallista tasoa. Sinclair-pisteiden mukaan järjestettynä kymmenen parhaan tempausnoston keskitehon keskiarvo on miehillä noin 24W/kg ja naisilla noin 20W/kg. Kuitenkin painokiloihin suhteutetut luvut ovat merkittävästi alemmat mitä muissa tutkimuksissa on kansallisella ja kansainvälisellä tasolla raportoitu (Garhammer 1993). Tämä voi johtua joko Suomen kansallisen tason heikkoudesta ja/tai liikeanalyysi ja mittausmenetelmien eroavaisuuksista.

Mitalistit tekivät myös noin 14,5% enemmän vertikaalista työtä tempausnoston 2.vedon aikana, vaikka mitalistien kuorman nostokorkeus oli noin 7% alempana kuin ei-mitalisteilla. Tämä johtuu mitalistien raskaammasta kuormasta, koska nostolinjan tehokkuus-indeksin

keskiarvon suhteen ei ollut merkittäviä eroja ryhmien välillä eikä sillä todettu olevan myöskään yhteyttä kilpailumenestykseen tilastollisessa valossa. Tehokkuus-indeksi oli sekä mitalisteilla että ei-mitalisteilla noin 83-85%, sekä miehillä että naisilla. Sinclair-pisteiden mukaan kymmenen parhaan nostajan keskiarvo on 82,5%. Ainakin tämän tutkimuksen perusteella kansallisen tason kilpailuissa levytangon horisontaalinen poikkeaman vähyys ei ole se mikä erottaa nostajat toisistaan tempauksessa. Hypoteesi ei tämän osalta pitänyt paikkaansa. Kuitenkin valmennuksen näkökulmasta, vertikaalinen nostolinja ja levytangon pysyminen tasapainoalueella on edelleen yksi tärkeimmistä seurattavista muuttujista, etenkin vähemmän kokemusta omaavilla nostajilla. Voidaan olettaa, että SM-kilpanostajilla on olemassa tässä suhteessa riittävä taso, jonka saavutettua voi menestyä kansallisella tasolla. Näin ollen, esitän riittäväksi tasoksi alimmillaan 83%, joka mukailee tutkimuksen tehokkuus-indeksin tuloksia parhaiden nostajien osalta. Sinänsä on huomattava, että Garhammerin 1993 julkaisemassa painonnostosuorituksen mekaanista työtä ja tehoa käsittelevässä kirjallisuuskatsauksessa, kansainvälisissä kisoissa nostolinjan tehokkuudet ovat 90-100%. Tähän viitaten, kansainväliselle tasolle vaaditaan tämän tason nostolinja.

2. vedon aikana lantion nivelkulman suuruus on sekä mitalisteilla että ei-mitalisteilla lähes samanlaiset, joskin pieniä eroja löytyy. Mitalistien lantion nivelkulmat ovat teho-asennossa noin  $98^\circ$ , ponnistusvaiheessa  $145^\circ$ , veto täydessä ojennuksessa  $188^\circ$  ja allemenossa  $60^\circ$  (kuva 6). Ei-mitalisteilla teho-asennon ja ponnistusvaiheen lantion nivelkulma on noin 4 astetta pienemmät. Bottcher & Deutscher (2004) kuitenkin esittää omassa ideaalimallissaan, jota on lainattu useissa julkaisuissa, että kolmen ensimmäisen asennon lantion vastaavat nivelkulmat ovat  $90^\circ$ ,  $126^\circ$  ja  $190^\circ$  (Kuvat 7). Mitalistit käyttävät levytangon loppukiihdytykseen kuitenkin hieman vähemmän selänojennusta ja enemmän hartia vetoa verrattuna ei-mitalisteihin. Tähän viittaa myös se, että mitalistien veto-vaiheen loppuojentuminen on lantiosta noin  $3^\circ$  suurempi ja vastaanotossa  $3^\circ$  pienempi. Tämä voi tarkoittaa sitä, että mitalistit ojentavat vartaloa hieman pidemmälle ja todennäköisesti myös vetävät levytankoa hieman pidempään 2.vedon aikana saaden tuotettua levytangon nousua ajatellen enemmän vertikaalista voimaa. Tätä väitettä tukee myös se, että mitalistien vertikaalivoima on keskimäärin noin 6% suurempi kuin ei-mitalisteilla.



Kuva 6. Mitalistien lantion nivelkulmat ovat teho-asennossa noin  $98^\circ$ , ponnistusvaiheessa  $145^\circ$ , veto täydessä ojennuksessa  $188^\circ$  ja allemenossa  $60^\circ$ .



