

**PIENOISKIVÄÄRIN POLVIAMMUNTAAN VAIKUTTAVAT  
TEKIJÄT JA NIIDEN MUUTOKSET KILPAILUNOMAISEN  
AMMUNTASARJAN AIKANA**

Marko Tanskanen

Pro gradu -tutkielma

Biomekaniikka

Kevät 2013

Liikuntabiologian laitos

Jyväskylän yliopisto

Työn ohjaajat: Janne Avela

Simo Ihalainen

## TIIVISTELMÄ

Tanskanen, Marko. 2013. Pienoiskiväärin polviammuntaan vaikuttajat tekijät ja niiden muutokset kilpailunomaisen ammuttasarjan aikana. Liikuntabiologian laitos, Jyväskylän yliopisto. Biomekaniikan pro gradu -tutkielma, 55 s.

Ammunnan perustan muodostavat ampuma-asennon rentous, tasapaino, tähtäys ja liipaisu. Ampuma-asennon vakauteen vaikuttaa massakeskipisteen korkeus ja tukipinta-ala. Kehon yksilölliset mittasuhteet vaikuttavat varsinkin polviasennon statiikkaan. Aseen vakaanapito on onnistuneen laukauksen perusedellytys. Tasapaino on suorasti yhteydessä tarkkuuteen asennon huojunnan kautta ja epäsuorasti aseiden heilunnan kautta. Myös ampujan ja aseiden väliset voimat sekä ampuma-asento vaikuttavat suoritukseen. Tämän tutkimuksen tarkoituksena on kuvata näiden tekijöiden vaikutuksia ammunta-suoritukseen ja niiden muutoksia ammunnan aikana. Tutkimuksessa 10 maajoukkue-ampujaa suoritti kilpailunomaisen ammuttasarjan (40 laukausta) pienoiskiväärillä polviasennosta. 1–0 sekuntia ennen jokaista laukausta rekisteröitiin aseiden tähtäyspisteen liikkeet, ampuja-asesysteemin painekeskipesteiden liikkeiden keskihajonnat, perä- ja hihnavoimat sekä tukikäden kyynärvarren kulma ja kyynärpäähän etäisyys polvesta.

Keskimääräinen ammuttu osuma oli 10.03. Tähtäyspisteen vaakaliike (devX) oli 0.51 rengasväliä ja pystyliike (devY) 0.41 rengasväliä sekä suhteelliset tähtäysajat maalitaulun keskustassa (Target%) 56 %, tähtäyksen painopisteessä (COG%) 86 % ja osumapisteessä (Hit%) 61 %. Painekeskipesteiden liikkeen keskihajonnat olivat sivuttaissuunnassa (sdX) 0.18 mm ja ampumalinjan suunnassa (sdY) 0.20 mm. Keskimääräinen perävoima oli 24 N ja hihnavoima 128 N. Kyynärvarren kulma oli 42.5 astetta ja kyynärpäähän etäisyys polvesta 8.9 cm. DevX ( $R = -0.480$ ), Target% ( $R = 0.518$ ) ja sdX ( $R = -0.422$ ) olivat yhteydessä osumatarkkuuteen ( $p \leq 0.05$ ). SdY oli yhteydessä devX:ään, hihnavoima devY:hyn ja perävoima Target%:iin ( $R = 0.461-0.607$ ,  $p \leq 0.05$ ). Tukikäden kyynärkulma oli yhteydessä hihnavoimaan ( $R = -0.643$ ,  $p \leq 0.05$ ). Kyynärvarren kulma laski merkitsevästi ammuttasarjan edetessä ( $F = 3.632$ ,  $p \leq 0.001$ ) ja perävoima laski merkitsevästi, jos lepotaukoja ei huomioitu ( $F = 2.869$ ,  $p \leq 0.01$ ). Lepotauon jälkeistä ja edellistä laukausta verrattaessa osumatarkkuus, Hit%, perävoima ja kyynärvarren kulma kasvoivat merkitsevästi tauon seurauksena ( $p \leq 0.05$ ).

Nämä tutkimustulokset vastaavat aiempia tutkimustuloksia, mutta selkeitä erojakin oli ilmakivääri- ja pienoiskivääriammunnan sekä eri ampuma-asentojen välillä. Tähtäyspisteen ja painekeskipesteiden liikkeiden yhteys ammunta-suoritukseen oli odotetunlainen, mutta hypoteesien vastaisesti nämä liikkeet eivät muuttuneet suoritusten aikana rasituksen tai lepotaukojen seurauksena. Ampuma-asennossa kuitenkin tapahtui muutoksia, joita saatiin korjattua taukojen aikana. Asennon liiallisen valumisen ehkäisemiseksi suositellaan lepotaukojen pitämistä ja asennon korjaamista ammunnan aikana.

Avainsanat: kivääriammunta, pienoiskivääri, polviasento, tasapaino, tähtäys, voimat

# SISÄLTÖ

## TIIVISTELMÄ

1 JOHDANTO .....	4
2 KIVÄÄRIAMMUNTA URHEILULAJINA .....	5
2.1 Kilpailumuodot kivääriammunnassa .....	5
2.2 Varusteet kivääriammunnassa .....	6
2.3 Kivääriammunnan tekniikka ja biomekaniikka .....	7
2.3.1 Polviammunta .....	9
2.3.2 Makuuammunta .....	13
2.3.3 Pystyammunta .....	15
3 RASITUS STAATTISESSA AMMUNTASUORITUKSESSA .....	18
3.1 Muutokset voimantuotossa .....	19
3.2 Muutokset tasapainossa .....	21
4 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEESIT .....	25
5 MENETELMÄT .....	27
5.1 Koehenkilöt .....	27
5.2 Mittausasetelma .....	27
5.3 Aineiston kerääminen .....	28
5.4 Aineiston analysointi .....	31
5.5 Tilastolliset menetelmät .....	32
6 TULOKSET .....	34
6.1 Mitattujen muuttujien väliset yhteydet .....	35
6.2 Muutokset ammunnan aikana .....	39
7 POHDINTA .....	42
7.1 Keskiarvotulokset .....	42
7.2 Mitattujen muuttujien väliset yhteydet ja muutokset .....	44
7.3 Tutkimuksessa tehtyjä huomioita .....	46
7.4 Johtopäätökset .....	48
8 LÄHTEET .....	50

# 1 JOHDANTO

Kilpa-ammunta on staattinen urheilulaji, jossa ylimääräiset liikkeet pyritään pitämään minimaalisina. Tämä on luonnollista, kun otetaan huomioon, että lajin tarkoituksena on osua mahdollisimman keskelle maalitaulua ja sen toteuttamiseksi pitää ase mahdollisimman vakaana. Kilpa-ammunta on myös välineurheilua aseesta ja ampumapuvusta lähtien. Sääntöjen puitteissa aseet ja asennot säädetään ja muokataan yksilöllisesti ampujan omien mittasuhteiden ja mieltymysten mukaisesti, mikä tekee jokaisesta ampumaseennosta omanlaisensa. Tämä erityispiirre ilmenee varsinkin polviammunnassa (Reinkemeier ym. 2009, 145). Kokoneillakin ampujilla voi täysin staattisen suorituksen saavuttaminen tuottaa ongelmia henkisesti raskaassa kilpailutilanteessa.

Hyvä aseiden pito ja kehon tasapaino ovat hyvän ammuntatekniikan perusedellytyksiä. Hyvissä suorituksissa ase pysyy vakaamana kuin huonoissa (Konttinen ym. 1998b, 1999; Mononen ym. 2003, 2007), ja tasapaino vaikuttaa pidon vakauteen ja sitä kautta ampujien osumatarkkuuteen (Ball ym. 2003a; Ihalainen ym. 2011). Aseen käsittelystä kertovat ampujan ja aseiden väliset voimat, ja niillä voi olla merkittävä vaikutus ammunntasuoritukseen (Grebot & Burtheret 2007). Ampumaseennon täytyy pysyä ammunntan aikana myös ulkoisesti samanlaisena ja staattisena (Reinkemeier ym. 2009, 156).

Liikkumattomuuden tavoittelusta ja asentoa tukevasta vaatetuksesta huolimatta ampumaseennossa voi tapahtua helposti pieniä muutoksia, kun yritetään pysyä paikallaan pitkiä aikoja. Onhan samassa asennossa pysyttelemisen yllättävän raskasta ilman monen kilon painoista asettakin (Freitas ym. 2005; Gregory & Callaghan 2008). Muutokset asennossa aiheuttavat muutoksia ampumaseennon kinetiikkaan ja kinematiikkaan, ja siten mahdollisesti myös ammuttuihin osumiin. Koska aiempi ammunntan tutkimustieto painottuu pystyammuntaan, on herännyt tarve tutkia myös muita ampumaseentoja. Tämän tutkimuksen tarkoituksena on saada uutta tutkimustietoa pienoiskivääriammuntaan vaikuttavista tekijöistä ja niiden muutoksista kilpailunomaisen ammunntasarjan aikana. Tutkimuskohteena on erityisesti polviammunta, koska kyseisessä asennossa kilpaillaan vähiten ja sen erityispiirteistä on tähän mennessä vähiten tietoa.

## 2 KIVÄÄRIAMMUNTA URHEILULAJINA

### 2.1 Kilpailumuodot kivääriammunnassa

*Ilmakivääri.* Ilmakiväärillä ammutaan 10 metrin matkalta, ja maalitaulussa keskustan (kympin) halkaisija on 0.5 mm. Ampuminen tapahtuu seisten ja asetta kannatellaan vapaalla kädellä. Aseena käytetään puristetulla ilmalla tai kaasulla toimivia kivääreitä, joissa kaliiperi on 4.5 mm (.177") ja aseiden paino enintään 5.5 kg. Naiset ja miehet ampuvat samanlaisella aseella. Luoteina käytetään vapaasti myytäviä lyijyluoteja. Kilpailun ampumaohjelmassa miehet ampuvat 60 laukausta, mihin on aikaa 1 h 45 min ja naiset ampuvat 40 laukausta, mihin on aikaa 1 h 15 min. Kilpailulaukauksia edeltää aikataulun puitteissa rajoittamaton määrä koelaukauksia. Loppukilpailuun eli finaaliin pääsee peruskilpailun kahdeksan parasta, ja siinä ammutaan 10 yksittäistä laukausta pystystä (aika 75 sekuntia / laukaus). (SAL 2009, 7.8, 7.9.) Vuodesta 2013 alkaen kansainvälisissä kilpailuissa koelaukausaika erotetaan peruskilpailusta, ampuma-aikaa lyhennetään ja finaalit ammutaan pudotusammuntana (ISSF 2012, 7.7).

*Pienoiskivääri ja urheilukivääri.* Miesten pienoiskiväärissä ampumamatka on 50 metriä, ja taulussa kympin halkaisija on 10.4 mm. Kaliiperi on .22" eli 5.6 millimetriä ja aseiden paino ei saa ylittää 8 kiloa. Patruunoina käytetään reunasytytteisiä Long Rifle -patruunoja, jotka on tehty lyijystä. Miehillä on kaksi kilpailulajia: 3\*40 laukauksen asentokilpailu eli täysottelu ja 60 laukauksen makuuasennon kilpailu. Täysottelussa ammutaan koelaukauksien lisäksi 40 laukausta makuulta 45 minuutissa, 40 laukausta pystystä 75 minuutissa ja 40 laukausta polvelta 60 minuutissa. 60 laukauksen makuukilpailun ampuma-aika on koelaukauksineen 75 minuuttia. Asentokilpailun finaaliassa ammutaan 10 yksittäistä laukausta pystystä (75 sekuntia / laukaus) ja makuukilpailussa makuulta (45 sekuntia / laukaus). Urheilukiväärissä eli naisten pienoiskiväärissä on erona miesten pienoiskivääriin vain painoero (naisilla painoraja 6.5 kg); kilpailulajeina ovat 3\*20 laukauksen asentokilpailu (aika 2 tuntia 15 minuuttia) ja 60 laukauksen makuuasennon kilpailu, joka ei kuitenkaan ole olympialaji. (SAL 2009, 7.8, 7.9.) Vuodesta 2013 alkaen asentokilpailut ammutaan järjestyksessä polvi, makuu, pysty (ISSF 2012, 7.7.1).

## 2.2 Varusteet kivääriammunnassa

Ampujat saavat käyttää ainoastaan sellaisia varusteita ja vaatetusta, jotka noudattavat Suomen Ampumaurheiluliiton (SAL) ja Kansainvälisen Ampumaurheiluliiton (ISSF) sääntöjä. Kaikki (kiväärit, varusteet ja lisälaitteet), mikä saattaa antaa ampujalle epäoikeudenmukaisen edun muihin verrattuna, ja joita ei ole mainittu kilpailusäännöissä tai mikä on Ampumaurheiluliiton määräysten ja sääntöjen hengen vastaista, on kielletty. Ampujan vastuulla on esittää kaikki varusteet ja vaatetus virallisesti tarkastettavaksi ja hyväksyttäväksi varustetarkastuksessa ennen kilpailun alkua. (SAL 2009, 7.4.6; ISSF 2012, 7.5.1.2.)

Sellaisten erikoislaitteiden, välineiden tai vaatteiden käyttö, jotka tekevät liikkumattomaksi tai liiaksi vähentävät ampujan jalkojen, vartalon tai käsivarsien taipuisuutta, on kielletty. Tällä varmistetaan, ettei ampujan suorituskykyä paranneta keinotekoisesti erikoisvaatetuksella. Kaikki kisoissa käytettävät ampumatakit ja -housut on oltava tehty joustavasta aineesta, jonka fysikaaliset ominaisuudet eivät olennaisesti muutu ammunnan aikana. Myös kaikkien vuorausten, pehmusteiden ja vahvikkeiden pitää täyttää samat vaatimukset. Ampumatakin, -housujen, -kenkien, -käsineen ja alusvaatteiden maksimipaksuudet on määritelty ISSF:n kilpailusäännöissä. (SAL 2009, 7.4.6; ISSF 2012, 7.2.1.3.)

Pienoiskivääriammunnassa on aseessa sallittua käyttää kainaloon asetettavaa peräraudan koukkua, joka ei saa olla yli 178 mm pitkä. Ampumahihnaa käytetään makuu- ja polviammunnassa, ja sen sallittu maksimipaksuus on 40 mm. Hihnaa saa pitää vain tukikäden käsivarren yläosan ympärillä, josta se yhdistetään kiväärin etutukkiin. Hihnan pitää kulkea ainoastaan yhdeltä puolen kättä tai rannetta. Mikään kiväärin osa ei saa koskettaa ampumahihnaa tai sen lisälaitteita, paitsi hihnankiinnitin ja otteenrajoitin. Polviammunnassa on sallittua käyttää pehmeästä ja joustavasta materiaalista valmistettua nilkkatyynyä, jonka maksimipituus on 25 cm ja maksimipaksuus 18 cm. Pystyammunnassa on sallittua käyttää kivääritukea, jonka päälle aseeseen voi laskea laukausten välillä. (SAL 2009, 7.4.6; ISSF 2012, 7.5.8.)

### 2.3 Kivääriammunnan tekniikka ja biomekaniikka

Kivääriammunnan tekninen vaihtelevuus on ehkä suurin kaikista ampumalajeista, koska siinä on kolme erilaista ampuma-asentoa ja tekniikkaa yhden lajin sisällä. Jokaisessa asennossa voidaan kuitenkin huomata tietyt perusvaatimukset, jotka on aina tarkistettava: asennon on oltava tasapainoinen ja rento sekä sen on mahdollistettava kunnollinen tähtäys- ja liipaisutapahtuma (Liebermann ym. 2002; Yli-Jaskari 2007). Yhdenkin laukauksen ammunntasuoritus on monimutkainen ja koostuu monesta erillisestä osatekijästä ja vaiheesta, jotka pitää saada toimimaan keskenään. Mikään suorituksen tekninen osatekijä ei siis yksinään määritä hyvää suoritusta. (Konttinen ym. 1998b.)

*Pito.* Aseen vakaanapito on hyvän ammutekniikan perusedellytys. Mononen ym. (2003) ovat määrittäneet liikkuvan maalin ammunnassa aseiden pidon pääkomponenteiksi tähtäyksen heilunta-alueen, tähtäystarkkuuden, tähtäysajan keskellä maalitaulua ja aseiden liikkeen liipaisuhetkellä. Tutkimuksessa todettiin, että edellä mainittujen parametrien perusteella voidaan erottaa eritasoiset ampujat toisistaan ja arvioida yksittäisen ampujan suorituksia. Taitavimmilla ampujilla tähtäyksen heilunta-alue on pienin, tähtäys pysyy keskellä taulua pisimpään ja liipaisussa ei tapahdu heilahduksia. Näitä tutkimustuloksia tukevat myös Ball ym. (2003a), Mononen ym. (2007) ja Ihalainen ym. (2011) tutkimukset paikallaan olevaan maalitauluun ilmakiväärillä ammuttaessa. Zatsiorsky & Aktov (1990), Heller ym. (2006) ja Mullineaux ym. (2012) tutkimuksissa yhdistettiin laseritekniikka videokuvaukseen aseiden liikkeiden tutkimuksessa ja todettiin, että eri ampujilla on erilaisia tekniikoita liikkeiden hallintaan ja parhaan osuman hakemiseen. Siten eri yksilöitä on hyvin vaikea verrata keskenään. Yhden millimetrin aseiden kulmaliike hartiaan nähden voi aiheuttaa jopa 50 mm tähtäyspisteen liikkeen maalitaululla, mikä kertoo paljon lajin tarkkuusvaatimuksista (Zatsiorsky & Aktov 1990; Heller ym. 2006).

*Tähtäys.* Tähtäys on yksi peruselementti ammunnassa ja se vaatiikin äärimmäistä tarkkuutta jokaisella laukauksella, jotta osuma saataisiin keskelle maalitaulua. Tärkein tekijä on ampujan oma silmä, sen sijoittuminen tähtäimien taakse ja ampujan kyky havaita virheitä tähtäyksessä. Silmän ja takatähtäimen iirikset määrittävät, kuinka paljon valoa pääsee silmään, ja vaikuttavat siten tähtäyskuvan tarkkuuteen. Tähtäysaika ei saisi

ylittää kahdeksaa sekuntia, koska sen jälkeen kuva silmässä alkaa hämärtyä ja aseeseen heilunta voi alkaa lisääntyä. Jokaisessa ampuma-asennossa pään asento aseeseen poskituen päällä on perusedellytys tähtäämiselle. Tämä tarkoittaa, että poskiluun on levättävä mukavasti poskituella, niskan on oltava rentona ja silmän on aina katsottava suoraan takatähtäimen iiriksen keskeltä. (Mononen ym. 2003; Reinkemeier ym. 2004, 72; Reinkemeier ym. 2009, 195–197; Ihalainen ym. 2011.)

*Liipaisu.* Ammunnassa hyvä liipaisu on ratkaisevaa. Siinä pyritään sormenpäällä tuottamaan tasainen ja aina samanlainen paine liipaisimen tuottamaa vastusta vastaan. Liipaisu on onnistuttava ajoittamaan oikealla hetkellä tähtäystä ja se ei saa vaikuttaa aseeseen liikkeeseen. Harjoittelun avulla liipaisin, liipaisuvastus ja vaadittavat voimat opitaan tuntemaan, jolloin yksi virheen mahdollisuus saadaan poistettua. Kämmenten puristuksen on oltava tiukka aseeseen vakauttamiseksi ja liipaisusormen hyvän kontaktin varmistamiseksi. Liipaisu tulee suorittaa suoraan taaksepäin tasaisesti puristamalla heilahduksien välttämiseksi. Ehkä yleisin syy epäonnistuneelle laukaukselle onkin liipaisuvirhe, joka heittää osuman ulos tähtäyksen painopisteestä juuri laukaushetkellä. (Nummela ym. 2006; Sattlecker ym. 2007; Reinkemeier ym. 2009, 89–92.) Konttinen ym. (1998a) ovat havainneet, että onnistuneissa suorituksissa juuri ennen liipaisua ase on vakaampi, lihasaktiivisuudet pienempiä ja syke matalammalla kuin epäonnistuneissa.

