

**SIMULOIDUN BEACH VOLLEY -PELIPÄIVÄN VAIKUTUKSET  
SUORITUSKYKYYN**

Emilia Joensalo

Valmennus- ja testausopin kandidaatintutkielma

Liikuntabiologia

Liikuntatieteellinen tiedekunta

Jyväskylän yliopisto

Kevät 2019

Työn ohjaajat: Antti Mero & Mikko Häyrinen

## TIIVISTELMÄ

**Joensalo Emilia.** 2019. Simuloidun beach volley- pelipäivän vaikutukset suorituskykyyn. Liikuntabiologia, Jyväskylän yliopisto, Valmennus- ja testausopin kandidaatintutkielma 49 s.

**Johdanto.** Tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia simuloidun beach volley-pelipäivän vaikutusta suorituskykyyn, sekä arvioida pelien aikaista kuormittavuutta torjuvilla ja puolustavilla pelaajilla. Ottelun kuormittavuutta tutkittiin mittaamalla fysiologisia muuttujia; sykettä ja laktaattia sekä suorituskykytesteillä. Beach volley-ottelun kuormittavuudesta on tutkimusdataa, mutta kokonaisen pelipäivän kattavasta kuormittavuudesta ei ole tutkimustuloksia.

**Menetelmät.** Neljä kansainvälisen ja neljä kansallisen tason nais-beach volley -pelaajaa (n=8) osallistui tutkimukseen ( $23 \pm 6$  v.;  $1,78 \pm 0,03$  m.;  $70,2 \pm 3,5$  kg). Tutkimus suoritettiin yhden päivän aikana. Koehenkilöt pelasivat kaksi kolmen erän ottelua, joiden välissä oli kolme tuntia palautumisaikaa. Tutkittavilta mitattiin muuttujia peliä ennen (PRE) ja pelin jälkeen (POST). Testipatteristoon kuului kevennyshyppy voimalevyllä ja ballistinen penkkihunnerrus. Lisäksi pelien aikana mitattiin sykemuuttujia sykemittarilla ja hyppyjen määrää VERT-laitteistolla. Laktaattimittaukset tehtiin ennen peliä, jokaisen erän lopussa sekä viisi ja 10 min suorituksen päätyttyä. Tulokset taulukoitiin Excel 2016 -ohjelmalla, josta ne syötettiin IBM SPSS Statistics (versio 24) ohjelmaan. Tuloksista laskettiin ensin keskiarvot ja keskihajonnat. Ohjelmassa aineiston normaalijakautuneisuus tarkistettiin käyttäen SPSS:n Descriptive Statistics-komentoa. Aineisto oli normaalijakautunut. Koska tutkimuksen koehenkilömäärä oli alle 10, aineistoa analysointiin pienille aineistoille tarkoitetuilla ei-parametrisillä testeillä, josta valittiin Related-Samples komennolla Friedmanin kaksisuuntainen varianssianalyysi. Tilastollisen merkitsevyyden rajana käytettiin  $p < 0,05$  arvoa.

**Tulokset.** Torjuville pelaajille kertyi 17 % enemmän hyppyjä, kun puolustaville. Torjuvien pelaajien maksimisykkeet ( $183 \pm 10$  vs  $174 \pm 11$  bpm) olivat 5 % korkeammat ja keskisykkeet ( $161 \pm 12$  vs  $139 \pm 14$  bpm) 14 % korkeammat kuin puolustavilla. Torjuvien pelaajien sykkeet olivat suuremman osan ajasta yli 80 % maksimisykkeestä kuin puolustavien. Keskisyke otteluissa kaikilla pelaajilla oli ensimmäisessä pelissä hiukan korkeampi ( $152 \pm 15$  ja  $147 \pm 16$  bpm). Maksimisykkeessä ei ollut juurikaan eroa otteluiden välillä ( $179 \pm 11$  ja  $177 \pm 10$  bpm). Kevennyshyppyjen korkeudet eivät laskeneet PRE-mittauksista POST-mittauksiin. Kolmen hypyn sarjan hyppykorkeudet olivat kaikissa mittauksissa heikompia ( $p=0,001$ ,  $0,008$ ,  $0,001$  ja  $0,041$ ), kuin yksittäiset maksimaaliset hyppyt. Hyppykorkeudet eivät kuitenkaan laskeneet merkitsevästi enemmän POST-mittauksissa. Ballistisessa penkkihunnerruksessa huipputeho oli PRE 2 - ja POST 2 -mittauksissa tilastollisesti merkitsevästi heikempi suhteessa PRE 1 -mittauksiin ( $p=0,041$ ). Laktaatti oli korkeimmillaan ensimmäisessä pelissä toisen erän jälkeen ( $1,95 \pm 0,22$  mmol/l). Korkeimmillaankaan laktaatti ei kuitenkaan noussut yli aerobisen kynnyksen. Ensimmäisen pelin laktaattit olivat korkeammat ( $p=0,140$ ) kuin toisen pelin. Tilastollisesti merkitsevästi korkeampi laktaatti ensimmäisessä pelissä mitattiin 2. erän lopussa ja POST 5 - mittauksessa ( $p=0,032$  ja  $p=0,025$ ).

**Johtopäätökset.** Tämän tutkimuksen perusteella beach volley -ottelulla tai pelipäivällä ei ole vaikutusta kevennyshypyn korkeuteen. Ylävartalon voimantuoton kehittämiseen voisi panostaa

harjoittelussa enemmän, sillä jo yksi pelattu ottelu heikensi ylävartalon voimantuotto-ominaisuuksia. Ottelu oli kuormittavampi torjuville pelaajille, joka tulisi myös ottaa huomioon valmennuksellisissa seikoissa.

**Asiasanat.** Beach volley, kuormittavuus, pelipäivä, beach volley -ottelu, pelianalyysi

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

1	JOHDANTO.....	2
2	BEACH VOLLEYN LAJIANALYYSI.....	3
2.1	Beach volleyn lajisuoritukset ja säännöt .....	3
2.2	Beach volleyn fysiologiset vaatimukset .....	4
2.2.1	Beach volley-ottelun aikaiset sykemuuttujat.....	5
2.2.2	Beach volley- ottelun vaikutus laktaatin muodostumiseen .....	5
2.2.3	Lämpötilan vaikutus suorituskyykyyn .....	6
2.3	Beach volley- ottelun vaatimukset hermolihasjärjestelmältä .....	8
2.3.1	Beach volleyn kinematiikka .....	8
2.3.2	Intervalli-tyyppisen palloilulajin biomekaaniset vaatimukset.....	9
2.4	Hiekka alustana ja sen vaikutus hermolihasjärjestelmän suorituskyykyyn.....	11
3	HERMOLIHASJÄRJESTELMÄN VÄSYMYS .....	13
3.1	Lihaksiston väsymys .....	13
3.2	Keskushermoston väsymys .....	15
3.3	Ääreishermoston väsymys.....	16
3.4	Hermolihasjärjestelmän väsymyksen mittaaminen .....	18
4	TUTKIMUSKYSYMYKSET JA HYPOTEESI.....	20
5	TUTKIMUSMENETELMÄT .....	21
5.1	Tutkittavat.....	21
5.2	Tutkimusasetelma.....	22
5.2.1	Suorituskyykytestit.....	22

5.2.2 Verinäytteet .....	23
5.2.3 Pelin aikana kerättävä data .....	24
6 TULOKSET .....	26
7 POHDINTA.....	33
7.1 Otteluiden kuormittavuus .....	33
7.2 Suorituskykytestit .....	36
7.3 Virhelähteet ja tulevaisuuden sovellukset .....	38
7.3 Johtopäätökset .....	40
LÄHTEET .....	41

## 1 JOHDANTO

Beach volleyta pelataan kahden pelaajan joukkueissa 8 m x 8 m kokoisella hiekkakentällä. Peli koostuu useista hypyistä torjunnassa ja hyökkäyksessä sekä nopeista suunnanmuutoksista puolustusliikkumisessa. Lisäksi beach volleyta pelataan usein olosuhteissa, joissa ulkoilma voi myös vaikuttaa kuormittavuuteen. Naisten beach volley -ottelun kesto on keskimäärin 39 minuuttia. Beach volleyssa työskennellään sekä aerobisesti että anaerobisesti. Hyppyjen ja suunnanmuutosten myötä fysiologisten vaatimusten lisäksi beach volley on myös hermolihaskäyttöä kuormittavaa (Magalhaes ym. 2011). Hiekka alustana luo haastavan vastuksen liikkumiseen (Giatsis ym. 2018, Lejeune ym. 1998).

Hermolihaskäytössä voi tapahtua väsymystä beach volley -ottelussa. Magalhaesin ym. (2011) tutkimuksessa havaittiin, ettei kevennyshypyssä tapahtunut yhden pelin seurauksena juurikaan muutoksia, mutta 7,5 m ja 15 m sprintin sekä jalkojen isometrisen ojennusvoiman huomattiin heikkenevän. Tutkimuksessa pelattiin kuitenkin ainoastaan yksi beach volley -ottelu, jolloin kokonaisen pelipäivän kuormittavuutta ei voida tutkimuksen perusteella arvioida.

Maailmankiertueen turnaukset muodostuvat 2-4 päivän otteluserjoista, jotka alkavat karsinnoilla ja päättyvät finaaleihin. Pelejä voi olla yhden päivän aikana kaksi, joista toinen pelataan aamulla ja toinen iltapäivällä tai illalla. Pelien välissä on taukoa normaalisti noin 3-6 tuntia. Koska seuraava ottelu pelataan melko pian, on syytä arvioida miten edellinen pelattu ottelu vaikuttaa suorituskykyyn ja kuinka kuormittavia ottelut ovat pelaajille.

Beach volley -pelipäivän kuormittavuudesta ei ole toistaiseksi vielä tutkimustietoa. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli simuloida pelipäivä samanlaisena kuin se pelattaisiin maailmankiertueella ja arvioida kokonaisen pelipäivän kuormittavuutta ja pelattujen otteluiden vaikutusta suorituskykyyn. Lisäksi tutkimuksessa vertailtiin torjuvien ja puolustavien pelaajien kuormitusta.

## 2 BEACH VOLLEYN LAJIANALYYSI

Beach volley on melko nuori palloilulaji. Sen suosio on kasvanut viime vuosikymmeninä, seurauksena lajin olympiastatuksesta vuodesta 1996 eteenpäin. Tutkimuksia beach volleystä on todella vähän verrattuna suosittuihin lajeihin, kuten jalkapalloon. Tähän mennessä tutkimustietoa on pelin teknis-taktisesta puolesta (Kunzell ym. 2014), fysiologisista vasteista (Jimenez-Olmedo ym. 2017, Palao ym. 2015), hyppäämisen biomekaniikasta ja tuki- ja liikuntaelämistön vammoista (Saccol ym. 2016, Wong-On & Mora-Montoya 2018, Giatsis ym. 2018).

### 2.1 Beach volleyyn lajisuoritus ja säännöt

Beach volleyta pelataan kahden henkilön joukkueina 8 m x 8 m kokoisella hiekkakentällä. Verkon korkeus on miehillä 243 cm ja naisilla 224 cm. Peli pelataan paras kolmesta systeemillä, niin, että kaksi ensimmäistä erää pelataan 21 pisteeseen ja mahdollinen kolmas erä 15 pisteeseen. Kahdessa ensimmäisessä erässä seitsemän pelatun pisteen välein vaihdetaan puolia, kolmannessa viiden välein. (FIVB 2016.) Häyrinen ja Tampouratzis:n (2012) teknis-taktisen lajiansalyysin mukaan kansainvälisissä otteluissa yhden 21 pisteeseen pelatun erän kesto oli keskimäärin 18 min 10 s ± 2 min 16 s ja 15 pisteeseen pelatun erän kesto 14 min 24 s ± 49 s. Pelin kokonaiskesto oli tutkimuksessa kahden erän peleissä 39 min 42 s ± 3 min 55 s ja kolmen erän peleissä 53 min 41 s ± 3 min 48 s. (Häyrinen & Tampouratzis 2012.)

TAULUKKO 1. Pallorallien, erien ja otteluiden kestot beach volleyssä (Häyrinen & Tampouratzis 2012).

	Pallorallit	21 pisteen erät	15 pisteen erät	2 erän ottelut	3 erän ottelut
Keskiarvo	6,9 s	18 min 10 s	14 min 24 s	39 min 42 s	53 min 41 s
SD	4,2 s	2 min 16 s	49 s	3 min 55 s	3 min 48 s
Maksimi	27 s	24 min 23 s	14 min 59 s	45 min 22 s	56 min 22 s
Minimi	1 s	15min 15 s	13 min 50 s	35 min 12 s	50 min 59 s

Beach volleyn pelisuoritteita ovat aloitussyöttö, vastaanotto, passi, hyökkäys, torjunta ja puolustus. Hyökkäys voidaan jakaa karkeasti sijoitushyökkäykseen (shot) tai lyöntihyökkäykseen (spike). Hyppyjä näistä suoritteista tulee aloitussyötössä, hyökkäyksessä ja torjunnassa. Passissa, puolustuksessa ja vastaanotossa tapahtuu horisontaalista liikkumista. (Häyrinen & Tamporatzis 2012.) Naispelaajista ainoastaan 48 % suorittaa aloitussyötön hypyn kanssa, kun taas miehissä jopa 75 %. Naispelaajat käyttävät myös kovan lyönnin sijaan sijoitushyökkäystä useammin kuin miehet. (Koch & Tilp 2009.) Eri suoritusten kuormittavuudesta ei löydy tutkimustietoa.

Pelaajat ovat usein erikoistuneita joko torjuntapelaamiseen tai puolustamiseen. Molemmat pelaajat hyökkäävät, syöttävät ja vastaanottavat palloa. Joissakin joukkueissa erikoistumista ei ole, vaan molemmat pelaajat torjuvat ja puolustavat. Palaon ym. (2015) analyysin mukaan torjuvalle pelaajalle hyppyjä tulee erässä keskimäärin 37, kun taas puolustavalle 27. Erikoistumattomalle pelaajalle hyppyjä erässä tulee keskimäärin 29.

## **2.2 Beach volleyn fysiologiset vaatimukset**

Fysiologisiin vasteisiin pelin aikana vaikuttavat ilmasto-olosuhteet, hiekan laatu, erien ja pelin kesto ja suoritusten intensiteetti. Hiekka hidastaa pelaajien liikettä ja tuo vastusta liikkumiseen. Beach volleyssä hiekalla liikkuesssa pelaajan pitää minimoida voiman ”hukkaan” meneminen hiekan vaikutuksesta (Lejeune, Willems & Heglund 1998). Tutkimuksissa on myös osoitettu, että hiekalla hypätessä ponnistuskorkeus on matalampi kuin kovalla alustalla hypätessä (Giatsis ym. 2018).

Beach volley koostuu palloralleista, joiden välissä on matalan intensiteetin palautusjakso. Naisten beach volleyssä työskennellään keskimäärin 6,46 s ( $\pm$  4.17 s) ja lepoa rallien välissä on keskimäärin 22,69 s ( $\pm$  7.06 s). Näin ollen työ/lepo -suhde on keskimäärin 1:4. (Palao ym. 2015.)



## **2.2.1 Beach volley-ottelun aikaiset sykemuuttujat**

Magalhaesin ym. (2011) tutkimuksessa keskisyke beach volley-ottelun aikana oli  $146 \pm 3$  bpm, joka vastaa noin 75 % maksimisykkeestä. Keskisyke ei kuitenkaan kuvasta pallorallien aikaista sykettä, sillä keskisykkeeseen lasketaan myös sykkeen lasku taukojen aikana. Tutkimuksessa kolmieräisen pelin aikana pelaajien sykkeet olivat 34 % pelin ajasta yli 80 % maksimisykkeestä (Magalhaes ym. 2011).

Torjuvan pelaajan sykkeet ovat beach volleyn fyysisen lajiansalyysin mukaan hieman korkeammat (78-89 % HRmax) kuin puolustavan (66-78 % HRmax) (Jimenez-Olmedo ym. 2017). Nämä erot ovat selitettävissä peliroolin erilaisuudella. Torjuvalle pelaajalle hyppyjä tulee enemmän kuin puolustavalle pelaajalle. Pelin kuormittavuuteen vaikuttaa myös vastustajan taktiikka. Jimenez-Olmedon ym. (2017) tutkimuksessa torjuva pelaaja vastaanotti suuremman osan vastustajan aloitussyötöistä, jonka seurauksena torjuvalle pelaajalle hyökkäyshyppyjä tuli koko pelin aikana 59, kun taas puolustajalle ainoastaan 35. Lisäksi torjuva pelaaja hyppäsi torjuntaan 53 kertaa kun taas puolustaja ainoastaan 35 kertaa. Suurempi kokonaishyppymäärä voi selittää korkeampia sykkeitä. (Jimenez-Olmedo ym. 2017.)

