

**VALMISTAVAN VOIMAHARJOITUKSEN VAIKUTUKSET 800 METRIN
JUOKSUN SUORITUSKYKYYN**

Antti Ihamäki

Liikuntabiologian pro gradu -tutkielma

Liikuntatieteellinen tiedekunta

Jyväskylän yliopisto

Kevät 2022

Työn ohjaaja: Juha Ahtiainen

TIIVISTELMÄ

Ihamäki, A. 2023. Valmistavan voimaharjoituksen vaikutukset 800 metrin juoksun suorituskykyyn. Liikuntabiologian laitos, Jyväskylän yliopisto, valmennus- ja testausopin pro gradu -tutkielma, 50 s.

Johdanto. Kestävyysjuoksusuoritusta rajoittaa aerobisten ominaisuuksien lisäksi hermo-lihasjärjestelmän toiminta. Suorituskykyyn lihastyötä vaativissa asioissa vaikuttaa lisäksi se, mitä on tehty suoritusta edeltävinä tunteina ja minuutteina, ja tämä vaikutus voi olla joko väsyttävä tai suorituskykyä edistävä. Teholajien tutkimuksissa onkin onnistuttu osoittamaan, että oikeanlaisella valmistavalla harjoituksella saadaan parannettua varsinaisen suorituksen tulosta. Useissa kestävyysjuoksuun liittyvissä tutkimuksissa voimaharjoittelua sisältävällä harjoitusinterventiolla on saatu kehitettyä juoksemisen suorituskykyyn liittyviä tekijöitä, esimerkiksi taloudellisuutta. Sen sijaan hermostollista suorituskykyä hetkellisesti edistävien valmistavien voimaharjoitusten vaikutusta on tutkittu varsin vähän, varsinkin useiden tuntien aikaikkunalla ennen suoritusta. Tämän tutkimuksen tarkoitus on selvittää, onko edellisenä iltapäivänä tehdyllä valmistavalla voimaharjoituksella vaikutusta 800 metrin juoksuun liittyviin suorituskyvyn osatekijöihin.

Menetelmät. Tutkimukseen osallistui 3 naista ja 8 miestä, joilla kaikilla oli vähintään kahden vuoden harjoitustausta kestävyysjuoksuharjoittelusta. Valmistava voimaharjoitus, sekä sen vertailukohta ei-valmistava juoksuharjoitus, suoritettiin iltapäivällä klo 16–18 alkaen. 800 metrin juokсутesti tehtiin klo 9–11 alkaen. Palautusaika edellispäivän harjoituksen ja testin välillä oli keskimäärin 16 tuntia. Valmistavan voimaharjoituksen liikkeet olivat jalkaprässi 3 x 5 toistoa, isometrinen pohjelaite 3 x 5 sekunnin pito, syklinen esikevennyshyppy 3 x 5 ja pudotushyppy 20 senttimetristä 3 x 5. Nopeus- ja voimaominaisuuksia suhteutettiin valmistavasta voimaharjoituksesta saatuihin hyötyihin. Näitä ominaisuuksia mitattiin lentävän 20 metrin juoksulla, esikevennyshyppykorkeudella sekä jalkaprässin viiden toiston maksimilla.

Tulokset. Valmistavalla voimaharjoituksella ei ollut vaikutusta tutkittavien juoksuaikaan 800 metrillä eikä vauhdinjakoon. Vauhdinjaolla ei ollut yhteyttä myöskään tutkittavien suorituskykyyn 800 metrillä. Valmistavan voimaharjoituksen jälkeen ei havaittu tilastollisesti merkitsevää parannusta tuoreena (pre 2 min) eikä väsyneenä (post 1 min) tehtyyn esikevennyshyppykorkeuteen. Sen sijaan näiden erotus oli PSE:n jälkeisenä päivänä suurempi. Mitä parempi oli suorituskyky lentävän 20 metrin juoksussa sekä esikevennyshyppyssä, sitä enemmän lihasarkuutta koettiin valmistavan voimaharjoituksen jälkeisessä juokсутestissä. Mitä enemmän lihasarkuutta koettiin valmistavan voimaharjoituksen jälkeen verrattuna ei-valmistavaan harjoitukseen, sitä vähemmän PSE:stä hyödyttiin. Nopeus- ja voimaominaisuuksilla ei ollut yhteyttä voimaharjoituksesta saatuun hyötyyn.

Pohdinta ja johtopäätökset. Valmistava voimaharjoitus ei johtanut parempaan suorituskykyyn 800 metrin juoksussa 16 tunnin palautusaikaikkunalla. Aika valmistavan voimaharjoituksen ja juokсутestin välillä saattoi olla liian pitkä suhteessa harjoituksen vaativuuteen. Liikevalinnat eivät välttämättä tukeneet juoksua ja tutkittavien yksilöllisiä ominaisuuksia optimaalisesti. Hermostollisesta voimaharjoituksesta saatavat vasteet ovat, koetun lihasarkuuden tulosten perusteella, mahdollisesti suuremmat niillä henkilöillä, joilla lyhytaikainen suorituskykyisyys on parempi. Siksi myös pidempi palautumisaika todennäköisesti vaaditaan heille. Tämän tutkimuksen perusteella valmistavalla voimaharjoituksella ei ole vaikutusta seuraavana päivänä tehtävän 800 metrin juoksun suorituskykyyn.

Asiasanat: esikevennyshyppy, hermo-lihasjärjestelmä, taloudellisuus, teholaji, valmistava voimaharjoitus, voimaharjoittelu

ABSTRACT

Ihamäki, A. 2021. The effect of priming strength exercise on 800 meter running capacity. Faculty of Sport and Health Sciences, University of Jyväskylä, Master's thesis of Sport Coaching and Fitness Testing, 50 pp.

Introduction. In addition to aerobic capacity, endurance performance is also limited by neuromuscular system. Also, the contraction history of muscles affect on performance that is done minutes or hours after the activity. The effect can be either fatiguing or benefitting for performance. In power sport studies it has been shown that with a proper priming exercise, performance advantages have been gained. In many long-distance running studies, performance benefits, for example in running economy, have been achieved with strength training intervention lasting several weeks. Instead, there has not been many studies investigating the effect of priming strength exercise (PSE), and especially not with several hours of recovery time before performance. The purpose of this study is to find out if there is running capacity related benefits of doing PSE on the afternoon, the day before 800-meter running test.

Methods. Three women and eight men participated for the study. They all had at least two years of experience from endurance running training. Both priming and non-priming exercise were done on the afternoon, the day before running test beginning at 4–6 pm. 800 meter running test was done at 9–11 am. The recovery time between previous day exercise and the running test was 16 hours on average. The movements in PSE were leg press 3 x 5 repetitions, isometric calf press 3 x 5 seconds, cyclic countermovement jump 3 x 5 and drop jump from 20-centimeter height 3 x 5. Speed and strength properties were compared with benefitting from the PSE. These properties were measured with flying 20-meter run, countermovement jump and leg press 5 repetition maximum.

Results. PSE had no effect on 800-meter running time or pacing. Pacing had also no effect on 800-meter running time. The countermovement jump, done either before (pre 2 min) or after (post 1 min) the running test, was not affected by PSE. Instead, the difference between these two was bigger after PSE. The better was the capacity in flying 20-meter running and countermovement jump, the more muscle soreness was experienced in the running test, the day after PSE. Also, the more muscle soreness was experienced on the day after PSE, the less benefit was achieved from it. Speed and strength properties had no effect on the advantage that was got from PSE.

Discussion and conclusions. PSE did not lead to better capacity in 800-meter running, when the recovery time was 16 hours. The time between PSE and running test might have been too long in relation to demands of it. The movements might not have been the most optimal for running requirements or individual properties of the subjects. The responses gained from PSE, based on the results of experienced muscle soreness, might possibly be bigger with the individuals who have better capacity in tests requiring high power output for a short time. That is why longer recovery time is perhaps needed for them. Based on this study, there is no advantage for 800 meter runner to do PSE on the day before performance.

Key words: countermovement jump, neuromuscular system, power sport, priming strength exercise, running economy, strength training.

KÄYTETYT LYHENTEET

ATP	adenosiinitrifosfaatti
CMJ	counter movement jump, esikevennyshyppy
DOMS	delayed-onset muscle soreness, viivästynyt lihaskipu
EPOC	Excess Post-Exercise Oxygen Consumption, harjoituksen jälkeisen lepotason ylittävän hapenkulutuksen määrä
HR	heart rate, syketaajuus
ka	keskiarvo
kh	keskihajonta
kk	kuukausi
km	kilometri
la	laktaatti
m	metri
min	minuutti
ms	millisekunti
MVC	maximal voluntary contraction, maksimaalinen lihassupistus
N	tutkittavien määrä
PAP	post activation potentiation, lihasaktivaation jälkeinen voiman potentoituminen
PAPE	post activation performance enhancement, lihasaktivaation jälkeinen voimantuoton parannus
PCr	fosfokreatiini
pH	happamuusaste
PSE	priming strength exercise, valmistava voimaharjoitus
RFD	rate of force development, voimantuottonopeus
RM	repetition maximum, toistomaksimi voimaliikkeessä
RPE	rate of perceived exertion, koettu räsitusaste
RSI	relative strength index, suhteellinen voimaindeksi
s	sekunti
v	velocity, nopeus
VO _{2max}	maksimaalinen hapenottokyky
vVO _{2max}	maksimaalista hapenottokykyä vastaava nopeus

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	1
2	800 METRIN JUOKSUN SUORITUSKYKYÄ SELITTÄVIÄ TEKIJÖITÄ.....	3
2.1	Energia-aineenvaihdunta	3
2.1.1	Aerobinen energiantuotto	4
2.1.2	Anaerobinen energiantuotto	4
2.2	Hermo-lihasjärjestelmän suorituskyky	5
2.3	Vauhdinjako	5
3	VALMISTAVA VOIMAHARJOITUS	8
3.1	Mekanismi	8
3.1.1	Lyhytaikainen potentiaatio	8
3.1.2	Lihassupistuksen jälkeinen suorituskyvyn nousu.....	9
3.1.3	Viivästynyt potentiaatio.....	9
3.2	Valmistavan voimaharjoituksen vaikutukset suorituskykyyn.....	10
3.2.1	Teholajit.....	10
3.2.2	Kestävyyslajit	11
3.3	Potentoitumiseen ja suorituksen paranemiseen liittyvät tekijät.....	13
3.3.1	Intensiteetti, volyymi ja palautusaika	13
3.3.2	Liikkeet.....	15
3.3.3	Yksilölliset ominaisuudet	16
4	TUTKIMUSKYSYMYKSET JA HYPOTEESIT	18
5	TUTKIMUSMENETELMÄT	20
5.1	Tutkittavat.....	20
5.2	Tutkimusasetelma.....	21
5.3	Harjoitus- ja testiprotokollat.....	22