Kuva 7. Bottcher & Deutscher (2004) tempauksen ideaalimalli

On myös mielenkiintoista, että lantion kulmanopeus on mitalisteilla noin 10% pienempi kuin ei-tilalisteilla. Tämän osalta voidaan vahvistaa teoria lantion kulmanopeuden hidastumisesta kuorman kasvaessa. Harbilin kahdessa tutkimuksessa (2012 ja 2014) on raportoitu, että

polven kulmanopeus kasvaa, mutta lantion kulmanopeus hidastuu kuorman kasvaessa. Tämän suhteen tulokset mukailevat myös Kippin (2011 & 2012) tutkimuksia joissa on löydetty viitteitä ”double knee bend” tekniikan korostumisesta ja lantion kulmanopeuden hidastumisesta kuorman kasvaessa. Tämän tekniikan on spekuloitu olevan seurausta yksilön optimaalisesta nostorytmistä ja kineettisen ketjun tehokkaasta käytöstä, jolloin myös hyödynnetään maksimaalisesti lihas-jännekompleksin venymis-lyhenemissykliä (Storey & Smith 2012). Mitalistit menevät levytangon alle vastaanottamaan kuitenkin noin 7% nopeammin kuin ei-mitalistit. Vaikka tämä ei ole tilastollisesti merkittävä tekijä, epäilemättä mitalistit ovat nopeampia menemään kuorman alle. Lihasten toiminnan kannalta tämä tarkoittaa kykyä nopeampaan lihastyötavan muutokseen eli supistus-rentoutus-supistus modulointiin (Campos et al. 2006).

Koska nostokorkeus on mitalisteilla tilastollisesti alempana ( $p < 0.001$ ) ja levytanko otetaan vastaan pienemmällä lantion nivelkulmalla ( $p < 0.001$ ), voidaan sanoa, että menestykseen tarvitaan vetovaiheessa räjähtävää nopeutta riittävän tehon aikaansaamiseksi (ts. motoristen yksiköiden rekrytointitiheyden maksimointi) sekä vastaanottovaiheessa tasapainoa ja staattista voimaa erityisesti alemmilla nivelkulmilla. Tämän suuntaisesti on myös Chiu (2012) omassa artikkelissaan todennut. Nostokorkeuden suhteen voidaan myös miettiä, onko mitalisteilla menestyksen kannalta paremmat kehon mittasuhteet, jolloin kuormaa ei tarvitse nostaa niin korkealle vastaanottoa varten. Tämä on varmasti yksi selitys, onhan nostaminen lyhyemmällä varsilla mekaanisesti taloudellisempaa (Kauhanen 1993).

Tämän tutkimuksen pohjalta voidaan todeta, että tempaussuorituksen tärkeimmiksi tekijöiksi kilpailumenestyksen kannalta ovat hyvä nostorytmi ja tekniikka, 2.veto-vaiheen voimantuotto-ominaisuudet ja yksilön kannalta optimaalisten nivelkulmien käyttö sekä allemenon nopeus ja tasapaino.

## 8.2 Klusteriharjoittelututkimuksen pohdinta

Tämän tutkimusosan tavoitteena oli tutkia klusteriharjoittelun akuutteja vaikutuksia huippupainonnostajan suorituskykyyn ja nostotekniikkaan. Tulosten mukaan isometriset voimanominaisuudet heikkenevät ja dynaamisen paranevat klusteriharjoittelun seurauksena. Harjoituksessa syke pysyi aerobisella tasolla eikä laktaattia muodostunut urheilijalle sarjojen jälkeen. 2.vedon teho ja nopeus myös paranivat harjoitusjakson aikana.

Hyppytestien tulos parantui harjoituksen jälkeen keskimäärin noin 5 %. Mielenkiintoista oli myös se, että hyppytestien tulokset ja kuormittuneisuus olivat urheilijan tuntemuksen kanssa samalla linjalla. Tulosten perusteella ero staattisen ja kevennyshypyn välillä on myös parantunut kolmessa harjoituksessa. Näin ollen voidaan olettaa, että klusteriharjoitus on myös herkistänyt hieman lihas-jännekompleksia ja muokannut lihakselle sopivan jäykkyyden, jonka seurauksena elastisuus on parantunut. Urheilija tunsikin kuitenkin isometrisen maksimivoimantuottotestin olevan hieman liian kuormittava harjoitusta ajatellen ja se jätettiin pois kahdesta viimeisestä harjoituksesta. Suurimmat vertikaaliset tehot on saavutettu viimeisten sarjojen aikana ja yli 90% kuormalla (1RM = 85 kg SM-2016). Keskinopeus on parantunut yli 80 kg:n nostoissa ensimmäisen ja kolmannen harjoituksen välillä 0,2 m/s.