*Rekyylinhallinta.* Ruutiaseilla liipaistessa aseeseen iskuri iskee patruunan kantaan aiheuttaen ruudin syttymisen. Tämän aiheuttama paine voi paeta vain piipun suuntaisesti lennättäen luodin kohti maalitaulua. Voiman ja vastavoiman lain mukaisesti samansuuruinen voima suuntautuu yhtä aikaa myös taaksepäin (= rekyyli), ja koska vartalo vastustaa tätä liikettä, aseeseen piippu nousee ylöspäin pienimmän vastuksen suuntaan. Tämä vaikuttaa myös luodin lentorataan niin kauan kuin se on piipussa. Ampuma-asennosta riippumatta suoritusta voidaan arvioida rekyylistä aiheutuvan aseeseen liikkeen perusteella. Asento on riittävän vakaa ja rento vain, jos laukaistessa piippu nousee lyhyesti ylöspäin ja palaa takaisin lähtöasemaansa. Tämän johdonmukaisuuden varmistamiseksi jokaisella laukauksella pitää ampuma-asennon olla aina samanlainen. Muutokset rekyylin suunnassa tai voimakkuudessa johtavat osumien heittelyihin. (Grebot & Burtheret 2007; Reinkemeier ym. 2009, 39–42.)



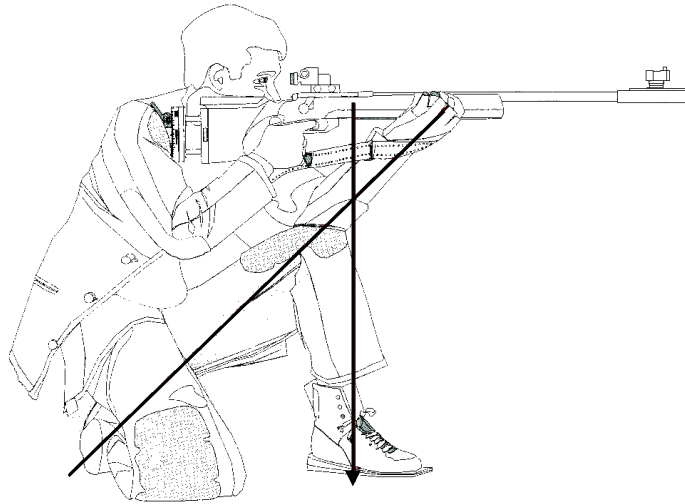
*Ampuma-asennon rentous.* Erinomaiset ja epäonnistuneet suoritukset eivät loppujen lopuksi eroa paljon toisistaan. Ampujan henkilökohtaista tuntumaa omasta ampuma-asennostaan kutsutaan ”sisäiseksi asennoksi”, ja se on ammunnan tärkein peruskivi liipaisun lisäksi. Se käsittää asennon tasapainoisuuden, staattisuuden eli liikkumattomuuden ja lihasten jännityssuhteet, jotka vaikuttavat ampuma-asentoon. Ampujan tulisi optimoida lihasjännitykset, sijoittaa kehon osat ja paino oikein sekä saada hyvä asento ja tuntuma tasapainotilaan jokaisella laukauksella. Mitä vähemmän jännittyneitä lihasryhmät ovat, sitä vähemmän mahdollisia ovat lihasjännitysten aiheuttamat aseiden heilahdelut. (Reinkemeier ym. 2004, 27–28; Reinkemeier ym. 2009, 95–96.) Konttinen ym. (1998b, 2000) ja Deeny ym. (2003) ovatkin tutkimuksissaan huomanneet kokeneiden ampujien keskittyvän ennen laukausta automaation kautta oikean sisäisen tunteen ja vakauden saavuttamiseen psykomotorisen säätelyn avulla, kun taas kokemattomilla ampujilla keskittyminen on kohdistetty motorisiin tehtäviin, kuten tähtäykseen visuo-spatiaalisen säätelyn avulla.

### **2.3.1 Polviammunta**

Polviammunta on yleensä täysin hallinnassa vain kovan tason asentokilpailijoilla, koska tässä asennossa kilpaillaan paljon harvemmin kuin muissa ampuma-asennoissa. Harjoittelemattomilla voivat oikea jalkaterä, sääri ja takamus kipeytyä kilpailun edetessä, jolloin tarkkaavaisuus, tasapaino ja aseiden pito heikkenevät. Polviasennossa kehon yksilölliset mittasuhteet määrittävät asentoa enemmän kuin muissa kahdessa ampuma-asennossa, koska vasen käsi ja polvi ovat suoraan kontaktissa toisiinsa. Tämän vuoksi pitkäraajaiset ampujat joutuvat kehittämään erilaisen polviasennon kuin lyhytraajaiset. Tästä nilkkatyynyn päältä ammuttavasta asennosta ammutut tulokset voivat olla lähellä makuulta ammuttavia tuloksia, mutta huonona päivänä siinä voidaan menettää voitto. Polviasennon viehätys piileekin sen perustumisessa hyvään tunteeseen, herkkyyteen, rytmiin ja taktiikkaan. (Yli-Jaskari 2007; Reinkemeier ym. 2009, 142–145.)

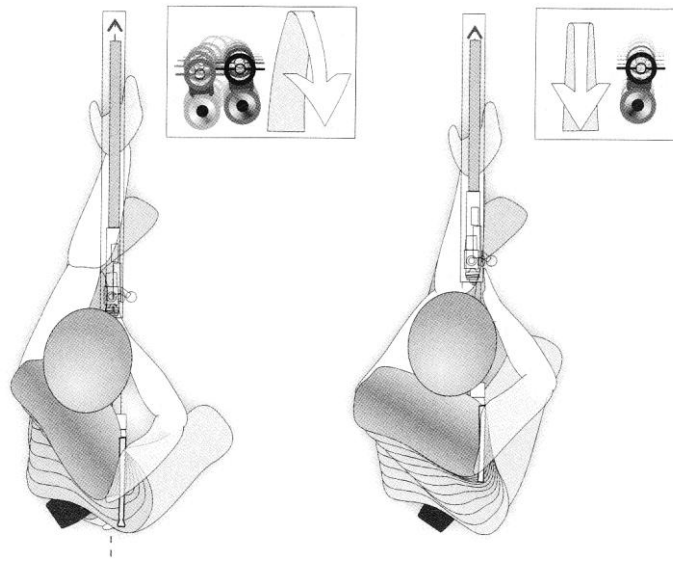
Polviammunnassa ylävartalon tehtävänä on absorboida rekyyliä, ja se on taivutettuna eteenpäin lantiosta noin 20–30 astetta. Vatsan olisi kuitenkin oltava irti vasemmasta reidestä hengityksen helpottamiseksi. Kyynärnivelet ovat noin 90 asteen kulmassa. (Reinkemeier ym. 2004, 55; Yli-Jaskari 2007; Reinkemeier ym. 2009, 145.) Vasen

kyynärvarsi ja tukikäsi kannattelevat, suuntaavat ja liikuttavat kivääriä. Vasen kyynärpää sijoitetaan vasemman polven päälle, yleensä juuri polvilumpion taakse tasaisimmalle kohdalle, ja kyynärvarsi on noin 45 asteen kulmassa vasemman reiden jatkeena (kuva 1). Kyynärvarsi on polviasennossa paljon epävakaammassa asennossa kuin maakuuasennossa, koska ylävartalo ei makaa sen päällä, ja näin ollen aseella on mahdollisuus liikkua paljon vapaammin. Tämän vuoksi kyynärpään paikka polven päällä pitäisi tarkistaa jokaisen laukauksen välissä. (Reinkemeier ym. 2009, 161–162.) Kilpailusäännöt määrittävät, että tukikäden kyynärpää ei saa olla yli 100 mm polven etupuolella tai 150 mm sen takapuolella (ISSF 2012, 7.6.1.3).



KUVA 1. Polviasento sivusta kuvattuna (mukailtu Reinkemeier ym. 2009, 147).

Polviammunnassa hartiat ovat kevyesti työnnettynä eteenpäin, jotta saavutettaisiin parempi kosketus aseeseen perään, ja hartialinja on noin 45 asteen kulmassa ampumasuuntaan nähden. Hartioiden asentoon on kiinnitettävä huomiota, sillä maalitaululle päin kohdistettu hartialinja ottaa parhaiten vastaan rekyyliä, vaikkakin asettaa enemmän haasteita tasapainolle ja hyvän asennon saavuttamiselle (kuva 2). Useimmat ampujat, erityisesti lyhyet ja aloittelevat, ojentavatkin vasenta hartiaansa enemmän eteenpäin saadakseen tukikäsiensä edemmäksi aseeseen tukilla ja saavuttaakseen miellyttävämmän ampumiasennon. Liipaisutapahtuma ja hyvä olkapääkosketus riippuu oikean käsi-varren ja käden asennosta. Olkapääkosketus on saatava aikaan ilman lihasjännitystä, minkä takaamiseksi aseeseen perään on oltava sopivan pituinen ja oikealla korkeudella. (Reinkemeier ym. 2009, 155.)



KUVA 2. Polviasento yläpuolelta kuvattuna. Hartialinjan ja polvikulman vaikutus rekyyllin hallintaan. (Reinkemeier ym. 2009, 155.)

Kaikissa ampuma-asennoissa oikeakätisillä ampujilla vasen jalka toimii asennon ”napana”. Polviasennossa vasen jalka tukee vasenta kättä ja määrittää asennon korkeuden. Vasen sääri on yleensä pystysuorassa, mutta pidempiraajaiset joutuvat pitämään sitä edempänä saadakseen asennon riittävän matalaksi. Jalkaterä on suoraan aseensa alla noin 45 asteen kulmassa ampumalinjaan nähden. Näin säären asento on tukevin ja aseensa heilahdukset eteen tai sivulle ovat vähäisimmät. Asentoa voidaan korjata siirtämällä vasemman jalkaterän paikkaa, mutta se vaikuttaa myös koko asennon statiikkaan. (Reinkemeier ym. 2004, 55; Reinkemeier ym. 2009, 152–154.)

Polviammunnassa käytettävä nilkkatyyny sijoitetaan siten, että se on suoraan tähtäyslinjan takana aseensa alapuolella. Oikea nilkka sijoitetaan keskelle nilkkatyynyä siten, että ampumakenkä on tukevasti maan ja takamuksen välissä sekä jalkaterä on yleensä suorassa. Oikea polvi on 30–90 asteen kulmassa ampumalinjaan nähden ja se vastaa tasapainon sivuttaissuuntaisesta stabiloimisesta. Sivulle työnnetty polvi antaa paremmin tukea, mutta toisaalta se ottaa huomattavasti vastaan rekyyliä. Painon pitäisi jakautua tasaisesti oikean jalan jalkaterälle, nilkalle ja polvelle, tai mieluummin hiukan enemmän nilkkatyynyn alueelle. Rekyyllin tuottaman energian on tarkoitus kulkeutua suoraan nilkkatyynyn ja jalkaterän kautta maahan. (Reinkemeier ym. 2009, 152–153.)

Polviammunnassa on usein ongelmana sivuun suuntautuvat rekyylit, jotka ovat seurausta epätasapainoisesta asennosta sekä johtavat huonoon aseeseen vaakasuuntaiseen pitoon ja harhalaukauksiin erityisesti oikealle ylös. Siksi kehon massakeskipisteen tulisi olla suoraaan kiväärin piipun alapuolella sekä pää, vasen kyynärvarsi, polvi ja sääri samalla linjalla aseeseen alapuolella (kuva 3) – muuten asento voi lähteä kaatumaan sivulle. Polvi-asennon perustan muodostaa kolme tukipistettä: vasen jalkapohja, oikea polvi sekä nilkkatyynyn ja oikean jalkaterän yhdistelmä. Useat ampujat nojaavat reilusti eteenpäin, jotta painopiste tulisi matalammaksi ja paino siirtyisi vasemmalle jalalle, jolloin rekyyli olisi pienempi ja pystysuuntainen. Tosin suurempikokoiset ampujat kykenevät hallitsemaan rekyyliä pystymmästäkin asennosta, ja samalla asento on miellyttävämpi. (Reinkemeier ym. 2004, 57; Reinkemeier ym. 2009, 157–159.)

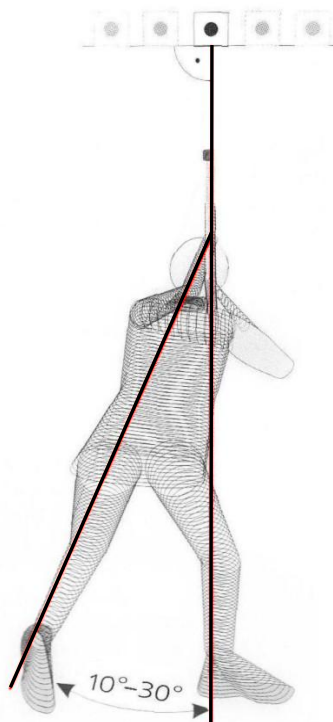


KUVA 3. Polviasento edestä kuvattuna (Reinkemeier ym. 2009, 157).

Polviammunnassa kantapäähän päällä istuminen asettaa haasteita tasapainolle. Cholewicki ym. (2000) ovat tutkineet asennon säätelyä tämältyyppisessä epävakaassa istuma-asennossa seitsemän sekunnin voimalevymittauksilla. Tässä tutkimuksessa medio-lateraalin (sivuttaissuuntainen) huojunta oli suurempaa kuin antero-posteriorinen huojunta. Tämä tulos on juuri päinvastainen kuin seisoma-asennossa, minkä tutkijat toteavat johtuvan erilaisista tukipinta-aloista. Tutkimuksessa painavammilla henkilöillä, joilla oli pidempi ylävartalo, asennon huojunta oli suurempaa kuin pienempikokoisilla. Nämä asiat tulisi ottaa huomioon myös polviammunnassa.

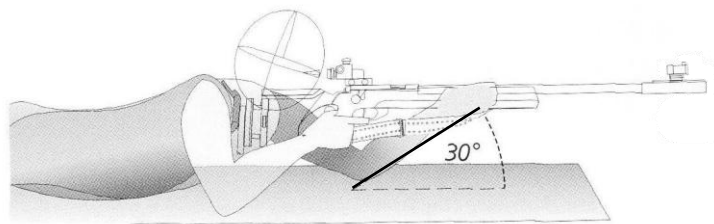
### 2.3.2 Makuuammunta

Makuuasentoa pidetään helpoimpana ampuma-asentona, koska siinä ampumahihna, kyynärpäiden kontakti maahan ja matala painopiste takaavat vakaimman tuen. Makuuasennon kolme tukipistettä ovat koko alavartalo vatsasta alaspäin, vasen kyynärpää ja oikea kyynärpää. Kiväärin suunta määräytyy näiden kolmen pisteen avulla jalkoja, lantia, kyynärpäitä tai koko vartaloa siirtämällä. Myös kehon kulma suhteessa ampumasuuntaan on tärkeä tekijä, sillä mitä enemmän kehoa on suoraan aseensa takana, sitä enemmän on massaa ottamaan vastaan rekylyä. Pienen vartalokulman etuna onkin parempi rekylyhallinta. Toisaalta isommalla vartalokulmalla ammuttaessa asento tuntuu miellyttävämmältä, tukikäsi saadaan sijoitettua kauemmas kiväärin tukille ja hengitys on helpompaa. Vartalo on yleensä 10–30 asteen kulmassa ampumasuuntaan nähden (kuva 4). Vasen puoli jalkaterästä kämmeneen muodostaa suoran linjan ja selkäranka on suorana. Oikea polvi on yleensä vähän taivutettuna, ja kehon oikea puoli on hieman irti maasta hengittämisen helpottamiseksi. (Reinkemeier ym. 2004, 50; Yli-Jaskari 2007; Reinkemeier ym. 2009, 11–15.)



KUVA 4. Makuuasento yläpuolelta kuvattuna (mukailtu Reinkemeier ym. 2009, 15).

Makuuasennon merkittävät alueet ovat hartiat, käsivarret, kämmenet ja pää. Aseen perän on asetettava tiukasti ja tarkasti hartiaan lähelle kaulaa, jotta rekyyli tulisi suoraan taaksepäin. Kilpailusäännöt määrittävät, että tukikäden pitää olla vähintään 30 asteen kulmassa maahan nähden (kuva 5) (ISSF 2012, 7.6.1.1). Olkavarsi ja kyynärvarsi ovat 100–120 asteen kulmassa. Käsi itsessään on täysin rentoutunut ja ampumahihna kannattelee koko aseensa painon, kuten polviammunnassakin. Oikea käsivarsi lukitsee aseensa hartiaan, minkä vuoksi perän täytyy olla riittävän pitkä ja oikealla korkeudella. Ampuma-asennossa oikea hartia ja pää ovat kohotettuina tähtäyksen mahdollistamiseksi sekä niska on rentona. Kylkiluista ylöspäin vartalo on irti maasta. Aseen painovoima suuntautuu alaspäin ja sitä vastustavat oikeasta hartiasta, tukikädestä, päästä ja liipaisukämmenestä tulevat voimat. Newtonin lakien mukaisesti voimien yhteisvaikutuksen on oltava nolla aseensa vakauttamiseksi. Aseen lauetessa ja rekyylin vaikutuksesta näiden voimien suhde muuttuu hetkellisesti, ja piippu nousee ylöspäin palaten takaisin lähtöasemaansa. (Grebot & Burtheret 2007; Yli-Jaskari 2007; Reinkemeier ym. 2009, 17.)



KUVA 5. Makuuasento sivusta kuvattuna (Reinkemeier ym. 2009, 19).

Vasen käsi (tukikäsi) on avainasemassa makuu- ja polviammunnassa. Se kannattelee passiivisesti asetta, ja sen paikka määrittää aseensa korkeuden. Käden on oltava tiukasti hihnankiinnikettä vasten, ja aseensa tukki lepää kämmenen päällä peukalon suuntaisesti. Käsi on suuren paineen alaisena tukin, ampumahihnan ja hihnankiinnikkeen välissä, jolloin kipua voidaan välttää hyvällä käden asettelulla, lepotauoilla ja nopealla ammunalla. Hihna, käden koko, aseensa tukin paksuus ja muoto sekä asennon tasapainoisuus voivat johtaa yksilöllisiin eroihin tukikäden asennossa. Ampumahihnaa asetettaessa ampujan tulee tarkistaa, ettei pulssi johdu olkavarresta hihnan kautta aseeseen. Hihnan pituus säädetään siten, että asetta voidaan pitää varmasti ja ilman lihasjännitystä. Liian pitkä hihna tekee asennosta epävakaa, kun taas liian lyhyt hihna haittaa verenkiertoa käsivarressa ja tuottaa kipua. (Reinkemeier ym. 2009, 29–30.)

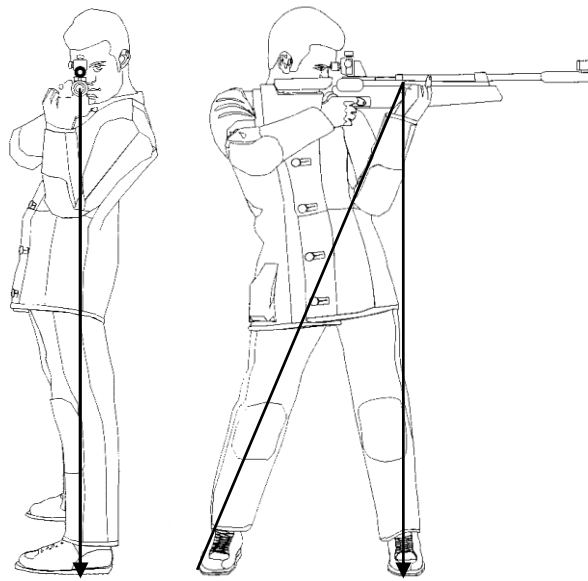
Asennot ovat aina yksilöllisiä ampujan mittasuhteiden ja henkilökohtaisten mieltymysten mukaan. Korkea asento rasittaa vasenta kyynärpäätä, koska suurempi osa vartalosta on irti maasta, mutta toisaalta hihna saadaan asetettua paremmin, oikea kyynärpää saadaan tuettua hyvin ja pää on hyvässä asennossa. Hyvin matalassa asennossa puolestaan hihna voi painaa kyynärvarrtta, eikä oikea kyynärpää ole yhtä tukevasti maassa. Sopiva asento tältä väliltä takaa riittävän oikean kyynärpään kontaktin ja vasemman käden paineen, hihna voidaan kiristää miellyttäväksi, ja pää pysyy sopivassa asennossa. Ammunnan aikana kuitenkin hartiasseudun lihakset ja jänteet venyvät sekä hihna saattaa valua ampumatakissa, mikä voi vaikuttaa ampuma-asentoon ja sen voimasuhteisiin, ja siten vaikeuttaa aseiden liikkeiden hallintaa. (Reinkemeier ym. 2009, 23–25, 156.)