5.3.1 Kestävyystestit.....	22
5.3.2 Nopeus- ja voimatestit.....	23
5.3.3 Harjoitukset	24
5.4 Tilastolliset menetelmät.....	24
6 TULOKSET	26
6.1 Valmistavan voimaharjoituksen vaikutus.....	26
6.1.1 Kokonaisaika ja vauhdinjako.....	26
6.1.2 Syke ja laktaatti	28
6.1.3 Esikevennyshyppy sekä kontakti- ja lentoajat.....	29
6.1.4 Subjektiiiviset koetut tekijät	29
6.2 Voimaharjoituksesta hyötymiseen vaikuttavat tekijät.....	30
6.2.1 Nopeus- ja voimaominaisuudet sekä 800 m suorituskyky	30
6.2.2 Harjoitustausta	31
6.2.3 Subjektiiiviset koetut tekijät	32
7 POHDINTA.....	33
7.1 Päälöydökset.....	33
7.1.1 Kokonaisaika ja vauhdinjako.....	33
7.1.2 Syke ja laktaatti	36
7.1.3 Esikevennyshyppy sekä kontakti- ja lentoajat.....	36
7.1.4 Subjektiiiviset koetut tekijät	37
7.1.5 Voimaharjoituksesta hyötyminen	38
7.2 Tutkimuksen vahvuudet ja heikkoudet.....	39
7.3 Johtopäätökset	41
7.4 Käytännön sovellukset.....	41
LÄHTEET	43

1 JOHDANTO

Termit PAP (post activation potentiation) ja PAPE (post activation performance enhancement) ovat tuttuja lyhytkestoisten teholajien tutkimuksista. Optimaalisen valmistavan voimakimmoisuus- tai nopeusharjoituksen on havaittu parantavan merkittävästi suorituskykyä minuutteja tai tunteja valmistavan harjoituksen jälkeen (mm. Raastad & Hallen 2000; Cook ym. 2014; Tsoukos ym. 2018). Moni ajattelee tai on ajatellut kestävyysuorituksen olevan kiinni vain aerobisista kuntotekijöistä, mutta viime vuosina tieteellinen tutkimus on osoittanut, että myös hermo-lihasjärjestelmän suorituskyvyllä on merkitystä kestävyysuoritukseen. Lukuisat tutkimukset ovat lisäksi osoittaneet, että hermostollisella voima-, kimmoisuus- tai nopeusharjoitusinterventiolla voidaan kehittää eri kestävyyslajien suorituksen taloudellisuutta (Barnes & Kilding 2015). Näin ollen voidaan arvella, että myös kestävyysurheilijoiden olisi hyvä käyttää kilpailuun valmistautuessa hyväkseen hetkellisen voimantuoton nousun mekanismeja, joiden hyödyt on saatu näkyviin teholajien tutkimuksissa.

Kestävyysuoritukseen valmistautumiseen liittyvät tutkimukset ovat keskittyneet lähinnä hengitys- ja verenkiertoelimistön valmistamiseen eri pituisilla ja tehoisilla kestävyysharjoituksilla. Toistaiseksi ei kuitenkaan tiedetä kovin hyvin, miten edellisen päivän valmistava voimaharjoitus vaikuttaa kestävyysurheilijoilla seuraavan päivän hermostolliseen suorituskykyyn, ja sitä kautta kestävyysuoritukseen. Tämän tutkimuksen tarkoitus on hakea vastauksia tähän kysymykseen, kuten myöskin siihen, mitkä ovat niitä kestävyysurheilijan yksilöllisiä ominaisuuksia, jotka mahdollisesti tukevat valmistavasta voimaharjoituksesta hyötymistä.

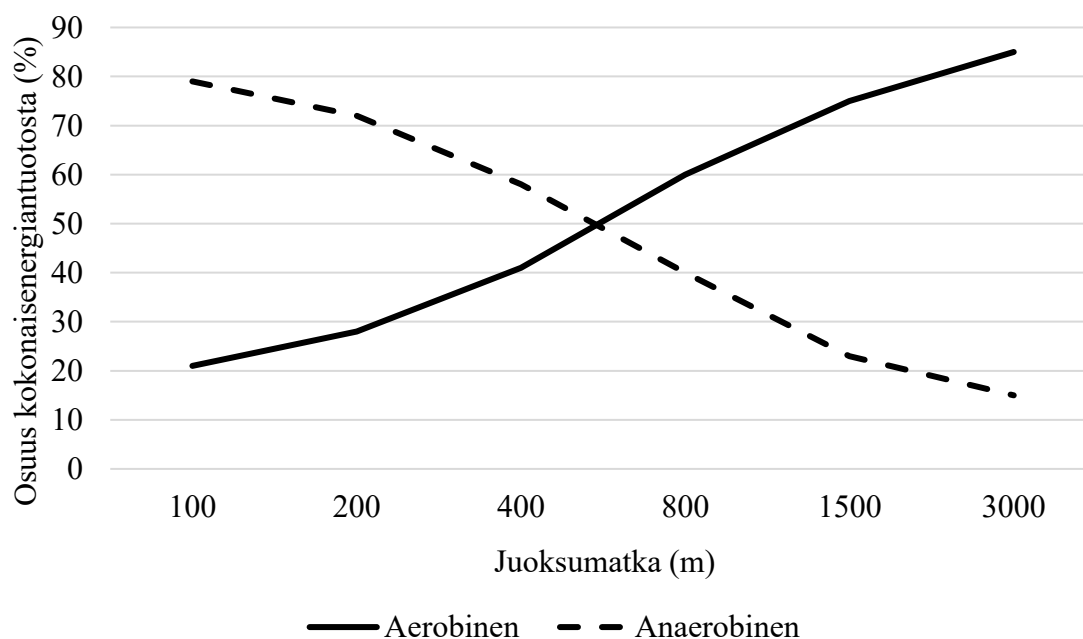
Kestävyysjuoksijan kilpailupäivä koostuu suurimmalla osalla urheilijoista kevyttehoisesta aamulenkistä, spurteista ja iltapäivän/illan kilpailusta. Tämän kaavan muuttaminen vaatisi huomattavan määrän tieteellistä näyttöä, koska tällaisella kilpailupäivän valmistautumisella on vahvat perinteet. Lisäksi McGowan ym. (2017) ja Dahl ym. (2021) ovat jo tutkineet, miten valmistava aamun voimaharjoitus vaikuttaa iltapäivän kestävyysuoritukseen palautuksen ollessa 6 tuntia. Kisaa edeltävän päivän valmistavat rutiinit voivat erota urheilijoiden välillä suurestikin keskenään, ja urheilijat saattavat olla sen suhteen muutosmyönteisempiä. Tämän vuoksi on syytä tutkia, voisiko olla suorituksen kannalta järkevää tehdä matalavolyyminen, mutta korkeaintensiteettinen voimaharjoitus kilpailua edeltävänä päivänä.

800 metriä on fyysisiltä vaatimuksiltaan kova ja vaikea laji. Se vaatii sekä kovaa aerobista että anaerobista energiantuottoa, ja myöskin suorituskykyistä hermo-lihasjärjestelmää. 800 metrin harjoittelua voi lähestyä monin eri tavoin. Joidenkin urheilijoiden harjoittelu on samantyylistä kuin 1500 metrin juoksijoiden, kun taas toiset juoksijat ovat menestyneet 400 metrin tyyppisellä harjoittelulla. Erilaisen harjoitustaustan lisäksi 800 metrin juoksijoiden yksilölliset ominaisuudet lienevät siis kestävyuden, nopeuden, voiman ja kimmoisuuden suhteen hyvinkin erilaisia, ja sen vuoksi onkin syytä verrata esimerkiksi erilaisten tehontuottotestien tuloksia siihen, minkä verran valmistavasta voimaharjoituksesta on hyötyä/haittaa 800 metrin suoritukseen. Näin pystytään päättämään, kenen voisi olla hyödyllistä nostaa rautaa kilpailua edeltävänä päivänä ja kenen ei.

2 800 METRIN JUOKSUN SUORITUSKYKYÄ SELITTÄVIÄ TEKIJÖITÄ

2.1 Energia-aineenvaihdunta

800 metrin harjoittelussa on tärkeää muokata harjoittelun avulla energiantuottosysteemit (aerobinen ja anaerobinen) optimaaliseksi (Duffield ym. 2005). Hillin (1999) mukaan 800 metrin juoksussa 60 % energiasta muodostetaan aerobisesti, ja 40 % anaerobisesti. Suorituksen edetessä aerobisen energiantuoton rooli kasvaa, kun taas suorituksen alussa anaerobinen energiantuotto on suuremmissa roolissa (Duffield ym. 2005). Aerobisen ja anaerobisen energiantuoton välisen suhteen arvioimisessa on eroja, millä menetelmillä se mitataan. Esimerkiksi Duffieldin ym. (2005) tutkimuksessa happivelan perusteella aerobisen energiantuoton osuudeksi 1500 metrin juoksussa saatiin 77 %, kun taas laktaatti- ja fosfokreatiinimittauksilla 81 %. Kuvasta 1 nähdään aerobisen ja anaerobisen energiantuoton välinen suhde eri pituisilla kestävyysmatkoilla.



KUVA 1. Aerobisen ja anaerobisen energiantuoton suhde eri pituisilla juoksumatkoilla, mukailtu Laursen 2010. m, metri.

2.1.1 Aerobinen energiantuotto

Tärkeimmät kestävyysjuoksusuoritusta selittävät aerobiset tekijät ovat maksimaalinen hapenottokyky (VO_{2max}), anaerobinen kynnys ja juoksun taloudellisuus (Di Pampero ym. 1986). Suurempi merkitys 800 metrin juoksuun on taloudellisuudella kuin VO_{2max} :llä (Tanji ym. 2017b). Tanjin ym. (2017a) tutkimuksessa eliittijuoksijoiden 1500 metrin aika korreloi vahvemmin anaerobista kynnystä nopeamman vauhdin taloudellisuuden kanssa verrattuna sitä hitaampiin vauhteihin. VO_{2max} , VO_{2max} :ä vastaava nopeus (vVO_{2max}) ja anaerobisen kynnyksen vauhti eivät korreloineet 800 metrin juoksun ajan kanssa Tanjin ym. (2017b) tutkimuksessa. Juoksun taloudellisuuden määrittäminen vVO_{2max} :a kovemmilla vauhdeilla olisi tarkoituksenmukaista, koska myös kilpailuvauhti ylittää vVO_{2max} :n. Tällöin kuitenkin ongelmaksi tulisi se, että testissä hapenkulutus ei ehtisi tasaantua ennen uupumusta, ja taloudellisuuden määritelmä on “hapenkulutus tietyllä nopeudella steady state –tilassa”, joten tällöin ei määritettäisi taloudellisuutta oikeaoppisesti. Tutkijat ehdottivat, että tässä tapauksessa taloudellisuuden sijasta käytettäisiin jotain toista termiä, esimerkiksi “sprint economy”. (Tanji ym. 2017b)

Hillin ym. (1999) tutkimuksen mukaan naisilla aerobisen energiantuoton suhteellinen osuus 1500 metrin juoksussa oli hieman suurempi kuin miehillä (83 % vs. 80 %). Duffieldin ym. (2005) tutkimuksessa ero puolestaan oli vieläkin suurempi (86 % vs. 77 %). Erot sukupuolten välillä lienevät samansuuntaisia myös 800 metrillä.