Hyppytestien perusteella vaikuttaa siltä, että klusteriharjoitus parantaa dynaamisia voimantuotto-ominaisuuksia. On oletettavaa, että parannus tapahtui pääosin Post Activation Potentiation -ilmiön seurauksena, jossa hermosto aktivoituu ja potentioituu tuottamaan voimaa paremmin. PAP-ilmiö on tunnettu kirjallisuudessa hyvin, vaikka sen optimaalisen hyödyntämisaika eri suorituksille on monelta osin vielä epäselvä. Pääosin sitä kuitenkin hyödynnetään monissa teholarjeissa räjähtävän voiman herkistämiseksi ennen kilpailusuoritusta (Chiu et al. 2010, McBride et al. 2011). Harjoitukset ovat olleet myös sopivan kuormittavia, eikä lihasperäistä väsymystä ole päässyt tapahtumaan merkittävästi klusteritoistojen välissä olevan palautuksen ansiosta. Tämä voidaan todentaa siitä, että ennen ja jälkeen yksittäisen klusteriharjoituksen ja klusteriharjoitusjakson mitattu hyppysuoritus ei

ole heikentynyt. Isometrisesti tuotettu voima heikentyi jokaisen harjoituksen jälkeen. Tätä ilmiötä ei havaittu dynaamisissa hyppytesteissä.

Alhaiset sykkeet johtuivat todennäköisesti suorituksen lyhyestä kestosta ja klusterisarjojen välissä olleesta palautuksesta. Myöskään laktaatit eivät nousseet sarjojen välissä yli 3 mmol/l, joten voidaan todeta, että klusteriharjoitus pysyi aerobisen ja anaerobisen kynnyksen välissä. Alhaiset maksimisykkeet ja laktaatit viittaavat siihen, että klusterityyppisessä harjoittelussa kuormitus kohdistuu nimenomaan hermolihasjärjestelmään eikä metabolinen (aerobinen ja anaerobinen) kuormitus ole kovinkaan voimakasta. On hyvin todennäköistä, että suorilla 2-3 toiston sarjoilla metabolinen kuormitus olisi voimakkaampaa. Tällöin suorituksen yhtäjaksoinen kokonaiskesto olisi myös yli kymmenen sekuntia jolloin välittömät energianlähteet ovat loppuneet. Tämän tyyppisissä harjoituksissa laktaattia kertyy todennäköisesti enemmän ja ”huuhteluharjoitusten” rooli tulee tärkeämmäksi. Tähän viittaavat myös Jaakko Kailajärven muistiinpanot hänen toimiessaan painonnostomaajoukkueen päävalmentajana 1976-1992. Toisaalta matalat sykkeet ja pienet laktaattiarvot voivat kertoa kyseisen urheilijan hyvästä aerobisesta kunnosta ja tehokkaasta laktaatin poistokyvystä.

Tempauksen vertikaalista tehoa ja levytangon nopeutta katsottaessa ei merkittävää väsymistä ole tapahtunut klusteriharjoituksen aikana. Sen sijaan trendi harjoituksen sisällä on ollut tehon suhteen nouseva. Harjoitusten välillä vertikaaliteho on myös kasvanut. Työnnössä tehon vaihtelua on ollut vähän niin harjoituksen sisällä kuin niiden välillä. Levytangon keskinopeus on kehittynyt klusteriharjoitusjakson aikana. Näin ollen on viitteitä siitä, että klusteriharjoittelu parantaa levytangon nopeutta ja keskitehoa, kuten myös Haffin et al. (2008) julkaisussa on mainittu.

Tehokkuus-indeksi vaikuttaa päällisin puolin hyvältä tavalta arvioida suorituksen teknistä onnistumista objektiivisesti. Kyseisen urheilijan tehokkuus-indeksi kaikissa nostoissa ensimmäisenä ja kolmantena tempauspäivänä (26.1. ja 9.2.) oli keskimäärin yli 94 %. Näissä harjoituksissa noustiin myös kuormissa korkeimmalle. Myös valmentajan näkökulmasta ja

subjektiivisesti arvioituna nämä olivat parhaat treenit. Toisen tempauspäivän (2.2.) nostojen keskiarvo oli alle 92 %, joka koettiin myös urheilijan ja valmentajan toimesta heikoimmaksi harjoitukseksi. Kirjallisuuden mukaan huippunostajien kilpailuissa mitattu tehokkuus-indeksi on välillä 90-100% (Garhammer 1993).