## **2.2.2 Beach volley-ottelun vaikutus laktaatin muodostumiseen**

Magalhaesin ym. (2011) tutkimuksessa tutkittavat pelasivat kolmieräisen beach volley-ottelun. Jokaisen erän lopussa mitattiin laktaatti. Laktaatti nousi lepoarvosta (lämmittelyn jälkeen otettu) 0,95 mmol/l ensimmäisen erän loppuun 2,1:een mmol/l. Korkeimmillaan laktaatti oli toisen erän jälkeen (2,41 mmol/l). Laktaatissa ei ollut merkittäviä muutoksia pelattujen erien välillä ja laktaatti palasi normaaliksi 3 tuntia pelin jälkeen. Tutkimuksen perusteella voidaan todeta, ettei elimistöön pääse kertymään laktaattia beach volley-ottelun aikana.

Samankaltaisia tuloksia on saatu muissakin lajeissa, joissa intensiivistä suoritusta seuraa matalan aktiivisuustason lepojakso, kuten lentopallossa (Kunstlinger ym. 1987, Mroczek ym. 2011). Hertoghin ym. (2005) tutkimuksessa tehtiin kuusi perättäistä kevennyshyppyä, jonka jälkeen levättiin 20 s. Laktaatti pysyi muuttumattomana kuormituksen aikana (Hertogh ym.

2005). Tämän tyyppisissä lyhyissä, 10-20 s kestoisissa suorituksissa, energiantuottotapana on alaktinen ATP:n (adenosiinitrifosfaatti) uudelleenmuodostus ja aerobinen energiantuotto, jonka aikana fosfokreatiini- ja ATP-varastot palautuvat ainakin jonkun verran. (McArdle ym. 2015, 174.)

Jimenez-Olmedon ym. tutkimuksessa pelaajat työskentelevät sykkeiden perusteella myös anaerobisesti. Pallorallien ollessa intensiivisiä, ei aerobinen energiantuotto pysty välttämättä aina vastaamaan äkkiä kasvavaan energiantarpeeseen. Tulokset osoittavat, että suuri osa laktaatista pystytään poistamaan elimistöstä, mikäli sitä syntyy (Magalhaes ym. 2011). Suhteellisen pitkät palautukset pallorallien välillä kuitenkin mahdollistavat laktaatin poistamisen niin, ettei laktaatti kumuloidu elimistöön ja laktaattilukemat pysyvät melko alhaisena. Alle 30 s suorituksissa energiaa tuotetaan myös välittömistä energianlähteistä, jotka tosin pidemmän pelin aikana voivat kulua myös loppuun. (McArdle ym. 2015, 174.)

Alle kahdeksan sekunnin suorituksissa solunsisäiset välittömät energianlähteet (ATP) sekä fosfokreatiinisysteemi (PCr systeemi) tarjoavat pääsääntöisesti energiansaannin. Glykolyttisillä reiteillä on näin lyhytkestoisissa suorituksissa ainoastaan minimaalinen osuus. (McArdle ym. 2015, 174.) PCr varastojen palautuminen riippuu harjoituksen intensiteetistä ja harjoituksen/yksittäisen suorituksen jälkeisistä PCr tasoista (Thompson ym. 1995). Jotta energiantuottoa voidaan jatkaa välittömistä energianlähteistä, tulee lepojaksosten olla n. 30 s, mikäli suorituksen kesto on ollut alle 10 s, kuten beach volleyssä on (McArdle ym. 2015, 486).

### **2.2.3 Lämpötilan vaikutus suorituskykyyn**

Beach volleyta pelataan usein olosuhteissa, joissa kuumuus voi vaikuttaa suorituskykyyn. Kuumuuden myötä ympäri kehoa olevat lämpöreseptorit reagoivat kohonneeseen kehon lämpötilaan. Kun elimistön sisälämpötila ylittää kriittisen rajan, voi suorituskyky kärsiä. (Nielsen 1994.) Mekanismit suorituskyvyn heikkenemisen taustalla ovat kuitenkin vielä epäselviä. Nielsen (1994) perusteli mahdolliseksi mekanismiksi, että esimerkiksi hermolihasjärjestelmän motorisen käskyn lähettämisessä voisi ilmetä ongelmia kuumissa

olosuhteissa. Jotta kuumuus vaikuttaisi hermoston toimintaan täytyisi elimistön sisälämpötilan nousta jopa 40:een asteeseen (Tucker ym. 2004).

Tutkimuksissa on pääsääntöisesti saatu samansuuntaisia tuloksia lämpötilan vaikutuksesta suorituskykyyn. Tuckerin ym. (2004) tutkimuksessa vertailtiin kahdessa eri olosuhteessa suoritettua 20 km pyöräilyä vaikutusta elimistöön. Kolmenkymmenenasteen lämpötilassa pyöräilyä suoritusta vertailtiin 15° lämpötilassa suoritettuun pyöräilyyn. Tutkimuksessa huomattiin, että pyöräilyteho sekä etureiden EMG-aktiivisuus laskivat kuumassa olosuhteessa. RPE, syke ja elimistön sisälämpötila kuitenkin pysyivät muuttumattomana. Etureiden tehontuoton heikkenemistä selitettiin tutkimuksessa motorisen lihasten rekrytoinnin heikkenemisellä.

Galloway ja Maughan (1997) tutkivat uupumukseen asti suoritettua pyöräilyosuuden kestoa eri lämpötiloissa. Tutkimuksessa huomattiin, että 4° ja 21° lämpötilassa tehdyissä suorituksissa aika uupumukseen oli 81 minuuttia. 11° asteen lämpötilassa saavutettiin paras tulos: 94 minuuttia, kun taas 31° lämpötilassa aika uupumukseen oli ainoastaan 52 minuuttia. Beach volley -turnauksissa lämpötila saattaa olla jopa 30° yläpuolella, joten lämpötilalla voi olla myös vaikutuksia pelaajan suorituskykyyn.

Elyn ym. (2010) tutkimuksessakaan ei huomattu muutoksia sykkeessä tai RPE:ssä aerobisen harjoituksen aikana. Suurimmat erot tutkimuksessa kuumassa ja viileässä olosuhteiden välillä huomattiin suoritettussa työmäärässä. Myös ihon lämpötila oli korkeampi kuumassa olosuhteessa, vaikkakin sisälämpötila pysyi muuttumattomana. Nielsenin ym. (1990) tutkimuksessa huomattiin myös ihon lämpötilan nousua sekä pintaverenkierron kiihtymistä. Myös minuuttitilavuus kohosi kuumassa olosuhteessa verrattuna viileään. Koska syke ei kohonnut, mutta minuuttitilavuus kasvoi, voidaan tämän kasvun olettaa johtuneen iskutilavuuden noususta. Kohonnut minuuttitilavuus ja pintaverenkierron kiihtyminen voivat johtua elimistön lämmönpoistojärjestelmän kiihtyvistä toiminnasta. Kun sisälämpötila kohoaa, verenkiertoa kiihdyttämällä lämpöä pyritään poistamaan ihon kautta.

Elimistö kuitenkin tottuu kuumiin olosuhteisiin (Voltaire ym. 2002). Mikäli pelaajat ovat tottuneet harjoittelemaan kuumassa ilmastossa, ei sillä enää ole niin suurta vaikutusta suorituskyykyyn. Suomalaisilla pelaajilla voi kuitenkin olla haasteita adaptoitumisen kanssa. Huen (2011) mukaan ilmastoon totuttelemisen tulisi aloittaa 8-14 päivää ennen kilpailua, vaikka tässäkin ajassa ei totaalista adaptoitumista ilmastoon tapahdu.

Jotta suorituskyyky saataisiin kuumasta olosuhteesta huolimatta optimoitua, vaatii beach volleyn harjoitteleminen ja otteluiden pelaaminen runsaampaa nesteytystä kuumissa olosuhteissa. Kuumuuden suoran suorituskyykyä heikentävän vaikutuksen lisäksi alinesteytys voi myös vaikuttaa suorituskyykyyn heikentävästi (Sawka & Noakes 2007).

### **2.3 Beach volley -ottelun vaatimukset hermolihasjärjestelmältä**

Beach volleyssä liikettä tapahtuu sekä vertikaali- että horisontaalisuunnassa. Beach volleyssä pelaajat suorittavat useita hyppyjä, keskimäärin 35 hyppyä/erä riippuen pelaajan erikoistumisesta (Palao ym. 2015). Lisäksi lajisuoritus koostuu suunnanmuutoksista. Naisten beach volley -lajianalyysin mukaan puolustuksia tulee erää kohden  $8.8 \pm 3.3$  kappaletta (Häyrinen & Tampouratzis 2012). Puolustukseksi (dig) lasketaan tilanteet, joissa puolustaja puolustaa vastustajan lyönnin, sijoitushyökkäyksen tai torjuva pelaaja peruuttaa verkolta puolustaan hyökätyn pallon. Näissä puolustuksissa puolustaja joutuu nopeasti liikkumaan puolustuspaikalle.

#### **2.3.1 Beach volleyn kinematiikka**

Cortell-Tormo ym. (2011) selvittivät tutkimuksessaan miesten beach volley- pelin aikaisia horisontaalitalason liikemalleja. Pelaajan horisontaalitalason liikkeistä 25 %:ssa otetaan sivuaskel, 37 % suuntautuu kokonaisuudessaan sivulle, 52 % eteenpäin ja ainoastaan 4,3 % taaksepäin. Erityisesti sivuttain liikkumista tapahtuu torjunnassa ja puolustuksessa.

Jones ja Caldwell (2003) vertailivat tutkimuksessaan erilaisten liikkumistapojen aikaista aktiivisuutta alaraajojen lihaksissa. Vertikaalisessa ja horisontaalisessa liikkeessä tapahtuu

nilkan, lonkan ja polven ekstensiota. Eteenpäin liikkussa pakarän ja takareiden lihasten aktiivisuus on suurempaa kuin vertikaaliliikkeessä. Molemmissa liikkeissä etureiden lihaksissa on aktiivisuutta. Liikkeitä ei kuitenkaan suoritettu hiekalla, joten tulokset voivat olla erilaiset hiekalla suoritettuna. Lihasten aktiivisuuksia beach volley -ottelun aikana ei ole tutkimusdataa.

Beach volleyssä hypyn kinematiikka on hieman erilainen kuin lentopallossa. Tilp ym. (2008) tutkimuksessa iskulyönnin ponnistuskorkeudet hiekalla olivat keskimäärin 13 %:a matalampia kuin kovalla alustalla suoritetuissa hypyissä. Sekä kevennysvaihe (beach volley  $213 \pm 16$  ms vs. lentopallo  $201 \pm 17$  ms) että ponnistusvaihe (beach volley  $272 \pm 20$  ms vs. lentopallo  $237 \pm 16$  ms) kestävät hiekalla suoritettuna pidempään. Kokonaisuudessaan venymis-lyhenemis-syklin (stretch-shortening cycle = SSC) kesto on hiekalla suoritettuna pidempi. Alavartalon nivelissä ei myöskään hiekalla tehdyssä iskulyöntihypyssä tapahdu niin paljoa fleksiota. (Tilp ym. 2008.) Hiekalla suoritettussa hypyissä ei saavuteta niin suurta kiihtyvyyttä polvinivelessä, kuin kovalla alustalla suoritettussa hypyissä. Tämä vähentää elastisen energian potentioitumista venymis-lyhenemis-syklin aikana, joka johtaa pienempään impulssiin ja matalampaan nousukorkeuteen. (Komi 2000.)

### **2.3.2 Intervalli-tyyppisen palloilulajin biomekaaniset vaatimukset**

Magalhaesin ym. (2011) tutkimuksen mukaan kolmieräisen beach volley -ottelun jälkeen sekä 7,5 m että 15 m sprinttiaika oli heikentynyt lepotasoon nähden. Hermolihasjärjestelmä väsy pelin aikana vaikuttaen nopeusominaisuuksiin. Vaikka elimistö poistaa nopeasti aineenvaihdunnan sivutuotteet, oli sprinttiaika heikentynyt yhä kolme tuntia suorituksen jälkeen. Näistä syistä tutkimuksessa perusteltiin väsymyksen liittyvän hermolihasjärjestelmän toimintaan. (Magalhaes ym. 2011.) Tämä nopeuden heikkeneminen on selitettävissä pitkäaikaisilla hitaammin palautuvilla rakenteellisilla mikrovaurioilla lihaksessa ja voimantuottoon vaikuttavilla ominaisuuksilla (Gardiner 2011, 87). Koska hermolihasjärjestelmän väsymystä pelin aikana ei ole kuitenkaan tutkittu tarkemmin, on mahdotonta paikallistaa tarkempi väsymyksen aiheuttaja.

Beach volley -ottelun aikana syntyviä lihasvaurioita ja niiden vaikutusta suoritukseen ei ole tutkimuksissa tarkasteltu. Franssonin ym. (2018) mukaan simuloitun jalkapallo-ottelun aikana

on kuitenkin havaittu selkeää kreatiinikinaasipitoisuuden nousua. Kreatiinikinaasin nousu kuvastaa suorituksen aikana syntyneiden lihasvaurioiden määrää. Välittömästi simuloidun jalkapallo ottelun jälkeen kreatiinikinaasipitoisuus oli noussut. Kreatiinikinaasipitoisuus oli koholla yhä 24 tuntia ottelun jälkeen.

Souglis ym. (2015) vertailivat tutkimuksessaan neljän eri palloilulajin vaikutusta eri metabolisiin muuttujiin. Näistä neljästä lajista käsipallo ja lentopallo muistuttavat eniten beach volleyta. Tutkimuksen mukaan jalkapallo-ottelun jälkeen kreatiinikinaasissa oli tapahtunut suurinta nousua, mutta myös lentopallo-ottelun jälkeen kreatiinikinaasi oli kohonnut lähes kaksinkertaiseksi ja vielä 13 h ottelun jälkeen tehdyissä mittauksissa kreatiinikinaasi oli edelleen noussut jopa kolminkertaisiin arvoihin verraten ennen ottelua tehtyä mittausta. (Souglis ym. 2015)

Myös CRP-arvo (C-reaktiivinen proteiini), joka kuvastaa elimistön tulehdustilaa, oli noussut Franssonin ym. (2018) tutkimuksessa hiukan jo välittömästi pelin jälkeen. CRP-arvo oli kohonnut edelleen 24 tuntia pelin jälkeen tehtyihin mittauksiin. Samankaltaisia havaintoja todettuun Souglisin ym. (2015) tutkimuksessa sekä käsipallo-ottelun, että lentopallo-ottelun jälkeen. Fyysisessä kuormituksessa väsymyksen aiheuttajana voivat siis olla myös lihasvauriot, sillä kohonnut CRP-arvo kuvastaa lihaksen akuuttia tulehdustilaa. Suorituksen aikaiset lihasvauriot voivat vaikuttavaa lihaksen toimintaan. (Fransson ym. 2018.) Jalkapallo-ottelu on kuitenkin kaksi kertaa pidempi kuin beach volley -ottelu ja alusta on erilainen. Liikettä tapahtuu myös enemmän horisontaalisuunnassa ja työjaksot ovat pidempiä. Lihasten vaurioista johtuvat tekijät voivat kuitenkin olla myös beach volley -ottelun aikana väsymystä selittäviä tekijöitä.