2.1.2 Anaerobinen energiantuotto

Tutkimuksissa yleisimmin käytetyt anaerobisen energia-aineenvaihdunnan tason mittarit ovat olleet suorituksen aikana kertynyt happivelka, veren laktaattitaso sekä suorituskykytestit (Duffield ym. 2005; Legaz-Arreze ym. 2011). Anaerobisen metabolian suora arviointi on hankalampaa kuin aerobisen. Lihasbiopsialla voidaan mitata anaerobiseen aineenvaihduntaan liittyviä tekijöitä ja lihaksen glykogeentitasoja. Käytännöllisempää ja helpompaa on kuitenkin tehdä suorituskykytestejä, jotka antavat viitteitä anaerobisen energiantuoton tasosta, sekä mitata veren laktaattipitoisuutta. (Legaz-Arreze ym. 2011) Zouhalin ym. (2010) tutkimuksessa 400 metrin juoksijoiden veren laktaattipitoisuus oli $5,7 \pm 0,3$ mmol 3 minuuttia verryttelyn jälkeen. Korkeahkosta laktaattitasosta ennen starttia lienee siis hyötyä lyhyissä, anaerobisissa

suorituksissa, siitäkin huolimatta, että mitä korkeammalta laktaattitasolta suoritukseen lähdetään, sitä nopeammin uupumus tulee. Korkea laktaattitaso ennen starttia saattaa auttaa pääsemään kovaan kisavauhtiin ripeämmin, sekä saavuttamaan riittävän korkean aloitusvauhdin. (Zouhal ym. 2010) Koska 800 metriä on aerobisempi laji kuin 400 metriä, lienee optimaalinen laktaattitaso starttiviivalla matalampi kuin $5,7 \pm 0,3$ mmol, koska korkeaan alkuvauhtiin päästään 400 metrin vauhtia helpommin kiinni. 400 metrin suorituksessa tärkeää on tuottaa suorituksen aikana suuri happivelka (Zouhal ym. 2010), mitä voi edesauttaa korkea laktaattitaso lähtöviivalla. 800 metrillä puolestaan oleellisempaa on puskuroida happamuutta, kuin tuottaa korkeaa happivelkaa (Tanji ym. 2017b).

2.2 Hermo-lihasjärjestelmän suorituskyky

Kestävyysjuoksussa lihasten voimantuotto-ominaisuudet ovat yhteydessä juoksun taloudellisuuteen (Johnston ym. 1997). Hudginsin ym. (2013) tutkimuksessa tasajaloin tehdyn kolmiloikan tuloksen ja 800 metrin juoksun ajan välillä löydettiin selkeä yhteys. Huipputaso-kenialaisilla kestävyysjuoksijoilla on havaittu olevan pienempi venymislyhenemissyklin amplitudi ja lyhyempi maakontaktiaika kuin japanilaisilla kansallisen tason juoksijoilla (Sano ym. 2015). Lihaksiston tehokas toiminta johtaa tehokkaaseen ja taloudelliseen juoksutekniikkaan, jolloin nopeuden ylläpito helpottuu (Joyner 1991). Tehokasta lihaksiston toimintaa, ja sitä kautta taloudellisuutta, voidaan kehittää kesto-, maksimi- ja nopeusvoimaharjoittelulla sekä plyometrisellä harjoittelulla (Barnes & Kilding 2015). Voima- ja plyometriaharjoittelulla aikaansaatavia muutoksia ovat parantunut koordinaatio, koaktivaatio, jäykkyys, lyhyempi maakontaktiaika (Paavolainen ym. 1999), ja tyypin 1 ja 2 lihassolujen suurempi voimantuottokyky (Staron ym. 1994).

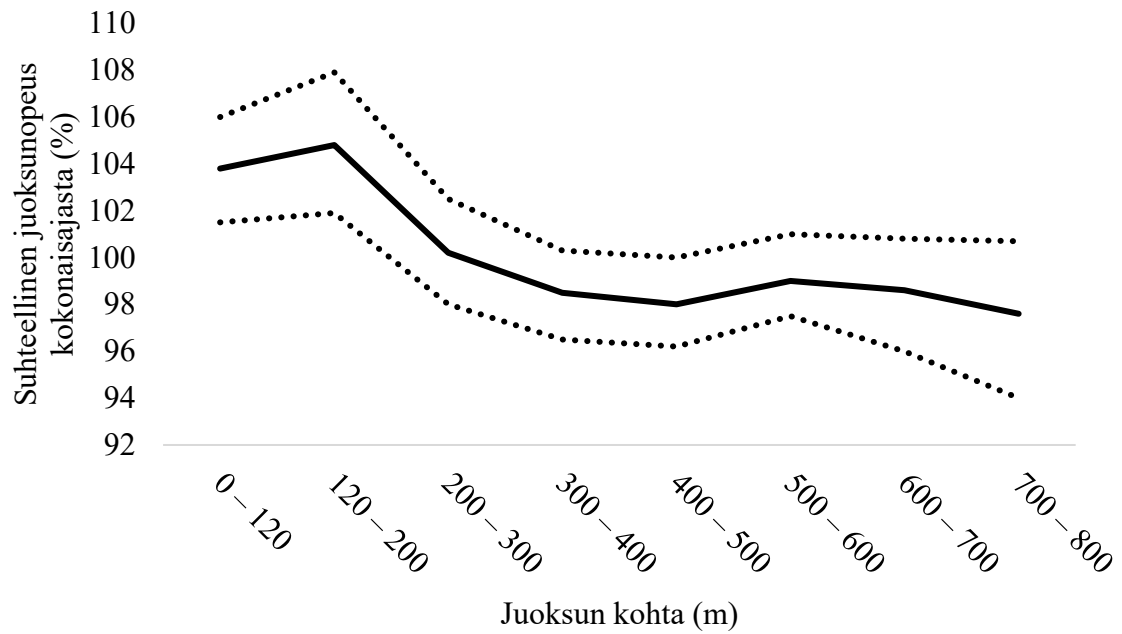
2.3 Vauhdinjako

Vauhdinjaon on osoitettu kiistattomasti vaikuttavan kestävyysuorituksen tulokseen (Foster ym. 1993; Foster ym. 1994). Vauhdinjakotapoja ovat negatiivinen, positiivinen, tasainen, parabolinen ja all-out –vauhdinjako. Alle 30 sekunnin suorituksissa all-out vauhdinjako on suosittelavin, ja yli 2 minuutin suorituksissa negatiivinen tai tasainen vauhdinjako. (Abbiss & Laursen 2008) 800 metriä sijoittuu kestoltaan näiden väliin. Negatiivisessa vauhdinjoossa

vauhti kiihtyy suorituksen edetessä. Tämän tavan on todettu hidastavan glykogeenivarastojen tyhjenemistä ja happamuuden kertymistä. (Abbiss & Laursen 2005) Positiivisessa vauhdinjaossa vauhti hidastuu loppua kohden (Abbiss & Laursen 2008). Hanley ym. (2019) huomasivat arvokilpailuiden 800 metrin alku- ja välieräjuoksussa käytettävän paljon myös “merihevosien” muotoista vauhdinjako, jossa korkein nopeus saavutettiin ensimmäisen 200 metrin aikana, jonka jälkeen vauhti hidastui 300 metriin saakka, pysyi vakiona 500 metriin, jonka jälkeen seurasi uusi kiihdytys 600 metriin, ja tämän jälkeen vauhti hidastui asteittain loppua kohden.

Useimmat huippujuoksijat jakavat 800 metrillä voimansa positiivisen vauhdinjaon mukaisesti (Sandals ym. 2006). Sandalsin ym. (2006) tutkimuksessa 800 metrin ensimmäinen 200 m juostiin 107,4 %, seuraavat 400 m 98,3 % ja viimeinen 200 m 97,5 % vauhdilla keskimääräisestä vauhdista. Lisäksi positiivisen vauhdinjaon seurauksena hapenoton suurin arvo nousi korkeammalle kuin tasaisessa vauhdinjaossa. Thompsonin ym. (2003) mukaan positiivinen vauhdinjako nostaa väsymykseen liittyvät metaboliitit ja RPE:n (rate of perceived exertion, koettu rasitustaso) korkeammalle kuin tasainen vauhdinjako. Yksilön aerobiset ja anaerobiset ominaisuudet määrittävät sen, kuinka vauhtia tulee jakaa mahdollisimman hyvän suorituksen saavuttamiseksi (Hettinga ym. 2006).

800 metrin juoksussa ensimmäinen 200 metriä on yleensä kilpailun nopein, ja vauhti hidastuu pikkuhiljaa loppua kohden (Kadono ym. 2008). Kuten kuvasta 2 voidaan nähdä, kilpailun alussa ja lopussa prosentuaalisen vauhdin hajonta on suurinta, joten yksilölliset ominaisuudet vaikuttavat eniten kilpailun alku- ja loppuosan vauhdinjakoon. Taulukosta 1 voidaan nähdä melko yksiselitteisesti, että paras tulos 800 metrillä saadaan yleensä positiivisen vauhdinjaon avulla. Filipasin ym. (2018) tutkimuksessa huomattiin eroja miesten ja naisten välillä 800 metrin vauhdinjaossa. Kummallakin sukupuolella ensimmäinen 200 metriä oli kilpailun nopein. Sen jälkeen miehillä vauhti hidastui progressiivisesti loppua kohti, kun taas naisilla 200 metrin jälkeen vauhti oli melko tasainen. Tämä tukee Hillin ym. (1999) sekä Duffieldin ym. (2005) tutkimusten tuloksia, joissa naisilla 800 metrin energiantuoton todettiin olevan aerobisempaa kuin miehillä.



KUVA 2. 800 metrin vauhdinjako, mukailtu Kadonon ym. (2008) mukaan. m, metri.

TAULUKKO 1. Listaus niistä tutkimuksista, joissa on tutkittu 800 metrin vauhdinjakoa. Mukailtu Casado ym. (2021). Taulukkoon ei olla sisällytetty arvokilpailujuoksujia käsitelleitä tutkimuksia, arvokilpailuiden erilaisen luonteen vuoksi.

Tutkimus	kilpailu	sukupuoli	vauhdinjako
Tucker ym. (2006)	ME-juoksut	miehet	Positiivinen, merihevonen
Filipas ym. (2018)	SB	Miehet, naiset	Positiivinen
De Koning ym. (2011)	ME-juoksut	miehet	Positiivinen

ME, maailmanennätys; SB, season best, kauden paras tulos.

3 VALMISTAVA VOIMAHARJOITUS

3.1 Mekanismi

Kestävyyslajien valmistavien harjoitusten aiemmat tutkimukset ovat keskittyneet sydän- ja verenkiertoelimistön valmistamiseen korkeaintensiteetisellä kestävyyskuormituksella minuutteja tai tunteja ennen suoritusta. Edellisen päivän valmistavan voimaharjoituksen vaikutuksen tutkiminen on ollut vähäistä, varsinkin hermolihasjärjestelmän valmistamisen osalta. Hermostollisen suorituskyvyn nousuun valmistavan voimaharjoituksen jälkeen liittyy kolme termiä, PAP, PAPE ja viivästynyt potentiaatio, ja näiden mekanismit on syytä erottaa toisistaan.