### 2.3.3 Pystyammunta

Pystyammunta on suurin haaste kivääriampujalle erittäin pienestä tukipinta-alasta ja korkealla olevasta painopisteestä johtuen. Aseiden pääperiaatteena on, että aseiden paino lepää luuston päällä, koska liiallinen lihasaktiivisuus tekee asennosta epävakaa. Pystyasennossa luusto määrääkin ampuma-asennon statiikan, ja tehokas asento hyödyntää luiden ja jänteiden tukivaikutuksen. Pitkien luiden on tarkoitus olla mahdollisimman pystysuorassa, ettei lihasjännitystä tarvittaisi aseiden kannattelemiseksi. Jalkojen lihakset ylläpitävät tasapainoa, minkä vuoksi ampuma-asennossa on tärkeää pystyä säätelemään luustolihasjännitystä. (Yli-Jaskari 2007; Reinkemeier ym. 2009, 96.) Keho on tasapainossa silloin, kun sen massakeskipiste pysyy kehon tukialueen keskikohdan yläpuolella. Tätä kontrolloidaan aktiivisesti keskushermostossa, joka ennakoii häiriöitä raajojen ja koko vartalon liikkeissä. Tasapainon säilyttäminen on riippuvaista kehon näkö- (visuaalinen), tasapaino- (vestibulaarinen) ja tuntoaisteista (somasensorinen) saatavasta tiedosta. (Karlsson & Frykberg 2000; Önell 2000.)

Pystyasennosta ammuttaessa ylävartalo nojaa taaksepäin sekä hartiat ja lantio suuntautuvat maalitaululle päin, jotta aseiden paino saataisiin massakeskipisteen päälle (kuva 6). Ampuma-asennon ”tukipylväs” koostuu vasemman puolen jalkaterästä, jalasta, lantiosta, kyynärvarresta ja kämmenestä. Aseiden painopisteen tulee olla tällä linjalla. Vasen jalkaterä vaikuttaa tasapainoon ja aseiden suuntautumiseen ja se on yleensä suorassa kulmassa ampumalinjaan nähden. Vasen jalka pysyy suunnilleen pystysuorana, ja se

kantaa kehon ja aseensa painosta noin 60–90 %. Oikea jalka on sivulle työnnettynä hartioiden kierron tasoittamiseksi. Se tukee asentoa ja ”pönkittää tukipylvästä”, vaikka kantaakin vain 10–30 % painosta. Ampuma-asennossa vasen lanne on työnnettynä taulua kohti, minkä seurauksena lantion harjanne nousee 10–30 astetta mahdollistaen paremman kyynärpäähän asettumisen, ja painepiste sijoittuu vasemmalle jalalle. (Reinkemeier ym. 2004, 33; Yli-Jaskari 2007; Reinkemeier ym. 2009, 63.)

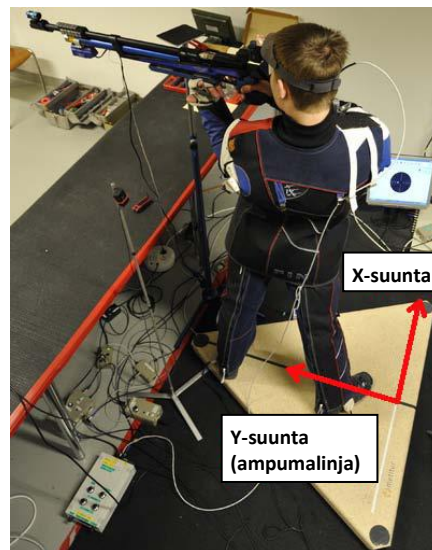


KUVA 6. Pystyasento edestä ja sivusta kuvattuna (mukailtu Reinkemeier ym. 2009, 71–72).

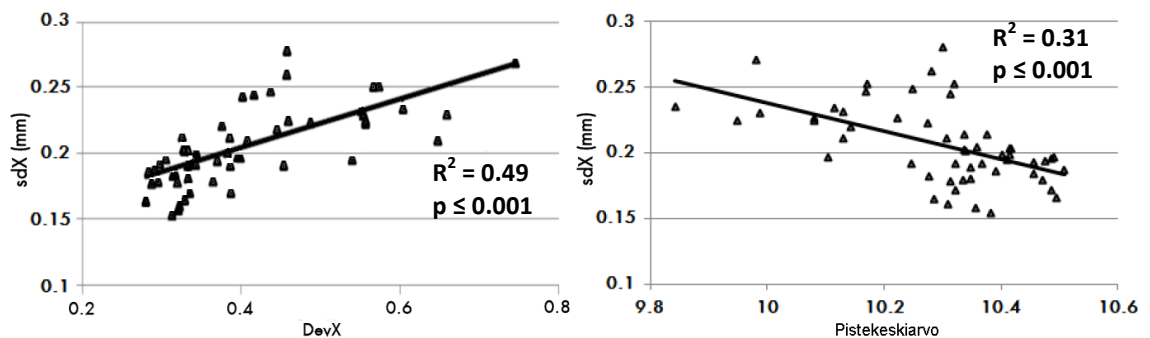
Jalkojen asettelussa on päämääränä saavuttaa sopiva jalkojen etäisyys ja kulma ampumalinjaan nähden, ja siten aseensa suuntautuminen maalitaululle päin. Idealisessa tilanteessa jalkojen keskilinja kulkee massakeskipisteen kohdalta suoraan aseensa alla. Jalkojen välinen etäisyys vaikuttaa asennon vakauteen. Suuremmalla etäisyydellä aseensa pystysuuntainen suuntautuminen on vakaampi, massakeskipiste on matalampana, tähtäyslinja nousee ylöspäin ja huojuminen vähenee. Toisaalta jalkojen sisäpuolille voi tällöin tulla jännityksiä. Jalat ovat yleensä vähintään hartioiden leveydellä, ja oikeaa jalkaa siirtämällä muutetaan asennon painopistettä. Siirtämällä molempia jalkoja massakeskipisteen suhteen voidaan säädellä lantion kiertymistä ja jännitystä; tämä kierto liike lukitsee ylävartalon, mutta voi liiallisesti tehtynä johtaa selkävaivoihin. Molempia jalkoja siirtämällä ampumalinjan suhteen vaikutetaan aseensa horisontaaliseen suuntautumiseen ja näin siirretään tähtäyslinjaa sivusuunnassa maalitaululle päin. (Reinkemeier ym. 2004, 45; Reinkemeier ym. 2009, 76.)



Tasapainon vaikutusta ammuntasuoritukseen pystyammunnassa on tutkittu voimalevyjen avulla (kuva 7). Tasapaino on suorasti yhteydessä tarkkuuteen asennon huojunnan kautta ja epäsuorasti aseiden heilunnan kautta. Erityisesti ampumalinjaa vasten kohtisuorassa suunnassa tapahtuva huojunta (polvelta ja makuulta medio-lateraalinen, pystystä antero-posteriorinen) lisää aseiden vaakasuuntaisia liikkeitä ja siten heikentää osumatarkkuutta (kuva 8). Tämä yhteys on merkittävä varsinkin kokemattomilla ampujilla, kun taas kyky pitää ase vakaana on edellytys huippusuorituksille taitotasosta riippumatta. (Yuan & Lee 1997; Balasubramaniam ym. 2000; Ball ym. 2003a; Mononen ym. 2007; Ihalainen ym. 2011.) Huippuampujilla on havaittu merkittävästi vähäisempää vartalon huojuntaa seisossa verrattuna yleiseen populaatioon tai huonompitasoisiin ampujiin – tasapaino on parempi ilman varusteita seisossa ja voi parantua edelleen ampumapuku päällä jopa 20 % (Aalto ym. 1990; Era ym. 1996).



KUVA 7. Tasapainomittaukset pystyammuntasuorituksessa (Ihalainen ym. 2011).



KUVA 8. Pystyampuma-asennon antero-posteriorisen huojunnan (sdX) vaikutus aseiden vaakasuuntaiseen pitoon (DevX) ja osumatarkkuuteen (mukailtu Ihalainen ym. 2011).

### 3 RASITUS STAATTISESSA AMMUNTASUORITUKSESSA

Voima voidaan määritellä lihaksen kykynä ylläpitää jotain voimatasoa tietyn aikaa tai tietyn määrän toistoja. Kivääriampujan ei tarvitse olla erityisen voimakas, koska ase painaa tavallisesti vain 5–7 kiloa, se tuetaan ampumahihnan tai luuston päälle ja pystyammunnassa kiväärituelta on nostettavaa vain muutaman senttimetrin verran ennen jokaista laukausta. Kuitenkin 40–60 laukauksen jälkeen voi ampujalla ilmetä paikallista lihasjäykkyyttä hartioissa, selässä, lantion alueella, tukikädessä ja liipaisukädessä. Tämän vuoksi ampujat tarvitsevat lajiin vaadittavaa erityiskestävyyttä. Esimerkiksi liian heikot vatsalihakset saavat pystyampuma-asennossa selän notkolle, mistä voi seurata ongelmia tasapainon hallinnassa ja selkäkipuja. (Reinkemeier ym. 2004, 9.) Gregory & Callaghan (2008) tutkimuksissa pelkästään kahden tunnin seisonta aiheutti akuuttia alaselkäkipua suurimmalle osalle terveistä koehenkilöistä, mikä ilmeni lisääntyneenä lantion fleksiona ja selkänikamien rasituksena sekä alentuneena ihon lämpötilana. Tämän tyyppisiä muutoksia voidaan luultavasti havaita pystyammunnassakin, jossa selkä joutuu melko epätavallisen rasituksen alaiseksi.

Väsymys sisältää monia fysiologisia tapahtumia, ja sen vaikutukset ja luonne riippuvat paljon väsymystä aiheuttavasta tehtävästä. Tavallisesti väsymys määritellään kykeneväisyydenä ylläpitää tiettyä voimatasoa tai tuottaa tarvittavaa voimaa ulkoisen vastuksen siirtämiseksi. Tämä voimanlasku voi tapahtua kehossa niin perifeerisellä kuin sentraalisellakin tasolla, ja sitä mitataan yleisimmin voima-antureilla tai EMG:llä. Väsymyksen kohdistuminen proprioseptisiin reseptoreihin lisää voiman vaihtelua ja lihasvärinää, ja siten vaikeuttaa kehon ja liikkeiden hallintaa. (Chabran ym. 2002.) Ampuma-asennossa niska, hartiat ja yläraajat ovat epätavallisissa asennoissa, ja kyseisten lihasten väsyminen voi tuottaa ongelmia kehonhallinnassa ammunnan edetessä. Rasitus vaikuttaa sykkeeseen, tasapainoon ja aseiden heiluntaan, mikä näkyy merkittävämmän pystyammunnassa kuin muissa ampuma-asennoissa. Näin väsymys heikentää myös ammunnan osumatarkkuutta. (Hoffman ym. 1992.) Wardrop & Roach (1992) ovatkin sitä mieltä, että ampujan kyky minimoida lihasväsymys suorituksen aikana parantaisi potentiaalista tarkkuutta merkittävästi.

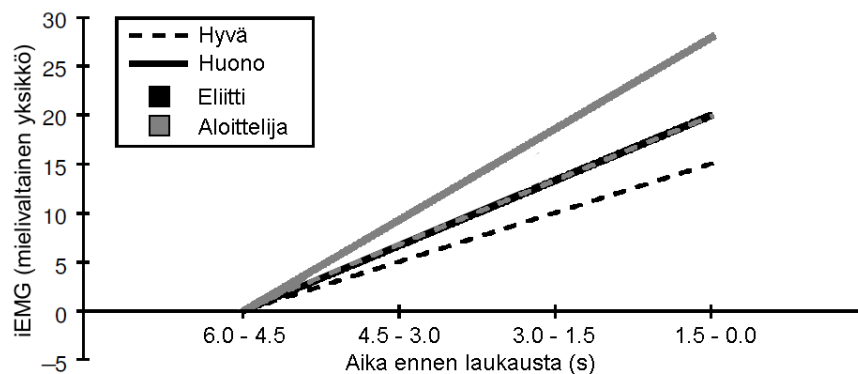
### 3.1 Muutokset voimantuotossa

Lihasten paikallinen väsyminen rasituksessa johtaa muutoksiin niiden voimantuotossa. Pitkittyneessä rasituksessa nämä muutokset johtuvat muun muassa lihaksen sisällä tapahtuvista muutoksista verenkierrossa, lämpötilassa ja aineenvaihdunnassa. Myös eri lihasten välisessä voimantuotossa tapahtuu muutoksia siten, että vastavaikuttajalihasten (antagonistien) aktiivisuus suhteessa päävaikuttajalihasten (agonistien) aktiivisuuteen voi lisääntyä. Kevyessäkin isometrisessä rasituksessa (5–10 % maksimivoimasta) asentoa tukevien lihasten EMG-aktiivisuus lisääntyy väsymyksen seurauksena (motoristen yksiköiden rekrytointi kasvaa) ja siirtyy matalammille taajuuksille (johtumisnopeus motorisissa yksiköissä laskee) sekä voimantuottokyky laskee jossain määrin. Tämän tyyppisestä matalan taajuuden väsymyksestä palautuminen voi olla hyvinkin hidasta, jopa kaksi tuntia, ja EMG-muutokset palautuvat hitaammin kuin voimamuutokset. Kun lihas väsy, joudutaan ottamaan avuksi muita lihaksia – tavallisesti uusia motorisia yksiköitä rekrytoidaan Hennemanin periaatteen mukaisesti kestävästä yksiköistä väsyvimpiin. (Chabran ym. 2002; Sogaard ym. 2003; Blangsted ym. 2005.)

Ammunta ei kuitenkaan ole pelkästään staattista rasitusta, vaan väsyvyyteen vaikuttaa myös tehtävän vaihtelevuus tässä staattisen työn ympäristössä. Tehtävävaiheet seuraavat toinen toistaan järjestyksessä jokaisella laukauksella, jolloin väsyvyyteen vaikuttavat lihasten supistustaso, yhden laukauksen kierrosaika ja supistusajan suhde kierrosaikaan. Tämän seurauksena voidaan tutkia lihaksen voima-kestävyyssuhdetta ja sitä kautta väsyvyyttä. Ammunnassa yhden laukauksen sykli kestää noin 30 sekuntia ja se koostuu latauksesta, aseeseen kohdistamisesta maalitaululle, tähtäyksestä, liipaisusta ja jälkipidosta. (Reinkemeier ym. 2004, 69–70.) Hermans & Spaepen (1997) ja Iridiastadi & Nussbaum (2006) ovat tutkineet tämän tyyppisen staattisen, mutta silti dynaamisen rasituksen vaikutusta ylävartalon lihasten voimantuottoon ja aktiivisuuteen. Harjoitteet kestivät 30–60 minuuttia, mikä koostui 10–30 % MVC (maksimaalinen tahdonalainen voimantuotto) lihassupistuksista 0.2–0.8 supistus-palautussuhteella ja 10–180 sekunnin sykleillä. Yleisesti tutkimuksissa ilmenneet tilastollisesti merkitsevät muutokset olivat voimantuoton lasku, EMG RMS:n nousu ja EMG:n keskitaajuuden lasku. Korkeampi voimataso tai pidemmät syklit lisäsivät väsyvyyttä suorituksessa.

Pystyammunnassa vaadittu lantion seudun lateraalinen taivutus vaatii monien vartalon lihasten monimutkaista koordinaatiota, ja on tutkittu, että tämäntyyppinen rasitus lisää alaselkävun riskiä. Tästä liikkeestä vastaavat ulkoinen ja sisäinen vino vatsalihas, suora vatsalihas, lantion ja rintakehän alueen selän ojentajat sekä leveä selkälihas. (Reinkemeier ym. 2004, 17–18.) Potvin & O'Brien (1998) ovat tutkineet submaksimaalisen selän isometrisen lateraalisen taivutuksen vaikutuksia agonistien ja antagonistien aktiivisuuksiin ja väsyvyyteen. Rasituksessa lihasten voimantuotto-kyky laski merkitsevästi sekä agonistien ja antagonistien EMG-amplitudi ja sen vaihtelevuus lisääntyivät merkitsevästi. Lihasten yhteissupistuksen lisääntyminen lisäsi selän stabiiliutta, mutta toisaalta voiman vaihtelun lisääntyminen heikensi liikkeiden hallintaa. Tämä on merkittävä tieto myös kivääriammunnan kannalta.

Luuston ohella kehon lihakset tarjoavat vakautta ampuja-asesysteemille. Lihasten väsymyksen seurauksena suoritustaso heikkenee lisääntyneen lihasvärinän ja huojunnan vaikutuksesta. Ammunnassa on tutkittu ylävartalon lihaksien aktiivisuuksia epäkäslihaksessa, kolmipäisessä hartialihaksessa, hauislihaksessa, olka-värttinäluulihaksessa, sormien pinnallisessa koukistajalihaksessa ja pitkässä kämmenlihaksessa (Larue ym. 1989; Wardrop & Roach 1992; Yuan & Lee 1997; Konttinen ym. 1998a, 1998b). Alavartalosta on tutkittu lihasaktiivisuuksia etumaisessa säärilihaksessa ja kaksoiskantalihaksessa (Larue ym. 1989). Tutkimustuloksissa on huomattu asennon huojunnan ja aseiden heilunnan lisääntyvän silloin, kun lihasaktiivisuudet lisääntyvät. Kokeneilla ampujilla lihasvärinä on pienempää kuin kokemattomilla, ja eroja on havaittu myös hyvien ja huonojen suoritusten välillä (kuva 9). (Lakie 2009.)



KUVA 9. Erot ylävartalon lihasaktiivisuuksissa (iEMG) eritasoisilla ampujilla sekä hyvissä ja huonoissa suorituksissa (mukailtu Konttinen ym. 1998a).

Ammunnassa aseiden paino ja mittasuhteet vaikuttavat lihasaktiivisuuksiin ja asentoon, ja siten myös väsyvyyteen. Esimerkiksi, jos pystyammunnassa asetta kannatellaan vapaalla kädellä, on aseiden liike epähallittua ja lihasvärinä lisääntyy koko ajan väsymyksen edetessä, kun taas kyynänpää tuettuna lantioluuhun ase pysyy paremmin vakaana. Rasituksessa ilmenevä lihasvärinä johtuu lihasten fysiologiasta. Tästä johtuen on staattisesti oikeanlainen ampuma-asento ja painon jakaminen luuston päälle tärkeää pystyammunnassa. Vastaavasti makuu- ja polviammunnassa täytyy ampumahihnan kannatella aseiden painoa, etteivät tukikäden lihakset väsyisi isometrisesti. (Wardrop & Roach 1992; Yuan & Lee 1997; Reinkemeier ym. 2004, 31–33; Lakie 2009.)

### 3.2 Muutokset tasapainossa

Tasapaino määritellään kykyä säilyttää kehon massakeskipisteen vertikaalinen projektiotukipinta-alan päällä ja häiriötilanteissa kykyä palauttaa keho takaisin tähän tasapainotilaan. Tämä kehon vakauden saavuttaminen riippuu tahdonalaisista liikkeistä, liikestrategian valinnasta ja taustalla olevista neuromuskulaarisista prosesseista. Paikallaan seisoessa lisääntynyttä kehon liikenopeutta ja -amplitudia pidetään heikentyneen vakauden ja huonon tasapainon merkkeinä. (Adlerton & Moritz 1996.) Verrattuna vakaisiin henkilöihin, epävakait henkilöt huojuvat enemmän ja pidempään ennen kuin saavuttavat tasapainotilan. Vaikka asennon huojunta tapahtuukin pääasiassa horisontaalisuunnassa, voi eri henkilöillä olla eroja myös vertikaalisten liikkeiden hallinnassa. Tähän vaikuttaa jopa sydämen pulssi erityisesti rasittuneessa tilassa. (Önell 2000.)