Viitasalo ym. (1993) selvittivät tutkimuksessaan hyppysarjan vaikutusta hypyn biomekaniikkaan. Tutkimus suoritettiin lentopalloilijoilla. Tutkittavien tuli suorittaa 45 s ajan hyppyjä aidan yli. Hypyistä mitattiin voimalevyn avulla kontaktiaikaa, eksentrisen ja konsentrisen vaiheen kestoa, nopeutta ja hyppyjen korkeutta. Lisäksi EMG-signaalia mitattiin m. rectus femoriksesta, m. vastus lateraliksesta ja m. vastus medialisesta. EMG-aktiivisuus lihaksissa kasvoi suorituksen aikana. Tämä voi johtua uusien motoristen yksiköiden aktivoinnista edellisten väsyessä (Enoka 2012, 337). Kineettiset ja kinemaattiset muuttujat eivät muuttuneet merkitsevästi eksentrisen vaiheen aikana. Konsentrisen vaiheen kontaktiaika

ja aika huippukulmanopeuden saavuttamiseen kasvoi. Lisäksi keskimääräinen vertikaalinen kontaktivoima konsentrisessa vaiheessa laski. Näitä muuttujia selitettiin motoristen yksiköiden rekrytoinnin ja syttymistiheyden muutoksilla ja SSC:ssä muodostuvan elastisen energian hyödyntämisen heikkenemisellä. (Viitasalo ym. 1993.)

## **2.4 Hiekka alustana ja sen vaikutus hermolihasjärjestelmän suorituskykyyn**

Hiekka luo ulkoisen vastuksen liikkumiselle. Kovalla alustalla juostessa jalkaterän etuosan ja maan välillä on työntävä reaktivoima. Hiekalla juostessa jalkaterän etuosa uppoaa hiekkaan, toisin kuin kovalla alustalla, eikä voimaa pystytä tuottamaan samalla tavalla kuin stabiililla alustalla. Lejeune ym. (1998) selvittivät tutkimuksessaan hiekalla liikkumisen mekaniikkaa ja energetiikkaa. Hiekka alustana kasvattaa mekaanista työtä ja heikentää liikkeen mekaanista hyötysuhdetta. Zamparon ym. (1992) tutkimuksessa huomattiin, että energiaa kului hiekalla juostessa 1,2 kertaa enemmän kuin juostessa kovalla alustalla. Kävellessä hiekalla energiaa kului jopa 1,8 kertaa enemmän kuin kovalla alustalla.

Gaudinon ym. (2013) tutkimuksessa huomattiin, että hiekalla liikkuminen ei ole niin taloudellista kuin ruoholla liikkuminen. Zamparon ym. (1992) mukaan taloudellisuuden heikkeneminen johtuvat jalan uppoamisesta hiekkaan ja näin pidentyneestä venymislyhenemis-syklistä, jolloin elastista energiaa ei saada hyödynnettyä yhtä tehokkaasti. Tällöin hiekalla hypätessä konsentriseen vaiheeseen kulutetaan enemmän energiaa, koska eksentrisen vaiheen hyöty ponnistuksessa on pienentynyt.

Brown ym. (2017) vertailivat tutkimuksessaan intervallijuoksua pehmeällä hiekalla ja ruoholla suoritettuna. Suoritukset vakioitiin sykkeen mukaan 83-88 % maksimisykkeestä. Kuormituksen kesto oli molemmilla ryhmillä sama. Kun intensiteetti kahdella eri alustalla juostessa vakioitiin, kuljettu matka jäi hiekalla huomattavasti lyhemmäksi. Koettu rasittavuus (RPE) oli kuitenkin melko sama. Nopeus hiekalla juostessa oli huomattavasti hitaampi. Tutkimuksessa havaittiin, että jotta intensiteetti saadaan pehmeällä hiekalla pidettyä samana kuin kovalla alustalla, on liikuttava huomattavasti hitaammin. Toisin sanoen liikkuminen nopeasti kuormittaa lihaksia enemmän hiekalla, kuin kovalla alustalla.

Binnien ym. (2013) tutkimuksessa vertailtiin eripituisten intervallien vaikutusta laktaattiin, sykkeeseen ja koettuun rasitukseen (RPE) pehmeällä hiekalla ja ruohoalustalla suoritettuna. Intervalleja tehtiin kolme ja ne molemmat suoritettiin identtisellä tavalla, ainoana erona juoksualusta. Laktaatti kasvoi hiekalla juostessa enemmän ja RPE oli jokaisen intervallisarjan jälkeen korkeampi hiekalla tehdyissä intervaleissa. Sykkeet olivat myös n. 10-20 bpm korkeammat jokaisen sarjan jälkeen.



### 3 HERMOLIHASJÄRJESTELMÄN VÄSYMYS

Hermolihasjärjestelmään kuuluvat aivot, hermosto sekä hermolihasliitoksella ääreisherموihin kytketyneet lihakset. Hermolihasjärjestelmän väsymys tarkoittaa harjoituksen aiheuttamaa lihasten alentunutta kykyä tuottaa voimaa tahdonalaisesti. Voimatason laskua voivat aiheuttaa muutokset periferiassa, hermo-lihasliitoksessa, lihaksessa tai keskushermostossa. (Gandevia 2011.) Hermolihasjärjestelmän väsymykseen voivat vaikuttaa myös metaboliset tekijät, kuten happamuuden kertyminen sekä psykologinen tila, kuten virittyneisyys (Enoka 2008, 332). Väsymystä voidaan mitata mm. mittaamalla maksimaalista voimantuottoa, maksimaalista supistusnopeutta tai tehoa.

#### 3.1 Lihaksiston väsymys

Metabolisia muutoksia ovat esimerkiksi kalsiumin, vetyionien, epäorgaanisten fosfaattien sekä reaktiivisten happi (ROS) ja typpi (RNS) yhdisteiden kertyminen. Tämän seurauksena poikkisiltojen muodostuminen heikkenee, mikä johtaa supistusnopeuden hidastumiseen ja hermolihasjärjestelmän suorituskyvyn heikkenemiseen. Lisäksi muutokset ATP- (adenosiinitrifosfaatti) ja ADP-pitoisuuksissa (adensosiinidifosfaatti) vaikuttavat oleellisesti väsymysprosessiin. (Gardiner 2011, 63.)

Välittömien energianlähteiden heikkeneminen johtaa ATP- ja ADP-pitoisuuksien muuttumiseen. Näiden välittömien energianlähteiden saatavuus ja palautuminen riippuu beach volleyssa pelattavien intervallien välisten lepojaksoiden kestosta. 5-10 sekunnin suorituksen jälkeen tulisi palautusta olla 30 s, jotta varastot palautuisi (McArdle ym. 2015, 486). Häyrisen ja Tampourtauksen (2012) lajiantalyysin mukaan intervallien väliset tauot on keskimäärin 20 s. Tällöin ATP:n saatavuus voi pelin myötä heiketä, vaikuttaen ADP-määrän lisääntymiseen ja näin suorituksen heikkenemiseen.

Suorituskyvyn heikkeneminen ADP-määrän lisääntyessä ei välttämättä liity suoraan ADP-pitoisuuden nousuun. Lyhyissä intensiivisissä suorituksissa PCr:n ja ATP:n pilkkomisen seurauksena epäorgaaninen fosfaattien määrä kasvaa. Lyhytkestoisissa intensiivisissä

intervallityyppisissä kuormituksissa epäorgaanisten fosfaattien määrä voi olla merkittävin vaikuttava lihaksiston väsymyksen aiheuttaja. (Schwane ym. 1983.) Epäorgaanisten fosfaattien kuten  $P_i$ :n kertyessä supistuvan komponentin toiminta heikkenee ja se voi vaikuttaa kalsiumin vapautumiseen sarkoplasmisesta reticulumista (Allen & Trajanovska 2012).

Kuormituksen aikana myös glykogeenivarastot voivat hiljalleen tyhjäntyä. Kun energian tuottaminen välittömien energianlähteiden avulla heikkenee, täytyy energiaa tuottaa myös glykolyyttisen aineenvaihdunnan kautta. Glykogeenivarastot heikentyvät vähitellen suorituksen aikana. Suorituksen keston tulisi kuitenkin olla useita tunteja, ennen kuin glykogeenivarastojen riittävyys tulisi suoritusta rajoittavaksi tekijäksi. Tästä syystä glykogeeni ei ole beach volley ottelun aikana rajoittava tekijä. (Kenney ym. 2015, 134-135.)

Anaerobisessa energia-aineenvaihdunnassa syntyy sivutuotteena maitohappoa, joka hajoaa lihaksissa laktaatti- ja vetyioneiksi. Laktaattia ja vetyä syntyy siis samassa suhteessa. Laktaattiarvoja mittaamalla saadaan tietoa anaerobisen energia-aineenvaihdunnan tasosta. Laktaatti pystytään uudelleenkäyttämään lihaksissa, mikäli sitä ei kerry liikaa. Jos kuormituksen intensiteetti kuitenkin kasvaa korkeammaksi alkaa laktaatti kertyä elimistöön. Suoritusta voimakkaasti rajoittava tekijä on kuitenkin lihaksen vetyionien kertymisen (pH laskee) seurauksena lisääntynyt happamuus. (McArdle ym. 2010, 163–164; Mero ym. 2004, 98–99.)

Laktaatin siirtyminen myös lihaksiin kiihtyy, kun veren laktaattipitoisuus nousee. Tällöin laktaattia kasautuu myös lihaksiin. Kun harjoituksen intensiteetti nousee kasvaa myös II-tyyppin lihassolujen aktivointi, jolloin laktaatintuotto kiihtyy entisestään. (Mero ym. 2004, 98–99.) Laktaatin kertyminen vereen kertoo vetyionien vapautumisesta ja toimii epäsuorana mittarina pH:n laskemiselle (Robergs ym. 2004).

Happamuuden lisääntymisen vaikutukset väsymykseen ovat moninaiset. Matalampi pH inhiboi useita metabolisia prosesseja ja vaikuttaa voimantuottokykyyn ja lihaksen supistumisnopeuteen. Hermostollisia tekijöitä käsitellään myöhemmissä kappaleissa. (Edman & Mattiazzi 1981; Brody ym. 1991; Linderman & Gosselink 1994; Siegler ym. 2013.)

Myöhemmissä tutkimuksissa on kuitenkin osoitettu, ettei pH:ta nostavalla natriumbikarbonaattilisällä ( $\text{NaHCO}_3$ ) saatu aikaan muutoksia uupumukseen asti tehdyn suorituksen kestoon (time to failure) tai maksimivoiman heikkenemiseen. Voimantuottoaika oli kuitenkin nopeampi, kun pH:ta nostettiin  $\text{NaHCO}_3$ -lisällä. (Siegler ym. 2013.) Vety-ionikonsentraatio vaikuttaa useiden elimistön entsyymiprosessien aktiivisuuteen negatiivisesti (Guyton & Hall 2006, 379.)

Elimistö pyrkii ylläpitämään normaalia pH:ta eri fysiologisten reittien kautta: kemiallisten ja fysiologisten. Kemiallisia puskureita ovat happo-emäspuskurit, kuten bikarbonaattisysteemi. Elimistön fysiologisissa prosesseissa happamuutta puskuroidaan hengityksen ja munuaisten avulla. (Guyton & Hall 2000, 347.) Kun happamuus kasvaa se vaikuttaa myös oleellisesti energiantuottoreitteihin, sillä vetyionien ja laktaatin kasautumisen on todettu olevan yhteydessä fosfofrukto- ja laktaattidehydrokinaasiaktiivisuuteen, joilla on keskeinen rooli glykolyttisessä energia-aineenvaihdunnassa. (Spriet 1995; Tesch 1978; Tesch ym. 1985.)

### **3.2 Keskushermoston väsymys**

Keskushermoston väsymystä kuvaa tahdonalaisen aktiivisuuden lasku suorituksen aikana tai suorituksen jälkeen. Se tarkoittaa keskushermoston heikentyntä kykyä aktivoida lihaksia tahdonalaisesti. (Gandevia 2011.) Keskushermoston väsymys voi johtua mm. heikentyneestä motoneuronien herkkyydestä, heikentyneestä supraspinaalisesta aktivoinnista tai kasvaneesta sentraalisesta inhibitiosta (Gardiner 2011, 83-100). Aivoista lähtevä viesti kulkee lihaksiin laskevaa rataa pitkin. Keskushermoston väsymys voi johtua muutoksesta jossain laskevan radan osassa tai motorisen kuoren heikentyneestä kyvystä lähettää signaalia (Enoka 2012, 333-335).

Søgaard ym. (2006) selvittivät tutkimuksessaan kyynärnivelen koukistuksessa tapahtuvan uupumuksen syitä supraspinaalisella tasolla ja paikallistivat väsymyksen motoriselle aivokuorelle. Mikäli motoriselta kuorelta lähtevä käsky on puutteellinen, voidaan keskushermostossa vahvistaa tätä signaalia esimerkiksi lisäämällä käytettäviä motorisia yksiköitä tai ottamalla käyttöön synergistejä (Enoka 2012, 337). Eri intensiteetin

kuormituksissa on kuitenkin havaittu suuria eroja tahdonalaisen aktiivisuuden muutoksissa, joiden avulla keskushermoston väsymystä voidaan havainnoida. (Gardiner 2011, 97).

EMG-aktiivisuus lihaksissa laskee submaksimaalisen kuormituksen jatkuessa pitkään. Tämä johtuu uusien motoristen yksiköiden aktivoinnista, jolloin lihasaktiivisuus jakaantuu tasaisemmin koko lihakseen. Kun uusia motorisia yksiköitä aktivoidaan, motoneuronialtaan ärsyyntyvyys kasvaa. Motoneuronialtaan ärsyyntyvyyden kasvu voi vaikuttaa voimantuottoon myös positiivisesti, kun hermoimpulssit pääsevät helpommin läpi. (Garland ym. 1994.) Samanaikaisesti suurimmassa osassa aktivoituista motorisista yksiköistä syttymistiheys laskee. Kuitenkin varsinkin myöhemmin aktivoituissa yksiköissä saattaa ilmetä syttymistiheyden kasvua. (Garland ym. 1994.)

Beach volley -pelin aikana syntyvästä hermostollisesta väsymyksestä ei ole vielä tutkimuksia, mutta esimerkiksi jalkapallo-ottelun aikana on huomattu tahdonalaisen aktiivisuuden laskua (Goodall ym. 2017). Vastaavasti Placen ym. (2004) tutkimuksessa huomattiin juoksuosuorituksessa tahdonalaisen aktiivisuuden laskua vasta neljän tunnin juoksemisen jälkeen. Beach volley ottelu kestää ainoastaan tunnin, joten näitä tutkimuksia ei voida suoraan vertailla. Kuten jo luvussa 2.3.2 esitetty Magalhaes ym. (2011) huomasivat tutkimuksessaan beach volley -ottelun vaikuttavan nopeusominaisuuksiin. Tutkimuksessa ei kuitenkaan paikallistettu väsymyksen aiheuttajaa hermoston tai lihasten tasolla, joten on mahdotonta sanoa oliko väsymys keskushermostosta aiheutuva.