3.1.1 Lyhytaikainen potentiaatio

Post activation potentiation (PAP) on todennäköisesti seurausta myosiinien kevyiden päiden fosforylaatiosta, pennaatiokulmien muutoksista, ja suurempien motoristen yksiköiden rekrytoinnista. Vaikutus kestää noin 4–12 minuuttia. PAP-mekanismi voidaan saada näkymään kasvaneena supistusvoimana alfamotoneuronin sähköisen stimulaation aikana. Myös muutokset H-refleksissä, johtuen α -motoneuronin lisääntyneestä herkkydestä, kertovat potentiaatiosta. (Blacevich & Babault 2019) PAP:ssa lihaksiston suorituskyky nousee hetkellisesti johtuen edeltävistä hermostollisista suorituksista, ja esimerkiksi painoliiveillä tehdyillä sprinteillä on todettu olevan hyötyä juoksun taloudellisuuteen ja raajan jäykkyyteen (Barnes ym. 2015). Väsymyksellä on yleensä negatiivinen vaikutus hetkelliseen tehontuottoon, mutta kestävyysurheilijoilla vaikutus voi olla päinvastainen, ja esimerkiksi Vuorimaan ym. (2006) tutkimuksessa havaittiin esikevennyshyppykorkeuden nousua uupumukseen asti suoritettun kestävyysuorituksen jälkeen. Boullosan ym. (2009) tutkimuksessa tätä vaikutusta ei havaittu fyysisesti aktiivisilla henkilöillä, joilla ei ollut juoksutaustaa, joten voimantuoton potentioituminen kovan kestävyysuorituksen jälkeen lienee yleisempää kestävyystaustaisilla henkilöillä.

Joissain tutkimuksissa on testattu myös nopeusvetojen lyhytaikaista vaikutusta kestävyysuoritukseen ja hapenkulutuksen kinetiikkaan. (Burnley ym. 2002; Ingham ym. 2013; Wilkerson ym. 2004). Ingham ym. (2013) huomasivat, että kun 800 metrin juoksun

lämmittelyssä tehtiin 200 metrin kovavauhtinen juoksu, oli testin aika parempi, ja laktaatti sekä hapenkulutus saatiin nostettua korkeammaksi. Vertailuna oli se, että verryttelyssä tehtiin avaavina vetoina 6 x 50 metrin spurtit. Tämä kertoo siitä, että verryttelyssä hetkellisen potentiaation hyödyntämistä oleellisempaa lienee energiantuottoreittien stimulointi korkean intensiteetin vedolla. Bishopin ym. (2003) tutkimuksessa 5 x 10 sekunnin kajakkivedoilla, 50 sekunnin palautuksin, pystyttiin parantamaan 2 minuutin soututestin aikaa, kun taas sama protokolla tehtynä 5 minuuttia ennen 3 kilometrin pyöräilytestiä (McIntyre & Kilding 2015) ei johtanut suorituskyvyn paranemiseen.

3.1.2 Lihassupistuksen jälkeinen suorituskyvyn nousu

Suorituskyvyn nousu valmistavan voimaharjoituksen jälkeen ei automaattisesti tarkoita sitä, että varsinaista potentioitumista olisi tapahtunut. PAP-mekanismiin lisäksi suorituskyvyn nousua tapahtuu myös lihaksen lämpötilan nousun ja jäykkyyden lisääntymisen johdosta. PAPE (post-activation performance enhancement, lihasaktivaation jälkeinen voimantuoton parannus) tarkoittaa sitä, että jonkun fyysisen testin suorituskyky paranee, ja tämä on syytä erottaa varsinaisesta potentiaatiosta. (Blancevich & Babault 2019) Teoriaa myosiinin kevyiden päiden fosforylaatiosta ei myöskään olla pystytty aukottomasti todistamaan ihmisillä (Maloney ym. 2014). Lihäsjännekompleksin jäykkyyden on todettu pienenevän kestävyysjuoksijoilla väsymyksen kertyessä suorituksen aikana (Hayes & Caplan 2014). Voikin olla, että valmistavan voimaharjoituksen akuutisti jäykkyyttä lisäävä vaikutus kumoaisi väsymisestä aiheutuvaa jäykkyyden pienenemistä.

3.1.3 Viivästynyt potentiaatio

PAP:n ja PAPE:n lisäksi suorituskyvyn nousulle lihasaktivaation jälkeen on kolmaskin mekanismi, joka voidaan havaita 6–48 tuntia kuormituksen jälkeen. Useissa tutkimuksissa on havaittu hermostollisen suorituskyvyn nousua tässä aikaikkunassa valmistavan harjoituksen jälkeen. (Cook ym. 2014; Ekstrand ym. 2013; Saez de Villareal ym. 2007; Tsoukos ym. 2018) Tätä mekanismia kutsutaan viivästyneeksi potentiaatioksi, vaikka vaikutus ei välttämättä perustukaan varsinaiseen potentiaatioon (Blancevich & Babault 2019).

Viivästyneen potentiaation mekanismina voi olla korkeataajuisen liikehermosolujen aktivaatio tai lihasten lämpötilan nousu (Saez Saez de Villareal ym. 2007), mutta Harrisonin ym. (2019)

mukaan nämä mekanismit eivät vaikuta kehossa enää 48 tunnin päästä, ja tällä aikaikkunalla suorituskyvyn nousua/potentiaatiota on kuitenkin havaittu. Tsoukos ym. (2018) ehdottivat mekaanisen jäykkyyden lisääntymistä yhdeksi mahdolliseksi viivästyneen potentiaation mekanismiksi. Myös vuorokausirytmien muutokset voivat olla viivästyneen potentiaation taustalla. Vuorokausirytmiiin liittyvä vireystila voi Cookin ym. (2014) mukaan olla iltapäivällä parempi, jos aamupäivällä on tehty valmistava harjoitus. Voimaharjoituksen aikaansaamat hormonaaliset muutokset (testosteronin määrän lisääntyminen, testosteroni:kortisoli –suhteen kasvu) voivat edesauttaa suorituskyvyn kasvua viivästyneen potentiaation aikaikkunalla (Harrison ym. 2019). Viivästyneen potentiaation mekanismeja ei täysin varmasti siis tiedetä.

3.2 Valmistavan voimaharjoituksen vaikutukset suorituskykyyn

3.2.1 Teholajit

Suorituskykyhyötyä valmistavasta voimaharjoituksesta on saatu monissa eri suorituskyvyn testeissä aiemmissa teholajien tutkimuksissa. Valmistavien harjoitusten jälkeen on havaittu kehitystä erityisesti venymislyhenemissyklusta vaativissa testeissä, kuten esikevennyshypyn eri muuttujissa (korkeus, suurin teho, korkein nopeus). Venymislyhenemissykluksen hyödyntäminen on erittäin tärkeää myös juoksussa (Barnes & Kilding 2015). Kimmoisuutta vaativissa testeissä on nähty muutoksia 6 tuntia (Saez de Villareal ym. 2007; Cook ym. 2014), 24 tuntia (Tsoukos ym. 2018), 33 tuntia (Raastad & Hallen 2000) ja 48 tuntia (Tsoukos ym. 2018) valmistavan harjoituksen jälkeen. Kuntopallon heitto taakse pään yli sekä RFD (rate of force development, voimantuottonopeus) isometrisessä kyykyssä parantuivat Tsoukoksen ym. (2018) ja Ekstrandin ym. (2013) tutkimuksissa. Sprinttisuoritus parantui Cookin ym. (2014) tutkimuksessa. Taulukkoon 2 on listattu, millaisilla harjoituksilla näitä hyötyjä on teholajien tutkimuksissa saatu. Monissa näissä tutkimuksissa kontrolliryhmä on levännyt ennen suoritusta, ja käytännön kannalta voisi olla hyödyllistä tehdä tutkimuksia, joissa erilaisia valmistavia voimaharjoituksia verrattaisiin keskenään. Tutkimukset ovat kuitenkin kiistattomasti osoittaneet, että teholajien urheilijan kannattaa hyödyntää potentiaation eri aikaikkunoiden mekanismeja kilpailuun valmistautuessaan. Jatkossa tutkimukset voisivat siis kohdistua enemmän erilaisten valmistavien protokollien keskinäiseen vertailuun.

TAULUKKO 2. Listaus muutamista teholarjen urheilijoiden valmistavien voimaharjoitusten tutkimuksista, mukailtu Harrison ym. (2019).

tutkimus	Valmistavan harjoituksen protokolla	suorituskykyvaikutukset
Raastad & Hallen 2000	3×3 takakyykky (70% 3RM), 3×3 etukyykky (70% 3RM) and 3×6 polven ojennus (70% 6RM)	→ CMJ korkeus (3h, 7h, 11h, 22h, 26h, 30h) ↑ 5% CMJ korkeus (33 h)
Cook ym. 2014	3×3 takakyykky (80%, 90%, 100% 3RM) ja 3×3 penkistä nosto (80%, 90%, 100% 3RM)	↑ 4.2% 3RM kyykky, ↑ 3.5% 3RM penkistä nosto, ↑ 1.3% 40 m sprintti ja ↑ 3.9% CMJ korkein teho (6 h)
Tsoukos ym. 2018	5×4 kyykkyhyppy (40% 1RM)	↑ 5% CMJ korkeus, ↑ 10% RSI, ja ↑ RFD (24 h) ↑ 3% CMJ korkeus ja ↑ RFD (48 h)
Ekstrand ym. 2013	1×6 takakyykky (85% 1RM), 1×takakyykky failureen (85% 1RM) ja 1× rinnallevetoharjoitus uupumukseen asti 4 toiston sarjoissa	↑ 2.6% BOST ja →0.6% CMJ korkein teho (4–6 h)
Mason ym. 2017	4×3 kuminauhavastusteinen takakyykky (46.7 kg vastus seistessä) ja 4×3 kuminauhavastusteinen penkistä nosto (46.7 kg vastus täydessä ekstensiossa)	→3.4% CMJ korkein teho, →1.5% CMJ korkein nopeus, →2.3% CMJ korkein voima, ↑ 8.5% penkistä nosto korkein teho, ↑ 3.8% penkistä nosto korkein nopeus ja ↑ 13.9% penkistanosto korkein voima (1 h 75 min)

↑, tilastollisesti merkitsevä nousu; →, ei tilastollisesti merkitsevää eroa; BOST, backward overhead squat throw, kuntosallin heitto taakse pään yli; CMJ, countermovement jump, esikevennyshyppy; kg, kilogramma; RM, repetition maximum, toistomaksimi; RFD, rate of force development, voimantuottonopeus; RSI, relative strength index, suhteellinen voimaindeksi.

3.2.2 Kestävyysslajit

Valmistavien hermostollisten harjoitusten tutkimuksia on toistaiseksi vähän kestävyyslajeista (taulukko 3). McGowan ym. (2017) ja Dahl ym. (2021) suorittivat valmistavan harjoituksen 6

tuntia, ja Rud ym. (2021) 5 tuntia ennen kestävyystestiä. Ensiksi mainitussa saatiin aikaan kehitystä 100 metrin uintisuoritukseen, kun taas jälkimmäisissä ei havaittu vaikutusta juoksun suorituskykyyn ja hiihdon tasatyöntöön. Sekä Dahl ym. (2021) että Rud ym. (2021) tulivat siihen johtopäätökseen, että valmistavasta harjoituksesta ei ehditty palautua 5–6 tunnissa iltapäivän kestävyysuorituksen, joten on hyödyllistä tutkia, miten edellisenä päivänä, 14–16 tuntia ennen testiä tehty valmistava harjoitus vaikuttaa kestävyysuoritukseen.