Valmentajalta ja urheilijalta saadun palautteen perusteella suoritusanalyysia voidaan suositella kilpa- ja huippupainonnostajille sekä heidän valmentajilleen osana päivittäisvalmennusta esimerkiksi ”maksimipäivänä”. Tällöin voitaisiin tehdä seuranta huippunostojen teknisestä kehittymisestä pitkällä aikavälillä. Myös kevennys- tai staattista hyppyä voidaan pitää riittävänä suorituskykymittarina todentamaan, että liiallista väsymystä ei harjoituksen aikana pääse kasaantumaan, mikäli näin halutaan. Molempien vertikaalihyppyjen sekä isometrisen maksimivoimatestin mukaan ottaminen eivät tuo lisäarvoa analyysiin ja kokonaiskuormitus saattaa muodostua näiden kautta liian suureksi. Kevennys/staattisen hypyn voisi tehdä alkuverryttelyn päätteeksi ennen pääharjoitusosiota ja sen jälkeen (2-4 toistoa/kerta). Hyppytesti voidaan tehdä myös mahdollisesti harjoituksen aikana sarjojen välissä (1-2 toistoa/kerta) varmentamaan ettei liiallista väsymystä pääse kasaantumaan. Hyppyseuranta, urheilijan oma tuntemus sekä valmentajan subjektiivinen arviointi nostoista voisivat olla vaikuttamassa päätökseen, jatketaanko harjoitusta vai ei. Toisena tavoitteena voi olla myös pitkäaikainen harjoitusvaikutusseuranta. Mikäli levytangon kinematiikan mittaamista ja palautteen antamista pystytään automatisoimaan ja nopeuttamaan, voitaisiin sitä käyttää myös tehokkaammin harjoituksen aikaiseen seurantaan. Tällöin mittauksien pohjalta nähtäisiin kyseisessä harjoituksessa eri nostokuormilla tapahtuvat tekniikan ja tehon muutokset, mikä helpottaisi sopivien kuormien valintaa sekä päätöksentekoa harjoituksen jatkamisen suhteen. Lisäksi visuaalinen palaute (nostojen näkeminen videolta) todennäköisesti parantaa suoritusta, mikäli se ei haittaa muuten harjoituksen läpivientiä tai rakennetta.

Klusteriharjoittelua voidaan yleisesti suositella yksittäisenä harjoitusjaksona urheilijalle, jonka tavoitteena on parantaa räjähtäviä nopeusvoimaominaisuuksia. Palautumisaikoja ja peräkkäisten toistojen määrää säätämällä harjoituksesta saa maitohapollisen tai

maitohapottoman. Mikäli lihasmassaa halutaan lisätä, on selvää, että sarjojen on oltava pidempiä ja aiheuttaa myös metabolista stimulusta lihassoluihin. Klusteriharjoittelu pilkkottuna ykköstoistoihin toimii ainakin yhtenä harjoitusmuotona, kun halutaan kehittää hermostollisia voimaominaisuuksia – liikenopeutta ja tehoa.

Perinteisesti venäläisessä harjoitustavassa tehdään paljon pohjia (60-80% kokonaisharjoittelusta) suorilla 3-5 toiston sarjoilla, minkä jälkeen siirrytään lähemmäksi maksimipainoja 1-2 toiston sarjoilla, kun taas bulgarialaisessa harjoitustavassa noin puolet (45-50% kokonaisharjoittelusta) tehdään lähes maksimipainoilla (85-100% 1RM:stä) 1-2 toiston sarjoilla (Takano 1989). Klusteriharjoittelun fyysinen ja psyykinen kuormitus on lähempänä bulgarialaista harjoitustapaa, jonka edut ja haitat tunnetaan kirjallisuudessa hyvin (Storey & Smith 2012). Etuina on suhteellisen nopea maksimi- ja nopeusvoimatasojen nousu sekä parantunut itseluottamus isojen kuormien nostoissa. Haittana on vastaavasti erityisen kova pitkäaikainen hermostollinen ja psyykinen väsymys, johtuen jatkuvasta maksimisuorituksen paineesta sekä mahdollisten epäonnistuneiden nostojen vaaratekijöistä. Noin 10-32% maksiminostoista epäonnistuu bulgarialaisessa harjoitustavassa (Drechsler 1998).

Tämän perusteella on suositeltavaa, että urheilija jonka perusvoimatasot, lihasmassa ja nostokokemus ovat riittävällä tasolla, voi integroida säännöllisen klusteriharjoittelun osaksi omaa harjoitteluaan. Niille, joilla mainittuja ominaisuuksia ei vielä ole (esimerkiksi nuoret ja kokemattomat), voidaan suositella venäläistä rakentavaa voimaharjoittelutapaa ennen tehopainotteiseen harjoitteluun siirtymistä, jossa klusteriharjoittelu on vartenotettava menetelmä hermostollisten voimaominaisuuksien edelleen kehittämiseksi. Tämä voisi olla hyvä peruslähtökohta kaikkien teholajien urheilijoille.

Lisää tutkimusta kuitenkin tarvitaan klusteriharjoittelusta ja sen pitkäaikaisista vaikutuksista, etenkin painonnoston lajiharjoittelun osalta.



## 9 JOHTOPÄÄTÖS

Suoritusanalyysin käyttäminen on kasvava trendi urheiluvalmennuksessa maailmalla (O'Donoghue 2014). Tämä on hyvin ymmärrettävää, sillä urheilu ammattimaistuu ja jokaisella ammattivalmentajalla on hyvä olla päätöksen teon tueksi riittävästi paljon objektiivista tietoa suorituksesta. Tällöin saadaan harjoittelun laadun ja suunnan osalta luotua kriteerit sekä parempaa seurantaa. Perinteisen laboratorio testauksen tilalle on tulossa käytännön läheisempi ja kenttäolosuhteissa toteutettu suoritusanalyysi, jolla saadaan tärkeää tietoa yksilön tai joukkueen lajispesifisemmästä suorituskyvystä. Suoritusanalyysi on parhaimmillaan silloin kun analyysin tekijöillä on urheilutieteellisen osaamisen lisäksi mahdollisimman paljon lajispesifistä osaamista, jolloin analyysi muodostuu laadullisista ja määrällisistä elementeistä (Hughes & Bartlett 2008). Tällöin analyysi syvenee ja palaute imeytyy suoritukseen paremmin. Myös tieteen ja käytännön valmennuksen välissä oleva silta rakentuu umpeen. Tämän tyyppisen lähestymistavan ja ajatusmaailman omaksuminen sekä käytännön tasolle vieminen suomalaisessa urheilujärjestelmässä vaatii kuitenkin paljon resursseja, mittausteknologiaa ja osaamista.