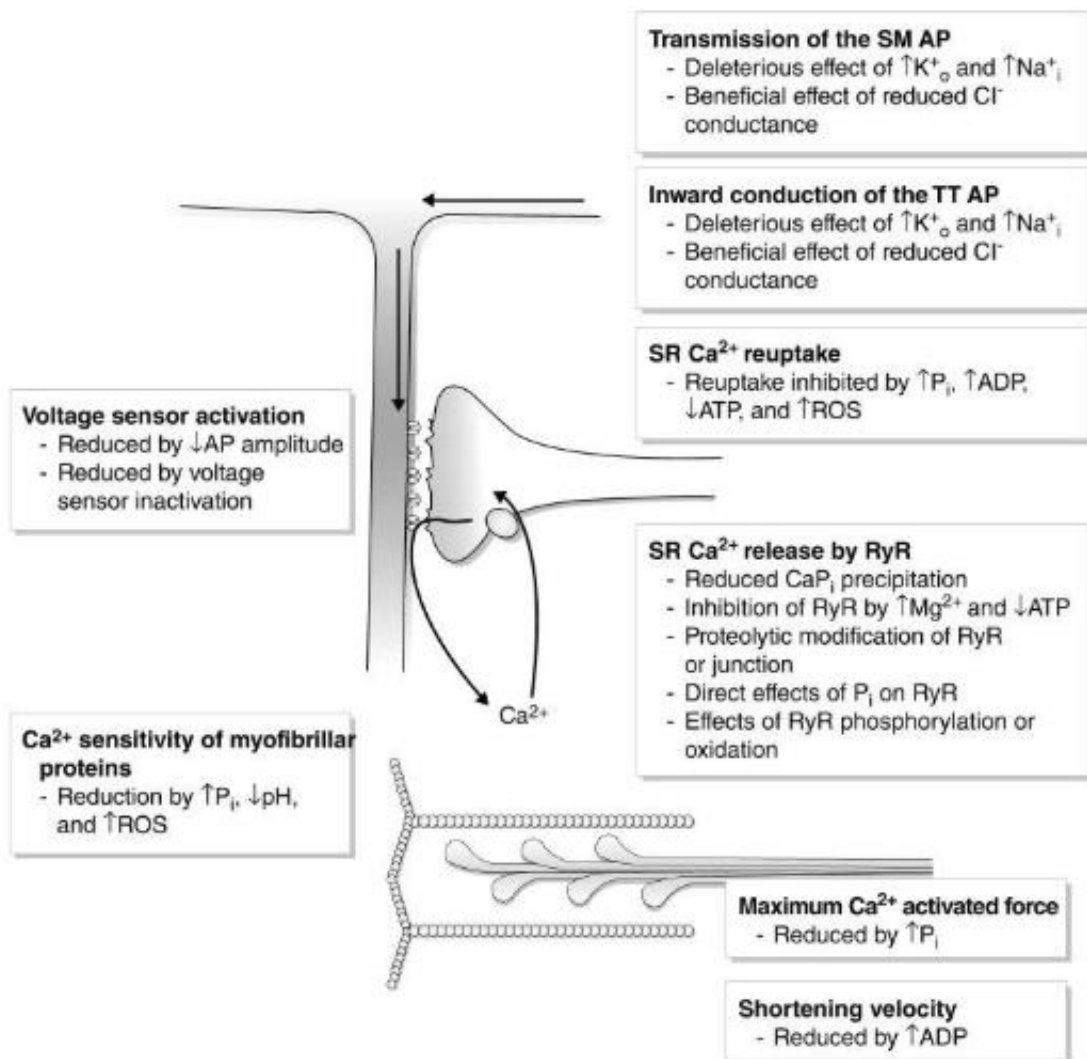
### **3.2 Ääreishermoston väsymys**

Ääreishermoston väsymys tarkoittaa väsymystä, joka johtuu muutoksista hermo-lihasliitoksessa tai sen distaalaisella puolella (Gandevia 2011). Näitä muutoksia voivat olla heikentynyt ärsytys-supistus-kytkennän toiminta, ATP:n saantia ja poikittaissiltojen toimintaa heikentävät metaboliset muutokset, sekä riittämätön verenvirtaus lihakseen (Enoka 2012, 342-348). Kuvassa 1 on esitettyinä keskeisimmät ääreishermoston väsymykseen vaikuttavat tekijät.

Ärsytys-supistuskytkenällä tarkoitetaan aktiopotentiaalin muuttamista hermo-lihasliitoksen kautta lopulta lihasvoimaksi. Aktiopotentiaali kulkee hermo-lihasliitoksesta sarkolemmaa pitkin t-tubuluksiin ja vapauttaa kalsiumia sarkoplasmisesta retikulumista. Tämän jälkeen kalsium aktivoi aktiini- ja myosiinifilamenttien liukumista toistensa lomaan aiheuttaen lihassupistuksen. Kaikkia näitä prosesseja säätelevät eri muuttujat, joissa voi väsymyksen myötä tapahtua muutoksia. (Enoka 2012, 344.) Osa näistä tekijöistä liittyy ääreishermoston toimintaan ja osa lihaksiston väsymykseen, jota käsittelemme aikaisemmin.

Allenin ym. (2008) mukaan myös kalsiumilla on merkittävä rooli ääreishermoston väsymyksessä. Kaliumin kertyminen t-tubuluksiin, ATP-pitoisuuden lasku sekä magnesiumipitoisuuden nousu voivat aiheuttaa kalsiumkanavien aukeamisen, jonka seurauksena epäorgaaniset fosfaatit reagoivat kalsiumin kanssa. Cairns ja Lindinger (2008) tutkivat ionipitoisuuksien vaikutusta hermo-lihasjärjestelmän toimintaan ja huomasivat kaliumin kertyvän soluvälitilaan aiheuttaen solukalvon ärsyyntyvyyden laskua. Vastaavasti solun sisäinen natriumpitoisuus kasvaa. Sen vaikutus hermolihaskäytännön väsymykseen on kuitenkin epäselvää. Vety- ja fosfaatti-ionien lisääntymisen on näiden muutosten siivittämänä aiheuttavan myös natrium-kaliumpumpun toiminnan heikkenemistä vaikuttaen oleellisesti lihaksen supistumisprosessiin (Green 1995).

Väsymyksen myötä hermolihaskäytännössä voi syntyä ongelmia aktiopotentiaalin siirtämisessä lihaskalvolle. Tämä voi johtua esimerkiksi välittäjäaineiden, kuten asetyylikoliinin erityisherkkyydestä tai vastaavasti kalvon reseptorien adaptoitumisesta välittäjäaineelle. Mikäli hermoimpulssia ei saada siirrettyä lihaskalvolle normaalilla tavalla, lihaksen toiminta vaikeutuu. (Gardiner, 2011, 79.) Laktaatin kertyminen lihaksiin voi myös stimuloida III- ja IV-afferenttien toimintaan, jolloin motoneuroneita inhiboidaan ja niiden refleksiherkkyys laskee (Avela 1998; Green 1995). Lihasspindelin aktiivisuudessa on myös havaittu laskua, jonka myötä afferentin eksitoiva vaikutus heikkenee. Tällä vaikuttaisi olevan selkeä rooli lihassupistuksessa erityisesti pidempikestoisessa kuormituksessa. (Macefield ym. 1991.)



KUVA 1. Lihäsväsymyksen päämekanismit ääreishermostossa. SM, sarkolemma; AP, aktiopotentiaali; TT, t-tubulus; SR, sarkoplasminen retikulum; RyR, ryanodine reseptori (Gardiner, 2011).

### 3.4 Hermolihasjärjestelmän väsymyksen mittaaminen

Hermolihasjärjestelmän väsymyksen mittaamiseen on kehitetty useita keinoja. Tarkemmin lihasten tasolla voidaan tarkastella mittaamalla esimerkiksi EMG-aktiivisuutta rasitetuista lihaksista. Tällöin saadaan selville lihasaktiivisuuden muutokset kuormituksessa, muttei voida paikallistaa aiheuttajaa. Transkraniaalisen magneettistimulaation avulla voidaan paikallistaa

tarkemmin, missä hermoston osassa väsymys ilmenee. Hermoa voidaan stimuloida motoriselta kuorelta, kortikospinaaliselta radalta tai ääreishermoston puolelta esimerkiksi yläraajaan lähtevän hermopunoksen kohdilta. Stimulointi voidaan kohdistaa myös suoraan lihakseen, jolloin mitataan hermolihasliitoksen distaalisen puolen muutoksia. (Enoka 2012, 333.)

Helppoin tapa mitata hermolihasjärjestelmässä tapahtuvia muutoksia on kuitenkin mitata voimantuotossa tapahtuvia muutoksia. Isometrinen voimantuottotesti on yleisesti käytetty testi kuvaamaan hermolihasjärjestelmän voimantuotossa tapahtuvia muutoksia. Kevennyshyppy taas kuvastaa tarkemmin myös kineettisiä muutoksia, kun voimalevyllä tehtävästä hypystä saadaan hyppykorkeuden lisäksi informaatiota konsentrisen ja eksentrisen vaiheiden voimantuotosta ja kestoista. Kevennyshyppy on tutkimusten perusteella hyvä testi kuvaamaan hermo-lihasjärjestelmän väsymystä kuormituksessa (Heishman ym. 2018). Nopeusominaisuuksien mittaamiseen myös erilaiset sprintit, suunnanmuutostestit tai reaktiotestit ovat hyviä kuvaamaan hermo-lihasjärjestelmässä tapahtuvia muutoksia väsymyksen myötä, kuten Magalhaesin z.m. (2010) tutkimuksessa.

Ylävartalon voimantuoton mittaamiseen käytettäviä testejä ovat esimerkiksi kuntopalloilla tehtävät heitot, joista voidaan mitata mm. pituutta. Heittosuoritus on kuitenkin melko kompleksi ja tekninen suoritus ja tästä syystä kuntosaliliikkeet ovat paremmin vakioitavissa. Garcia- Ramos ym. (2018) tutkivat perinteisen penkkipunnerruksen ja ballistisen penkkipunnerruksen luotettavuutta ja toistettavuutta kuvaamaan teho- ja voimaominaisuuksien muutoksia kuormituksen aikana ja totesivat ballistisen penkkipunnerruksen kuvaavan paremmin muutoksia etenkin teho-ominaisuuksissa.

#### 4 TUTKIMUSKYSYMYKSET JA HYPOTEESI

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, millaisia vaikutuksia kahdella saman päivän aikana pelatulla beach volley -ottelulla on hermolihäsjärjestelmän suorituskykyyn.

*Tutkimuskysymys 1:* Vaikuttaako kaksi beach volley -ottelua hermolihäsjärjestelmän suorituskykyyn?

*Hypoteesi 1:* Beach volley-ottelu vaikuttaa hermolihäsjärjestelmän suorituskykyyn.

Hermolihäsjärjestelmässä voi tapahtua väsymystä beach volley -ottelussa. Magalhaesin ym. (2011) tutkimuksessa havaittiin, ettei kevennyshypyssä tapahtunut yhden pelin seurauksena juurikaan muutoksia, mutta 7,5 m ja 15 m sprintin sekä isometrisen jalkojen ojennusvoiman huomattiin heikkenevän. Tutkimuksessa pelattiin kuitenkin ainoastaan yksi beach volley -ottelu, jolloin kokonaisen pelipäivän kuormittavuutta ei voida tutkimuksen perusteella arvioida. Lisäksi tutkimuksessa arvioitiin ainoastaan maksimaalisen yhden kevennyshyppytoiston muutosta. Tässä tutkimuksessa kevennyshyppysuoritusta kuvataan myös kolmen hypyn sarjalla, jotta väsymyksestä saataisiin tämän myötä tarkempaa dataa.

*Tutkimuskysymys 2:* Millaisia eroja beach volley-ottelun kuormittavuudessa on torjuvien ja puolustavien pelaajien välillä?

*Hypoteesi 2:* Beach volley -ottelut ovat kuormittavampia torjuville pelaajille.

Palaon ym. (2015) analyysin mukaan torjuvalle pelaajalle hyppyjä tulee erässä keskimäärin 37, kun taas puolustavalle 27. Erikoistumattomalle pelaajalle hyppyjä erässä tulee keskimäärin 29. Kolmieräisen pelin aikana pelaajien sykkeet olivat 34 % pelin ajasta yli 80 % maksimisykkeestä (Magalhaes ym. 2011). Torjuva pelaajan sykkeet ovat lajianalyysin mukaan hieman korkeammat (78-89 % HRmax) kuin puolustavan (66-78 % HRmax) (Jimenez-Olmedo ym. 2017). Tässä tutkimuksessa vertaillaan myös laktaattieroja torjuvien ja puolustavien pelaajien kesken.



## 5 TUTKIMUSMENETELMÄT

### 5.1 Tutkittavat

Tutkimus tehdään yhteistyössä Suomen beach volley -maajoukkueen kanssa (n=8), josta tutkimukseen osallistuu neljä kansainvälisellä tasolla pelaavaa naisurheilijaa, sekä neljä kansallisen tason kärkipelaajaa. Tutkittaville kerrottiin tutkimuksen tarkoituksesta ja tavoitteista sekä tutkittavien oikeuksista. Myös tutkittavien saamat hyödyt testi- ja mittaustuloksista käytiin läpi. Tämän jälkeen tutkittavat allekirjoittivat kirjallisen suostumuksen tutkimukseen osallistumisesta. Lisäksi ennen testejä jokainen urheilija täytti esitietolomakkeen ja terveystarkastuksen, jossa käytiin läpi mahdolliset vasta-aiheet tutkimukseen osallistumiselle. Tutkittavien tiedot on esitetty taulukoissa 1 ja 2.

TAULUKKO 1. Koehenkilöiden ikä, pituus ja paino (keskiarvo  $\pm$  SD)

Ikä	SD	Pituus (cm)	SD	Paino (kg)	SD
23	$\pm 6$	178,3	$\pm 3,1$	70,2	$\pm 3,5$

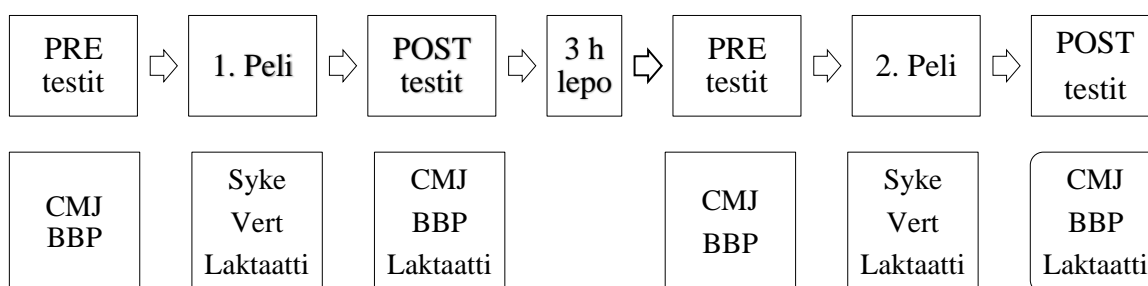
TAULUKKO 2. Koehenkilöiden ikä, pituus, paino ja maksimisyke.

KH	Ikä	Pituus (cm)	Paino (kg)	Max Syke* (bpm)
1	18	175	69	195
2	23	174	62	206
3	20	177	73	204
4	21	177	69	191
5	22	182	73	200
6	39	182	72	181
7	26	177	71	198
8	18	182	72	199

\*mitattu kestävyyskulajuoksen aikana

## 5.2 Tutkimusasetelma

Tutkimus suoritettiin yhden päivän aikana Helsingissä Hiekka beach volley -hallissa. Koehenkilöt pelasivat päivän aikana kaksi kolmen erän ottelua (kansainvälisen ja kansallisen tason pelaajat omina peleinään). Pelien välissä oli kolme tuntia palautumisaikaa. Kaksi ensimmäistä erää pelattiin 21 pisteeseen ja kolmas 15 pisteeseen. Tutkittavilta mitattiin muuttujia pelejä ennen (PRE 1 ja 2) ja välittömästi pelien jälkeen (POST 1 ja 2). Tutkimuksen kulku on esitetty kuviossa 1. Testipatteristoon kuului kevennyshyppysarja voimalevyllä (AMTI Model ACP), ballistinen penkkipunnerrus tangolla, josta mitattiin huipputehoa tehonmittauspotentiometrillä (MuscleLab model 6000). Lisäksi pelin aikana mitattiin sykettä (Suunto t6-mittari) ja hyppyjen määrää (VERT-laitteisto). Laktaattimittaukset tehtiin ennen peliä, jokaisen erän lopussa, välittömästi post-testien jälkeen ja viisi minuuttia post-testien päätyttyä Lactate plus -pika-analysaattorilla. Kaikki pelit videoitiin ja peli analysoitiin ja tilastoitiin Data Volley -ohjelmistolla, tilastoa ei ole kuitenkaan käytetty kandidaatin tutkielman tuloksissa.



KUVA 1. Tutkimuspäivän kulku ja kussakin vaiheessa suoritettavat mittaukset. CMJ, esikevennyshyppy; BBP, ballistinen penkkipunnerrus; PRE, ennen peliä; POST, pelin jälkeen.

### 5.2.1 Suorituskykytestit

Suorituskykytestit toistettiin välittömästi ennen peliä normaalin kovalla alustalla tehdyn beach volley-peliin valmistavan lämmittelyn jälkeen sekä välittömästi ottelun päätyttyä. Ensimmäisenä tutkittavilta mitattiin kevennyshyppy voimalevyllä. Tutkittavat suorittivat kaksi maksimaalista kevennyshyppyä 10 sekunnin palautuksilla, jonka jälkeen 10 sekunnin palautuksen jälkeen kolmen peräkkäisen hypyn sarjan. Kevennyshypyssä tutkittavan painon

tuli olla molemmilla jaloilla ja käsien tuli pysyä lanteilla koko liikesuorituksen ajan. Kevennys suoritettiin koukistaen polvi- ja lonkkaniveltä. Kyykyn syvyydeksi ohjeistettiin oma luonnollinen ponnistuskulma. Kevennyksen jälkeen tutkittava ohjeistettiin ponnistamaan välittömästi maksimaalisesti suoraan ylöspäin. Alastulo tapahtui polvet suorina ja päkiät edellä. Kevennyshyppysarjassa tutkittava suoritti kolme peräkkäistä kevennyshyppyä pysähtymättä hyppyjen välissä.