TAULUKKO 3. Kestävyyslajien valmistavien voimaharjoitusten aiemmat tutkimukset.

tutkimus	mekanismi (PAP/PAPE/viivästynyt potentiaatio)	valmistavan harjoituksen protokolla	palautusaika	suorituskykyvaikutus
Dahl ym. (2021)	PAPE/viivästynyt potentiaatio	2x3 toistoa yhden jalan kyykkyä maksimaalisella liikelaajuudella	6h	-
Rud ym. (2021)	PAPE/viivästynyt potentiaatio	kyykky ja pullover istuen 3 x 3, 5 RM/ 3min	5h	-
McGowan ym. (2017)	PAPE/viivästynyt potentiaatio	lueteltu kappaleessa 3.3.1	6h	↑ 100m uinti
Wei ym. (2020)	PAP	2 × 8 kyykkyhyppy, 2 × 8 saksihyppy, 2 × 8 tasaloikka /60s palautus	10 min	↑ juoksun taloudellisuus ja raajan jäykkyys
Wei ym.. (2020)	PAP	6 x 10 sek juoksuvedot painoliivillä	10 min	-
Blackgrove ym. (2019)	PAP	6 x pudotushyppy	10 min	↑ juoksun taloudellisuus, ei muutosta juokсутestin uupumisaikaan

↑, tilastollisesti merkitsevä suorituskyvyn nousu; m, metri; PAP, post activation potentiation, lihasaktivaation jälkeinen voiman potentioituminen; PAPE, post activation performance enhancement, lihasaktivaation jälkeinen voimantuoton parannus; RM, repetition maximum, toistomaksimi; sek, sekunti.

3.3 Potentoitumiseen ja suorituksen paranemiseen liittyvät tekijät

3.3.1 Intensiteetti, volyyymi ja palautusaika

Sekä PAP:n että PAPE:n aikaansaamiseksi oleellista on löytää oikea suhde suorituskykyä edistävien (mm. myosiinien kevyiden päiden fosforylaatio, pennaatiokulmien muutokset, suurempien motoristen yksiköiden rekrytointi, lämpötilan nousu ja jäykkyys) ja väsymystä aiheuttavien tekijöiden (pH:n lasku, liian suuri lämpötilan nousu, lihasten mikroauriot) välillä. Kun valmistava harjoitus on hermostolliselta kuormitukseltaan optimaalinen, ja palautusaika riittävä, pitäisi tällöin hermostollinen suorituskyky nousta väliaikaisesti seuraavina minuutteina ja tunteina. (Blacevich & Babault 2019) Sama absoluuttinen volyyymi ja intensiteetti voivat olla vaatimuksiltaan hyvin erilaisia eri henkilöille, joten voi olla tarkoituksenmukaista yksilöidä valmistavan harjoituksen volyyymiä ja intensiteettiä yksilöllisesti. Missään valmistavan harjoituksen tutkimuksessa sarja- tai toistomääriä ei olla yksilöity, mutta voimaharjoituksen kuormittavuuden yksilöinti on helppoa, kun 1 RM tiedetään. (Rixon ym. 2007) Haffin (2010) mukaan voimaharjoituksen kuormitusta kunkin liikkeen kohdalla voidaan laskea kaavalla $\text{sarjat} \times \text{toistot} \times \%1 \text{ RM} = \text{AU}$ (arbitrary units). Teholajien valmistavan voimaharjoituksen tutkimuksissa, joissa suorituskyky on noussut useiden tuntien aikaikkunalla (Saez Saez de Villarreal ym. 2007; Cook ym. 2014; Tsoukos ym. 2018), AU on ollut 450 ja 1190 välillä.

McGowanin ym. (2017) uintitutkimuksen valmistava harjoitus sisälsi 3 x 10 metrin juoksupurtit, neljä kyykkyhyppyä, viisi käsinseisontapunnerrusta, 3 x 10 sekuntia simuloitua perhosuinnin potkuliikettä ja kolme kuntopallon heittoa lattiaan. Tämä sarja tehtiin kaksi kertaa. Kaikki liikkeet toteutettiin maksimaalisella yrityksellä, ja liikkeiden välissä oli palautusta kaksi minuuttia. Tämä harjoitus kuulostaa varsin vaivalta, jos sitä verrataan esimerkiksi Dahlin ym. (2021) tai Rudin ym. (2021) protokolliin. Näissä tutkimuksissa valmistava harjoitus oli volyymiltään pienempi kuin McGowanin ym. (2017) tutkimuksessa, jossa selkeää suorituskykyhyötyä saatiin. Näin ollen kestävyysurheilijoilla valmistavassa harjoituksessa lienee syytä miettiä tarkkaan, onko harjoitus riittävän vaativa, jotta se saisi aikaan potentioivia tai suorituskykyä muuten akuutisti parantavia vasteita.

Kun suunnitellaan optimaalista kuormitusta edeltävän päivän voimaharjoitukseen, on tarkasteltava, miten nopeasti eri tyypisistä voimakuormituksista on aikaisemmissa

tutkimuksissa palaututtu. Raastadin ja Hallenin (2000) tutkimuksessa tehtiin 3 x 3 toistoa etukyykyä, sama määrä takakyykyä, ja 3 x 6 toistoa polven ojennusta. Harjoitus tehtiin joko 70 % tai 100 % kuormalla kunkin liikkeen toistomäärän maksimista. 70 % ryhmällä polven ojennuksen isometrinen voima ja kevennyshypyn korkeus palautuivat lähtötasolle jo kolmen tunnin jälkeen, kun 100 % ryhmällä nämä muuttujat eivät olleet palautuneet vielä 24 tunnin kuluttuakaan. Optimaalinen intensiteetti edellisen päivän valmistavalle voimaharjoitukselle lienee näiden kahden protokollan välimaastossa. Tutkijat pohtivat, että eksentrisen voimantuoton määrä, käytetyt lihasryhmät, lihassolujakauma, sukupuoli ja harjoittelutausta vaikuttavat palautusaikaan (Raastad & Hallen 2000). Michautin ym. (2000) tutkimuksessa huomattiin, että 5 x 10 eksentrisen hauiskääntöharjoituksen jälkeen lihasaktivaatio oli madaltuneella tasolla 2 minuuttia – 48 tuntia kuormituksen jälkeen, joten voimakkaissa eksentrisissä hypertofisisissa kuormituksissa väsymyksen vaikutus ylittää todennäköisesti potentiaation vaikutukset melko pitkäänkin harjoituksen jälkeen.

Harjoituksen sisällön ohella tärkeä tekijä valmistavien harjoitusten tutkimuksissa on palautusaika. Kuuden tunnin palautusaikaa käytettiin sekä McGowanin (2017) että Dahlin ym. (2021) tutkimuksissa. Ensiksi mainitussa suorituskyky parani uinnissa, kun taas jälkimmäisessä vaikutusta ei havaittu juoksijoilla. Voi siis olla, että optimaalisissa lajikohtaisessa palautusajoissa on eroja. Toki valmistavan harjoituksen protokollat olivat erilaisia, joten täysin varmasti tällaista johtopäätöstä ei voida vetää. Uimarit harjoittelevat enemmän kuin juoksijat (Costill ym. 1991; Lehmann ym. 1992), mikä myös saattaa johtaa nopeampaan palautumiskykyyn.

Potentiaatiota ja suorituskyvyn parantumista on havaittu erityisesti korkean kuorman ($\geq 85\%$ 1 RM) voimaharjoitusten ja matalamman kuorman ballististen protokollien jälkeen (Harrison ym. 2019). Matalakuormaisilla ballistisilla harjoitteilla, joissa toistoja on tullut 15–20 jaettuna useampaan sarjaan, on saatu aikaan viivästynyttä potentiaatiota (Saez Saez de Villarreal ym. 2007; Tsoukos ym. 2018). Tutkimuksissa ei olla vielä havaittu viivästynyttä potentiaatiota kevyen kuorman ($< 30\%$ 1RM) voimaharjoitusten jälkeen, ja todennäköisesti suuren kuorman voimaharjoitteet ja matalan kuorman ballistiset harjoitteet tuovat parhaan hyödyn suorituskykyyn (Harrison ym. 2019). Konsentrisen vaiheen tekeminen maksimaalisella nopeudella johtaa todennäköisemmin suurempaan hyötyyn suorituskyvyssä (Harrison ym. 2019), mutta myös hitaammalla ja hallitulla suoritusnopeudella (Raastad & Hallen 2000) on päästy haluttuun lopputulokseen. Hamadan ym. (2003) tutkimuksessa suurin potentiaatio

peräkkäisissä maksimaalisissa supistuksissa (5 sekuntia supistamista, 3 sekuntia lepoa) havaittiin toisessa supistuksessa. Näin ollen valmistavassa harjoituksessa tulee siis tehdä sitä vähemmän toistoja, mitä lähempänä MCV:tä intensiteetti on. Hamadan ym. (2003) tutkimuksen perusteella yhdessä sarjassa kannattaa kuitenkin tehdä joka tapauksessa vähintään kaksi toistoa, jotta saadaan aikaa suurin mahdollinen potentiaatio.

3.3.2 Liikkeet

Jos valmistavassa harjoituksessa tehdään liikkeitä, jotka ovat vieraita tutkittaville, on viivästynyt lihaskipu, DOMS (delayed-onset muscle soreness) todennäköisesti hyvin suurta, mikä vaikuttaa negatiivisesti suorituskyykyyn. Tutkittaville on annettava riittävästi aikaa totuttautua liikkeisiin ennen testijaksoa. (Rixon ym. 2007) Näin ei tehty Dahlin ym. (2021) tutkimuksessa, jossa tutkittiin valmistavan voimakuormituksen vaikutusta juoksusuoritukseen, ja suorituskyykyvaikutusta kyseisessä tutkimuksessa ei havaittu. Tutkittavien voima- ja plyometria harjoittelusta on syytä selvittää, jotta sitä voidaan käyttää apuna protokollan suunnittelussa ja tulosten tulkitsemisessa, koska potentiaatiota tapahtuu todennäköisemmin niillä liikkeillä, joita henkilö on aikaisemmin tehnyt harjoittelussaan (Rixon ym. 2007).

Valmistavan voimaharjoituksen tulisi sisältää liikkeitä, jotka aktivoivat itse suorituksessa käytettäviä lihaksia. Triathlonisteilla todettiin kyynärnivelen ja nilkan ojentajissa potentiaatiota voimakuormituksen jälkeen, kun taas juoksijoilla vain nilkan ojentajissa. (Hamada ym. 2000) Potentiaatiota tapahtui siis vain lihaksissa, joita oli käytetty harjoittelussa. Näin ollen voisi ajatella, että enemmän harjoitelleet hyötyisivät valmistavasta harjoituksesta enemmän kuin vähemmän harjoitelleet, koska lajissa tarvittavia lihaksia on myös harjoitettu enemmän. Rudin ym. (2021) tutkimuksessa huomattiin, että neljän parhaan hiihtäjän joukosta kolme olivat niitä, jotka hyötyivät kaikista eniten aamupäivän valmistavasta voimaharjoituksesta iltapäivän aikakokeessa. Tämä voi olla tietysti sattumaakin. Valmistavan voimaharjoituksen liikkeiden tulisi olla liikemalleiltaan samankaltaisia itse suorituksen kanssa (Harrison ym. 2019).