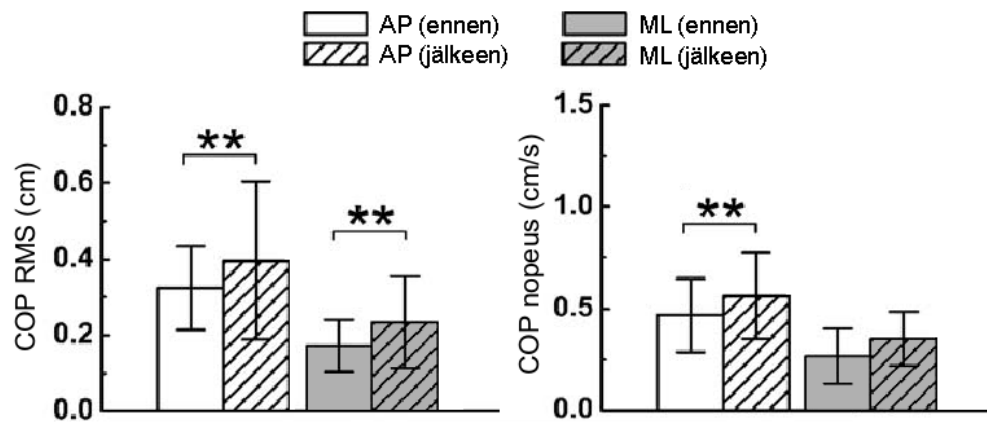
Kehon tasapainotilaa kontrolloidaan aktiivisesti keskushermostossa, joka ennakoii häiriöitä vartalon liikkeissä. Koska ihmisen keho ei ole staattisesti täysin vakaa, tarvitaan tähän säätelyyn erityisiä kontrollisysteemiä (tasapainosysteemi). Asennon kontrollisysteemin toimintaa voidaan arvioida ulkoisilla laitteilla kuten voimalevyillä, jotka mittaavat kokonaissysteemin vakautta. Tasapainon säilyttäminen on riippuvaista visuaalisista, vestibulaarisista ja somatosensorisista systeemeistä saatavasta tiedosta. Somatosensorinen systeemi puolestaan saa tietoa ihon, lihasten ja jänteiden reseptoreista, jotka lähettävät afferentteja signaaleja lihasten pituuden ja jännityksen muutoksista aivoihin. (Önell 2000; Chabran ym. 2002; Vuillerme ym. 2002; Gribble & Hertel 2004.)

Normaalissa seisonnassa medio-lateraalin huojunta kontrolloidaan pääasiassa vaihtamalla painoa jalkojen välillä lantiostrategialla, ja antero-posteriorisessa huojunnassa käytetään niin sanottua nilkkastrategiaa tasapainon ylläpitämiseksi. Nämä kontrollistrategiat ovat toisistaan erillisiä ja reagoivat eri tavoin tarkkuutta vaativiin tehtäviin, kuten ammuntaan. (Balasubramaniam ym. 2000; Karlsson & Frykberg 2000.) Luonnollisessa seisonnassa tapahtuu jatkuvaa matalan amplitudin hidasta kehon huojuntaa ja ajoittain myös voimakkaampia liikkeitä asennon korjaamiseksi, mikä on vaikutusta suhteellisen pienestä tukipinta-alasta jalkojen päällä. Nämä liikkeet helpottavat olotilaa vähentäen rasituksetunnetta, veren pakkautumista alaraajoihin, lihasväsymystä ja nivelpainetta. (Duarte & Zatsiorsky 2000; Freitas ym. 2005; Duarte & Sternad 2008.) Tätä ampujatkkin hyödyntävät pitäessään lepotaukoja ammunnan aikana.

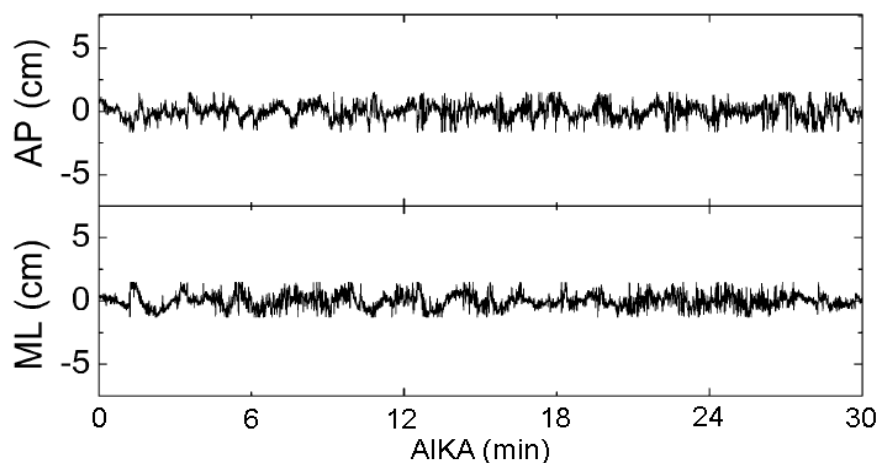
Koska väsymys vaikuttaa neuromuskulaariseen kontrolliin, lihasten supistumistehokkuuteen, proprioseptiseen informaatioon ja kortikaaliseen kontrolliin, se todennäköisesti vaikuttaa myös liikkeiden ja asennon hallintaan. On teoretisoitu, että lihasväsymys heikentäisi jänteiden proprioseptisiä ja kinesteettisiä ominaisuuksia vähentämällä lihasspindelien syttymistä ja siten heikentämällä afferenttia palautejärjestelmää. Tasapainon huononeminen voi olla seurausta näkö-, tasapaino- tai liikeaistinten heikentyneestä toiminnasta. Nämä sensoriset aistit ovat jatkuvasti toiminnassa rasituksen aikana. Jalkaterien mekanoreseptorit jänteissä, nivelissä ja iholla ovat tärkeässä asemassa tasapainon ylläpidossa, ja rasitusta seuraavassa väsymyksessä näistä reseptoreista saapuvat hermoyhteydet voivat heikentyä. Tämä on merkittävää erityisesti silloin, kun liikettä tapahtuu vähän ja verenkierto alaraajoissa on vähäisempää, kuten ammunnassa. (Chabran ym. 2002; Vuillerme ym. 2002; Gribble & Hertel 2004.)

Freitas ym. (2005) ovat tutkineet pitkäaikaisen seisomisen vaikutuksia kehon asennon säätelyyn. Tutkimuksessa koehenkilöt seisoivat paljain jaloin voimalevyllä 30 minuutin ajan, mitä ennen ja jälkeen suoritettiin 60 sekunnin hiljainen seisonta. Pitkässä seisonnassa asennonmuutokset olivat sallittuja, mutta eivät hiljaisessa seisonnassa. Paine-keskipisteen liike oli suurempaa ja nopeampaa viimeisen kymmenen minuutin aikana verrattuna ensimmäiseen kymmeneen minuuttiin – sama väsymysvaikutus huomattiin myös hiljaisen seisonnan testissä ennen ja jälkeen rasituksen (kuva 10). Asennon-

muutosten seurauksena pitkäaikaisessa seisonnassa medio-lateraalinen liike oli suurempaa kuin antero-posteriorinen liike, kun taas hiljaisessa seisonnassa antero-posteriorinen liike oli suurempaa. (Freitas ym. 2005.) Duarte & Sternad (2008) puolestaan eivät löytäneet merkittäviä muutoksia painekeskipisteen liikkeiden hallinnassa pitkitetyn seisannon aikana silloin, kun luonnolliset liikkeet jätettiin analyysistä pois (kuva 11). Molemmissa tutkimuksissa todettiin, että pitkitetyssä paikallaanoloissa voi tapahtua muutoksia ainakin asennon kontrollistrategiassa, mutta erot riippuvat testistä. Varsinkin iäkkäillä huomattiin erilaista asennon kontrollia kuin nuorilla aikuisilla. (Duarte & Sternad 2008.)



KUVA 10. Painekeskipisteen liikkeen amplitudi (COP RMS) ja nopeus (COP nopeus) antero-posteriorisessa (AP) ja medio-lateraalissa (ML) suunnassa ennen ja jälkeen 30 minuutin seisomarasitusta (mukailtu Freitas ym. 2005).



KUVA 11. Painekeskipisteen liikkeet antero-posteriorisessa (AP) ja medio-lateraalissa (ML) suunnassa pitkitetyn seisannon aikana (mukailtu Duarte & Sternad 2008).

Paikallaanaseisominen vaatii pääasiassa vain matalan voimatason supistumista väsymystä kestävässä lihasfiibereissä. Kaksoiskantalihas ei silloin ole kovinkaan aktiivinen nopeista ominaisuuksistaan johtuen. Alaraajoissa ja leveässä kantalihaksessa tämä supistus on korkeintaan 10 % MVC:stä eikä tällä voimatasolla vielä rekrytoida paljoakaan uusia motorisia yksiköitä. Vähäisestä rekrytoinnista johtuen väsymystä on vaikea havaita tällaisissa tutkimuksissa. Adlerton & Moritz (1996) eivät löytäneet pohjelihasien aktivaatioissa tai tasapainossa muutoksia pystyseisonnassa varpaillenousu- väsytyksen jälkeen. Vuillerme ym. (2002) ja Corbeil ym. (2003) tutkimuksissa rasitettiin mekaanisesti nilkan lihaksia, jolloin tasapaino ei heikentynyt merkittävästi vaikka antero-posteriorinen liikenopeus lisääntyikin. Caron (2003) tutkimuksessa rasitettiin leveää kantalihasta isometrisesti uupumukseen asti. Tällainen väsytyks lisäsi paineakeskipisteen liikenopeutta, mutta ei painokeskipisteen, mikä kertoo että rasituksen vaikutus näkyi enemmänkin asennon kontrollissa kuin asennon vakaudessa.

Davidson ym. (2004) ovat tutkineet alaselän ojentajien väsymyksen vaikutusta tasapainoon terveillä nuorilla aikuisilla. Mittaukset koostuivat lämmittelyvaiheesta, väsyttämättömästä mittauksesta, väsytyksestä ja tasapainomittauksesta väsytyksen jälkeen 30 minuutin ajan silmät kiinni. Väsytyks suoritettiin 60 %:iin MVC:stä. Tämä väsytyks lisäsi kehon huojuntaa, joka palautui jossain määrin väsytyksen jälkeen. Tässä tutkimuksessa tasapainon huononemisen syyksi epäiltiin proprioception heikentymistä lantion alueella, koska visuaalista palautetta ei ollut käytettävissä. Tämä osoittaa, että kivääriammunnassa tapahtuva alaselän rasituskin voi vaikuttaa tasapainoon. Erityisesti, jos urheilija kärsii alaselkäkivuista, on hänen asennonhallintansa todennäköisesti heikompi kuin terveellä henkilöllä. (Davidson ym. 2004.)

Tutkitusti fyysinen rasitus vaikuttaa tasapainoon jossain määrin heikentävästi liikunnassa ja urheilussa (Lepers ym. 1997; Nardone ym. 1997). Hoffman ym. (1992) ja Sattlecker ym. (2007) ovat tutkineet fyysisen rasituksen vaikutusta ampumahiihtosuoritukseen. Näissä tutkimuksissa kehon paineakeskipisteen liike ja aseiden heilunta lisääntyivät sitä enemmän, mitä kovemmassa rasituksessa oli kyse. Tämänkaltaisen anaerobin suoritus siis heikentää kehonhallintaa ammunntasuorituksessa. Sen sijaan pelkätään staattisen ammunntarasituksen vaikutuksista tasapainoon ei ole tutkimustietoa.



## 4 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEESEIT

Suomessa ammunnan tutkimuksesta on 1990-luvulta asti vastannut Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskus (KIHU). Ammunnan kinematiikkaa on jo pitkään tutkittu videokuvauksen, optoelektronisten apuvälineiden ja voimalevyjen avulla, mutta lajin kinetiikasta ei ole kovin paljoa arkistoitua tutkimustietoa. Aiempi tutkimustieto myös painottuu suurimmaksi osaksi ilma-aseammuntaan pystyasennosta. Koska kivääriammunnan peruseriaatteena on täydellisen rentouden ja liikkumattomuuden saavuttaminen, ovat ampujan asento, siinä vaikuttavat voimat sekä niiden yhteydet liikkeeseen ja mahdolliset muutokset kilpailusuorituksen aikana mielenkiintoisia ja tutkimisen arvoisia. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli saada uutta tutkimustietoa pienoiskiväärin polviammunnassa aseiden liikkeistä, tasapainosta, ampujan ja aseiden välisistä voimista sekä ampuma-asennosta. Suorituksen kannalta kilpailunomaisen ammunntasarjan aikaiset muutokset näissä tekijöissä olivat mielenkiinnon kohteena. Tämä tutkimus oli osa Suomen Olympiakomitean, Suomen Ampumaurheiluliiton ja KIHU:n yhteistä ”Huippuammunnan kehittämis- ja tutkimusohjelma 2009–2016” -projektia.

*Tutkimusongelma 1.* Vaikuttaako tähtäyspisteen liike, ampujan tasapaino, ampujan ja aseiden väliset voimat sekä ampujan tukikäden asento osumatarkkuuteen?

*Hypoteesi 1.* Tähtäyspisteen liikkeen ja ampuja-asesysteemin painekeskapisteen liikkeiden lisääntyessä osumatarkkuus heikkenee. Myös ampujan ja aseiden välisillä voimilla sekä tukikäden asennolla odotetaan olevan yhteys osumatarkkuuteen.

*Perustelu 1.* Ihalainen ym. (2011) tutkimuksissa ilmakivääriampujilla pystyammunnassa tähtäyspisteen liike 1–0 s ja painekeskapisteen liike 0.5–0 s ennen laukausta olivat merkitsevästi yhteydessä osumatarkkuuteen. Tätä tukevat myös Konttinen ym. (1998b, 1999), Ball ym. (2003a) ja Mononen ym. (2007) tutkimukset. Grebot & Burtheret (2007) tutkimuksissa aseiden perävoima oli merkitsevästi yhteydessä osumatarkkuuteen pystyammunnassa ampumahiihtäjillä. Epäedullinen tukikäden asento lisää lihasvärinää ja siten heikentää osumatarkkuutta (Wardrop & Roach 1992; Reinkemeier ym. 2004, 33).

*Tutkimusongelma 2.* Vaikuttaako ampujan tasapaino, ampujan ja asean väliset voimat sekä ampujan tukikäden asento tähtäyspisteen liikkeeseen?

*Hypoteesi 2.* Ampuja-asesysteemin painekeskapisteen liikkeen lisääntyessä tähtäyspisteen liike lisääntyy. Myös ampujan ja asean välisillä voimilla sekä tukikäden asennolla odotetaan olevan yhteys tähtäyspisteen liikkeeseen.

*Perustelu 2.* Ihalainen ym. (2011) tutkimuksissa sivuttaissuuntainen painekeskapisteen liike oli merkitsevästi yhteydessä tähtäyspisteen vaakasuuntaiseen liikkeeseen. Tätä tukevat myös Ball ym. (2003a) ja Mononen ym. (2007) tutkimukset. Grebot & Burtheret (2007) tutkimuksissa asean perävoima oli merkitsevästi yhteydessä pystyammuntasuoritukseen ampumahiihtäjillä. Epäedullinen tukikäden asento lisää lihasvärinää ja siten asean liikkeitä (Wardrop & Roach 1992; Reinkemeier ym. 2004, 33).

*Tutkimusongelma 3.* Vaikuttaako ampujan tukikäden asento ampujan ja asean välisiin voimiin?

*Hypoteesi 3.* Tukikäden asennolla on yhteys ampujan ja asean välisiin voimiin.

*Perustelu 3.* Ampujan yksilölliset mittasuhteet ja asean mittasuhteet vaikuttavat ampujan ulkoiseen ampuma-asentoon ja otteeseen aseesta (Yuan & Lee 1997; Grebot & Burtheret 2007; Reinkemeier ym. 2009, 145; Din & Rambely 2012).

*Tutkimusongelma 4.* Tapahtuuko mitatuissa tekijöissä muutoksia kilpailunomaisen ammuntasarjan aikana?

*Hypoteesi 4.* Ammuntasarjan aikana tähtäyspisteen ja painekeskapisteen liikkeet lisääntyvät, ampujan ja asean väliset voimat laskevat sekä tukikäden asento muuttuu matalammaksi. Muutoksia saadaan korjattua lepotaukojen avulla.

*Perustelu 4.* Hoffman ym. (1992) ja Sattlecker ym. (2007) tutkimuksissa fyysinen rasituneisuus ampumahiihtäjillä lisäsi tähtäyspisteen ja painekeskapisteen liikkeitä, ja siten heikensi osumatarkkuutta. Søggaard ym. (2003) ja Blangsted ym. (2005) tutkimuksissa myös kevyt staattinen rasitus aiheutti väsymystä asentoa tukevissa lihaksissa, mikä näkyi voimantuoton laskuna. Merkittävä syy suorituksen muutoksille on hartiaseudun lihasten ja jänneiden venyminen sekä ampumahihnan valuminen ammunnan aikana, mitä voidaan ehkäistä korjaamalla ampuma-asentoa lepotaukojen aikana (Reinkemeier ym. 2009, 156).

## 5 MENETELMÄT

### 5.1 Koehenkilöt

Tutkimukseen osallistui 10 oikeakätistä kivääriampujaa (6 miestä ja 4 naista), joita kaikkia käsiteltiin yhtenä ryhmänä. Ampujien keskeiset tiedot ovat taulukossa 1. Mittaukset suoritettiin Suomen Ampumaurheiluliiton maajoukkueleireillä vuosien 2010–2012 aikana Vierumäellä ja Inkoossa. Samaa koehenkilöä testattiin tutkimusjakson aikana 2–4 kertaa, mikä mahdollisti myös eri mittauskertojen välisten vaihteluiden arvioimisen. Yhteensä mitattuja suorituksia oli 30.

TAULUKKO 1. Tutkimukseen osallistuneiden ampujien tiedot (keskiarvo  $\pm$  keskihajonta).

<b>Ikä</b>	<b>Kilpailukokemus</b>	<b>Pituus</b>	<b>Paino</b>
24 $\pm$ 7 vuotta	12 $\pm$ 5 vuotta	173 $\pm$ 8.5 cm	70.5 $\pm$ 12.5 kg

### 5.2 Mittausasetelma

Kaikilla mittauskerroilla tutkittavat ampuivat omalla aseellaan kilpailunomaisen ammuntasarjan, johon kuului 40 laukausta polviasennosta. Ennen mitattavan sarjan aloittamista ampujat saivat ampua itse hyväksi katsomansa määrän harjoituslaukauksia (5–15 kpl) aseensa kohdistamiseksi ja riittävän ammuntatuntuman saavuttamiseksi. Laukaukset ammuttiin viidenkymmenen metrin etäisyydeltä tasapainolevyn päältä ISSF-hyväksytyyn standardikokoiseen elektroniseen S25/50-pienoiskivääritauluun (mustan maalialueen halkaisija 112 mm ja kymppin halkaisija 10.4 mm; Sius AG, Sveitsi). Ammutut osumat olivat nähtävissä reaaliajassa siirrettävällä M941-monitorilla (10.4” / 26 cm) ja ne rekisteröitiin kymmenesosapisteen tarkkuudella siten, että paras mahdollinen osuma maalitaulun keskustassa oli 10.9. Koko suorituksen ajalta mitattiin myös aseensa perän ja ampujan hartian välistä puristusvoimaa sekä ampumahihnan vetovoimaa. Suoritukset videokuvattiin ampujan oikealta puolelta. Ampujat saivat pitää lepotaukoja ammuntasarjan aikana mieleisensä määrän ja ajan.

### 5.3 Aineiston kerääminen

Tähtäyspisteen liike ja osuma mitattiin optoelektronisella ammutajärjestelmällä (Noptel Oy, Suomi). Järjestelmään kuului pienoiskiväärin piippuun kiinnitettävä optinen lähetinvastaanotin (massa 140 g), maalitaulun läheisyydessä oleva heijastinprisma ja tietokone. Tähtäyspisteen paikan ja osuman määrittämiseksi optisen lähettimen lasersäde (aallonpituus 0.8  $\mu\text{m}$ ) heijastui prismasta takaisin lähettimen vastaanottavaan osaan. Järjestelmä mittasi tähtäyspisteen paikan 0.1 mm tarkkuudella ja 100 Hz taajuudella. Optisen lähetinvastaanottimen mittaama tähtäyspisteen paikkatieto välittyi kaapelin kautta tietokoneeseen datan visuaalista tarkastelua, analysointia ja tallennusta varten. Aiemmissä tutkimuksissa tämä menetelmä on todettu luotettavaksi keinoksi mitata aseiden tähtäyspisteen liikkeitä ilmakivääriammunnassa (Ihalainen ym. 2011), pistooliammunnassa (Ball ym. 2003b; Hawkins 2011), liikkuvan maalin ammunassa (Norvapalo ym. 1997; Viitasalo ym. 1997; Mononen ym. 2003), ampumahiihdossa (Heller ym. 2006; Baca & Kornfeind 2012) ja jousiammunassa (Ganter ym. 2010).