Voimalevymittausten jälkeen koehenkilö siirtyi ballistiseen penkkipunnerrukseen. Penkkipunnerrus tehtiin vapailla painoilla ja painona oli 20 kg tanko. Kaksi varmistajaa otti heitetyn tangon kiinni. Tehon mittaamiseen penkkipunnerruksessa käytettiin tehonmittauspotentiometriä (MuscleLab, Linear displacement sensor, Norja). Laitteessa oleva naru kiinnitettiin levytankoon, jonka avulla se mittasi tangon kulkemaa matkaa ja liikkeeseen kulunutta aikaa. Suorituksessa testattavalle annettiin ensin lupa irrottaa levytanko telineestä. Tämän jälkeen tutkija tarkasti, että tankoon kiinnitetty naru oli kohtisuorassa tehonmittauslaitteeseen. Käskyllä ”voi suorittaa” tutkittava sai aloittaa suorituksen omaan tahtiin kuitenkin niin, että tanko tuli laskea rauhallisesti rinnalle. Kun tanko kosketti rintaa, tutkittava ojensi yläraajat suoriksi mahdollisimman nopeasti heittäen tangon käsistä. Mittauksessa tutkittava suoritti kolme maksimaalista ojennusta. Tanko tuli laskea aina rauhallisesti rinnalle.

### **5.2.2 Verinäytteet**

Ennen peliä pelaajilta mitattiin veren laktaatti. Verinäyte otettiin tutkittavan nimettömän tai keskisormen päästä koehenkilön istuessa. Näyte otettiin jokaisen pelatun erän jälkeen. Erän päätyttyä koehenkilöt tulivat istumaan vaihtoaitioon. Näyte otettiin välittömästi koehenkilön istuuduttua. Laktaattimittareita oli käytössä kaksi, joten laktaatti otettiin ensin toiselta joukkueen pelaajalta ja sitten toiselta. POST-laktaattimittaukset otettiin välittömästi ensimmäisen erän päätyttyä, välittömästi POST-suorituskykytestien jälkeen, sekä viisi minuuttia POST-suorituskykytestien päätyttyä. Otteluiden ajaksi sormi suojattiin laastarilla ja urheiluteipillä, että sormenpää saataisiin pidettyä mahdollisimman puhtaana.

### 5.2.3 Pelin aikana kerättävä data

Ennen ottelun alkua kiinnitettiin VERT-laitteistot, jotka keräsivät koko ottelun ajan dataa pelaajien liikkeistä vertikaalisuunnassa. VERT-sensorit kiinnitettiin pelaajien lantiolle pelaajien peliasuun. Laitteistosta saatavasta datasta käytettiin informaatiota hyppyjen kokonaismäärästä. Lisäksi pelin aikana nauhoitettiin kaikkien pelaajien sykettä. Sykkeen mittaus tapahtui Suunto t-6 sykemittareilla. Sykevyöt kiinnitettiin urheilijoille ennen peliä. Mittaus käynnistettiin pelin alussa ja kellot kiinnitettiin verkkonauhaan pelin ajaksi. Pelin päätyttyä mittaus sammutettiin.

### 5.3 Aineiston analysointi

Tietokoneen analysointiohjelma (MuscleLab, Software Standard, Norja) antaa ballistisesta penkkipunnerruksesta dataa tangon liikkeestä, nopeudesta sekä tehosta. Muscle lab-analysointiohjelmalla saadusta datasta käytettiin huipputehoa. Tutkittavat suorittivat kolme suoritusta, joista valittiin analysointiin tulos, jossa saavutettiin suurin huipputeho. Näitä muuttujia tutkimuksessa käytettiin ylävartalon hermolihasjärjestelmän voimantuotossa tapahtuvien muutosten kuvaamiseen.

Voimalevy-dataa analysoitiin Analyce (Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskus, Suomi) -ohjelmistolla. Kevennyshypyistä analysoitiin ohjelmalla kevennyshyppyjen korkeudet käyttämällä kahta eri parametria. Maksimaaliset hypyt analysoitiin kevennyshyppyparametrilla ja kolmen hypyn sarja toistohyppyparametrilla. Parametrien asettamat cursorit tarkistettiin hyppykohtaisesti ennen tulosten siirtämistä Excel-ohjelmistoon. Hyppykorkeuksien määrittämisessä käytettiin impulssin perusteella laskettua hyppykorkeutta. Kahdesta maksimaalisesta ponnistuksesta otettiin huomioon parempi hyppy ja kolmen hypyn sarjasta huonoin. Näistä hypyistä laskettiin, kuinka paljon hyppysarjan huonoin hyppy oli maksimaalista parasta hyppyä heikompi.

Sykemittareista data siirrettiin tietokoneelle ja analysoitiin Suunto training manager-sovelluksella, josta syke data saadaan 10 krt/s mitattuna. Sykeinformaatiosta analysoitiin

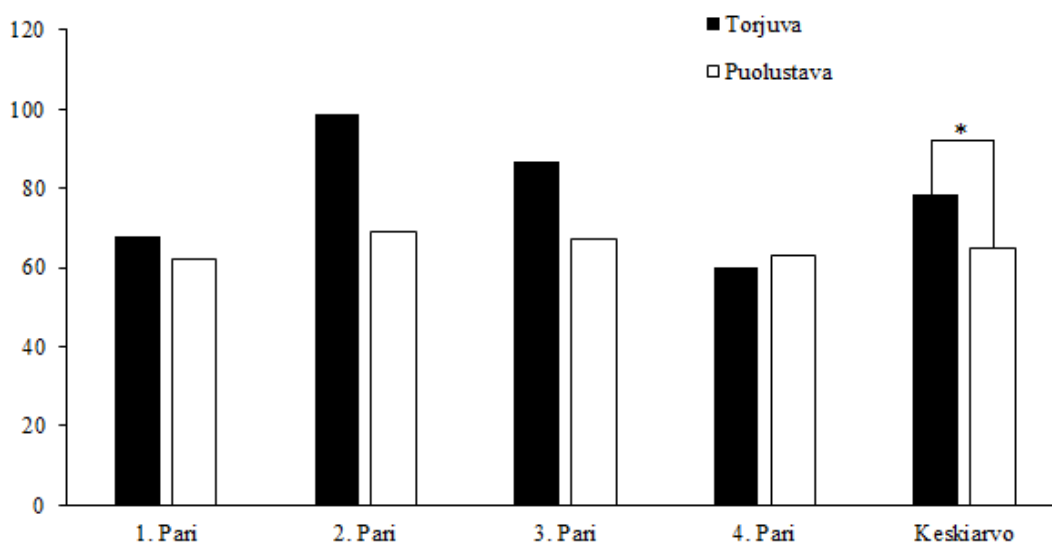
pelaajien maksimisykkeet ottelun aikana suhteutettuna absoluuttiseen maksimisykkeeseen, jotka pelaajilta oli selvitetty aikaisemmin tämän tutkimuksen ulkopuolella kestävyyssukkulajuoksu-testissä. Pelaajien maksimisykkeet on esitetty ylempänä taulukossa 2. Lisäksi määritettiin sykealueet, joilla pelaajat ovat ottelun aikana työskennelleet ja keskisyke pelin ajalta.

Laktaattinäytteet analysoitiin välittömästi mittaustilanteessa Lactate plus -pika-analysaattorilla.

Tulokset taulukoitiin Excel 2016 ohjelmalla, josta ne syötettiin IBM SPSS Statistics (versio 24) ohjelmaan. Tuloksista laskettiin ensin keskiarvot ja keskihajonnat. Ohjelmassa aineiston normaalijakautuneisuus tarkistettiin käyttäen SPSS:n Descriptive Statistics -komentoa. Aineisto oli normaalijakautunut. Koska tutkimuksen koehenkilömäärä oli alle 10, aineistoa analysointiin pienille aineistoille tarkoitetuilla ei-parametrisillä testeillä, josta valittiin Related-Samples -komennolla Friedmanin kaksisuuntainen varianssianalyysi. Tilastollisen merkitsevyyden rajana käytettiin  $p < 0,05$  arvoa.

## 6 TULOKSET

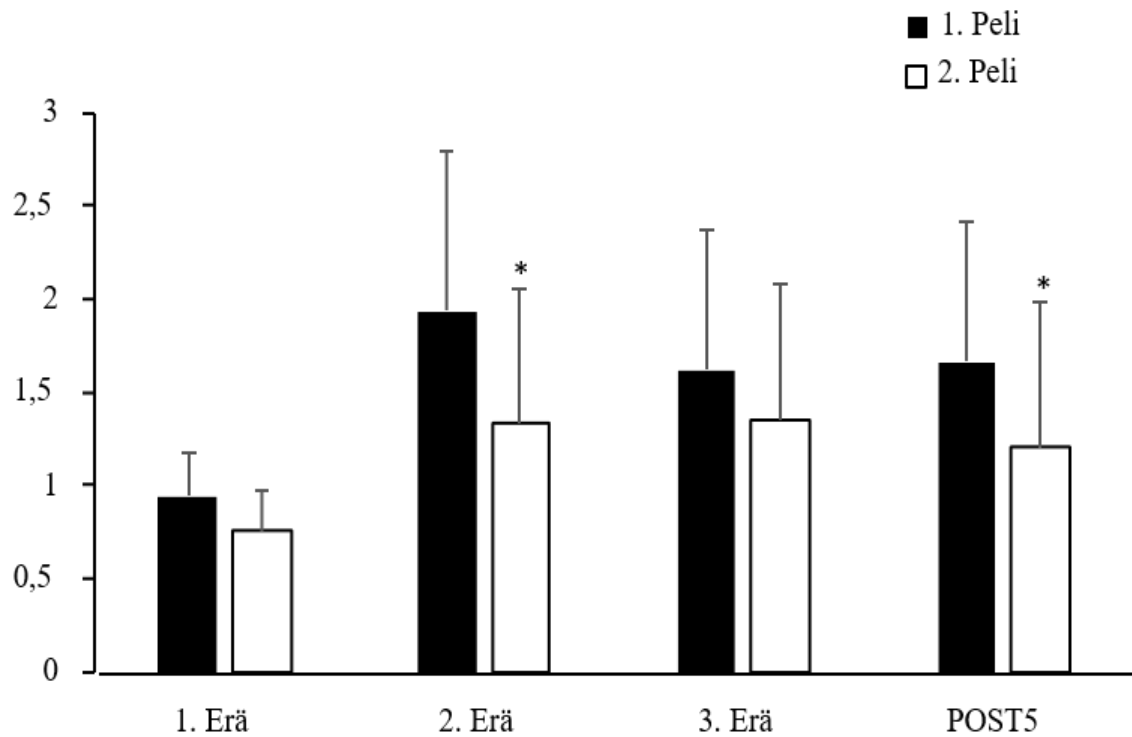
Hyppyjen määrät ensimmäisessä pelissä torjuvilla pelaajilla olivat 68, 99, 87 ja 60 ja puolustavilla 62, 69, 67 ja 63 (kuva 1). Keskiarvoisesti torjuvilla pelaajilla hyppyjä kertyi 79 ja puolustavilla 65. Aineiston pienuuden takia ero ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä ( $p=0,193$ ), vaikkakin hyppymäärien välinen ero puolustavien ja torjuvien pelaajien välillä oli 17 %.



\*keskiarvojen erotus 17 %

KUVA 1. Torjuvien ja puolustavien parien hyppymäärät

Laktaattipitoisuudet olivat pieniä ja tilastollisia eroja oli vähän (taulukko 1). Laktaatti oli molemmissa peleissä matalimmillaan ensimmäisen erän jälkeen (0,95 ja 0,76 mmol/l). Ensimmäisessä pelissä laktaatti nousi toiseen erään ollen toisen erän lopussa 1,95 mmol/l ja kolmannen erän lopussa hiukan matalampi 1,63 mmol/l. Laktaattiarvo ei ollut laskenut merkitsevästi viisi minuuttia pelin päätyttyä. Välissä suoritettiin tosin suorituskykytestit. Toisessa pelissä laktaatti oli korkeimmillaan kolmannen erän lopussa ollen 1,35 mmol/l. Toisen erän lopussa laktaatti oli 1,33 mmol/l. Ainoa tilastollinen merkitsevyys oli vertaillessa ensimmäisen ja toisen pelin arvoja keskenään toisen erän loputtua tehdyn mittauksen ja POST 5 mittauksen arvossa ( $p=0,032$  ja  $p=0,025$ ). (Kuva 2.)



KUVA 2. Laktaatti (mmol/l) erien lopussa ja viisi minuuttia pelin päätyttyä (keskiarvo  $\pm$  keskiahajonta). \*, merkitsevä ero ensimmäisen ja toisen pelin välillä, kun  $p < 0,05$

TAULUKKO 1. Laktaatti erien lopussa ja viisiminuuttia pelin päätyttyä.

Mittaus	PELI1		PELI 2		Ero (mmol/l)	Sig.
	Laktaatti (mmol/l)	SD	Laktaatti (mmol/l)	SD		
1. Erä	0,95	0,22	0,76	0,22	-0,19	0,307
2. Erä	1,95	0,85	1,33	0,72	-0,63	0,032*
3. Erä	1,63	0,74	1,35	0,74	-0,28	0,221
POST5	1,68	0,75	1,2	0,78	-0,48	0,025*

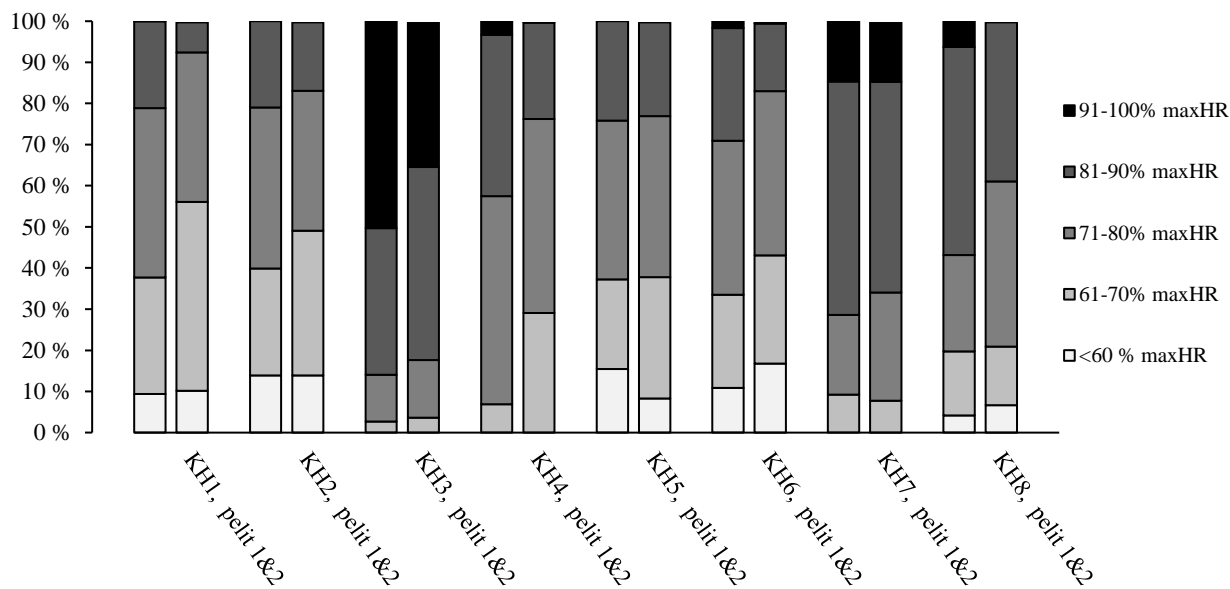
\* $p < 0,05$

Keskisyke ensimmäisen ottelun aikana oli pelaajilla  $152 \pm 15$  bpm ja maksimisyke  $179 \pm 11$  bpm. Toisessa ottelussa keskisyke oli  $147 \pm 16$  bpm ja maksimisyke  $177 \pm 10$  bpm. Pelien

välisissä eroissa ei havaittu tilastollista merkitsevyyttä. Torjuvien pelaajien sykkeet olivat sekä keskiarvojen, että maksimisykkeen perusteella korkeammat, kuin puolustavien. (Taulukko 2.)