Viivästynyttä potentiaatiota on saatu aikaan sekä yhden liikkeen (Saez Saez de Villarreal ym. 2007; Tsoukos ym. 2018) että useamman liikkeen (Ekstrand ym. 2013; Cook ym. 2014) harjoituksilla. Erittäin tehokkaiksi potentiaatiota aikaansaaviksi liikkeiksi on havaittu takakyykky, sekä kyykkyhyppy (Cook ym. 2014; Saez Saez de Villarreal ym. 2007; Tsoukos ym. 2018). Myös monilla muilla moninivelliikkeillä (rinnalleveto, maastaveto ja tempaus) on

saatu aikaan viivästynyttä potentiaatiota (Ekstand ym. 2013; Fry ym. 1995; Raastad & Hallen 2000). Seitzin ja Haffin (2016) meta-analyysin mukaan plyometriset liikkeet ja suuren kuorman voimaliikkeet aikaansaavat yhtä suuret potentoivat tai räjähtävää suorituskykyä parantavat vaikutukset, kun taas pienemmän kuorman harjoitteilla ja isometrisillä supistuksilla on vain pieni vaikutus. Benardin ym. (1996) mukaan tutkittavan taito valmistavan harjoituksen liikkeissä vaikuttaa siihen, kuinka suuren potentiaation niistä voi saada. Isometriset liikkeet ovat taidollisesti helpompia toteuttaa kuin dynaamiset, jolloin taidon vaikutus tuloksiin voitaisiin minimoida. Toisaalta, kuten edellä todettua, dynaamiset moninivelliikkeet saavat todennäköisesti aikaan suurempaa potentiaatiota ja suorituskyvyn nousua.

3.3.3 Yksilölliset ominaisuudet

Suorituskykyvasteet valmistavan voimaharjoituksen jälkeen ovat hyvin yksilöllisiä (Fry ym. 1995). Hamadan ym. (2003) tutkimus osoitti, että nimenomaan submaksimaalisilla kuormilla sekä kestävyys-, että teholarjitaustaiset tutkittavat hyötyivät potentiaatiosta yhtä paljon. Koska potentiaation taso oli korkealla pitkään kuormituksen aikana kestävyysurheilijoilla, voidaan todeta, että potentoiva vaikutus on kestävyysurheilijoilla pitkäkestoinen, varsinkin kun vertailun kohteena ovat teholarjitaustaiset urheilijat. Moranin ja Perreyn (2009) tutkimuksessa submaksimaalisessa 10 minuutin isometrisessä polven ojennuksen rasituksessa potentiaatiota mitattiin 10 sekunnin välein, ja huomattiin että kestävyystaustaisilla urheilijoilla potentiaation vaikutus ylitti väsymyksen vaikutuksen kuormituksen edetessä loppua kohden, kun taas teholarjitaustaisilla tutkittavilla väsymyksen vaikutus ylitti potentiaation vaikutuksen kuormituksen edetessä. Potentiaatiota voi tapahtua sekä tyypin 1 että tyypin 2 lihassoluissa, mutta henkilöt, joilla on enemmän tyypin 2 lihassoluja, voivat saada aikaan suuremman hetkellisen potentiaation (Vandervoort ym. 1983). PAP-mekanismi vallitsee lihaksissa vain noin 12 minuutin ajan teholarjiurheilijoilla, mutta kestävyysurheilijoilla vaikutus kestää pidempään (Morana & Perrey 2009). Kestävyysharjoitteluiden on osoitettu saavuttavan harjoittelemattomia suuremman potentiaation maksimaalisen lihassupistuksen jälkeen (Hamada ym. 2000).

4 x 5 RM jalkaprässikuormitus tehtynä 10 minuuttia ennen 20 kilometrin pyöräilyn aika-ajoa sai aikaan parannusta suorituskyvyssä. Välijoissa nähtiin kuitenkin tilastollisesti merkitsevää muutosta ainoastaan ensimmäisen 2 kilometrin keskitehossa. (Silva ym. 2014) Feroksen ym. (2012) tutkimuksessa 5 x 5 sekunnin isometriset supistukset soutuergometrissä johtivat

kovempaan keskitehoon 1 kilometrin soututestin ensimmäisen 500 metrin aikana, mutta eroja koko testin keskitehoissa ei ollut kontrolliryhmään verrattuna. Valmistavan harjoituksen hyödyt kohdistuvat siis todennäköisesti kestävyysuorituksen alkupuolelle, joten esimerkiksi nopeusreserviltään heikon 800 metrin juoksijan voi olla hyödyllistä valmistaa hermo- ja lihaskäytöstään ennen kilpailua. Toisaalta voidaan ajatella, että nopeusreserviltään vahvoilla 800 metrin juoksijoilla on enemmän tyypin 2 lihassoluja, jolloin Vandervoortin ym. (1983) mukaan he hyötyisivät valmistavasta harjoituksesta enemmän kuin ne, joilla on suurempi osuus tyypin 1 lihassoluja. Vaikka potentiaatiosta lienee hyötyä kestävyysuorituksen alkupuolella, on epäselvää, onko siitä hyötyä koko suoritukseen. Jos potentiaatio johtaa liian kovaan alkuvauhtiin yksilön kapasiteettiin nähden, tällöin vaikutus lienee negatiivinen. Lisäksi potentiaation vaikutus lienee pienempi pidemmällä kestävyysmatkoilla, verrattuna 1–3 minuutin suoritukseen, joissa kovan alkuvauhdin rooli on suurempi.

Mitä parempi urheilija on valmistavan harjoituksen liikkeissä taidollisesti ja koordinatiivisesti, sitä suurempia motorisia yksiköitä hän pystyy rekrytoimaan, ja sitä suurempi potentioiva vaikutus valmistavalla harjoituksella todennäköisesti on (Benardi ym. 1996). Valmistavan harjoituksen liikkeisiin tottumattomuus aiheuttaa todennäköisesti suurempaa väsymystä kuin jos niihin olisi tottunut, mutta toisaalta kestävyysurheilijoilla on kyky palautua nopeasti (Morana & Perrey 2009). Seitzin ja Haffin (2016) mukaan vahvemmat henkilöt saavat aikaan suuremman potentiaation. Miehillä potentiaation vaikutus on keskimäärin voimakkaampi kuin naisilla, mikä voi johtua myös eroista voimatasoissa (Wilson ym. 2013). Vanhemmilla kestävyysurheilijoilla on pienempi kapasiteetti saada aikaan potentiaatiota, johtuen pienemmästä lihasmassasta ja pienemmästä 2-tyypin lihassolujen määrästä (Nilwik ym. 2013). Fryn ym. (1995) tutkimuksessa koettu ahdistuneisuus ennen suoritusta oli suurempaa niillä, jotka hyötyivät valmistavasta voimaharjoituksesta, joten kilpailua voimakkaasti stressaaville urheilijoille valmistava voimaharjoitus voi toimia paremmin kuin vähän stressaaville.

4 TUTKIMUSKYSYMYKSET JA HYPOTEESEIT

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää, onko valmistavalla voimaharjoituksella hyötyä 800 metrin juoksun suorituskykyyn liittyviin tekijöihin, kuten aikaan, vauhdinjakoon, fysiologisiin mittareihin (syke ja laktaatti) ja askeleen kontakti- sekä lentoaikaan. Valmistava voimaharjoitus tehdään iltapäivällä tai illalla, ja 800 metrin juokсутesti seuraavana aamupäivänä. Aiemmassa kestävyyslajien tutkimuskirjallisuudessa kyseistä asetelmaa ei olla käytetty, mutta teholajeissa on.

Tutkimuskysymys 1: Onko valmistavalla voimaharjoituksella vaikutusta seuraavan päivän 800 metrin juoksun suoritukseen ja esikevennyshyppykorkeuteen?

Hypoteesi 1: Suorituskyky 800 metrin juoksussa sekä esikevennyshyppykorkeudessa on parempi valmistavan voimaharjoituksen jälkeen. Esimerkiksi Russellin ym. (2016) ja Cookin ym. (2014) tutkimuksissa nähtiin, että valmistavalla voimaharjoituksella saatiin aikaan hermostollisen suorituksen paranemista teholajien urheilijoilla. Lisäksi uimareilla on saatu aikaan 100 metrin tuloksen paranemista valmistavan harjoituksen avulla (McGowan ym. 2017). Juoksijoilla ja hiihtäjillä näin ei käynyt (Dahl ym. 2021; Rud ym. 2021), mutta voi olla, että näissä tutkimuksissa urheilijat eivät olleet vielä palautuneet valmistavasta harjoituksesta ennen kestävyystestiä. Tässä tutkimuksessa palautusaika on n. 100 % pidempi kuin Dahlin ym. (2021) ja Rudin ym. (2021) tutkimuksissa, joten suorituskykyhyötyä voidaan olettaa saavutettavan paremman palautumisen vuoksi.

Tutkimuskysymys 2: Onko valmistavasta harjoituksesta saatavan hyödyn suuruus yhteydessä parempaan kapasiteettiin nopeutta ja voimaa vaativissa testeissä?

Hypoteesi 2: Nopeus- ja voimaominaisuudet ovat yhteydessä suurempaan hyötyyn PSE:stä. Henkilöt, joilla on suurempi määrä tyypin 2 lihassoluja, hyötyvät todennäköisesti enemmän valmistavasta voimaharjoituksesta (Bullosa ym. 2011). Hyvä tulos hermostollisissa testeissä (CMJ, lentävä 20m ja jalkaprässi) vaativat suuren suhteellisen osuuden tyypin 2 lihassoluja (Inbar ym. 1981).

Tutkimuskysymys 3: Johtaako valmistava voimaharjoitus parempaan irtiottokykyyn 800 metrillä, mikä näkyy korkeampana laktaattitasona sekä esikevennyshyppykorkeuden heikentymisenä post-testissä.

Hypoteesi 3: PSE:n jälkeen laktaattitasot nousevat korkeammalle, ja esikevennyshyppytulokset heikkenevät 800 metrin testin jälkeen. Valmistavalla voimaharjoituksella saadaan rekrytoitua tehokkaasti tyypin 2 lihassoluja (Boullosa ym. 2011), mikä johtaa parempaan hermostolliseen ja anaerobiseen suorituskäyttöön (Inbar ym. 1981). Tyypin 2 lihassolut tuottavat enemmän laktaattia, ja ovat väsyvämpiä kuin tyypin 1 lihassolut (Inbar ym. 1981), joten voidaan olettaa, että laktaattitaso on korkeampi, ja kevennyshyppysuoritus heikompi 800 metrin testin jälkeen, kun valmistava voimaharjoitus on tehty.