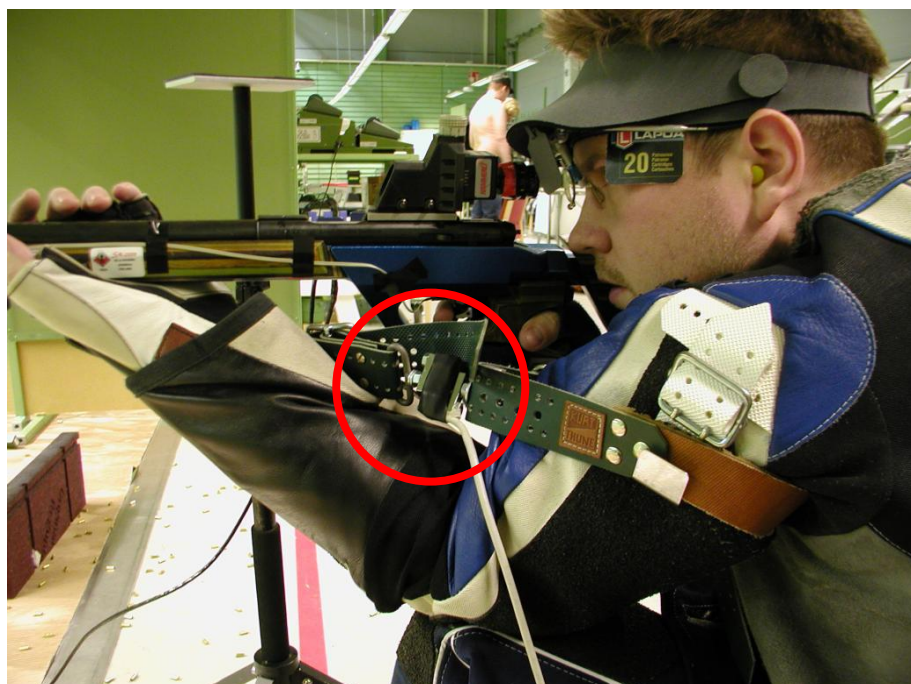
Ampujan tasapainoa ammunnan aikana mitattiin kolmion muotoisen voimalevyn avulla (1175 mm  $\times$  1175 mm  $\times$  1175 mm; Metitur Oy, Suomi). Voimalevyn kaikissa kulmissa sijaitsevien venymäliuska-anturien perusteella määritettiin ampuja-asesysteemin painekeskipisteen sijainti ja liike (mittaustarkkuus parempi kuin 1 mm). Aiemmissä tutkimuksissa tämä menetelmä on todettu luotettavaksi keinoksi mitata tasapainon vaikutusta ammutasuoritukseen ilmakivääriammunnassa (Ball ym. 2003a; Ihalainen ym. 2011), pistooliammunnassa (Ball ym. 2003b), liikkuvan maalin ammunassa (Norvapalo ym. 1997; Viitasalo ym. 1997; Mononen ym. 2007) ja ampumahiihdossa (Bozsik ym. 1994; Nummela ym. 2006; Sattlecker ym. 2007).

Perä- ja hihnavoimat kerättiin tilaustyönä tehdyillä vastusvenymäliuska-antureilla (KIHU, Suomi). Peräanturissa käytettiin 2-kanavaista DC-vahvistinta ja hihna-anturissa 1-kanavaista DC-vahvistinta. Peräanturi kiinnitettiin ampujien omiin aseisiin peräraudan etupuolelle (kuva 12). Ampuma-ihnana käytettiin KIHU:n omaa hihnaa, joka oli katkaistu venymäliuska-anturin asettamiseksi (kuva 13). Jokainen ampuja sai käyttää suorituksessa, hihnaa lukuunottamatta, omia ampumavarusteita sekä mieleistään hihnan

ja aseon perän pituutta. Grebot & Burtheret (2007) ovat todenneet voima-anturit luotettavaksi keinoksi mitata aseon perän ja ampujan hartian välisiä voimia ampumaa-  
hiihtäjillä.



KUVA 12. Mittauksissa käytetty peräanturi.



KUVA 13. Mittauksissa käytetty hihna-anturi.

Kaikki voimasignaalit kerättiin 16-kanavaisella signaalien liitántärsasialla, muunnettiin digitaaliseksi 2-kanavaisella 12-bittisellä AD-muuntimella (DATAQ Instruments, Ohio) ja tallennettiin tietokoneelle keräystaajuudella 200 Hz. Voimadatan keruuohjelmanä käytettiin WINDAQ-ohjelmiston versiota 2.61 (DATAQ Instruments, Ohio). Laukaushetken määritykseen käytettiin aseän piipun viereen sijoitettua mikrofonia, joka lähetti laukauksen äänestä merkkisignaalin A/D-muuntimen kautta tietokoneelle. Tätä hetkeä käytettiin voima- ja tasapainodatojen synkronoimiseksi keskenään.

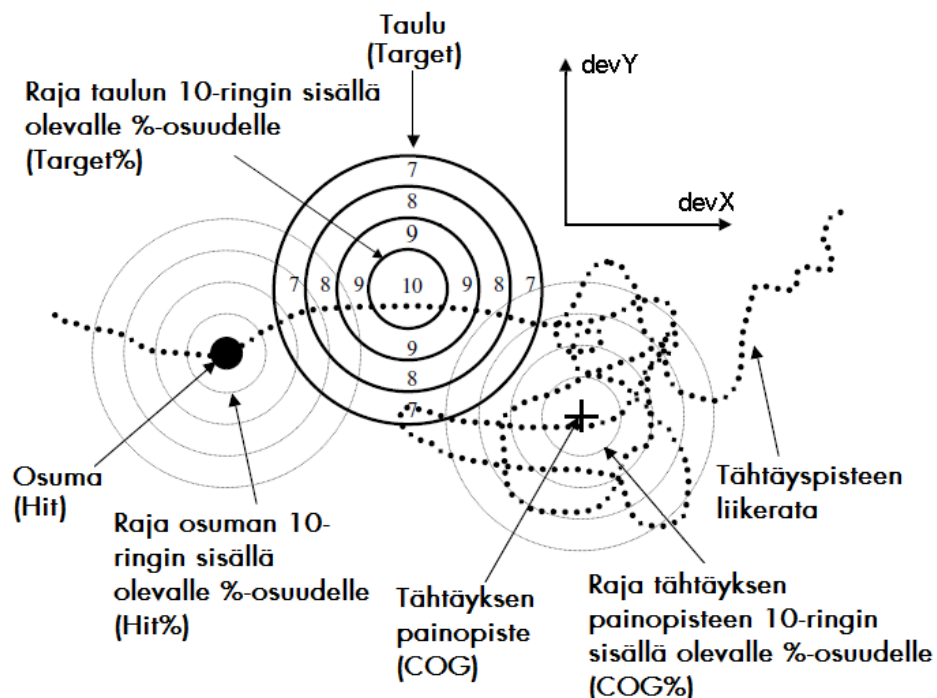
Koko suoritus videokuvattiin ampujan oikealta puolelta suurnopeuskameralla (kuvaustaaajuus 250 Hz) kolmen metrin päästä. Heijastavat markkerit sijoitettiin ampujan oikealle puolelle vasempaan kyynärpäähän ja kämmeneen sekä vasempaan polveen. Luiset merkkikohdat tunnusteltiin ampuma-asennossa. Muitakin markkereita käytettiin, mutta niitä ei analysoitu tässä tutkimuksessa. Aiemmissa tutkimuksissa Nummela ym. (2006) ja Din & Rambely (2012) ovat tutkineet ampuma-asentoja videokuvauksen avulla. Tässä tutkimuksessa aseän piipun viereen sijoitetusta mikrofonista lähetty merkkisignaali kameran edessä olevaan LED-lamppuun laukaushetken määrittämiseksi. Mittausasetelma näkyy kuvassa 14.



KUVA 14. Mittausasetelma tutkimuksessa.

## 5.4 Aineiston analysointi

Noptelin optoelektronisen ammutjärjestelmän osumien arvot ja tähtäyspisteen liikkeen parametrit määritettiin NOSTAT-ohjelmistolla (Noptel Oy, Suomi). Ohjelmisto laski jokaisesta sarjan laukauksesta osuman lisäksi 16 tähtäysaikaan ja tähtäyspisteen liikkeeseen liittyvää muuttujaa. Aiempiin tutkimuksiin perustuen asean pitoa kuvaaviksi muuttujiksi valittiin tähtäyspisteen paikan vaaka- ja pystysuuntainen keskihajonta ( $devX$  ja  $devY$ ) sekä tähtäystä kuvaaviksi muuttujiksi Target%, COG% ja Hit% (Mononen ym. 2003; Heller ym. 2006; Hawkins 2011; Ihalainen ym. 2011). Hajonnan yksikkönä oli maalitaulun rengasväli (= 16 mm) ja tilastollinen aika oli yksi sekunti ennen laukausta. Target% tarkoittaa prosentuaalista osuutta ajasta, jonka tähtäyspiste on ollut maalitaulun 10-ringin sisällä. COG% tarkoittaa prosentuaalista osuutta ajasta, jonka tähtäyspiste on ollut tähtäyksen painopisteen ympärille piirretyn 10-ringin sisällä. Hit% tarkoittaa prosentuaalista osuutta ajasta, jonka tähtäyspiste on ollut osuman ympärille piirretyn 10-ringin sisällä. (Kuva 15.) (Noptel Oy 2011.)



KUVA 15. Tähtäyspisteen liikettä kuvaavista muuttujista  $devX$  ja  $devY$  kuvaavat pitoa sekä Target%, COG% ja Hit% tähtäystä. Target% kuvaa tähtäysaika maalitaulun keskustassa, kun taas COG%:ssa tähtäysaika suhteutetaan tähtäyksen painopisteeseen ja Hit%:ssa osumapisteeseen. (Mukailtu Mononen ym. 2003; Ihalainen ym. 2011.)

Ampuja-asesysteemin painekeskapisteen sijainnin paikkakoordinaatit suodatettiin Ihalainen ym. (2011) suosituksen mukaisesti 4. asteen vaihesiirrottomalla digitaalisella Butterworth-alipäästösuodattimella 10 Hz leikkaustaajuudella ylimääräisten signaalien eliminoimiseksi. Tasapainon muuttujat on laskettu kahdessa eri suunnassa: X (ampumalinjaa vasten kohtisuora suunta / medio-lateraalinen / sivuttaissuuntainen) ja Y (ampumalinjan suunta / antero-posteriorinen). Lasketuista muuttujista on käytetty sdX- ja sdY-nimityksiä, jotka tarkoittavat ampuja-asesysteemin painekeskapisteen sijainnin keskihajontoja X- ja Y-suunnissa aikavälillä 1–0 sekuntia ennen laukausta.

Perä- ja hihnavoimien keskiarvojen ja keskihajontojen määrittämiseksi käytettiin Analyce-ohjelmaa (KIHU, Suomi), MATLAB-ohjelmiston versiota 7.11.0 (MathWorks, Massachusetts) ja Microsoft Excel 2010 -taulukkolaskentaohjelmaa (Microsoft Corporation, Washington). Voimat määritettiin 1–0 sekuntia ennen jokaista laukausta.

Videoanalyysit suoritettiin avoimen lähdekoodin Kinovea 0.8.15 -ohjelmistolla. Analysoitavaksi valittiin ampujan tukikäden kyynärvarren kulma horisontaaliseen tasoon nähden (kyynärpää–kämmen) sekä tukikynärpään ja -polven markkereiden välinen etäisyys (kyynärpää–polvi). Nämä ampujan tukikäden asentoa kuvaavat arvot (kyynärkulma ja kyynärpään paikka) määritettiin yksi sekunti ennen laukaussignaalia.

## 5.5 Tilastolliset menetelmät

Tilastollisten analyysien laskemiseksi käytettiin IBM SPSS Statistics 20 -ohjelmistoa (Statistical Package for Social Sciences – SPSS Oy, Chicago) ja Microsoft Excel 2010 -taulukkolaskentaohjelmaa (Microsoft Corporation, Washington).

Ampujien mittaussarjan laukauksista laskettiin keskiarvot ja keskihajonnat kaikista tähtäyspisteen liikkeen ja tasapainon muuttujista sekä voima-anturien voimista ja tukikäden asennosta. Tähtäyspisteen vaaka- (devX) ja pystyliikkeen (devY), tähtäystä kuvaavien muuttujien (Target%, COG% ja Hit%), ampuja-asesysteemin painekeskapisteen sivuttaissuuntaisen (sdX) ja ampumalinjan suuntaisen (sdY) liikkeen sekä perä- ja hihnavoimien keskinäisiä eroja testattiin parittomalla t-testillä.



Eri mittauskertojen välistä vaihtelua testattiin Intra-class Correlation Coefficient (ICC) -menetelmällä. Kaikkien mitattujen muuttujien välisiä yhteyksiä tutkittiin Pearsonin korrelaatiokertoimen avulla. Nämä yhteydet laskettiin mittauskerroittain ja 10 laukauksen sarjoittain mahdollisten muutosten arvioimiseksi ammunntasarjan edetessä.

Mitattujen parametrien muutoksia suorituksen aikana tutkittiin laukaus laukaukselta toistomittausten varianssianalyysillä (repeated measures ANOVA), jossa post hoc -testinä käytettiin parillista t-testiä. ANOVA suoritettiin koko 40 laukauksen ammunntasarjalle ja kymmenelle peräkkäiselle laukaukselle lepotausta alkaen, jotta taukojen mahdolliset vaikutukset saatiin eliminoidua. Lepotauon vaikutusta mitattuihin muuttujiin tutkittiin parillisella t-testillä, jossa verrattiin yksittäisiä laukauksia ennen ja jälkeen tauon. Tauoksi määriteltiin ajanhetket, jolloin ampuma-asento purettiin tukikäden lepuuttamiseksi.

Tilastollisesta analyysistä jätettiin pois suoritukset, joissa optinen lähetinvastaanotin ei ollut rekisteröinyt tähtäyspisteen liikemuuttujia tai painekeskkipisteen liikettä ei ollut rekisteröity. Voima-anturidatoista hylättiin mittaustulokset, jotka voitiin todeta epärealistisiksi ja videoanalyysistä jätettiin pois kuvat, joissa tarvittavat markkerit eivät näkyneet riittävästi.

Tilastollisen merkitsevyyden tasoina käytettiin: \* =  $p \leq 0.05$ , \*\* =  $p \leq 0.01$  ja \*\*\* =  $p \leq 0.001$ .

## 6 TULOKSET

Mitattujen muuttujien keskiarvot ja keskihajonnat ovat taulukossa 2. Keskimääräinen ammuttu osuma oli  $10.03 \pm 0.22$ . Tähtäyspisteen vaakasuuntainen liike (devX) oli merkitsevästi suurempaa kuin pystysuuntainen (devY) ( $p \leq 0.001$ ). Tähtäysaika tähtäyksen painopisteessä (COG%) oli merkitsevästi pidempi kuin tähtäysaika osumapisteessä (Hit%) ( $p \leq 0.001$ ) tai maalitaulun keskustassa (Target%) ( $p \leq 0.001$ ), ja Hit% oli merkitsevästi pidempi kuin Target% ( $p \leq 0.05$ ). Hihnavoima oli merkitsevästi suurempi kuin perävoima ( $p \leq 0.001$ ). Samaa ominaisuutta kuvaavista muuttujista (pito, tähtäys, tasapaino, voimat, tukikäden asento) vain tähtäystä kuvaavat muuttujat (Target%, COG% ja Hit%) olivat merkitsevästi yhteydessä toisiinsa ( $R = 0.521-0.841$ ,  $p \leq 0.005$ ).

TAULUKKO 2. Mitattujen muuttujien keskiarvot (KA) ja keskihajonnat (SD).

	Osuma	Pito (rengasväli)		Tähtäys (%)			Tasapaino (mm)	
		devX	devY	Target%	COG%	Hit%	sdX	sdY
<b>KA</b>	10.03	0.51	0.41	56.34	86.37	61.25	0.18	0.20
<b>SD</b>	0.22	0.11	0.10	14.41	8.16	11.56	0.02	0.04

	Voimat (N)		Tukikäden asento	
	Perävoima	Hihnavoima	Kyynärkulma (°)	Kyynärpää–Polvi (cm)
<b>KA</b>	23.99	128.09	42.49	8.87
<b>SD</b>	18.55	33.31	5.75	2.45

Mittaustulokset toistuivat eri testikerroilla parhaiten devY:ssä ( $ICC = 0.835$ ,  $p \leq 0.01$ ), Target%:ssa, COG%:ssa ja Hit%ssa ( $ICC = 0.756-0.900$ ,  $p \leq 0.05$ ), sdX:ssä ( $ICC = 0.831$ ,  $p \leq 0.05$ ), hihnavoimassa ( $ICC = 0.988$ ,  $p \leq 0.001$ ) ja kyynärkulmassa ( $ICC = 0.796$ ,  $p \leq 0.05$ ). Mittauskertojen välinen vaihtelu oli suurinta kyynärpään ja polven välisellä etäisyydellä ( $ICC = 0.308$ ,  $p = 0.319$ ).

Keskimäärin 40 laukauksen suoritukseen kului aikaa  $24 \pm 8$  minuuttia, yhden laukauksen sykliin kului aikaa keskimäärin  $36 \pm 15$  sekuntia ja tähtäysvaihe kesti keskimäärin  $11 \pm 2.5$  sekuntia. Mittauksen aikana ampujat pitivät 0–4 lepotaukoa; tauko pidettiin keskimäärin 14 laukauksen välein ja se oli kestoltaan  $2 \text{ min } 30 \text{ s} \pm 1 \text{ min } 15 \text{ s}$ .

## 6.1 Mitattujen muuttujien väliset yhteydet

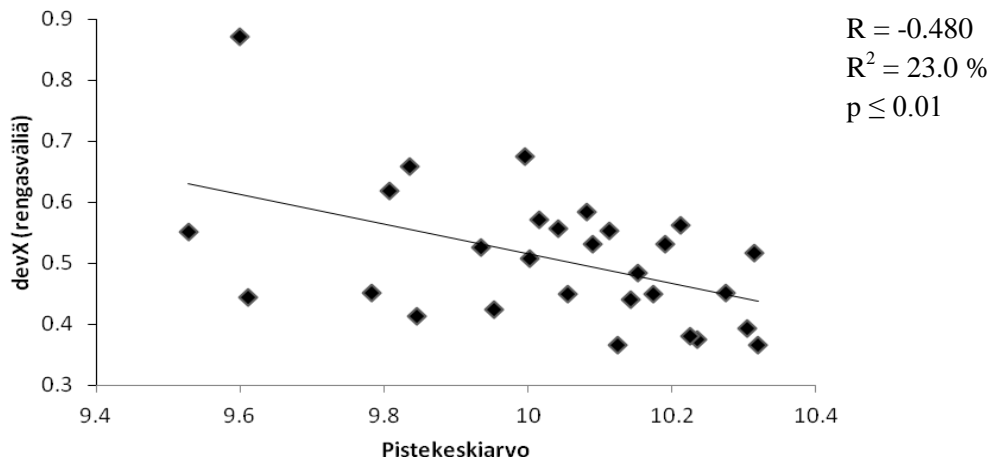
*Muuttujien yhteydet osumatarkkuuteen.* Tähtäyspisteen liikettä, tasapainoa, voimia ja tukikäden asentoa kuvaavien muuttujien yhteydet osumien pistekeskisarvoon ovat taulukossa 3. Pidon osalta tähtäyspisteen vaakasuuntainen liike (devX) oli merkitsevästi yhteydessä osumatarkkuuteen selittäen 23.0 % ammunntasarjan pistekeskisarvon varianssista (kuva 16). Tähtäyksen osalta tähtäysaika maalitaulun keskustassa (Target%) oli merkitsevästi yhteydessä osumatarkkuuteen selittäen 26.8 % ammunntasarjan pistekeskisarvon varianssista (kuva 17). Tasapainon osalta ampuja-asesysteemin painekeskapisteen liike ampumalinjaa vasten kohtisuorassa suunnassa (sdX) oli merkitsevästi yhteydessä osumatarkkuuteen selittäen 17.8 % ammunntasarjan pistekeskisarvon varianssista (kuva 18). Osumatarkkuus oli parempi vähäisemmällä tähtäyspisteen ja painekeskapisteen liikkeellä sekä silloin, kun tähtäys pysyi pidempään maalitaulun keskustassa. Ampujan ja aseiden välisiä voimia kuvaavat muuttujat tai tukikäden asentoa kuvaavat muuttujat eivät olleet tilastollisesti merkitsevästi yhteydessä osumatarkkuuteen.