Urheiluvalmennuksen on yleisesti tunnustettu olevan vahvasti holistinen ala, joka perustuu ihmisten väliseen toimintaan ja kommunikointiin. Kuitenkin nykypäivänä useat menestyvät urheilumaat ja -seurat ovat lisänneet tieteellisten menetelmien ja asiantuntijoiden käyttöä urheiluvalmennuksessa, etsiessään urheilijalle tai joukkueelle parempaa suorituskkyä tai voittavaa strategiaa ([www.eis2win.co.uk](http://www.eis2win.co.uk)). Tämän osalta esimerkkinä toimii Englannin valioliigan mestari (2015-2016) Leicester City F.C, joka on ilmoittanut urheilutieteen investointien olevan ”salaisuus” menestyksen takana. Suoritusanalyysiohjelmisto-valmistaja Dartfish Inc. ilmoittaa, että Rio 2016 olympiakisojen mitalisteista noin puolet käyttää heidän ohjelmistoaan harjoitus- tai kilpailutilanteessa. Nykyaikaisesta urheiluorganisaatiosta löytyy hyvin usein suoritusanalyytikkojen lisäksi fysiikkavalmentajia, biomekaanikkoja, ravintoterapeutteja sekä urheilupsykologeja, jotka omalta osaltaan varmistavat urheilullisen kehityksen ja menestyksen. Tämän suuntainen ilmiö on selkeässä kasvussa samalla kun teknologia kehittyy. Tiedetään myös yhä enemmän ihmisen suorituskvyn optimaalisesta

kehittämisestä sekä eri lajien vaatimuksista. Näin ollen olisi tärkeää, että parhaimpien suomalaisten urheilijoiden saatavilla olisi henkilökohtaisen valmentajan lisäksi korkeatasoista teknologiaosaamista sekä tieteelliseen näyttöön ja kokemukseen perustuvaa asiantuntijuutta esimerkiksi suoritusanalyysin muodossa.

Lisää tutkimusta tarvitaan erityisesti käytännönläheisen suoritusanalyysin käyttöönotossa ja hyödyntämisessä erityisesti voima- ja levytankoharjoittelun valmennuksessa ja koulutuksessa.

## 10 LÄHTEET

Akkus, H. Kinematic analysis of the snatch lift with elite female weightlifters during the 2010 World Weightlifting Championship. 2012. *Journal of Strength & Conditioning Research* 26:897-905.

Akkus, H. Hadi, G. & Harbili E. Three-dimensional kinematic analysis of the snatch technique for lifting different barbell weights. 2012. *Journal of Strength & Conditioning Research*. 26 (6) : 1568-76.

Arabatzis, F & Kellis, E. 2009. Biomechanical analysis of Snatch movement and Vertical Jump: Similarities and Differences, *Hellenic J Phys Educ & Sport Sci*, 29(2): 185-199

Arvonen, S. & Kailajärvi, J. 2002. *Ryhti ja liike - nostotekniikkaa ja tankojumppaa*. Helsinki: Edita.

Bartonietz, K. PhD. 1996. *Biomechanics of the Snatch: Toward a Higher Training Efficiency* *Strength and Conditioning Journal*.

Baumann, W. Gross, V. Quade, K. Galbierz, P. & Schwirtz, A. 1998. The Snatch Technique of world class weightlifters at the 1985 world championships. *International journal of sport biomechanics*, 4, 69-89.

Bottcher J, & Deutscher E. 1999. Biomechanische ergebnisse zur bewegungstechnik im gewichtheben. *Leistungssport* 29: 55–62.

Campos, J. Plotsev, P. Cuesta, A. Pablos, C. & Carratala, V. 2006. Kinematical analysis of the snatch in Elite Male Junior Weightlifters of different weight categories. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(4), 843-850.

Camomilla, V. Di Maio, G. Vasellino, M. Donati, M. Cappozzo, A. & Bellotti, P. 2010. Inertial Sensor Feedback during squat exercise. *International Society of Biomechanics in Sport*.

Chiu, L. & Salem, G. 2012. Potentiation of vertical jump performance during a snatch pull exercise session. *Journal of Applied Biomechanics*. Dec; 28(6):627-35.