TAULUKKO 2. Sykemuuttujien keskiarvot ja keskihajonnat

	PELI 1		PELI 2		Muutos
	Mean	SD	Mean	SD	
Keskisyke kaikki (bpm)	152	15	147	16	-5
Maksimisyke kaikki (bpm)	179	11	177	10	-2
Keskisyke torjuva (bpm)	161	12	158	14	-3
Keskisyke puolustava (bpm)	141	18	137	20	-4
Muutos-%					
Maksimisyke torjuva (bpm)	183	10	182	10	-1
Maksimisyke puolustava (bpm)	174	12	172	13	-2



KUVA 3. Sykkeen prosentuaaliset osuudet eri sykealueilla jokaisella koehenkilöllä aamu- ja iltapelin aikana.



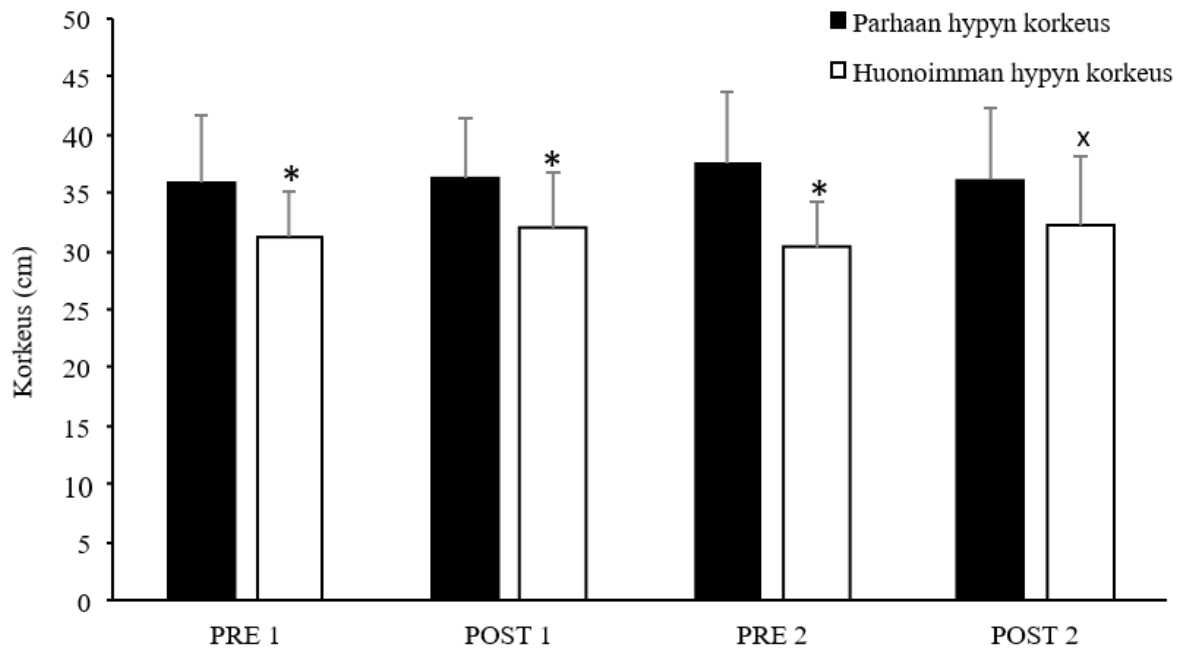
TAULUKKO 3. Sykkeen prosentuaaliset osuuden eri sykealueilla aamun ja illan ottelun aikana, torjuvalla sekä puolustavalla pelaajalla ja keskiarvoisesti kaikilla pelaajilla.

%-HRmax	< 60	61-70	71-80	81-90	> 91
Peli 1	7 %	24 %	35 %	28 %	6 %
Peli 2	7 %	17 %	33 %	34 %	10 %
Torjuva	4 %	13 %	27 %	41 %	15 %
Puolustava	9 %	28 %	41 %	22 %	1 %
Mean kaikki	7 %	20 %	34 %	31 %	8 %

Parhaiden hyppyjen välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa mittauskertojen välillä (taulukko 4). Hyppytuloksissa oli runsasta yksilöllistä vaihtelua (kuva 4). Parhaiden maksimaalisten hyppyjen korkeudessa oli ero suhteessa hyppysarjan huonoimpaan hyppyyn. (Kuva 3). Huonoin hyppy oli 3,9-5,8 cm matalampi, kuin paras hyppy. Muutoksissa ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja, eli POST tuloksissa hyppyt eivät heikentyneet enempää, kuin PRE mittauksissa.

TAULUKKO 4. Parhaiden kevennyshyppyjen korkeudet PRE - ja POST -mittauksissa ensimmäisessä ja toisessa pelissä (keskiarvot ja keskihajonnat)

	PRE	SD	POST	SD	Muutos
Peli 1	0,36	0,06	0,36	0,05	0,00
Peli 2	0,37	0,06	0,36	0,06	0,01

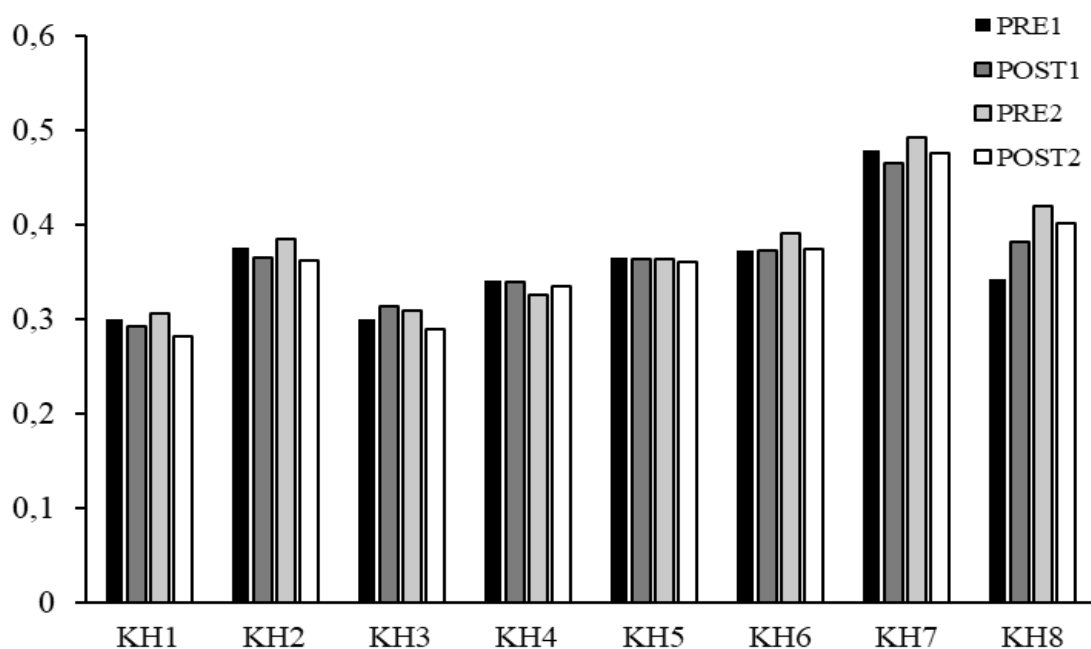


KUVA 4. Kevennyshyppyjen korkeudet (keskiarvot ja keskihajonnat) parhaassa maksimaalisessa hypyssä ja hyppysarjan huonoimmassa hypyssä kaikissa mittaustilanteissa. \*tilastollisesti merkitsevä ero huonoimman ja parhaan hypyn välillä, kun  $p < 0,01$ ; x, tilastollisesti merkitsevä ero huonoimman ja parhaan hypyn välillä, kun  $p < 0,05$ .

TAULUKKO 5. Kevennyshyppyjen korkeudet (keskiarvot ja keskihajonnat) parhaassa maksimaalisessa hypyssä ja hyppysarjan huoimmassa hypyssä kaikissa mittaustilanteissa.

	Parhaan hypyn korkeus	SD	Huonoimman hypyn korkeus	SD	Muutos	Sig*
PRE 1	35,9	5,6	31,1	3,9	-4,8	0,001**
POST 1	36,2	5,2	32,0	4,7	-4,2	0,008**
PRE 2	37,4	6,3	30,4	3,7	-7,0	0,001**
POST 2	36,0	6,2	32,2	5,8	-3,8	0,41*

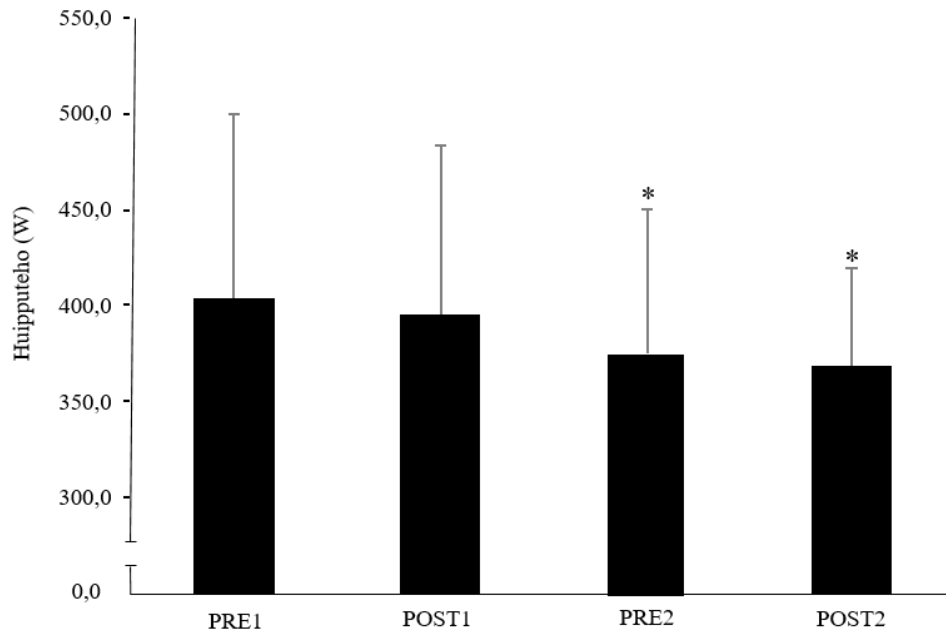
\*tilastollisesti merkitsevä kun  $p < 0,05$ ; \*\*tilastollisesti merkitsevä kun  $p < 0,01$



KUVA 5. Jokaisen koehenkilön parhaimpien kevennyshyppyjen korkeudet (m) eri mittauksissa (keskiarvot).

Ballistisessa penkkipunnerruksessa huipputeho heikkeni PRE 1 mittauksista POST 1 mittauksiin ja edelleen molempiin toisen pelin mittauksiin. Heikoimmat keskiarvot olivat POST

2 mittauksissa. PRE 2 ja POST 2 mittauksissa ballistisen penkkipunnerruksen huipputeho oli tilastollisesti merkitsevästi heikompi, kuin PRE-mittauksessa (kuva 6).



KUVA 6. Ballistisen penkkipunnerruksen huipputeho PRE - ja POST -mittauksissa ensimmäisessä ja toisessa pelissä. \*, tilastollisesti merkitsevä ero suhteessa PRE 1 mittaukseen  $p < 0,05$  (keskiarvot ja keskihajonnat).

## 7 POHDINTA

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää beach volley -pelipäivän vaikutusta suorituskykyyn, sekä tarkastella fysiologisia muutujia kahden saman päivän sisällä pelatun beach volley -ottelun aikana. Mittauspäivä sujui ongelmitta, joten tutkimuksesta saatuja tuloksia voidaan pitää siltä osin luotettavina. Seuraavissa kappaleissa on käsitelty tutkimuksessa löydettyjä tuloksia.

### 7.1 Otteluiden kuormittavuus

**Hyppymäärät.** Torjuvalle pelaajalle tuli keskimäärin 79 hyppyä ottelua kohden, kun taas puolustavalle ainoastaan 65. Torjuvan pelaajan hyppymäärä oli siis 17 % suurempi, kuin puolustavan. Suurin hyppymäärä torjuvalla pelaajalla yksittäisessä pelissä oli 99 hyppyä. Vain yhdellä parilla torjuvalle pelaajalle ei kertynyt suurempaa määrää hyppyjä. Suurempi hyppymäärä näyttäisi tämän tutkimuksen perusteella olevan linjassa kuormittavuuden kanssa. Palaon ym. (2015) analyysin mukaan torjuvalle pelaajalle hyppyjä tulee erässä keskimäärin 37, kun taas puolustavalle 27. Tämän tutkimuksen tulokset ovat linjassa Palaon ym. (2015) tutkimuksen kanssa.

**Sykemuuttujat.** Torjuvan pelaajan keskisyke oli keskiarvoisesti ensimmäisessä ottelussa  $161 \pm 12$  bpm ja toisessa  $158 \pm 14$  bpm. Puolustavalla pelaajalla syke oli keskiarvoisesti ensimmäisessä pelissä  $141 \pm 18$  bpm ja toisessa  $137 \pm 20$  bpm. Myös maksimisykkeet olivat 9 bpm korkeammat torjuvalla pelaajalla. (taulukko 2.) Torjuvien pelaajien maksimisyke oli 5 % ja keskisyke 14 % korkeampi, kuin puolustavien. Torjuva pelaajan sykkeet olivat myös Jimenez-Olmedon ym. (2017) lajianalyysin mukaan hieman korkeammat (78-89 % HRmax) kuin puolustavan (66-78 % HRmax). Magalhaesin ym (2011) tutkimuksessa pelaajien keskisyke oli 142, tässä tutkimuksessa keskisykkeet olivat hieman korkeammat:  $152 \pm 15$  bpm ensimmäisessä pelissä ja  $147 \pm 16$  bpm toisessa pelissä. Molemmissa edellä mainituissa tutkimuksissa tutkittavat olivat kaikki kansainvälisesti menestyviä miespelaajia, mikä voi selittää eron tähän tutkimukseen, jossa mukana oli myös kansallisen tason naispelaajia.

Magalhaesin ym. (2011) tutkimuksessa kolmieräisen pelin aikana pelaajien sykkeet olivat 34 % pelin ajasta yli 80 % maksimisykkeestä. Tässä tutkimuksessa pelaajien sykkeet olivat 39 % ajasta yli 80 % maksimisykkeestä. Myös torjuvien ja puolustavien pelaajien välillä huomattiin ero, joka on linjassa aikaisemman tieteellisen näytön kanssa (Jimenez-Olmedo 2017). Torjuvilla pelaajilla sykkeet olivat 41 % ajasta sykealueella 80-90 % maksimisykkeestä, kun puolustavilla vastaava prosentuaalinen osuus oli 22 %. Samansuuntainen ero huomattiin vertaillen <90 % maksimisykkeestä aluetta. Torjuvien pelaajien sykkeet olivat 15 % ajasta tuolla alueella, kun puolustavilla ainoastaan 1 %. Puolustavien pelaajien sykkeet olivat luonnollisesti prosentuaalisesti suuremman ajan vastaavasti <60 % ja 60-70 % maksimisykkeestä.

Edellä mainitut erot sykemuuttujissa voivat johtua suuremmasta hyppymäärästä torjuvilla pelaajilla, mikä johtaa helposti suurempaan kuormitukseen. Lisäksi torjuvien pelaajien tulee aloitussyötön jälkeen juosta takakentältä suoraan verkolle torjumaan, kun puolustava pelaaja voi pysyä jatkuvasti takakentällä. Koska tutkimuksessa ei kuitenkaan mitattu pelaajien kentällä liikkuvaa matkaa on mahdotonta arvioida, nouseeko torjuvan pelaajan kuljettu matka suuremmaksi, kun puolustavan.

**Laktaatti.** Laktaatti ei noussut merkittävästi yhdelläkään pelaajalla tai keskiarvoistettuna. Korkeimmillaan laktaattitulosten keskiarvo oli ensimmäisessä pelissä toisen erän jälkeen (1,95 mmol/l). Laktaattitulokset eivät kuitenkaan nousseet niin merkittävästi, että sillä olisi vaikutusta suorituskykyyn. Magalhaesin ym. (2011) tutkimuksessa saatiin samansuuntaisia tuloksia laktaatin suhteen. Laktaatti ei vaikuttaisi olevan suorituskykyä rajoittava tekijä beach - aikana. Merkittävää on kuitenkin, että sykkeiden perusteella pelaajat työskentelivät anaerobisesti, mutta laktaatit eivät silti nousseet. On kuitenkin mahdotonta sanoa, suoraan pelkästään sykkeiden perusteella miten pelaajien energiantuottotavat jakautuvat suorituksen aikana, sillä intervallityyppisessä kuormituksessa syke ei saavuta missään vaiheessa steady state -tasoa.