TAULUKKO 3. Mitattujen muuttujien yhteydet (korrelaatiokertoimen R-arvo) osumatarkkuuteen.

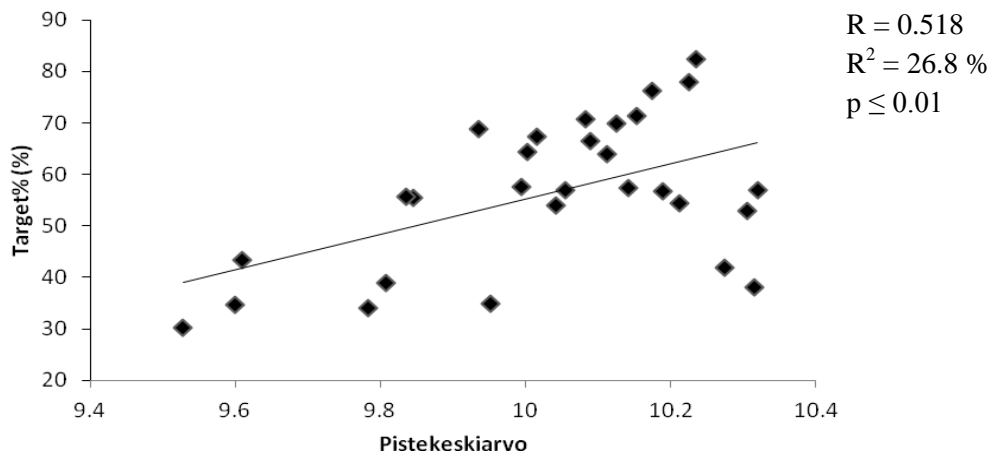
	Pito		Tähtäys			Tasapaino	
	devX	devY	Target%	COG%	Hit%	sdX	sdY
<b>R</b>	-0.480 **	-0.040	0.518 **	0.352	0.226	-0.422 *	-0.400
<b>p</b>	0.008	0.837	0.004	0.061	0.238	0.050	0.065

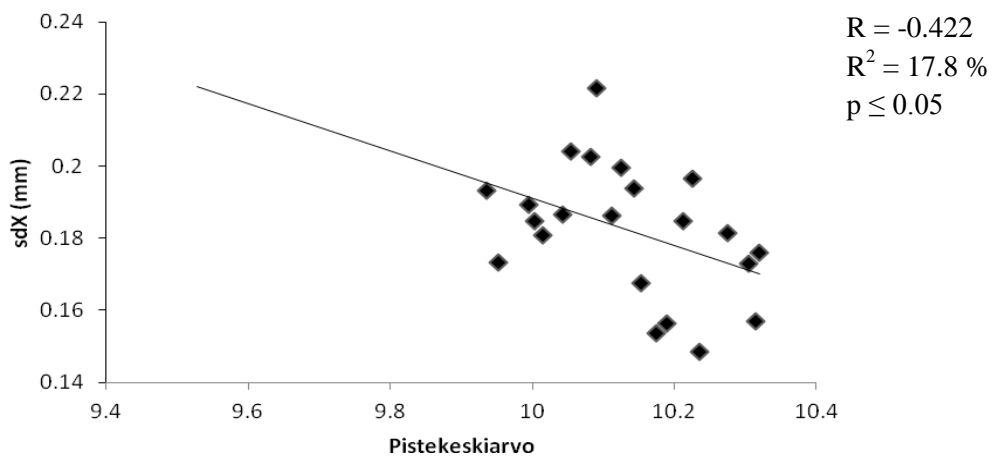
	Voimat		Tukikäden asento	
	Perävoima	Hihnavoima	Kynnärkulma	Kynnärpää–Polvi
<b>R</b>	0.250	-0.058	0.314	0.004
<b>p</b>	0.368	0.797	0.178	0.988



KUVA 16. Tähtäyspisteen vaakasuuntaisen liikkeen (devX) yhteys sarjan pistekeskisarvoon.



KUVA 17. Tähtäystä kuvaavan Target%:n yhteys sarjan pistekeskisarvoon.

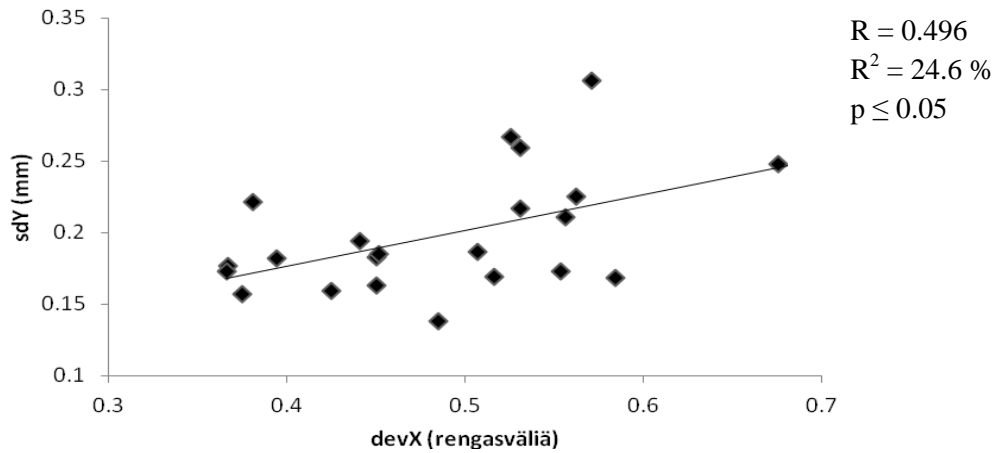


KUVA 18. Painekeskipisteen sivuttaissuuntaisen liikkeen (sdX) yhteys sarjan pistekeskisarvoon.

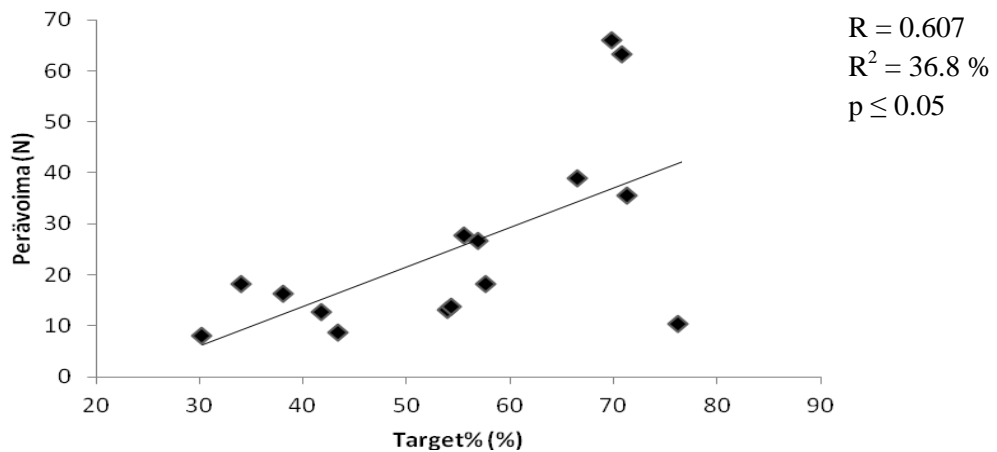
*Muuttujien yhteydet tähtäyspisteen liikkeeseen.* Tähtäyspisteen liikkeen pitoa kuvaavat muuttujat (devX, devY) olivat merkitsevästi yhteydessä tähtäystä kuvaaviin muuttujiin (Target%, COG%, Hit%) ( $R = -0.536 - -0.823$ ,  $p \leq 0.01$ ). Tasapainoa, voimia ja tukikäden asentoa kuvaavien muuttujien yhteydet kaikkiin tähtäyspisteen liikettä kuvaaviin muuttujiin (devX, devY, Target%, COG%, Hit%) ovat taulukossa 4. Paineakeskipisteen ampumalinjan suuntainen liike (sdY) oli merkitsevästi yhteydessä tähtäyspisteen vaaka-suuntaiseen liikkeeseen (devX) siten, että suuremmalla paineakeskipisteen liikkeellä tähtäyspisteen liike oli suurempaa (kuva 19). Perävoima oli merkitsevästi yhteydessä Target%:iin siten, että suuremmalla perävoimalla tähtäyspiste pysyi pidempään maalitaulun keskustassa (kuva 20). Hihnavoima oli merkitsevästi yhteydessä devY:hyn siten, että suuremmalla hihnavoimalla tähtäyspisteen pystysuuntainen liike oli suurempaa (kuva 21). Myös lähes tilastollisesti merkitsevä yhteys oli kyynärpään paikalla (Kyynärpää–Polvi -etäisyys) Target%:iin siten, että suuremmalla tukikyynärpään ja -polven välisellä etäisyydellä tähtäyspiste pysyi pidempään maalitaulun keskustassa.

TAULUKKO 4. Tasapainoa, voimia ja tukikäden asentoa kuvaavien muuttujien yhteydet (korrelaatiokertoimen R-arvo) tähtäyspisteen liikettä kuvaaviin muuttujiin.

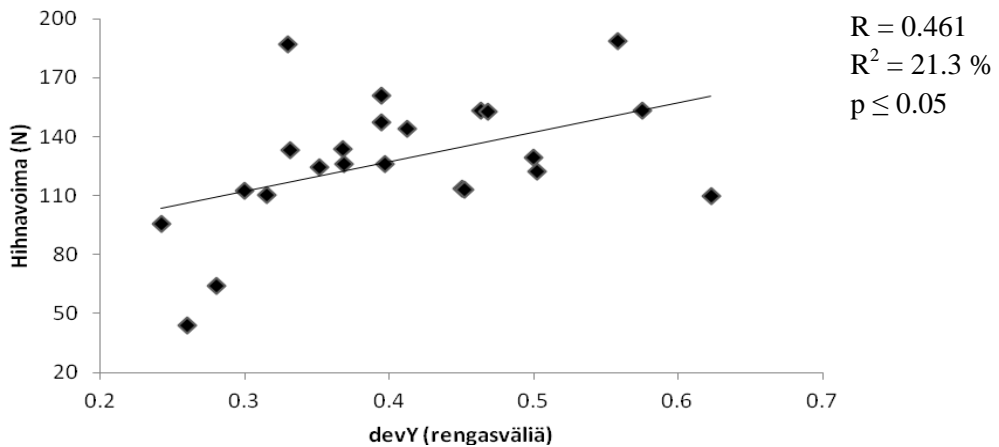
		Tasapaino		Voimat		Tukikäden asento	
		sdX	sdY	Perävoima	Hihnavoima	Kyynär- kulma	Kyynärpää- Polvi
<b>devX</b>	<b>R</b>	0.202	0.496 *	-0.222	-0.009	0.105	-0.288
	<b>p</b>	0.367	0.019	0.408	0.967	0.660	0.218
<b>devY</b>	<b>R</b>	-0.124	-0.151	-0.112	0.461 *	-0.009	-0.192
	<b>p</b>	0.582	0.502	0.679	0.027	0.971	0.418
<b>Target%</b>	<b>R</b>	0.091	0.097	0.607 *	0.003	0.091	0.435 (*)
	<b>p</b>	0.689	0.669	0.016	0.989	0.702	0.055
<b>COG%</b>	<b>R</b>	-0.012	-0.181	0.324	-0.174	-0.196	0.294
	<b>p</b>	0.958	0.419	0.222	0.427	0.407	0.209
<b>Hit%</b>	<b>R</b>	0.112	0.100	0.321	-0.211	-0.316	0.198
	<b>p</b>	0.620	0.658	0.225	0.333	0.175	0.402



KUVA 19. Painekeskipisteen ampumalinjan suuntaisen liikkeen (sdY) yhteys tähtäyspisteen vaakasuuntaiseen liikkeeseen (devX).

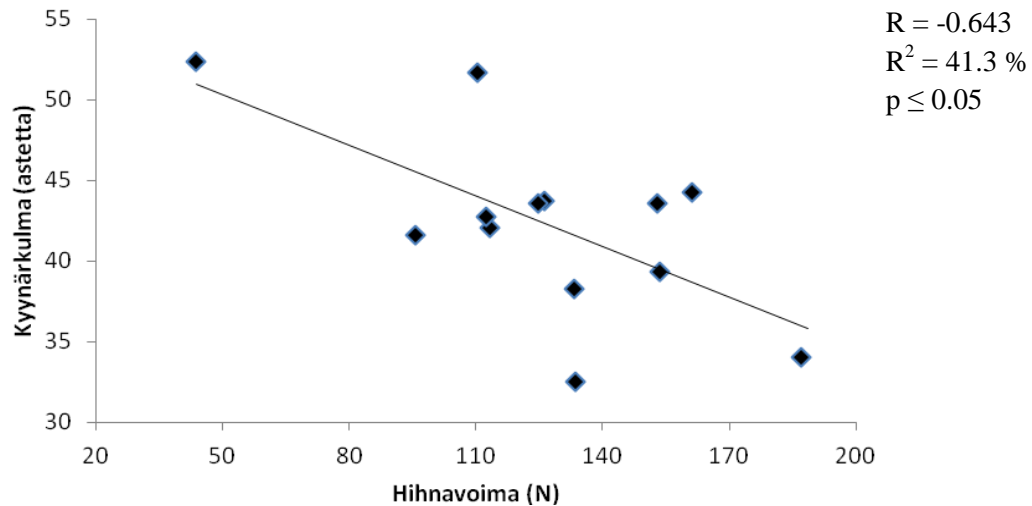


KUVA 20. Perävoiman yhteys tähtäystä kuvaavaan Target%:iin.



KUVA 21. Hihnavoiman yhteys tähtäyspisteen pystysuuntaiseen liikkeeseen (devY).

*Tukikäden asennon yhteys mitattuihin voimiin.* Tukikäden kyynärvarren kulma horisontaaliseen tasoon nähden oli merkitsevästi yhteydessä hihnavoimaan siten, että pienemmällä kyynärkulmalla hihnavoima oli suurempi (kuva 22).

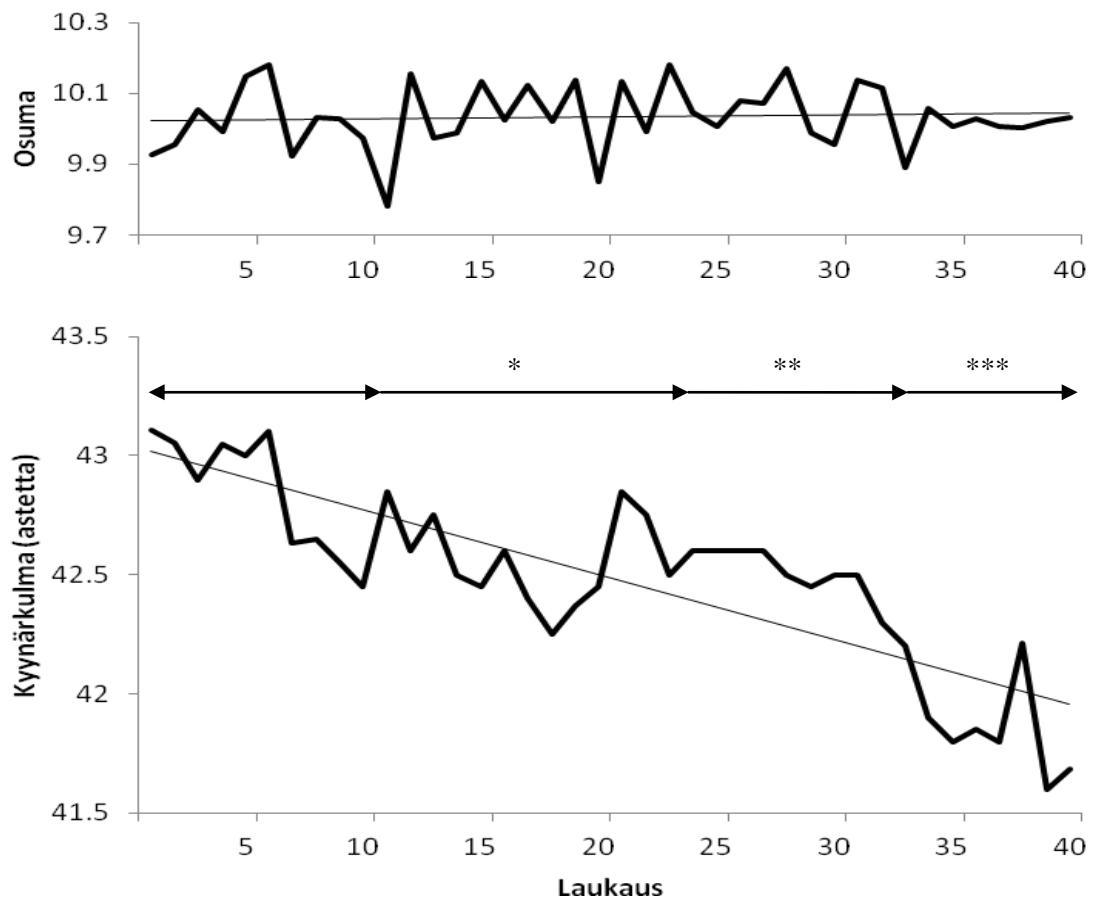


KUVA 22. Tukikäden kyynärvarren kulman yhteys hihnavoimaan.

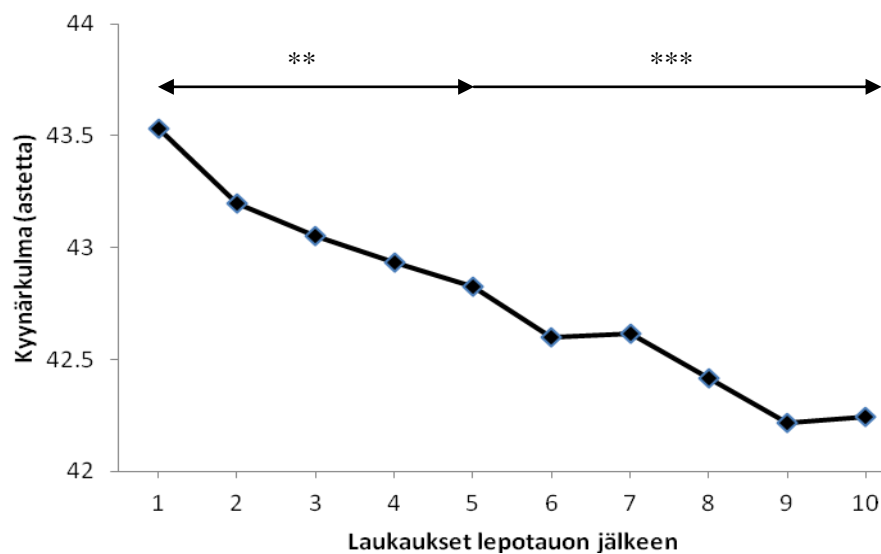
## 6.2 Muutokset ammunnan aikana

Laukauksilla 1–10 tukikäden kyynärkulma oli merkitsevästi yhteydessä osumatarkkuuteen ( $R = 0.500$ ,  $p \leq 0.05$ ) ja kyynärpään paikka polvella oli merkitsevästi yhteydessä Target%:iin ( $R = 0.481$ ,  $p \leq 0.05$ ), mutta nämä yhteydet laskivat loppua kohden. Hihnavoiman yhteys tähtäyspisteen pystysuuntaiseen liikkeeseen (devY) kasvoi loppua kohden ollen suurimmillaan laukauksien 20–40 aikana ( $R = 0.398$ – $0.449$ ,  $p \leq 0.05$ ). Myös tähtäyspisteen liike (devX, Target%, COG%, Hit%) oli eniten yhteydessä osumatarkkuuteen laukauksilla 20–40 ( $R = -0.417$  –  $-0.506$ ,  $0.448$ – $0.614$ ,  $p \leq 0.05$ ).