5 TUTKIMUSMENETELMÄT

5.1 Tutkittavat

Tutkimukseen haettiin juoksijoita, suunnistajia, triathlonisteja ja hiihtäjiä. Heillä tuli olla vähintään kahden vuoden kestävyysjuoksuharjoittelutausta. Tutkittavien antropometriset tiedot ja hapenottokyky on listattu taulukkoon 4, ja lajikohtainen tutkittavien jakauma taulukkoon 5. Rekrytointi tapahtui Jyväskylän alueen kestävyysurheiluseurojen sosiaalisen median kanavia hyödyntäen. Tutkimuksen aloitti yhteensä 11 tutkittavaa, jotka olivat iältään 18–40-vuotiaita. Kaikki tutkittavat suorittivat tutkimuksen loppuun asti. Poissulkukriteerejä olivat alle kahden vuoden juoksuharjoittelutausta ja suoran maksimaalisen hapenottokyvyn testin vasta-aiheet, jotka kartoitettiin ensimmäisellä käyntikerralla esitieto- ja terveyslomakkeen sekä haastattelun avulla. Tutkittavat olivat mukana vapaaehtoisesti, ja heillä oli mahdollisuus keskeyttää tutkimus omalta osaltaan milloin tahansa, syystä riippumatta. Tutkimus sai hyväksynnän Jyväskylän yliopiston eettiseltä toimikunnalta. Tutkimus toteutettiin yhteistyössä Timo Tapion pro gradu -työn kanssa.

TAULUKKO 4. Tutkimuksen loppuun asti suorittaneiden tutkittavien ikä, pituus, paino, maksimaalinen hapenottokyky sekä maksimaalista hapenottokykyä vastaava vauhti ryhmittäin (keskiarvo \pm keskihajonta).

	Ikä (vuotta)	Pituus (cm)	Paino (kg)	VO _{2max} (ml/kg/min)	vVO _{2max} (km/h)
Miehet	29,1 \pm 8,5	180,8 \pm 3,2	72,7 \pm 5,2	60 \pm 8,1	17,0 \pm 1,7
Naiset	23,3 \pm 1,5	165,0 \pm 2,6	64,1 \pm 9,5	45,0 \pm 4,7	14,0 \pm 0,4

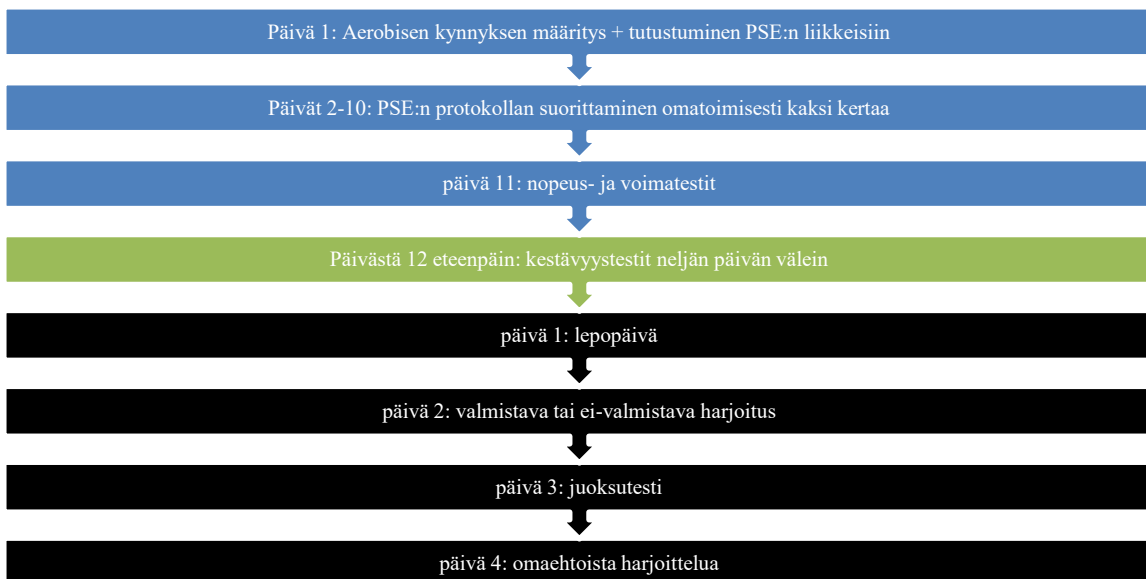
cm, centimeter, senttimetri; kg, kilogramma; km/h, kilometriä tunnissa; ml, millilitra; min, minuutti; VO_{2max}, maksimaalinen hapenottokyky; vVO_{2max}, maksimaalista hapenottokykyä vastaava vauhti.

TAULUKKO 5. Tutkimuksen loppuun asti suorittaneet tutkittavat lajiryhmittäin.

	juoksu	suunnistus	hiihto	triathlon	Ei selkeää pääalajia
Määrä	5	1	3	1	1

5.2 Tutkimusasetelma

Mittausjakson ensimmäisenä päivänä mitattiin tutkittavien aerobisen kynnyksen vauhti asteittain nousevatehoisessa juoksumattotestissä. Tämän jälkeen suoritettiin perehdytys valmistavan voimaharjoituksen liikkeisiin. Tutkimuspäivinä 2–10 tutkittavat suorittivat omatoimisesti valmistavan voimaharjoituksen koko protokollan kaksi kertaa, kahtena eri päivänä. Tällä varmistettiin se, että kun varsinaiset kestävyystestit (800 m ja VO_{2max}-testi) aloitettiin, tutkittavilla ei olisi niissä viivästynyttä lihaskipua valmistavasta voimaharjoituksesta. Päivänä 11 mitattiin tutkittavien nopeus- ja voimaominaisuuksia seuraavilla testeillä: lentävä 20 metriä, kevennyshypyn korkeus sekä 5 RM jalkaprässissä. Päivästä 12 eteenpäin suoritettiin kestävyystestit neljän päivän välein. Mittausjakson kulku on esitetty kuvassa 3. PSE:n jälkeen palautusaika ennen 800 metrin juoksutestiä oli keskimäärin $16,4 \pm 1,95$ tuntia, ja ei-valmistavan harjoituksen jälkeen keskimäärin $16,7 \pm 2,16$ tuntia. Mittausjakson pituus oli kullakin tutkittavalla lähtökohtaisesti 26 päivää, mutta muutaman tutkittavan kohdalla jouduttiin tekemään pieniä muutoksia. Tutkittavien harjoitustaustasta kysytyt muuttujat olivat juoksukilometrit 2 kk ajalta ennen tutkimusjaksoa, juoksuharjoitteluvuodet, kimmoisuusharjoittelu (kertoina ja minuutteina) 2 kk ajalta ennen tutkimusta, voimaharjoittelu (kertoina ja minuutteina) 2 kk ajalta ennen tutkimusta sekä nopeusharjoittelu (kertoina ja minuutteina) 2 kk ajalta ennen tutkimusta sekä keskimääräinen peruskestävyyslenkkien pituus viimeisen 2 kk ajalta ennen tutkimusta.



KUVA 3. Mittausjakson aikataulu. Mustien laatikoiden mukainen neljän päivän sykli toistui neljä kertaa, kunnes kaksi 800 metrin testiä ja kaksi maksimaalisen hapenoton testiä oli tehty.

5.3 Harjoitus- ja testiprotokollat

Tutkimuspäivänä 1 määritettiin tutkittavien aerobinen kynnysvauhti submaksimaalisella nousevatehoisella juoksumattotestillä. Maksimaaliset kestävyystestit olivat 800 metriä juosten radalla, sekä suora maksimaalisen hapenoton testi juoksumatolla. Kestävyystestejä edeltävänä päivänä tehtiin joko valmistava voimaharjoitus tai tavanomainen kilpailuun valmistava hölkkävauhtinen harjoitus. Ennen varsinaisia kestävyystestejä mitattiin tutkittavien nopeus- ja voimaominaisuuksia, jotta niitä voitiin peilata valmistavasta voimaharjoituksesta saatuun hyötyyn. Kaikki nopeus- ja voimatestit suoritettiin mittausjakson päivänä 11.

5.3.1 Kestävyystestit

Mittausjaksolla tehtiin kaksi kertaa molemmat juoksukapasiteetin testit siten, että toisella kerralla alla oli edellisen päivän valmistava voimaharjoitus ja toisella kerralla ei. Yhteensä maksimaalisia juoksutestejä tuli siis neljä kappaletta, ja näiden testien järjestys arvottiin. Jokaisella tutkittavalla oli oma testien suoritusjärjestys, koska neljästä testistä saadaan 24 erilaista järjestystä, ja tutkittavia oli tätä vähemmän. Näin ollen testien suoritusjärjestyksen vaikutus tuloksiin minimoitiin. Maksimaalisten juoksutestien lisäksi tutkimuksen alussa tehtiin submaksimaalinen nousevatehoinen juoksumattotesti, jonka tavoite oli määritellä aerobinen kynnysvauhti.

800 metrin juoksumattotesti. Testi suoritettiin tartan-pinnoitteisella 200 metrin sisäjuoksuradalla Jyväskylän hipposhallissa. Verryttelyssä tutkittavat suorittivat ensin 10 minuutin alkuverryttelyhölkkän, sekä 10 minuutin omavalintaisen liikkuvuus- ja koordinaatio-osuuden. Tämän lisäksi sallittiin kaksi 60 metrin spurtia. Sormenpääverinäytteestä mitattiin laktaatti Biosen S_line Lab+ -laktaattianalysaattorilla (EKF Diagnostic, Magdeburg, Saksa) ennen verryttelyä, kaksi minuuttia ennen testin alkua, sekä 1, 4, 7, ja 10 minuuttia testin jälkeen. Esikevennyshyppykorkeus mitattiin kontaktimatolla kaksi minuuttia ennen testiä, sekä minuutti juoksumattotestin jälkeen. Juoksun kontaktiaikoja mitattiin 200, 400, 600 ja 800 metrin kohdalla neljällä peräkkäin asetetulla kontaktimatolla. Kullakin kierroksella kontaktimatolle kertyi 2–4 askelta, joista laskettiin keskiarvoiset kontaktiajat sekä kontaktien väliset lentoajat. Juoksun kokonaisaikaa, sekä väliaikoja 200 m välein mitattiin valokennoilla (Liikuntatieteellinen tiedekunta, Jyväskylä, Suomi). Ennen testiä mitattiin koettua valmiuden

tasoa, lihasarkuutta sekä jännittyneisyyttä asteikolla 1–10. Sykettä mitattiin Polar V800-sykemittarilla (Polar Electro, Kempele, Suomi).

Aerobisen kynnyksen testi. Tutkimusjakson aluksi määritettiin tutkittavien aerobinen kynnysvauhti tutkimuksen hölkkävauhtisen juoksun vakiointia varten. Ennen testiä tutkittavat täyttivät esitieto- ja terveystarkastuksen, jotta voitiin sulkea pois testin vasta-aiheet. Testi tehtiin Jyväskylän yliopiston Liikuntatieteellisen tiedekunnan tiloissa juoksumatolla (Telineyhtymä, Kotka, Suomi) 0,6 asteen nousukulmalla. Testissä juostiin kolmen minuutin portaita, ja vauhti nousi 1 km/h siirryttäessä portaalta seuraavalle. Jokaisen kuorman päätteeksi otettiin sormenpästä verinäyte, josta analysoitiin laktaattipitoisuus Biosen S_line Lab+ -laktaattianalysointilaitteella (EKF Diagnostic, Magdeburg, Saksa) mahdollisimman pian testin jälkeen. Sykettä mitattiin Polar V800-sykemittarilla (Polar Electro, Kempele, Suomi), ja kunkin nopeuden sykearvo otettiin ylös 15 sekuntia ennen kuorman päättymistä. Testin aloitusnopeudeksi otettiin vauhti, joka oli 2–3 km/h hitaampi kuin tutkittavan arvioitu aerobinen kynnysvauhti. Testi lopetettiin, kun saavutettiin vauhti, joka vastasi varmuudella vähintään anaerobista kynnysvauhtia. Aerobinen kynnys määritettiin laktaatti- ja hengityskaasudatan avulla.