Sykettä ja laktaattia vertailtaessa huomataan, että sykkeiden perusteella työskennellään enemmän anaerobisella alueella, vaikka laktaatti ei nouse edes aerobisen kynnyksen yli. Beach

volley -ottelun aikana pallorallien kesto on kuitenkin melko lyhyt ( $6,9 \pm 4,2$  s), jolloin välittömien energianlähteiden rooli lyhytkestoisen intervallin aikana korostuu (Häyrinen & Tampuratzis 2012). PCr-systeemillä on tämänkaltaisissa lyhytkestoisissa suorituksissa merkittävä rooli (Mahon & Jenkins 2002). Lisäksi happamuuden kertyminen vaikuttaa entsyymiaktiivisuuksien laskun ja kalsiumaineenvaihdunnan kautta lihaksen funktioon ja PCr-varastojen palautumiseen (Sahlin ym. 1979).

Pisimmillään pallorallit ovat toki pidempiä, jolloin pidempien pallorallien jälkeen täytyisi saada välittömästi laktaattiarvot. Erän jälkeen otettu laktaatti kuvaa parhaiten viimeisten pallorallien kuormittavuutta. Laktaatin pysyessä matalalla voidaan todeta, että tauot pallorallien välissä ovat riittävän pitkiä lihakseen kertyvän anaerobisen aineenvaihdunnan sivutuotteiden poistamiseen puskurimekanismien kautta. Lisäksi ottelun aikana tuotetaan tulosten perusteella energiaa myös aerobisen energia-aineenvaihdunnan avulla.

Puolustavien pelaajien sykkeet olivat torjuvia pelaajia enemmän aerobisella alueella. Tällöin aerobisen aineenvaihdunnan osuus ottelun aikana korostuu näillä pelaajilla jopa enemmän. Valmennuksellisesti aerobisen aineenvaihdunnan kehittyminen mahdollistaa paremman hapen käytön suorituksen aikana, jolloin pelin kuormittavuus voi laskea. Beach volley -ottelun aikana pyrkimys olisi pystyä suoriutumaan ottelun lopussa samalla tasolla kuin ottelun alussa. Vaikka tutkimuksen perusteella laktaatti ei nouse merkittävästi, on harjoittelussa syytä keskittyä myös kestävyysharjoitteluun anaerobisen kynnyksen tuntumassa. Näin laktaatin sietokyky paranee, eikä laktaattia kerry niin helposti pidemmissäkään palloralleissa. (Londeree 1997.)

Aamupelissä laktaatit olivat korkeammat, kun iltapäivän pelissä (taulukko 1). Suurin ero oli toisen erän jälkeen mitatun laktaatin ja POST 5 -arvon välillä, jossa huomattiin tilastollisesti merkitsevä ero. Beach volley -ottelun aikaisia laktaatteja ei ole vertailtu aamun ja illan välillä, mutta esimerkiksi juosten tai pyöräillen tehdyistä intervallikuormituksista on tutkimuksia. Aikaisemman tutkimusnäytön perusteella näyttäisi siltä, että laktaattiarvoissa joko ei ole muutoksia tai laktaatti on korkeampi illalla aamuun verrattuna. (Bambaeichi ym. 2010, Racinaic ym. 2005, Souissi ym. 2007.) Souissin ym. (2007) tutkimuksessa huomattiin kuitenkin, että laktaattitasojen palautuminen oli hitaampaa aamulla, kuin iltapäivällä

suoritetussa kuormituksessa. Tämä voisi esimerkiksi selittää, miksi laktaatit olivat aamun pelissä hieman korkeammat. Keski- ja maksimisykkeiden perusteella pelit olivat kuitenkin kuormittavampia aamulla, joka voi tässä tapauksessa selittää korkeammat laktaatit aamulla (taulukko 2).

## 7.2 Suorituskykytestit

**Kevennyshyppy.** Kumpikaan beach volley -ottelu ei vaikuttanut merkittävästi kevennyshypyn korkeuteen. Magalhaes ym. (2011) huomasivat, ettei kevennyshyppy ollut heikentynyt kolmieräisen beach volley ottelun jälkeen. Tilastollisesti merkittävä eroa hyppykorkeuksissa ei ollut myöskään 3h pelatun ottelun jälkeen mitatuissa hyppyissä. Tulokset ovat samansuuntaisia, sillä minkään mittauskerran välillä tulokset eivät olleet heikentyneet. Tässä tutkimuksessa PRE 2 -mittaus vastaa kolme tuntia pelin jälkeen mitattua arvoa.

Koska hyppykorkeus ei ollut heikentynyt POST 2 -mittaukseenkaan voidaan todeta, että pelaajien kevennyshyppy pysyy muuttumattomana ainakin, kun testit suoritetaan kovalla alustalla. Lesinskin ym. (2016) tutkimuksessa havaittiin, ettei kevennyshyppy heikentynyt tilastollisesti merkittävästi enemmän epästabiililla alustalla suoritettuna verrattuna stabiiliin alustaan. Tässä tutkimuksessa kevennyshypyn muutoksissa oli kuitenkin paljon yksilöllistä vaihtelua. Osalla pelaajista tulokset jopa paranivat kohti POST2 -mittauksia, kun taas osalla kevennyshyppy heikkeni molempiin POST -mittauksiin.

Tutkimme absoluuttisen maksimaalisen kevennyshypyn lisäksi muutoksia hyppysarjassa. Kolmen hypyn sarjassa kevennyshyppyjen korkeudet olivat matalampia kuin maksimaaliset hyppyt. Vaikka hyppykorkeudet olivat kolmen hypyn sarjassa kaikissa mittauksissa matalammat, ei mittauskertojen välillä ollut tilastollista merkittävyyttä hyppykorkeuden heikentymisessä (kuvio 3). Beach volley -ottelun aikana yhden pallorallin aikana voi tulla useita hyppyjä, jolloin olisi tärkeää pystyä suoriutumaan peräkkäisistä hypyistä niin, ettei hyppykorkeus kärsi.



Lesinski ym. (2016) tutkivat kevennyshypyssä ja pudotushypyssä tapahtuvia muutoksia väsymyksen seurauksena. Tutkimuksessa havaittiin, että hyppykuormituksen seurauksena kevennyshyppy heikkeni keskimäärin 3 % ( $p < 0,001$ ) ja pudotushyppy 7 % ( $p=0,026$ ). Myös sormenpääverenäytteellä mitattu laktaatti nousi korkeammalle Lesinskin ym. (2016) tutkimuksessa ( $8,5 \pm 3,1$  mmol/l) kuin tässä tutkimuksessa ( $1,95 \pm 0,86$  mmol/l). Koska laktaatti oli noussut merkitsevästi lepoarvosta, Lesinskin ym. (2016) tutkimuksessa voidaan puhua perifeerisetä väsymyksestä lihaksistossa laktaatin nousun ja sen myötä vedyn aiheuttaman happamoitumisen lisääntymisenä. Tässä tutkimuksessa laktaatti ei noussut, jonka myötä happamuuttakaan ei pääse lihaksistoon kertymään. Koska tutkimuksessa ei tutkittu myöskään muutoksia CRP- ja kreatiinikinaasiarvoissa ei pystytä kevennyshypyn heikkenemistä selittämään tarkasti.

Koska beach volley -ottelussa pallorallien kesto on melko lyhyt ja tauot huomattavasti pallorallien kestoja pidemmät, energiaa saadaan suurelta osin välittömistä energianlähteistä. Tästä syystä näiden energianlähteiden saatavuus tulisi olla mahdollisimman hyvä. Kreatiinilisän käyttö kasvattaa tutkitusti kreatiinifosfaattivarastojen kokoa ja parantaa sitä kautta kevennyshypyn korkeutta (Koenig ym. 2008, Lamontagne-Lacasse ym. 2011a). Kevennyshyppyjen korkeudet laskivat kaikilla koehenkilöillä kolmen toistetun hypyn sarjassa tilastollisesti merkitsevästi.

Koenig ym. (2008) tutkimuksessa huomattiin, että kreatiinilisän avulla saatiin ylläpidettyä hyppyjen korkeutta kymmenen toistetun hypyn aikana. Hyppyjen korkeudet jopa nousivat kohti sarjan loppua. Placebo-ryhmällä hyppyjen korkeudet alkoivat laskea jo ensimmäisen hypyn jälkeen progressiivisesti kohti viimeistä hyppyä. Myös Lamontagne-Lacassen ym. (2011a) tutkimuksessa huomattiin kreatiinilisän parantavan toistohyppytestin tuloksia verrattuna placeboon. Kubotan ym. (2003) tutkimuksessa huomattiin jo kuuden päivän kreatiinilisällä olevan positiivinen vaikutus kevennyshyppyjen korkeuteen.

**Ballistinen penkkipunnerrus.** PRE- ja POST-mittauksia vertailtaessa ballistisessa penkkipunnerruksessa löydettiin tilastollisesti merkitsevää heikkenemistä. Huipputeho penkkisuorituksissa heikkeni päivän edetessä PRE 1-mittauksista joka mittaukseen. Parhaat

tehot. Ballistisen penkkipunnerruksen huipputehon lasku kuvastaa ylävartalon heikentyntä voimantuottokykyä. Aikaisemmissa beach volley -tutkimuksissa ei ole huomioitu suorituskykytesteissä ylävartalon voimantuottoa, joten tämä vaatii lisätutkimuksia. Koska ylävartalon voimantuottoa ei ole tutkittu tämänkaltaisissa ottelusimulaatioissa aikaisemmin, on hankala löytää selittäviä mekanismeja.

Escamillan ja Andwesiin (2009) tutkimuksessa selvitettiin olkapään liikkeisiin vaikuttavien lihaksien aktiivisuutta lentopallo iskulyönnin ja syötön aikana. Lihasten aktiivisuus vaihteli luonnollisesti riippuen liikkeen vaiheesta, mutta suurimmat lihasaktiivisuudet kiihtyvässä suorituksen vaiheessa löydettiin isosta ja pienestä liereälihaksesta ja suuresta rintalihaksesta. Iskulyönnin aikana ison rintalihaksen lihasaktiivisuus vastasi 59 % maksimaalisen isometrisen tahdonalaisen supistuksen aikaisesta maksimi EMG:stä. Ballistisessa penkkipunnerruksessa rintalihaksen EMG-aktiivisuus oli 70 % maksimi EMG-aktiivisuudesta (1 RM EMG) (Newton ym. 1996). Newtonin ym. (1996) tutkimuksessa ei kuitenkaan mitattu esimerkiksi kiertäjäkalvosimen lihasten aktiivisuuksia. Ison rintalihaksen ollessa kuitenkin iskulyöntisuorituksessa merkittävin voimantuottaja, voidaan ballistista penkkipunnerrusta ajatella pätevänä metodina kuvaamaan beach volley - tai lentopallo -ottelun aikaisia muutoksia ylävartalon voimantuottokyvyssä.

### **7.3 Virhelähteet ja tulevaisuuden sovellukset**

Otanta tässä tutkimuksessa oli melko pieni. Koehenkilöiden vähyyden takia myös tilastollisen merkitsevyyden saaminen tuloksiin heikkenee. Lisäksi koehenkilöiden välillä oli melko suuria tasoeroja suorituskykytesteissä. Tulevaisuuden tutkimuksissa pitäisi pyrkiä rekrytoimaan kansainvälisesti menestyneitä ammattilaisia vähintään kahdeksan paria, jolloin koehenkilöiden määrä kohoaisi kuuteentoista pelaajaan. Naisten ollessa koehenkilöitä voi kuukautiskierto myös vaikuttaa suorituskykyyn (Lebrun ym. 1995). Kaikista parhaiten tulosten luotettavuus saataisiin vakioitua käyttämällä koehenkilöinä miehiä.

Mittaukset toteutettiin halliolosuhteissa, missä kuumuus ei esimerkiksi nouse suoritusta heikentäväksi tekijäksi. Lämpötilalla voi kuitenkin olla vaikutusta suorituskykyyn, eteenkin

kun puhutaan yli 30 asteen lämpötiloista (Nielsen 1994, Tucker ym. 2004, Nielsen ym. 1990). Suorituskykyyn turnauksissa vaikuttaa siis esimerkiksi lämpötila, joten olisi hyvä suorittaa mittaukset mahdollisimman turnaustilanteita vastaavissa olosuhteissa. Yhden pelipäivän kestoinen mittaus kertoo ainoastaan yhden päivän aikana tapahtuvasta muutoksesta suorituskyvyssä. Pitkissä turnauksissa suorituskyvyn tulisi kuitenkin olla parhaimmillaan tärkeimmissä peleissä, jotka ovat turnauksen lopussa. Finaalissa ja välierissä takana voi olla jo 5-6 ottelua ja 3-4 päivää pelejä. Tulevaisuudessa mittauksia olisi hyvä jatkaa turnauksen kestoiseksi niin, että pelaajat pelaisivat useamman päivän.

Tutkimuksen testiprotokollaa tulisi tulevaisuudessa myös laajentaa, jotta suorituskyvyssä tapahtuvia muutoksia voitaisiin täsmällisemmin selittää. Tulevaisuudessa olisi mielenkiintoista saada dataa esimerkiksi EMG-aktiivisuuden muutoksista väsytytyissä lihaksissa. Vaikka kevennyshyppyn korkeuksissa ei havaittaisi muutoksia, voi esimerkiksi lihasten rekrytoinnissa olla muutoksia. Magalhaesin ym. (2011) tutkimuksessa huomattiin 7,5 m ja 15 m sprinttiajan heikentymistä. EMG-aktiivisuuksia mittaamalla voitaisiin saada dataa miksi juuri tämänkaltaiset suorituksen heikkenevät, mutta kevennyshyppysuorituskyky pysyy muuttumattomana. Myös lihasvaurioista olisi myös hyvä saada tulevaisuuden tutkimuksissa dataa, tällöin verinäyte valikoimaan olisi hyvä lisätä ainakin CRP-mittaukset ja kreatiinikinaasimittaukset.

Fysiikkavalmennuksessa keskitytään paljon jalkojen voimantuoton kehittämiseen. Tutkimuksessa havaittiin kuitenkin, että pelipäivän seurauksena ylävartalon voimantuotto heikentyi. Valmennuksessa olisi syytä mahdollisesti painottaa ylävartalon voimantuoton harjoittelemista, jottei siinä tapahtuisi heikkenemistä pelien seurauksena. Tutkimuksissa tulisi ottaa huomioon myös pelisuoritteiden tutkiminen ja seuraavassa vastaavanlaisessa tutkimuksessa olisi hyvä mitata esimerkiksi pelin aikana tehtyjen iskulyöntien nopeuksia, jotta nähtäisiin, onko nopeus heikentynyt myös lajisuorituksissa.

### 7.3 Johtopäätökset

Tämän tutkimuksen perusteella beach volley -ottelulla tai pelipäivällä ei ole vaikutusta kevennyshypyn korkeuteen. Ballistinen penkkipunnerrus kuitenkin heikkeni pelatun ottelun vaikutuksesta. Ylävartalon voimantuoton kehittäminen voisi olla uusi keskittymiskohde valmennuksessa. Ottelu oli kuormittavampi torjuville pelaajille, joka tulisi ottaa huomioon valmennuksellisissa seikoissa. Sykkeiden perusteella työskennellään anaerobisella alueella, mutta laktaattia ei elimistöön kerry. Suurimmaksi osaksi energiaa tuotetaan tulosten perusteella PCr-systeemin sekä aerobisen energia-aineenvaihdunnan avulla. Happamuuden kertyminen ei vaikuttaisi olevan suorituskykyä rajoittava tekijä beach volley -ottelussa.

Tutkimuksen koehenkilömäärä (n=8) oli kuitenkin melko pieni, jonka vuoksi yleisten johtopäätöksien tekeminen ei välttämättä ole luotettavaa. Tulevaisuuden tutkimuksissa olisi hyvä saada suuremmalla otannalla tutkimustietoa, jotta luotettavuutta saataisiin nostettua ja yksilöllisten erojen vaikutus ei näkyisi esimerkiksi keskiarvoissa niin suuresti. Näin saataisiin tutkimuksiin myös tilastollisia merkitsevyyksiä luultavasti enemmän.