Koko 40 laukauksen sarjan aikana tukikäden kyynärvarren kulma laski merkitsevästi kymmenennestä laukauksesta alkaen ( $F = 3.632$ ,  $p \leq 0.001$ ; kuva 23). Jos analysoinnista jätettiin lepotaumat pois, ja muutokset määritettiin kymmeneltä tauon jälkeiseltä laukaukselta, laski kyynärvarren kulma merkitsevästi toisesta laukauksesta alkaen ( $F = 18.314$ ,  $p \leq 0.001$ ; kuva 24) ja perävoima viidennestä laukauksesta alkaen ( $F = 2.869$ ,  $p \leq 0.01$ ; kuva 25).

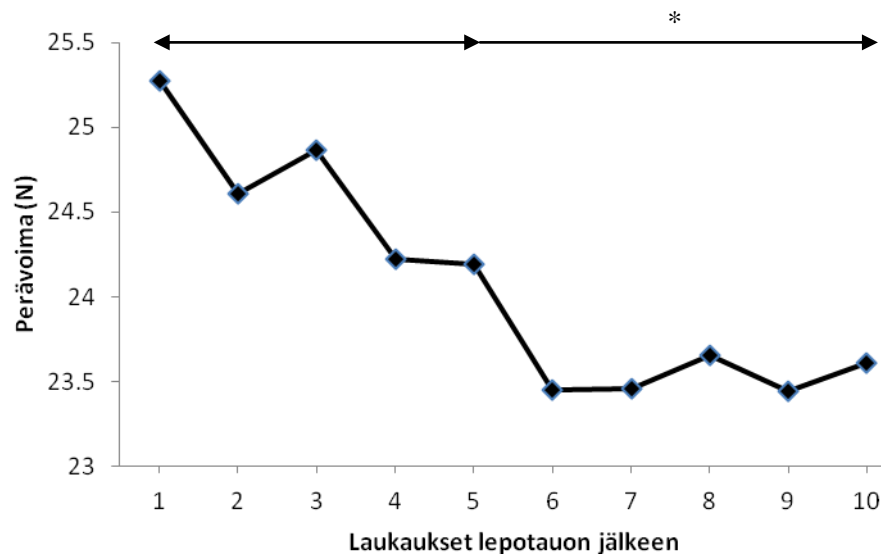


KUVA 23. Keskimääräiset ammutut osumat ja tukikäden kyynärvarren kulman muutokset kilpailunomaisen ammuntasarjan aikana (SD: Osuma 0.36–1.00, Kyynärkulma 5.36–6.01 °).



KUVA 24. Keskimääräiset tukikäden kyynärvarren kulman muutokset ammuntasuorituksen aikana lepotauon jälkeen (SD: 5.54–5.83 astetta).





KUVA 25. Keskimääräiset perävoiman muutokset ammuntasuorituksen aikana lepotaun jälkeen (SD: 17.52–19.45 Newtonia).

*Muutokset lepotaun aikana.* Lepotaukojen aikana tapahtuneet keskimääräiset muutokset ovat taulukossa 5. Lepotaun jälkeisessä laukauksessa osumatarkkuus oli merkittävästi parempi ( $p \leq 0.01$ ), tähtäysaika tähtäyspisteessä (Hit%) oli merkittävästi pidempi ( $p \leq 0.05$ ), perävoima oli merkittävästi suurempi ( $p \leq 0.05$ ) ja tukikäden kyynärvarren kulma oli merkittävästi suurempi kuin taukoa edeltävässä laukauksessa ( $p \leq 0.001$ ).

TAULUKKO 5. Mitattujen muuttujien keskimääräiset arvot lepotaukoa edeltävässä ja sen jälkeisessä laukauksessa (keskiarvo  $\pm$  keskihajonta) sekä muutokset lepotaun aikana.

	Osuma	Pito (rengasväli)		Tähtäys (%)		
		devX	devY	Target%	COG%	Hit%
<b>Ennen</b>	9.76 $\pm$ 0.71	0.55 $\pm$ 0.20	0.40 $\pm$ 0.16	48.21 $\pm$ 28.74	84.48 $\pm$ 14.77	56.33 $\pm$ 24.92
<b>Jälkeen</b>	10.05 $\pm$ 0.65	0.50 $\pm$ 0.19	0.40 $\pm$ 0.18	52.92 $\pm$ 33.25	85.40 $\pm$ 14.97	65.94 $\pm$ 24.00
<b>Muutos</b>	+0.29 **	-0.05	+0.00	+4.71	+0.92	+9.61 *

	Tasapaino (mm)		Voimat (N)		Tukikäden asento	
	sdX	sdY	Perävoima	Hihnavoima	Kyynärkulma (°)	Kyynärpää– Polvi (cm)
<b>Ennen</b>	0.19 $\pm$ 0.04	0.19 $\pm$ 0.05	27.66 $\pm$ 20.53	138.46 $\pm$ 27.20	40.70 $\pm$ 5.21	8.38 $\pm$ 2.37
<b>Jälkeen</b>	0.19 $\pm$ 0.04	0.19 $\pm$ 0.06	29.23 $\pm$ 21.17	140.05 $\pm$ 26.60	42.07 $\pm$ 5.47	8.45 $\pm$ 2.63
<b>Muutos</b>	+0.00	+0.00	+1.57 *	+1.59	+1.37 ***	+0.07

## 7 POHDINTA

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää pienoiskiväärin polviammuntaan vaikuttavia tekijöitä ja niiden muutoksia kilpailunomaisen ammuntasarjan aikana. Mitattavina muuttujina olivat aseiden tähtäyspisteen liikkeet, ampuja-asesysteemin painekeskapisteen liikkeet, ampujan ja aseiden väliset voimat sekä ampujan tukikäden asento. Lisääntynyt tähtäyspisteen tai painekeskapisteen liike heikensi osumatarkkuutta, mikä puoltaa osittain hypoteesia 1. Painekeskapisteen tai hihnavoiman lisääntyminen lisäsi tähtäyspisteen liikettä, mikä puoltaa osittain hypoteesia 2. Kyynärvarren kulma oli yhteydessä hihnavoimaan, mikä puoltaa hypoteesia 3. Ammuntasarjan aikana kyynärvarren kulma ja perävoima laskivat merkittävästi. Lepotauon jälkeen nämä arvot kasvoivat ja osumatarkkuus parani. Nämä tulokset puoltavat osittain hypoteesia 4.

### 7.1 Keskiarvotulokset

Noptelilla mitatut tähtäyspisteen liikettä kuvaavat muuttujat jaettiin Mononen ym. (2003) ja Ihalainen ym. (2011) mukaisesti pitoa ( $devX$  ja  $devY$ ) ja tähtäystä (Target%, COG% ja Hit%) kuvaaviin parametreihin. Tässä tutkimuksessa polviammunnassa mitatut tähtäyspisteen liikkeen keskihajonnat olivat vaakasuunnassa ( $devX$ ) 0.51 rengasväliä ja pystysuunnassa ( $devY$ ) 0.41 rengasväliä sekä suhteelliset tähtäysajat maalitaulun keskustassa (Target%) 56 %, tähtäyksen painopisteessä (COG%) 86 % ja osumapisteessä (Hit%) 61 %. Ihalainen ym. (2011) tutkimuksissa ilmakiväärin pystyammunnassa  $devX$  oli 0.42 rengasväliä ja  $devY$  0.32 rengasväliä sekä Target% 85 %, COG% 95 % ja Hit% 75 %, joten pienoiskiväärin polviammunnassa tähtäyspisteen liike näyttäisi olevan suurempaa. Tämän tyyppinen vertailu on kuitenkin vain suuntaa-antavaa, koska kyseessä on eripituiset ampumamatkat ja erikokoiset maalialueet: pienoiskiväärillä matka 50 metriä (maalitaulun keskusta 10.4 mm) ja ilmakiväärillä 10 metriä (keskusta 0.5 mm).

Tähtäyspisteen liikettä kuvaavista muuttujista  $devX$  oli merkittävästi suurempi kuin  $devY$ , COG% oli merkittävästi suurempi kuin Target% tai Hit%, ja Hit% oli merkittävästi suurempi kuin Target%. Nämä tulokset vastaavat Ihalainen ym. (2011) tutkimus-

tuloksia ilma-aseammunnassa lukuunottamatta Target%:a, joka oli kyseisessä tutkimuksessa merkitsevästi suurempi kuin Hit%. On ymmärrettävää, että tähtäyspiste pysyy pisimmän ajan siinä missä se keskimäärin on (COG) ja osumapisteeseen (Hit) se tuodaan lähempänä laukaushetkeä. Lähellä 100 %:a olevat Target%-arvot kertoisivat tähtäyspisteen olleen keskellä maalitaulua tähtäyksen loppuvaiheessa. Toisaalta mitä laajemmalla alueella tähtäyspiste on liikkunut, sitä lyhyemmän ajan se on ollut tähtäyksen painopisteen lähellä, jolloin COG% jää alhaiseksi. Hit%:iin vaikuttaa liipaisun aikana tapahtuvat heilahdukset, joten Hit% kertoo pidon ja tähtäyksen lisäksi myös liipaisusta. (Ihalainen ym. 2011.) Nämä tiedot selittävät hyvin tässä tutkimuksessa löydetty merkitsevät yhteydet aseiden pidon ja tähtäyksen välillä.

Tässä tutkimuksessa voimalevyllä mitatut painekeskapisteen liikkeen keskihajonnat 1–0 sekuntia ennen laukausta olivat medio-lateraalissa suunnassa (sdX) 0.18 mm ja antero-posteriorisessa ampumalinjan suunnassa (sdY) 0.20 mm. Ball ym. (2003a) tutkimuksissa pystyammunnassa sdX oli 1.1 mm ja sdY 0.7 mm 1–0 sekuntia ennen laukausta ja Ihalainen ym. (2011) tutkimuksissa sdX oli 0.25 mm ja sdY 0.20 mm 0.5–0 sekuntia ennen laukausta. Pystyammunnassa siis painekeskapisteen liike on suurempaa kuin polviammunnassa, mikä on ihan ymmärrettävää massakeskipisteen korkeutta ja tukipinta-aloja ajatellen eri ampuma-asennoissa. Se on myös eri ampuma-asennoissa huomioitavaa, että polviammunnassa rintamasuunta on taulullepäin (ampumalinjan suunta on antero-posteriorinen) ja pystyammunnassa kylki on taulullepäin (ampumalinjan suunta on medio-lateraalinen). Pystyammunnassa sdX on merkitsevästi suurempaa kuin sdY, mutta tässä tutkimuksessa ei merkittävää eroa näiden välillä ollut.

Tässä tutkimuksessa keskimääräinen perävoima oli 24 Newtonia, kun Grebot & Burtheret (2007) tutkimuksissa se oli makuuammunnassa 30 N ja pystyammunnassa 19 N. Näyttäisi siis siltä, että polviammunnassa aseiden perä on tiukemmin kiinni hartiassa kuin pystyammunnassa, mutta kuitenkin löysemmin kuin makuuammunnassa. Tämäkin kertoo ampuma-asentojen erilaisista luonteista. Ampumahihnan voimasta ei ole aiempaa tutkimustietoa, johon nähden vertailua voitaisiin tehdä. Aiemmissa tutkimuksissa Yuan & Lee (1997) ja Din & Rambely (2012) ovat tutkineet nivelkulmia ammuntauorituksessa, mutta vertailukelpoista asentotietoa ei tähän tutkimukseen nähden ole.

## 7.2 Mitattujen muuttujien väliset yhteydet ja muutokset

*Yhteydet osumatarkkuuteen.* Tässä tutkimuksessa tähtäyspisteen liikkeen muuttujista vain devX ja Target% olivat merkitsevästi yhteydessä osumatarkkuuteen, kun taas Ihalaisen ym. (2011) tutkimuksissa ilmakiväärin pystyammunnassa kaikki tähtäyspisteen liikettä kuvaavat muuttujat olivat. Näissä tutkimuksissa se on samankaltaista, että molemmissa devX oli vahvemmin yhteydessä osumatarkkuuteen kuin devY, Target% vahvemmin kuin COG%, ja COG% vahvemmin kuin Hit%. Merkitsevyyden tasot olivat vain erilaisia: Ihalainen ym. (2011) tutkimuksessa 66 % pistekeskisarvon varianssista selittyi devX:n perusteella, 51 % Target%:lla ja 31 % sdY:llä, kun tässä tutkimuksessa vastaavat selitysarvot olivat vain 23 %, 27 % ja 18 %. Erot näiden tutkimusten välillä selittynevät eri ampumalajeilla. Tasapainon osalta sdX oli merkitsevästi yhteydessä osumatarkkuuteen, ja yleisestikin pistekeskisarvo oli sitä parempi, mitä pienempi oli painekeskipisteen liike ennen laukausta. Myös Ihalainen ym. (2011) tutkimuksissa sdX oli vahvemmin yhteydessä osumatarkkuuteen kuin sdY. Muissa pystyammuntatutkimuksissa (Era ym. 1996; Norvapalo ym. 1997; Viitasalo ym. 1997; Ball ym. 2003a) ei löydetty merkitsevää yhteyttä tasapainon ja osumatarkkuuden välillä ryhmätasolla, mutta yksilötasolla löydettiin. Era ym. (1996) ja Ball ym. (2003a) toteavatkin, että huono ammuntasuoritus selittyy vain harvoin tasapainolla. Tässä tutkimuksessa mitattujen voimien tai tukikäden asennon ja osumatarkkuuden välillä ei löydetty merkitseviä yhteyksiä. Grebot & Burtheret (2007) tutkimuksissa ampumahiihtäjillä perävoima oli merkitsevästi yhteydessä osumatarkkuuteen pystyammunnassa, mutta ei makuuammunnassa. Kyseisessä tutkimuksessa myös tuotetun voiman paikassa peräraudassa oli merkitsevä ero siten, että pystyammunnassa paine kohdistui pääasiassa peräraudan alaosaan, kun makuuammunnassa se kohdistui yläosaan. He totesivat, että pienoiskivääriammunnassa käytettävä peräraudan koukku vähentää yhteyksiä perävoiman ja suorituksen välillä. Tämän vuoksi luultavasti tässäkin tutkimuksessa ei löydetty tilastollisesti merkitsevää yhteyttä perävoiman ja osumatarkkuuden välillä.

*Yhteydet tähtäyspisteen liikkeeseen.* Tasapainon osalta sdY oli merkitsevästi yhteydessä devX:ään siten, että suuremmalla painekeskipisteen liikkeellä myös tähtäyspisteen liike oli suurempaa. Tämä tulos eroaa pystyammunnassa tehdyistä tutkimuksista, joissa

merkitsevät yhteydet tasapainon ja aseiden liikkeiden välillä löydettiin vain ampumalinjaa vasten kohtisuorassa suunnassa tapahtuvan painekeskapisteen liikkeen (sdX) kohdalla (Zatsiorsky & Aktov 1990; Ball ym. 2003a; Ihalainen ym. 2011). Vaikuttaa siltä, että polviammunnassa tasapaino on eri tavalla yhteydessä aseiden liikkeisiin kuin pystyammunnassa, mikä johtuu todennäköisesti erilaisesta ampuma-asennosta ja ampumahihnan käytöstä. Mitattujen voimien osalta hihnavoima oli merkitsevästi yhteydessä devY:hyn, mikä kertonee siitä, että ampumahihna vastaa aseiden pystysuuntaisesta vakauttamisesta. Perävoima puolestaan oli merkitsevästi yhteydessä Target%:iin, mikä kertoo että aseiden perän on oltava riittävän tiukasti hartiassa kiinni tarkan laukaus-tapahtuman suorittamiseksi. Tukikäden asento ei ollut yhteydessä tähtäyspisteen liikkeeseen, vaikka tukikäden kyynärkulma olikin merkitsevästi yhteydessä hihnavoimaan. Myöskään Yuan & Lee (1997) eivät löytäneet yhteyttä nivelkulmien ja aseiden liikkeiden välillä rynnäkkökivääriammunnassa. Tässä tutkimuksessa voisi kuitenkin olettaa, että kyynärkulman laskiessa, kun hihnavoima kasvaa, lisääntyisi tähtäyspisteen liikekin jossain määrin, koska hihnavoiman ja devY:n välillä löydettiin merkitsevä yhteys.

*Muutokset ammunnan aikana.* Koko 40 laukauksen sarjan aikana tukikäden kyynärvarren kulma laski merkitsevästi kymmenennestä laukauksesta alkaen. Jos analysoinnista jätettiin lepotaumat pois, ja muutokset määritettiin kymmeneltä tauon jälkeiseltä laukaukselta, laski kyynärvarren kulma merkitsevästi heti toisesta laukauksesta alkaen ja perävoimakin viidennestä laukauksesta alkaen. Tämä tukee Reinkemeier ym. (2009, 156) toteamusta ampuma-asennon valumisesta ammunnan aikana, mikä on seurausta lihasten ja jänteiden venymisestä sekä ampumahihnan valumisesta suorituksen aikana. Ammuntasarjan alussa tukikäden asennolla oli merkitsevä yhteys ammuntasuoritukseen, mutta loppua kohden tähtäyspisteen liikkeen merkitys korostui. Nämä tulokset tukevat oletusta, että ampuma-asennossa tapahtuu jossain määrin muutoksia suorituksen aikana. Muutokset jopa korostuvat silloin, jos tarkastelu suoritetaan lepotausta alkaen. Jatko-tutkimuksissa huomattiin, että lepotaun jälkeen tukikäden kyynärvarren kulma ja perävoima nousevat merkitsevästi. Tämä tukee oletusta, että ampuma-asennon valumista voidaan saada korjattua ammunnan aikana. Lepotaun seurauksena myös keskimääräinen osumatarkkuus ja tähtäysaika osumapisteessä (Hit%) paranivat merkitsevästi, mikä kertoo lepotaukojen positiivisesta vaikutuksesta ammuntasuoritukselle.

### 7.3 Tutkimuksessa tehtyjä huomioita

Optoelektroninen Noptel-lähetinvastaanotin ja -ohjelmisto on todettu hyväksi keinoksi mitata aseiden tähtäyspisteen liikkeitä ilma-aseammunnassa (Norvapalo ym. 1997; Viitasalo ym. 1997; Mononen ym. 2003; Ihalainen ym. 2011). Kuitenkin tässä tutkimuksessa pienoiskiväärillä ilmeni osassa mittauksista ongelmia lähetinvastaanottimen kiinnityksessä aseeseen kiinnittämiseen, kun laitteen kohdistus saattoi muuttua ammunnan aikana rekyylin vaikutuksesta. Tämän vuoksi osuma- ja Target%-arvojen tarkastelu oli suoritettava varauksella. Epärealistiset arvot kuitenkin jätettiin pois analyysistä. Laitteen massa (140 g) saattoi vaikuttaa aseeseen painopisteeseen ja sitä kautta liikkeisiin, mutta siihen pyrittiin vaikuttamaan siirtämällä vastaavasti kivääreissä käytettäviä irtopainoja.

Le Clair & Riach (1996), Carpenter ym. (2001) ja Doyle ym. (2007) mukaan voimavarmuusmittaukset ovat luotettavimmillaan 60–90 sekunnin mittauksissa, kun mitataan paikoillaan olevia ihmisiä. Kuitenkin ammunnessa eniten osumatarkkuuteen vaikuttava vaihe on juuri ennen laukausta (Konttinen ym. 1998b, 1999). Ihalainen ym. (2011) löysivätkin merkittävimmät yhteydet tasapainon ja tähtäyspisteen liikkeen ja osumien välillä 0,5–0 sekuntia ennen laukausta (verrattuna 7–2 tai 2–0 sekuntia ennen laukausta). Myös koska tässä tutkimuksessa tähtäyspisteen liikkeet analysoitiin viimeisen sekunnin ajalta ennen laukausta, oli perusteltua mitata tasapainoakin samalta aikaväliltä. Koska varsinainen tähtäysvaihe kestää vain noin 10 sekuntia, ei juuri sitä pidempiä mittausjaksoja voitaisi käyttää yksittäisten laukausten analysoimiseen.

Voima-antureita ei ole usein käytetty ampumatutkimuksissa. Grebot & Burtheret (2007) ovat tutkineet perävoimien yhteyttä ammunntasuoritukseen ampumahiihdossa, ja tilastollisesti merkitseviä yhteyksiä ei löydetty kuin pystyammunnassa peräraudan alaosaan kiinnitetyn anturin ja osumatarkkuuden välillä. Makuuammunnassa perävoima kohdistui merkittävästi ylemmäs, mutta tilastollisesti merkitsevää yhteyttä osumiin ei ollut. Tässäkään tutkimuksessa perävoimalla ei ollut merkitsevää yhteyttä osumatarkkuuteen. Target%:iin merkitsevä yhteys kuitenkin löytyi, joten perävoima voi olla epäsuorasti yhteydessä osumiin tähtäystarkkuuden kautta. Hihnavoimassa mittauskertojen välinen vaihtelu oli vähäisempää ja se oli myös merkittävämmän yhteydessä suoritukseen.