Chiu HT, Wang CH, & Cheng KB. 2010. The three-dimensional kinematics of a barbell during the snatch of Taiwanese weightlifters. *J Strength Cond Res*; 24 (6); 1520-6

Duehring, M. D., Feldmann, C. R. & Ebben, W. P. 2009. Strength and Conditioning Practices of United States High School Strength and Conditioning Coaches, *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(8), 2188-2203.

- Drechsler AJ. 1998. The weightlifting encyclopedia: a guide to world class performance. Whitestone (NY); A is A Communications.
- Enoka, R. 2008. Neuromechanics of human movement, Champaign, Il.: Human Kinetics.
- Everett, G. 2009. Olympic Weightlifting: A Complete Guide for Athletes & Coaches
- Federolf, P. Reid, R. Gilgien, M. Haugen, P. & Smith, G. 2014 The application of principal component analysis to quantify technique in sports. Scand J Med Sci Sports: 24: 491–499.
- Ferdinands, René E.D. 2010. Advanced applications of motion analysis in sports biomechanics. XXVIII International Symposium of Biomechanics in Sports.
- Fry, A. C., Kraemer, W. J., Stone, M. H., Warren, B. J., Kearney, J. T., Maresh, C. M., & Fleck, S. J. 1993. Endocrine and performance responses to high volume training and amino acid supplementation in elite junior weightlifters. International journal of sport nutrition, 3(3), 306-322.
- Fry, A. C., Schilling, B. K., Staron, R. S., Hagerman, F. C., Hikida, R. S., & Thrush, J. T. 2003. Muscle fiber characteristics and performance correlates of male Olympic-style weightlifters. Journal of strength and conditioning research, 17(4), 746.
- Fry, A. C., Ciroslan, D., Fry, M. D., LeRoux, C. D., Schilling, B. K., & Chiu, L. Z. 2006. Anthropometric and performance variables discriminating elite American junior men weightlifters. The Journal of Strength & Conditioning Research, 20(4), 861-866.
- Haff, GG, Whitney, A, McCoy, LB, O'Bryant, HSm Kilgore, JL, Haff, EE, Pierce, K, & Stone, MH. 2003. Effects of different set configurations on barbell velocity and displacement during a clean pull. Journal of Strength and Conditioning Res 17: 95-103.
- Haff, G. Hobbs, R. Haff, E. & Stone, M. 2008. Cluster Training: A Novel Method for Introducing Training Program Variation. Strength and conditioning journal 30(1):67-76.
- Harbili, E & Alptekin, A. 2014. Comparative Kinematic Analysis of the Snatch Lifts in Elite Male Adolescent Weightlifters, Journal of Sports Science and Medicine 13, 417-422
- Harbili, E. & Erbil, K. 2012. A gender-based kinematic and kinetic analysis of the snatch lift in elite weightlifters in 69-kg category. Journal of Sports Science and Medicine 11, 162 - 169.
- Ho, K. W. L., Williams, M. D., Wilson, C. J. & Meehan, D. L. 2011. Using three-dimensional kinematics to identify feedback for the snatch: A case study. The Journal of Strength & Conditioning Research, 25(10), 2773-2780.

Ho, L. K., Lorenzen, C., Wilson, C. J., Saunders, J. E., & Williams, M. D. 2014. Reviewing current Knowledge in snatch performance and technique: the Need for Future directions in applied research. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(2), 574-586.

Hughes, M. & Bartlett, R. 2008 What is performance analysis? *Essentials of Performance Analysis: An introduction* (pp. 8–20), London: Routledge.

Gang T, Liwei Q, Wangb D, Weic G, Changa D, Wangb C & Mia W. 2012. Upper limb kinematical analysis of an elite weightlifter in the squat snatch. Logistics Engineering College, Shanghai Maritime University, Shanghai, China. School of Mechanical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai, China, Institute of Medical Equipment, Tianjin, China.

Garhammer, J. 1985. Biomechanical Profiles of Olympic Weightlifters. *International Journal of Sport Biomechanics*, 1, 122-130

Garhammer & Newton. 2013. Applied Video Analysis for Coaches: Weightlifting Examples. *International Journal of Sports Science & Coaching* Volume 8

Garhammer, J. & Gregor, R. 1992 Propulsion forces as a function of intensity for weightlifting and vertical jumping. *Journal of Applied Sport Science Research*, Volume 6, Number 3. Pp. 129-134.

Garhammer, J. 1998 Weightlifting performance and techniques of men and women. In: *International Conference on Weightlifting and Strength Training*. Ed: Komi, P.V. Lahti, Finland: Gummerus Printing. 89-94.

Garhammer, J. 1993 A review of power output studies of Olympic and Power lifting: Methodology, performance prediction, and evaluation tests. *J. Strength & Conditioning Research* (formerly *J. Appl. Sport Sci. Research*) 7(2): 76-89.

Garhammer J, & Takano B. 2003. Training for weightlifting. In; Komi PV, editor. *Strength and power in sport*. 2nd ed. Oxford: Blackwell Science: 502-15

Garhammer, J. & Taylor, L. 1984. Center of Pressure Movements during Weightlifting. *Conference Proceedings Archive*, 2 International Symposium on Biomechanics in Sports.