## LÄHTEET

- Allen, D. G., Lamb, G. D. & Westerblad, H. 2008. Impaired calcium release during fatigue. *Journal of Applied Physiology* 104 (1), 296–305.
- Allen, D. & Trajanovska, S. 2012. The multiple roles of phosphate in muscle fatigue. *Frontiers in Physiology* 3, 463. doi: 10.3389/fphys.2012.00463.
- Avela, J. 1998. Stretch-reflex adaptation in man. Interaction between load, fatigue and muscle stiffness. Väitöskirja. Jyväskylän Yliopisto. Liikuntabiologian laitos. 40-41.
- Bambaeichi, E., Rahnama, N. & Khani, A. 2010. Blood lactate recovery at different times of the day and menstrual cycle phases. *British journal of sports medicine* 44, i21.
- Binnie, M. J., Dawson, B., Pinnington, H., Landers, G. & Peeling, P. 2013. Effect of training surface on acute physiological responses after interval training. *Journal of Strength & Conditioning Research* 27 (4), 1047 –1056.
- Brody L.R., Pollock M.T., Roy S. H. 1991. pH-induced effects on median frequency and conduction velocity of the myoelectric signal. *J Appl Physiol* (7) 1878–1885.
- Brown, H., Clemons, T., Dawson, B., Binnie, M. J., Peeling, P., Pinnington, H. & Sim, M. 2017. Sand training: Exercise-induced muscle damage and inflammatory responses to matched-intensity exercise. *European Journal of Sport Science* 17 (6), 741-747.
- Cairns, S. P. & Lindinger, M. I. 2008. Do multiple ionic interactions contribute to skeletal muscle fatigue? *The Journal of physiology* 586 (17), 4039 –4054.
- Cortell-Tormo, J., Pérez-Turpin, J. A., Chinchilla, J. J., Cejuela, R. & Suárez, C. 2011. Analysis of movement patterns by elite male players of beach volleyball. *Percept Mot Skills* 112 (1), 21 – 28.

- Ely, B. R., Chevront, S. N., Kenefick, R. W. & Sawka, M. N. 2010. Aerobic performance is degraded, despite modest hyperthermia, in hot environments. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 42 (1), 135-141.
- Edman K.A., Mattiazzi A. R. 1981. Effects of fatigue and altered pH on isometric force and velocity of shortening at zero load in frog muscle fibres. *J Muscle Res Cell Motil* (2), 321–334
- Enoka, R. M. 2008. *Neuromechanics of human movement*. 4. Pains. Champaign, IL: Human Kinetics Publishers.
- Escamilla, R. F. & Andrews, J. R. 2009. Shoulder muscle recruitment patterns and related biomechanics during upper extremity sports. *Sports Medicine* 39 (7), 569 –590.
- FIVB 2016. FIVB Official Beach Volleyball Rules. Saatavilla osoitteessa: Viitattu 24.3.2019. [http://www.fivb.org/EN/Refereeing-Rules/Documents/FIVB-BeachVolleyball\\_Rules\\_2017-2020-EN-v05.pdf](http://www.fivb.org/EN/Refereeing-Rules/Documents/FIVB-BeachVolleyball_Rules_2017-2020-EN-v05.pdf).
- Fransson, D., Vigh-Larsen, J., Fatouros, I. G., Krstrup, P. & Mohr, M. 2018. Fatigue responses in various muscle groups in well-trained competitive male players after a simulated soccer game. *Journal of Human Kinetics* 61 (1), 85 –97.
- Galloway, S. & Maughan, R.,J. 1997. Effects of ambient temperature on the capacity to perform prolonged exercise in man. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 29 (9) 1240 –1249
- García-Ramos, A., Haff, G. G., Padial, P. & Feriche, B. 2018. Reliability of power and velocity variables collected during the traditional and ballistic bench press exercise. *Sports Biomechanics* 17 (1), 117 –130.
- Gardiner, P. F. 2011. *Advanced Neuromuscular Exercise Physiology*, Champaign, IL: Human Kinetics Publishers.

- Garland, S. J., Enoka, R. M., Serrano, L. P. & Robinson, G. A. 1994. Behavior of motor units in human biceps brachii during a submaximal fatiguing contraction. *Journal of applied physiology* 76 (6), 2411 –2419.
- Garland, S. J., Griffin, L. & Ivanova, T. 1997. Motor unit discharge rate is not associated with muscle relaxation time in sustained submaximal contractions in humans. *Neuroscience letters* 239 (1), 25 –28.
- Gaudino, P., Gaudino, C., Alberti, G. & Minetti, A. E. 2013. Biomechanics and predicted energetics of sprinting on sand: hints for soccer training. *Journal of Science and Medicine in Sport* 16 (3), 271 –275.
- Giatsis, G., Panoutsakopoulos, V. & Kollias, I. A. 2018. Biomechanical differences of arm swing countermovement jumps on sand and rigid surface performed by elite beach volleyball players. *Journal of Sports Sciences* 36 (9), 997 –1008.
- Goodall, S., Thomas, K., Harper, L. D., Hunter, R., Parker, P. 2017. The assessment of neuromuscular fatigue during 120 min of simulated soccer exercise. *European Journal of Applied Physiology* 117 (4), 687-697.
- Green, H. J. 1995. Metabolic determinants of activity induced muscular fatigue. Teoksessa M. Hargreaves, (toim.) *Exercise Metabolism*. Champaign IL: Human Kinetics Publishers. 211-256.
- Häyrinen, M. & Tampouratzis, K. 2012. Technical and tactical game analysis of elite female beach volleyball. *Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskus*.
- Heishman, A. D., Daub, B. D., Miller, R. M., Freitas, E. D. S., Frantz, B. A., 2018. Countermovement jump reliability performed with and without an arm swing in NCAA division 1 intercollegiate basketball players. *Journal of strength and conditioning research*. 50 (8) doi: 10.1519/JSC.0000000000002812.

- Hertogh, C., Chamari, K., Damiani, M., Martin, R., Hachana, Y., ym. 2005. Effects of adding a preceding run-up on performance, blood lactate concentration and heart rate during maximal intermittent vertical jumping. *Journal of sports sciences* 23 (9), 937 –942.
- Hue, O. 2011. The challenge of performing aerobic exercise in tropical environments: applied knowledge and perspectives. *International Journal of Sports Physiology & Performance* 6 (4), 443 –454.
- Jimenez-Olmedo, J., Pueo, B., Penichet-Tomás, A., Chinchilla, J. & Pérez-Turpin, J. 2017. Physiological work areas in professional beach volleyball: A case study. *Retos*, 31 (1), 94 –97.
- Jones, S. L. & Caldwell, G. E. 2003. Mono-and biarticular muscle activity during jumping in different directions. *Journal of Applied Biomechanics* 19 (3), 205 –222.
- Kenney, W. L., Wilmore, J. H. & Costill, D. L. 2015. *Physiology of sport and exercise*. 6. Pains. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Koch, C. & Tilp, M. 2009. Beach Volleyball Techniques and Tactics: a Comparison of Male and Female Playing Characteristics. *Kinesiology* 41 (1), 52 –59.
- Koenig, C. A., Benardot, D., Cody, M. & Thompson, W. R. 2008. Comparison of creatine monohydrate and carbohydrate supplementation on repeated jump height performance. *Journal of strength and conditioning research* 22 (4), 1081 –1086.
- Komi, P. V. 2000. Stretch-shortening cycle: a powerful model to study normal and fatigued muscle. 33(10), 1197 –1206
- Kubota, M., Hiruma, E. & Sasaki, H. 2003. The effects of creatine supplementation on the jumping power and endurance of volleyball players. *Advances in Exercise & Sports Physiology* 9 (3), 91 –96.
- Kunstlinger, U., Ludwig, H. G. & Stegemann, J. 1987. Metabolic changes during volleyball matches. *International Journal of Sports Medicine* 8 (5), 315 –322.



- Kunzell, S., Schweikart, F., Kohn, D. & Schlappi-Lienhard, O. 2014. Effectiveness of the call in beach volleyball attacking play. *Journal of human kinetics* 44, 183 –191.
- Lamontagne-Lacasse, M., Nadon, R. & Goulet, E. D. B. 2011a. Effect of creatine supplementation on jumping performance in elite volleyball players. *International Journal of Sports Physiology & Performance* 6 (4), 525 –533.
- Lamontagne-Lacasse, M., Nadon, R. & Goulet, E. D. B. 2011b. Effect of creatine supplementation on jumping performance in elite volleyball players. *International Journal of Sports Physiology & Performance* 6 (4), 525 –533.
- Lebrun, C., McKenzie D., Prior, J. & Taunton, J. 1995 Effects of menstrual cycle phase on athletic performance. *Medicine & science in sports & exercise* 27 (3), 437-444.
- Lejeune, T. M., Willems, P. A. & Heglund, N. C. 1998. Mechanics and energetics of human locomotion on sand. *The Journal of experimental biology* 201 (Pt 13), 207 –2080.
- Lesinski, M., Prieske, O., Demps, M. & Granacher, U. 2016. Effects of fatigue and surface instability on neuromuscular performance during jumping. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 26 (10), 1140–1150.
- Linderman J.K., Gosselink K.L. 1994. The effects of sodium bicarbonate ingestion on exercise performance. *Sports Med* (8) 75–80.
- Londeree, B. R., 1997. Effect of training on lactate/ventilatory thresholds: a meta-analysis. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 29 (6), 837–843.
- Macefield, G., Hagbarth, K. E., Gorman, R., Gandevia, S. C. & Burke, D. 1991. Decline in spindle support to alpha-motoneurons during sustained voluntary contractions. *The Journal of physiology* 440, 497–512.

- Magalhaes, J., Inacio, M., Oliveira, E., Ribeiro, J. C. & Ascensao, A. 2011. Physiological and neuromuscular impact of beach-volleyball with reference to fatigue and recovery. *The Journal of sports medicine and physical fitness* 51 (1), 66–73.
- McArdle, W. D., Katch, F. I. & Katch, V. L. 2015. *Exercise physiology*. 8. Painos. Philadelphia, PA: Wolters Kluwer.
- McMahon, S. & Jenkins, D. 2002. Factors affecting the rate of phosphocreatine resynthesis following intense exercise. *Sports Med* 32 (12), 761–784
- Mero A, Nummela A, Keskinen K, Häkkinen K (2004) *Urheiluvallmennus*. 1. painos, Mero Oy, Jyväskylä, Gummerus Oy. 98-99
- Mroczek, D., Kawczyński, A. & Chmura, J. 2011. Changes of reaction time and blood lactate concentration of elite volleyball players during a game. *Journal of human kinetics* 28, 73–78.
- Newton, R., Kraemer, W., Häkkinen, K., Humphries, B. & Murphy, A. 1996. Kinematics, kinetics, and muscle activation during explosive upper body movements. *Journal of Strength and Conditioning Research* 12 (1), 31–43
- Nielsen, B. 1994. Heat stress and acclimation. *Ergonomics* 37 (1), 49–58.
- Nielsen, B., Savard, G., Richter, E. A., Hargreaves, M. & Saltin, B. 1990. Muscle blood flow and muscle metabolism during exercise and heat stress. *Journal of applied physiology* 69 (3), 1040–1046.
- Palao, J. M., López-Martínez, A. B., Valadés, D. & Ortega, E. 2015. Physical actions and work-rest time in women's beach volleyball. *International Journal of Performance Analysis in Sport* 15 (1), 424–429.
- Place, N., Lepers, R., Deley, G. & Millet, G. 2004. Time Course of Neuromuscular Alterations during a Prolonged Running Exercise. *Journal of Applied Physiology* 36 (8), 1347–1356

- Racinais, S., Connes, P., Bishop, D., Blonc, S. & Hue, O. 2005. Morning Versus Evening Power Output and Repeated-Sprint Ability. *Chronobiology International: The Journal of Biological & Medical Rhythm Research* 22 (6), 1029–1039.
- Robergs, R. A., Ghiasvand, F., & Parker, D. 2004. Biochemistry of exercise-induced metabolic acidosis. *The American Journal of Physiology –Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 287:502–516.
- Saccol, M. F., Almeida, G. P. & de Souza, V. L. 2016. Anatomical glenohumeral internal rotation deficit and symmetric rotational strength in male and female young beach volleyball players. *Journal of electromyography and kinesiology : official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology* 29, 121–125.
- Sahlin K, Harris RC, Hultman E.1979. Resynthesis of creatine phosphate in human muscle after exercise in relation to intramuscular pH and availability of oxygen. *Scand J Clin Lab Invest* 39 (6): 551–8
- Sawka, M. N. & Noakes, T. D. 2007. Does dehydration impair exercise performance? *Medicine and science in sports and exercise* 39 (8), 1209–1217.
- Schwane, J. A., Johnson, S. R., Vandenakker, C. B. & Armstrong, R. B. 1983. Delayed-onset muscular soreness and plasma CPK and LDH activities after downhill running. *Medicine and science in sports and exercise* 15 (1), 51–56.
- Siegler J.C., Marshall P.W.M., Raftery S. 2013. The differential effect of metabolic alkalosis on maximum force and rate of force development during repeated, high-intensity cycling. *Journal of Applied Physiology* 1634–1640. doi:10.1152/jappphysiol.00688.2013
- Søgaard, K., Gandevia, S. C., Todd, G., Petersen, N. T. & Taylor, J. L. 2006. The effect of sustained low-intensity contractions on supraspinal fatigue in human elbow flexor muscles. *The Journal of physiology* 573 (2), 511–523.

- Souglis, A., Bogdanis, G. C., Giannopoulou, I., Papadopoulos, C. & Apostolidis, N. 2015. Comparison of Inflammatory Responses and Muscle Damage Indices Following a Soccer, Basketball, Volleyball and Handball Game at an Elite Competitive Level. *Research in Sports Medicine* 23 (1), 59–72.
- Souissi, N., Bessot, N., Chamari, K., Gauthier, A., Sesboüé, B., ym. 2007. Effect of Time of Day on Aerobic Contribution to the 30-s Wingate Test Performance. *Chronobiology International: The Journal of Biological & Medical Rhythm Research* 24 (4), 739–748.
- Spriet, L. L. 1995. Anaerobic metabolism during high-intensity exercise. Teoksessa M. Hargreaves (toim.) *Exercise Metabolism*. Champaign IL: Human Kinetics Publishers. 1-39.
- Tesch, P. A. 1978. Muscle fatigue and lactate concentration. Teoksessa E. Asmussen & K. Jörgensen (toim.) *Biomechanics IV-A*. Baltimore: University Park Press. 68-72
- Tesch, P. A., Wright, J. E., Vogel, J. A., Daniels, W. L., Sharp, D. S. & Sjodin, B. 1985. The influence of muscle metabolic characteristic on physical performance. *Euro-pean Journal of Applied Physiology* 54 (3), 237-243.
- Thompson, C. H., Kemp, G. J., Sanderson, A. L. & Radda, G. K. 1995. Skeletal muscle mitochondrial function studied by kinetic analysis of postexercise phosphocreatine resynthesis. *Journal of applied physiology* 78 (6), 2131–2139.
- Tilp, M., Wagner, H. & Müller, E. 2008. Differences in 3D kinematics between volleyball and beach volleyball spike movements. *Sports Biomechanics* 7 (3), 386–397.
- Tucker, R., Rauch, L., Harley, Y. X. R. & Noakes, T. D. 2004. Impaired exercise performance in the heat is associated with an anticipatory reduction in skeletal muscle recruitment. *Pflügers Archiv* 448 (4), 422–430.
- Viitasalo, J. T., Hamalainen, K., Mononen, H. V., Salo, A. & Lahtinen, J. 1993. Biomechanical effects of fatigue during continuous hurdle jumping. *Journal of sports sciences* 11 (6), 503–509.

Voltaire, B., Galy, O., Coste, O., Recinais, S., Callis, A., ym. 2002. Effect of fourteen days of acclimatization on athletic performance in tropical climate. *Canadian journal of applied physiology = Revue canadienne de physiologie appliquee* 27 (6), 551–562.

Wong-On, M. & Mora-Montoya, E. 2018. Ultrasonographic Findings in a latissimus dorsi injury in a beach volleyball player. *American journal of physical medicine & rehabilitation*. 97 (12): e115-e116. doi: 10.1097/PHM.0000000000000950.

Zamparo, P., Perini, R., Orizio, C., Sacher, M. & Ferretti, G. 1992. The energy cost of walking or running on sand. *65* (2), 183–187.