Videokuvauksen käyttö ampuma-asennon arvioimiseksi oli tässä tutkimuksessa hieman ongelmallista, koska heijastavat markkerit jouduttiin sijoittamaan jäykän ampumapuvun päälle, mikä ei sinänsä kerro mitä tapahtuu puvun alla. Markkerit pyrittiin kuitenkin sijoittamaan aina samalla tavalla ampuma-asennossa tunnusteltujen luisten merkki-kohtien päälle. Tämän problematiikan ovat ammuntatutkimuksissaan joutuneet hyväksymään myös Yuan & Lee (1997) goniometrin käytössä sekä Nummela ym. (2006) ja Din & Rambely (2012) videokuvauksen käytössä. Tässä tutkimuksessa kyynärpäässä ja polvessa olevien markkerien välinen etäisyys ei välttämättä kerro parhaalla tavalla tukikyynärpään paikasta polvella, eikä se ollut merkittävästi yhteydessä ammuntasuoritukseen. Kyynärkulma kuitenkin toistui eri mittauskerroilla hyvin, ja se antoi suuntaa-antavia tuloksia tukikäden asennon vaikutuksista ammuntasuoritukseen polvi-ammunnassa. Käytetyistä tutkimusmenetelmistä ampujat olivat vähiten tottuneita tähän videokuvaukseen, missä käytetyt lisävalot saattoivat häikäistä osaa ampujista.

Tässä tutkimuksessa olisi mahdollisesti tarvittu enemmän ampujia ja ampujakohtaisia mittauskertoja parempien vertailujen toteuttamiseksi. Era ym. (1996), Ball ym. (2003a) ja Ihalainen ym. (2011) tutkimuksissa vertailua tehtiin eritasoisten ampujien välillä, joten se voisi olla hyvä näkökulma ammuntatutkimukseen. Maajoukkueampujien kohdalla olisi hyödyllistä tehdä analyysiä myös yksilötasolla, koska Ball ym. (2003a) ja Ihalainen ym. (2011) ovat todenneet, että huippu-urheilijoiden suorituskyvyn arvioinnissa tulisi keskittyä ampujakohtaiseen analyysiin. Erot huippuampujien välillä ovat niin pieniä, että tilastollisesti merkitsevien yhteyksien löytäminen ryhmätasolla on vaikeaa. Yksilötasolla suorituskykyyn vaikuttavien muuttujien löytäminen on kuitenkin mahdollista, ja huippuampujalle tällainen tieto omasta ammunnasta on merkittävästi tärkeämpää kuin vertailu muihin ampujiin. Nämä tutkimustulokset antavat hyvän viitekehyksen pienoiskiväärin polviammunnan monipuolisesta tutkimuksesta, ja seuraava askel olisikin laajentaa tutkimuksia myös makuu- ja pystyasentoihin. Videoanalyysiä pitäisi vielä kehittää, että ampuma-asennosta ja sen muutoksista saataisiin kokonaisvaltainen kolmiulotteinen kuvaus. Tämän tyyppisessä tutkimuksessa olisi myös tärkeää ottaa huomioon ampujien yksilölliset mittasuhteet, kuten raajojen pituudet. Lihasaktiivisuus- ja syketaajuusmittaukset antaisivat mahdollisesti lisätietoa suorituksesta ja väsymyksestä sen aikana.

## 7.4 Johtopäätökset

Polviammunnassa tähtäyspisteen vaakasuuntainen liike yksi sekunti ennen laukaushetkeä on yhteydessä osumatarkkuuteen, ja tärkeää on saada tähtäys vakautettua maalitaulun keskustaan ennen laukausta. Tasapainossa ampumalinjaa vasten kohtisuorassa suunnassa tapahtuva (medio-lateraalinen) huojunta vaikuttaa osumatarkkuuteen enemmän kuin ampumalinjan suuntainen (antero-posteriorinen) huojunta. Tasapainon ja tähtäyspisteen liikkeen välillä erityisesti antero-posteriorinen huojunta ja tähtäyspisteen vaakasuuntainen liike ovat yhteydessä toisiinsa. Perävoima on yhteydessä tähtäysaikaan maalitaulun keskustassa ja hihnavoima tähtäyspisteen pystysuuntaiseen liikkeeseen. Tukikäden kyynärkulma puolestaan vaikuttaa hihnavoimaan. Tähtäyspisteen liikkeen ja tasapainon yhteys ammuntasuoritukseen oli odotetunlainen, mutta ampujan ja ase välisillä voimilla tai tukikäden asennolla ei ollut kovin suurta yhteyttä osumatarkkuuteen tai tähtäyspisteen liikkeeseen.

Toisin kuin oletettiin, aseiden pito ja tasapaino eivät heikkene ammunnan aikana, eivätkä muutu lepotauon seurauksena. Tämä kertoo maajoukkueiden ampujien hyvästä lajinomaisesta erityiskestävyydestä. Sen sijaan tukikäden kyynärvarren kulma laskee merkittävästi ammuntasarjan aikana. Tämä johtuu todennäköisesti suorituksen aikaisesta hartiaseudun lihasten ja jänteiden venymisestä sekä ampumahihnan valumisesta, minkä pitäisi näiden tutkimustulosten mukaan näkyä hihnavoiman lisääntymisenä ja sen seurauksena tähtäyspisteen pystysuuntaisen liikkeen lisääntymisenä. Tästä valumisesta johtuen myös perävoima laskee merkittävästi, minkä pitäisi näiden tutkimustulosten mukaan näkyä maalitaulun keskustassa pysyvän tähtäysajan heikkenemisenä. Varsinkin ammuntasarjan alussa on tärkeää hyvä tukikäden asento, mutta sarjan loppua kohden korostuu enemmän aseiden liikkeen hallinta. Lepotaukoja pitämällä ja ampuma-asentoa korjaamalla voidaan vaikuttaa näihin muutoksiin siten, että tukikäden kyynärvarren kulma ja perävoima nousevat takaisin toivotulle tasolle. Lepotauon jälkeen myös tähtäysaika osumapisteessä ja osumatarkkuus ovat keskimäärin parempia kuin ennen taukoa. Näyttäisi siis siltä, että ainakin tähän tutkimukseen osallistuneet maajoukkue-ampujat hallitsivat lepotaukojen hyödyntämisen hyvin.



Tässä tutkimuksessa löydettiin odotetunlainen yhteys tähtäyspisteen ja painekeskispisteen liikkeiden sekä osumatarkkuuden välillä polviammunnassa. Jos aseiden heilunta tai asennon huojunta ovat vähäisempiä, on osumatarkkuus parempi. Kun asennon huojunta on suurempaa, on myös aseiden heilunta suurempaa, mutta tämä yhteys ei ole kuitenkaan yhtä suoraviivainen kuin pystyammunnassa (Zatsiorsky & Aktov 1990; Ball ym. 2003a; Ihalainen ym. 2011). Ilmeisesti polviammunnassa esimerkiksi asennon ampumalinjaa vasten kohtisuorassa suunnassa tapahtuva (sivuttaissuuntainen) huojunta ei näy suoraan aseiden vaakasuuntaisen heilunnan lisääntymisenä, kuten pystyammunnassa käy. Todennäköisesti polviampuma-asennon statiikka ja ampumahihnan käyttö aiheuttaa erot pystyammuntaan nähden. Näiden tutkimustulosten perusteella voidaan ampujille suositella rennon ja tasapainoisen ampuma-asennon hakemista hyvien suoritusten saavuttamiseksi. Ampuma-asennon liiallisen valumisen ehkäisemiseksi suositellaan lepotaukojen pitämistä ja asennon korjaamista ammuntasarjan aikana. Tärkeää on kuitenkin yksilöllisesti parhaimman ammuntataktiikan noudattaminen, sillä joillakin ampuma-asento voi muuttua helpommin kuin toisilla.

## 8 LÄHTEET

- Aalto, H., Pyykkö, I., Ilmarinen, R., Kähkönen, E. & Starck, J. 1990. Postural stability in shooters. *Journal for Oto-Rhino-Laryngologica* 52, 232–238.
- Adleron, A. K. & Moritz, U. 1996. Does calf muscle fatigue affect standing balance? *Scandinavian Journal of Medical Science and Sports* 6, 211–215.
- Baca, A. & Kornfeind, P. 2012. Stability analysis of motion patterns in biathlon shooting. *Human Movement Science* 31 (2), 295–302.
- Balasubramaniam, R., Riley, M. A. & Turvey, M. T. 2000. Specificity of postural sway to the demands of a precision task. *Gait & Posture* 11, 12–24.
- Ball, K. A., Best, R. J. & Wrigley, T. V. 2003a. Body sway, aim point fluctuation and performance in rifle shooters: Inter- and intra-individual analysis. *Journal of Sports Sciences* 21, 559–566.
- Ball, K. A., Best, R. J. & Wrigley, T. V. 2003b. Inter- and intra-individual analysis in elite sports: Pistol shooting. *Journal of Applied Biomechanics* 19, 28–38.
- Blangsted, A. K., Sjøgaard, G., Madeleine, P., Olsen, H. B. & Sjøgaard, K. 2005. Voluntary low-force contraction elicits prolonged low-frequency fatigue and changes surface electromyography and mechanomyography. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 15, 138–148.
- Bozsik, A., Bretz, K. & Kaske, R. J. 1994. Body sway in biathlon shooting. 12<sup>th</sup> International Symposium on Biomechanics in Sports, 164–166. Budapest, Hungary.
- Caron, O. 2003. Effects of local fatigue of the lower limbs on postural control and postural stability in standing posture. *Neuroscience Letters* 340 (2), 83–86.
- Carpenter, M. G., Frank, J. S., Winter, D. A. & Peysar, G. W. 2001. Sampling duration effects on centre of pressure summary measures. *Gait & Posture* 13, 35–40.
- Chabran, E., Maton, B. & Fourment, A. 2002. Effects of postural muscle fatigue on the relation between segmental posture and movement. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 12, 67–79.
- Cholewicki, J., Polzhofer, G. K. & Radebold, A. 2000. Postural control of trunk during unstable sitting. *Journal of Biomechanics* 33, 1733–1737.

- Corbeil, P., Blouin, J.-S., Bégin, F., Nougier, V. & Teasdale, N. 2003. Perturbation of the postural control system induced by muscular fatigue. *Gait and Posture* 18, 92–100.
- Davidson, B. S., Madigan, M. L. & Nussbaum, M. A. 2004. Effects of lumbar extensor fatigue and fatigue rate on postural sway. *European Journal of Applied Physiology* 93, 183–189.
- Deeny, S. P., Hillman, C. H., Janelle, C. M. & Hatfield, B. D. 2003. Cortico-cortical communications and superior performance in skilled marksmen: An EEG coherence analysis. *Journal of Sport & Exercise Psychology* 25, 188–204.
- Din, W. & Rambely, A. 2012. A shooter's posture in handling a rifle while aiming at a target in standing position. 30<sup>th</sup> Annual Conference of Biomechanics in Sports, 339–342. Melbourne, Australia.
- Doyle, R. J., Hsiao-Wecksler, E. T., Ragan, B. G. & Rosengren, K. S. 2007. Generalizability of center of pressure measures of quiet standing. *Gait & Posture* 25, 166–171.
- Duarte, M. & Zatsiorsky, V. M. 2000. On the fractal properties of natural human standing. *Neuroscience Letters* 283, 173–176.
- Duarte, M. & Sternad, D. 2008. Complexity of human postural control in young and older adults during prolonged standing. *Experimental Brain Research* 191, 265–276.
- Era, P., Konttinen, N., Mehto, P., Saarela, P. & Lyytinen, H. 1996. Postural stability and skilled performance – A study on top-level and naive rifle shooters. *Journal of Biomechanics* 29, 301–306.
- Freitas, S. F., Wiczorek, S. A., Marchetti, P. H. & Duarte, M. 2005. Age-related changes in human postural control of prolonged standing. *Gait & Posture* 22, 322–330.
- Ganter, N., Matyschiok, K. C., Partie, M., Tesch, B. & Edelmann-Nusser, J. 2010. Comparing three methods for measuring the movement of the bow in the aiming phase of Olympic archery. *Procedia Engineering* 2, 3089–3094.
- Grebot, C. & Burtheret, A. 2007. Forces exerted on the butt plate by the shoulder of the biathlete in biathlon shooting. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering* 10, 13–14.

- Gregory, D. E. & Callaghan, J. P. 2008. Prolonged standing as a precursor for the development of low back discomfort: An investigation of possible mechanisms. *Gait & Posture* 28, 86–92.
- Gribble, P. A. & Hertel, J. 2004. Effect of lower-extremity muscle fatigue on postural control. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 85, 589–592.
- Hawkins, R. 2011. Identifying mechanic measures that best predict air-pistol shooting performance. *International Journal of Performance Analysis in Sport* 11, 499–509.
- Heller, M., Baca, A., Kornfeind, P. & Baron, R. 2006. Analysis of methods for assessing the aiming process in biathlon shooting. XXIV<sup>th</sup> International Symposium on Biomechanics in Sports 2, 817–820. Salzburg, Austria.
- Hermans, V. & Spaepen, A. J. 1997. Muscular activity of the shoulder and neck region during sustained and intermittent exercise. *Clinical Physiology* 17, 95–104.
- Hoffman, M. D., Gilson, P. M., Westenburg, T. M. & Spencer, W. A. 1992. Biathlon shooting performance after exercise of different intensities. *International Journal of Sports Medicine* 13 (5), 270–273.
- Ihalainen, S., Mononen, K., Kuitunen, S., Konttinen, N., Salonen, M. & Wedman, P. 2011. Tähtäyspisteen liikkeen ja kehon tasapainon vaikutus ammuntasuoritukseen maajoukkue-tason ja kansallisen tason ilmakivääriampujilla. *Kilpa- ja huippu-urheilun julkaisusarja nro 28*. Jyväskylä, Finland.
- International Shooting Sport Federation – ISSF. 2012. Official statutes, rules and regulations: General technical rules – Rifle rules. München, Germany.
- Iridiastadi, H. & Nussbaum, M. A. 2006. Muscle fatigue and endurance during repetitive intermittent static efforts: Development of prediction models. *Ergonomics* 49, 344–360.
- Karlsson, A. & Frykberg, G. 2000. Correlations between force plate measures for assessment of balance. *Clinical Biomechanics* 15, 365–369.
- Konttinen, N., Lyytinen, H. & Viitasalo, J. T. 1998a. Preparatory heart rate patterns in competitive rifle shooting. *Journal of Sports Sciences* 16, 235–242.
- Konttinen, N., Lyytinen, H. & Viitasalo, J. T. 1998b. Rifle-balancing in precision shooting: Behavioral aspects and psychophysiological implication. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 8, 78–83.
- Konttinen, N., Landers, D. M. & Lyytinen, H. 2000. Aiming routines and their

- electrocortical concomitants among competitive rifle shooters. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 10, 169–177.
- Lakie, M. 2009. Influence of muscle tremor on shooting performance. *Experimental Physiology* 95, 441–450.
- Larue, L., Bard, C., Otis, L. & Fleury, M. 1989. Stability in shooting: The effect of expertise in the biathlon and in rifle shooting. *Canadian Journal of Sport Science* 14, 38–45.
- Le Clair, K. & Riach, C. 1996. Postural stability measures: What to measure and for how long. *Clinical Biomechanics* 11, 176–178.
- Lepers, R., Bigard, A. X., Diard, J-P., Gouteyron, J-F. & Guezennec, C. Y. 1997. Posture control after prolonged exercise. *European Journal of Applied Physiology* 76, 55–61.
- Liebermann, D. G., Katz, L., Hughes, M. D., Bartlett, R. M., McClements, J. & Franks, I. M. 2002. Advances in the application of information technology to sport performance. *Journal of Sports Sciences* 20, 755–769.
- Mononen, K., Viitasalo, J. T., Era, P. & Konttinen, N. 2003. Optoelectronic measures in the analysis of running target shooting. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 13, 200–207.
- Mononen, K., Konttinen, N., Viitasalo, J. T. & Era, P. 2007. Relationships between postural balance, rifle stability and shooting accuracy among novice rifle shooters. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 17, 180–185.
- Mullineaux, D. R., Underwood, S. M., Shapiro, R. & Hall, J. W. 2012. Real-time biomechanical biofeedback effects on top-level rifle shooters. *Applied Ergonomics* 43, 109–114.
- Nardone, A., Tarantola, J., Giordano, A. & Schieppati, M. 1997. Fatigue effects on body balance. *Electromyography and Clinical Neurophysiology* 105, 309–320.
- Noptel Oy. 2011. Noptel ST-2000 – User’s Guide, NOS 4.2. Oulu, Finland.
- Norvapalo, K., Era, P., Mononen, H., Mononen, K., Salonen, M. & Viitasalo, J. T. 1997. Posture control in competitive and novice shooters in running target rifle shooting. XVI<sup>th</sup> Congress of the International Society of Biomechanics, 131. University of Tokyo, Japan.
- Nummela, A., Mononen, K., Hynynen, E., Karinkanta, J., Kuutti, T., Laaksonen, M.,

- Mikkola, J., Nuutinen, A., Roponen, T., Salonen, M., Talkkari, J., Tummavuori, M., Valleala, R. & Vanttinen, S. 2006. Lajinomaisen ammuntasuorituksen ja fyysisen kunnan seurantajärjestelmän kehittäminen ampumahiihdossa 2004–2005. Kilpa- ja huippu-urheilun julkaisusarja nro 1. Jyväskylä, Finland.
- Potvin, J. R. & O'Brien, P. R. 1998. Trunk muscle co-contraction increases during fatiguing, isometric, lateral exertions: Possible implications for spine stability. *Spine* 23, 774–780.
- Reinkemeier, H., Bühlmann, G., Eckhardt, M., Kulla, C. & Linn, U. 2004. Air Rifle Shooting. MEC, Dortmund, Germany.
- Reinkemeier, H., Bühlmann, G., Eckhardt, M., Murray, B., Bindra, A. & Hecker, M. 2009. Ways of the Rifle. MEC, Dortmund, Germany.
- Sattlecker, G., Müller, E. & Lindinger, S. 2007. Performance determining factors in biathlon shooting. 12<sup>th</sup> Annual Congress of the European College of Sport Science, 98–99. Department of Sport Science and Kinesiology, University of Salzburg, Austria.
- Suomen Ampumaurheiluliitto – SAL. 2009. Kiväärilajien säännöt. Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä.
- Søgaard, K., Blangsted, A. K., Jørgensen, L. V., Madeleine, P. & Sjøgaard, G. 2003. Evidence of long term muscle fatigue following prolonged intermittent contractions based on mechano- and electromyograms. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 13, 441–450.
- Viitasalo, J. T., Era, P., Norvapalo, K., Mononen, H., Mononen, K. & Salonen, M. 1997. Posture control in running target shooting. XVI<sup>th</sup> Congress of the International Society of Biomechanics, 132. University of Tokyo, Japan.
- Vuillerme, N., Danion, F., Forestier, N. & Nougier, V. 2002. Postural sway under muscle vibration and muscle fatigue in humans. *Neuroscience Letters* 333, 131–135.
- Wardrop, J. & Roach, N. K. 1992. Performance evaluation by EMG and ECG of the pistol shooting phase of the modern pentathlon. *Measurement in Sport and Exercise*, IEE Colloquium Conference, 23–24.
- Yli-Jaskari, K. 2007. Introduction to the rifle shooting positions. ISSF Training Academy – C-Course for ISSF Coaches Licence. ISSF Training Academy,

München, Germany.

Yuan, C. & Lee, Y. 1997. Effects of rifle weight and handling length on shooting performance. *Applied Ergonomics* 28, 121–127.

Zatsiorsky, V. M. & Aktov, A. V. 1990. Biomechanics of highly precise movements: The aiming process in air rifle shooting. *Journal of Biomechanics* 23 (1), 35–41.

Önell, A. 2000. The vertical ground reaction force for analysis of balance? *Gait and Posture* 12, 7–13.