Gourgoulis, V. Aggelousis, N. & Garas. 2000 A. Three- Dimensional Kinematic Analysis of the Snatch of Elite Greek Weightlifters. *Journal of Sports Science*. 18: 643-652.

Fors, R. 14.3.2000 Kaikki lajit tarvitsevat voimaa. *Helsingin Sanomat*.

Frounfelter, G. 2009. Triple Extension: The Key ot Athletic Power. *Performance Training Journal*, 8 (1), 14-15.

- Irwin, G. & Kerwin, D. Coaching Biomechanics Interface: Competition and Training. XXVIII International Symposium of Biomechanics in Sports, July 2010.
- Isaka, T. & Funato, J. 1996. Kinematic Analysis of the Barbell during the Snatch Movement of Elite Asian Weightlifters. *Journal of Applied Biomechanics* 12: 508-516.
- Kauhanen, H. Painonnoston lajianalyysi. 1989. Suomalaisten huippu- ja alemman tason painonnostajien kehonrakenne, hermolihasjärjestelmän suorituskyky ja nostotekniikka. Jyväskylän yliopisto, Liikuntabiologian laitos, Liikuntafysiologian laudaturtyö.
- Kauhanen, H. Häkkinen, K. & Komi, P.V. 1984. A biomechanical analysis of the snatch and clean and jerk techniques of Finnish elite and district level weightlifters. *Scandinavian Journal of Sports Science*, 6(2): 47-56.
- Kipp, K. Redden, J. Sabick, M. & Harris, C. 2012. Kinematic and Kinetic Synergies of the Lower Extremities During the Pull in Olympic Weightlifting. *Journal of Applied Biomechanics*, 28, 271-278 © 2012 Human Kinetics, Inc.
- Kipp K, Harris C, & Sabick MB. 2011. Lower extremity biomechanics during weightlifting exercise vary across joint and load. *J Strength Cond Res*;25(5):1229-34.
- Kipp K. & Harris, C. 2015. Patterns of barbell acceleration during the snatch in weightlifting competition. *Journal of Sports Sciences* 33:14, 1467-1471
- Kipp K, Harris C, Redden, J. & Sabick MB. 2012. Weightlifting Performance is Related to Kinematic and Kinetic Patterns of the Hip and Knee Joints. *J Strength Cond Res*. Jul;26(7):1838-44.
- Lahtinen, T & Ahonen, J. 1993. Venyttely – osa optimaalista harjoittelua. 2. uudistettu painos. Lahti: VK-kustannus, 152–190.
- Lady, M. 2014. Towards an automated weightlifting coach: Introducing LIFT. The Faculty of California Polytechnic State University San Luis Obispo.
- Lenjan-Nejadian, S. & Rostami, M. Genetic Algorithm Optimization Applied to a Biomechanical Model of Snatch Lift. *International Journal of Computer Science in Sport – Volume 9/Edition 1*. 2010
- Lämsä, J. Kihu & Lehtonen, K. Likes. Lajiliitot ja tiedolla johtaminen - Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskus 2015.
- Mahoney, M. J. 1989. Psychological predictors of elite and non-elite performance in Olympic weightlifting. *International Journal of Sport Psychology*, 20(1), 1-12.
- McBride, Haines, T. & Kirby, T. 2011. Effect of loading on peak power of the bar, body, and system during power cleans, squats, and jump squats. *Journal of Sports Sciences*, August; 29(11): 1215–1221.

Mero, A. Nummela, A. Kalaja, & S. Häkkinen, K. 2016. Huippu-urheiluvalmennus, VK-kustannus.

Moon, Y. & Lee, S. 2003. Development of a real-time weightlifting performance feedback system. *International journal of applied sport sciences* vol. 15, No, 1, 98-106.

Mälkiä, Esko. 2000. Painonnoston terveyttä edistävät vaikutukset. Ohjaajan oppaassa Arvonen, S. Punttikoulun ohjaajan materiaali. Punttikoulu – kansio. Suomen Painonnostoliitto.

Newton, H. & Jenkins, S. 2013. Should all athletes use explosive lifting? *International Journal of Sports Science & Coaching* Volume 8 · Number 3 · 2013.

O'Donoghue, Peter 2014. *An Introduction to Performance Analysis of Sport* (Routledge Studies in Sports Performance Analysis)

Pennington, J. Laubach, L. De Marco, G. & Linderman, J. 2010 Determining the optimal load for maximal power output for the power clean and snatch in collegiate male football players. Department of health and sport science, University of Dayton, Ohio, USA. *Journal of Exercise physiology*, volume 13 number 2.

Poletaev P, Cervera V, & Coach W. 1995. The Russian approach to planning a weightlifting program. *Strength Cond*; 17 (1): 20-6

Rahmati, S. & Mallakzadeh, M. 2014. Prediction of weightlifter's motor behavior to evaluate snatch weightlifting techniques based on a new method of investigation of consumed energy. Department of Mechanical Engineering, Iran University of Science and Technology, Iran. *Human Movement Science* 38 58–73.

Rojas, Ivan & Sisto, Gwendolyn. 2015 *Kazakhstan Weightlifting System for Elite Athletes*

Rossi, S. Buford, T. Smith, D. Kennei, R. Haff, E. and Haff, G. Bilateral Comparison of Barbell Kinetics and Kinematics During a Weightlifting Competition, *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2007;2:150-158 © 2007 Human Kinetics, Inc.

Sahlin, K & Ren, JM. 1989. Relationship of contraction capacity to metabolic changes during recovery from a fatiguing contraction. *Journal of applied Physiology* 67: 648-654.

Salasuo, M. Piispa, M. & Huhta, H. 2015. Huippu-urheilijan elämäntilanne. Tutkimus urheilijoista 2000-luvun Suomessa.

Sato, K. Sands, W. Stone, MH. 2012. The reliability of accelerometry to measure weightlifting performance. *Sports Biomechanics*, 11(4):524–531.

- Sato, K. Smith, S. & Sands, W. 2009. Validation of an accelerometer for measuring sport performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(1):341–347, 19.
- Sato, K. Beckham, G. Carroll, K. Bazylar, C. Sha, Z. & Haff, G. 2015 Validity of wireless device measuring velocity of resistance exercises. *Journal of Trainology* ;4:15-18
- Safrushahar, Y. Norhaslinda, H. & Wilson, B. 2002. Biomechanical analysis of the snatch during weightlifting competition, ISBS 2002, Caceres, Extremadura, Spain.
- Sakadjian, A. Panchuk, D. & Pearce, AJ. 2014. Kinematic and kinetic improvements associated with action observation facilitated learning of the power clean in Australian Footballers. *Journal of Strength & Conditioning Research* 28 (6): 1613–1625.
- Storey, A., Smith, H. K., 2012. Unique Aspects of Competitive Weightlifting Performance, Training and Physiology. *Sports Medicine* 42(9):769-90
- Stone, M.H., Pierce, K.C., Sands, W.A. & Stone, M.E. 2006. Weightlifting: A Brief Overview. *Strength and Conditioning Journal*, 28, 50-66.
- Szabo, A. A 2013. Question of training methodology: Do we need back squat in the preparation of weightlifters? *Sport SPA Vol. 10, Issue 2: 35-39.*
- Szabo, A. 2012. Some questions of biomechanical character in weightlifting. Corvinus University of Budapest, Faculty of Food Science, Budapest, Somloi str. 14-16, Hungary. *Sport SPA Vol. 9, Issue 1: 59 – 64.*
- Takano B. 1989. Bulgarian training program: the 1989 NSCA Bulgaria-USSR study tour-the organization of the Bulgarian national weightlifting program. *Strength Cond J*, 11 (5): 38-9
- Tysz, A. 2010. Basic Performance cues for teaching the snatch and clean to non-olympic weightlifting athletes. XXVIII International symposium of biomechanics in sports. USA Olympic Education center at Northern Michigan University.
- Tufano, J. J., Conlon, J. A., Nimphius, S., Brown, L. E., Banyard, H. G., Williamson, B. D. & Haff, G. G. 2016. Cluster Sets Permit Greater Mechanical Stress Without Decreasing Relative Velocity. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1-24.
- Velloso, E. Bulling, A. Gellersen, H. Ugulino, W. & Fuks, H. 2013. Activity recognition of weightlifting exercises. Proceedings of 4th Augmented Human (AH) International Conference in cooperation with ACM SIGCHI (Augmented Human'13). Stuttgart, Germany: ACM SIGCHI.
- Vorobjev, A.N. 1986. A Textbook on Weightlifting Prof. Dr. A. N. Vorobyev. Käännös: Keijo Häkkinen. Toimitus: Taisto Kuoppala. Suomen Painonnostoliitto r.y., Helsinki.



Takano, Bob. 2012. *Weightlifting Programming: A Winning Coach's Guide* Paperback – December 1, Bob Takano

Winchester J, Erickson T, Blaak J. & McBride J. 2005. Changes in bar-path kinematics and Kinetics after power-clean training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(1), 177-183

Winchester JB. 2009. Changes in bar path kinematics and kinetics through use of summary feedback in power snatch training. *J Strength Con Res*. 23(2): 444-454.

Vatolin D. & Grishin S. 2006. N-times Video Frame-rate Up-conversion Algorithm based on Pixel Motion Compensation with Occlusions Processing", "Graphicon", International Conference on Computer Graphics & Vision, conference. pp. 112-119. (Russian)

Yle.fi mikään ei ole muuttunut – urheilijat elävät edelleen kädestä suuhun 9.10.2016

Zatsiorsky, V. & Kraemer, W. 1995. *Science and practise of strenght training*. Champaign, Il.: Human Kinetics.