5.3.2 Nopeus- ja voimatestit

Lentävä 20 m. Verryttelyssä tutkittavat suorittivat ensin 10 minuutin alkuverryttelyhölkkän, sekä 10 minuutin omavalintaisen liikkuvuus- ja koordinaatio-osuuden. Tämän lisäksi sallittiin kaksi 60 metrin spurtia. Testissä otettiin 30 metrin vauhti, jonka jälkeisen 20 metrin aika mitattiin valokennoilla. Tutkittaville annettiin kolme yritystä, ja mikäli paras aika saatiin kolmannella yrityksellä, oli mahdollisuus yrittää vielä kerran. Yritysten välillä oli pidettävä vähintään 4 minuutin tauko, jotta välittömät energianlähteet ehtivät palautua seuraavaan yritykseen.

Esikevennyshyppy. Lentävän 20 metrin juoksutestin jälkeen suoritettiin esikevennyshyppyn korkeus kontaktimatolla, jonka antama lentoaika muunnettiin lentokorkeudeksi kaavalla $h = (g * t^2_{\text{lento}}) / 8$. Tutkittava ponnisti hartianleveydestä asennosta omavalintaisella polvikulmalla mahdollisimman korkealle. Alastulo tapahtui siten, että nilkat olivat ojennettuna ja polvet lähes suorina. Yhteensä annettiin kolme yritystä, ja mikäli paras tulos saatiin viimeisellä yrityksellä, oli mahdollisuus yrittää vielä kerran. Tutkittava sai aloittaa uuden hyppysuorituksen, kun tunsi palautuneensa edeltäneestä hypystä.

5 RM jalkaprässissä. 1–3 toiston lähestymissarjojen avulla pyrittiin löytämään kullekin tutkittavalle viiden toiston maksimi jalkaprässissä, jotta tätä painomäärää voitiin käyttää valmistavassa voimaharjoituksessa. Jalkaterät olivat hartioiden leveydellä, ja ne asetettiin laitteen yläosaan, jotta voima kohdistuisi enemmän pakaralihakseen kuin etureisiin.

5.3.3 Harjoitukset

Kestävyydestiä edeltävänä päivänä tehtiin joko valmistava voimaharjoitus, tai juoksuharjoitus, joka ei sisältänyt voimaliikkeitä. Valmistava voimaharjoitus aloitettiin 15 minuutin hölkkäosuudella, jonka nopeus oli 80 % aerobisen kynnyksen nopeudesta. Hölkin jälkeen juostiin 4 x 15 sekunnin spurtit arvioidulla 800 metrin nopeudella, kuten Dahlin ym. (2021) tutkimuksessa. Spurttien välinen palautus oli kaksi minuuttia. Voimaharjoitusosuuden liikkeet olivat suoritusjärjestyksessään isometrinen pohjeprssi (suunniteltu ja valmistettu Liikuntabiologian laitoksessa, Jyväskylän yliopistossa, Suomessa) suorilla polvilla (3 x 5 sekuntia maksimaalisesti/ palautus 3 minuuttia) jalkaprssi (3 x 3 toistoa 5 RM-kuormalla ja 3 minuutin palautuksella), pudotushyppy suorilla polvilla 20 cm korkeudesta (3 x 5 toistoa/ palautus 3 minuuttia) sekä syklinen esikevennyshyppy kehonpainolla (3 x 5 toistoa/ palautus 3 minuuttia). Liikkeiden välillä palautus oli myös kolme minuuttia.

Juoksuharjoitus, jossa ei ollut voimaliikkeitä, pyrittiin tekemään samalla tavalla, miten urheilijat yleensä valmistautuvat kilpailuun edellisenä päivänä. Harjoitus sisälsi hölkkäosuuden, jonka vauhti oli 80 % aerobisen kynnyksen vauhdista, ja kesto puolet kunkin tutkittavan viimeisen kuukauden kevytvauhtisten juoksulenkkien keskipituudesta minuutteina. Harjoitus päättyi 4 x 15 sekunnin spurteihin arvioidulla 800 metrin kilpailuvauhdilla, ja spurttien välissä käytettiin kahden minuutin palautuksia. Harjoitus suoritettiin kokonaisuudessaan juoksumatolla.

5.4 Tilastolliset menetelmät

Tulokset kirjattiin Microsoft Excel 2022 taulukkolaskentaohjelmaan, ja ne analysoitiin IBM SPSS Statistics 26.0 -ohjelmalla. Muuttujien normaalijakautuneisuus testattiin Shapiro-Wilkin testillä. Niillä muuttujilla, jotka eivät olleet normaalisti jakautuneita, korrelaatiot laskettiin Spearmanin järjestyskorrelaatiokertoimella, ja normaalisti jakautuneilla muuttujilla puolestaan

Pearsonin järjestyskorrelaatiokertoimella. Keskiarvojen eroavaisuuksien analysointiin käytettiin riippuvien otosten t-testiä. Tilastollisen merkitsevyyden rajaksi asetettiin $p < 0.05$.

6 TULOKSET

6.1 Valmistavan voimaharjoituksen vaikutus

6.1.1 Kokonaisaika ja vauhdinjako

Valmistavalla voimaharjoituksella ei ollut vaikutusta tutkittavien juoksuaikaan 800 metrillä ($p=0.354$) eikä vauhdinjakoon. Vauhdinjaolla ei ollut yhteyttä myöskään tutkittavien suorituskykyyn 800 metrillä. Taulukossa 6 on esitettyä keskiarvoiset tulokset kokonaisajan ja prosentuaalisen vauhdinajan osalta kierros kierrokselta. 800 metrin juoksu koostui neljästä 200 metrin kierroksesta.

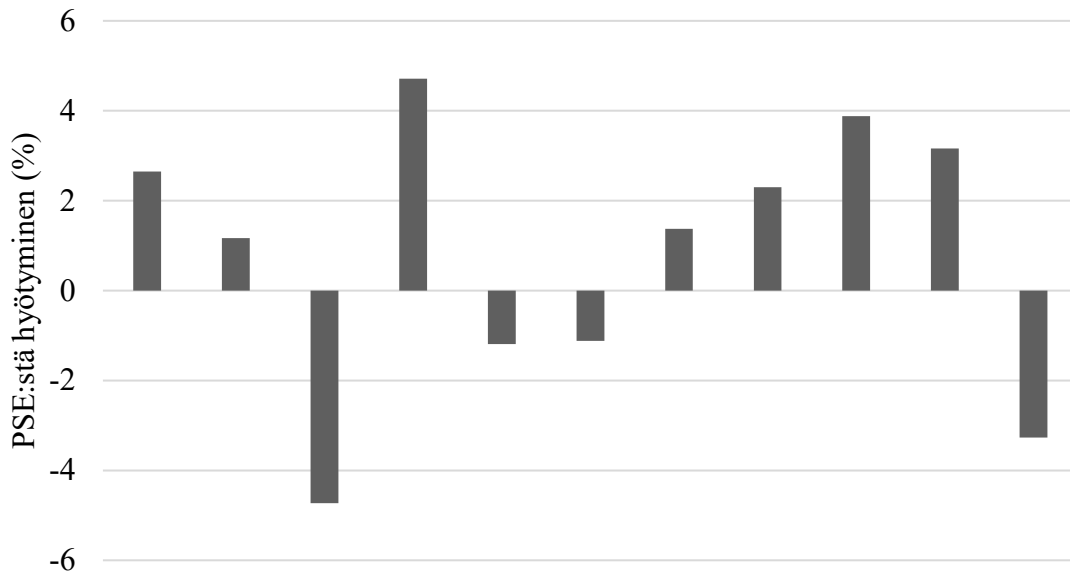
TAULUKKO 6. Tulokset kokonaisajassa ja vauhdinajassa valmistavan voimaharjoituksen jälkeen, ja ilman sitä ($ka \pm kh$), $n = 11$.

Muuttuja	PSE	ilman PSE:tä	p-arvo
kokonaisaika (s)	157,1 \pm 18,8	158,5 \pm 20.5	0.354
ensimmäinen 200 m (% kokonaisajasta)	23.5 \pm 0.9	23.2 \pm 0.8	0.580
toinen 200 m (% kokonaisajasta)	24.8 \pm 0.3	24.8 \pm 0.6	0.738
kolmas 200 m (% kokonaisajasta)	26.0 \pm 0.5	26.1 \pm 0.7	0.946
neljäs 200 m (% kokonaisajasta)	25.7 \pm 0.8	25.9 \pm 0.9	0.335

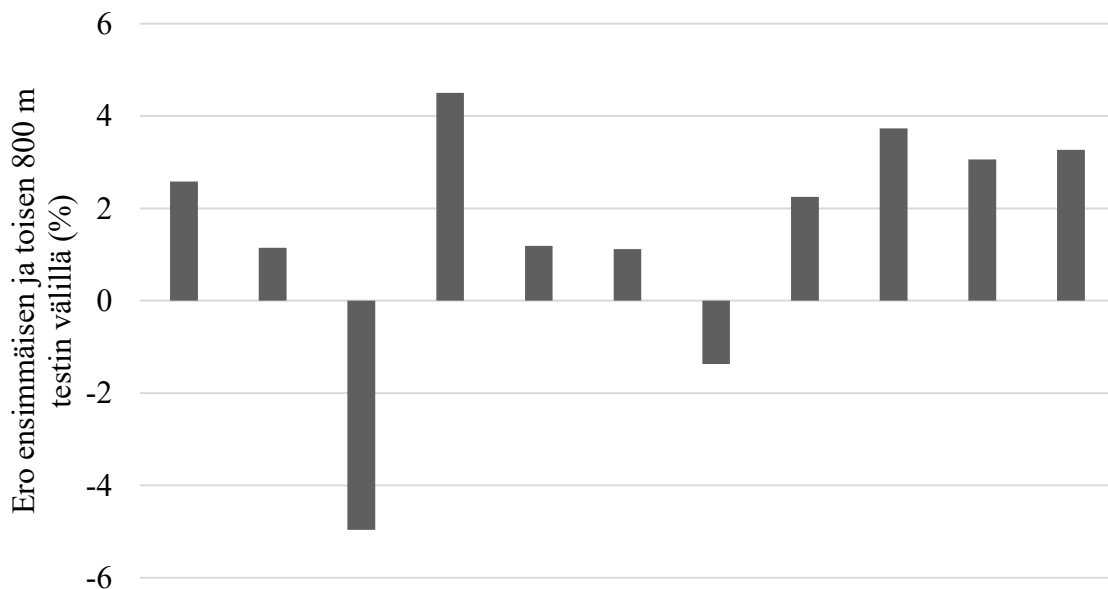
PSE, priming strength exercise, valmistava voimaharjoitus.

Kuvassa 4 on havainnollistettu tutkittavakohtaisesti prosentuaalinen hyötyminen PSE:stä. Seitsemällä tutkittavalla 800 metrin juoksun aika oli parempi voimaharjoituksen jälkeen, ja neljällä ei-valmistavan harjoituksen jälkeen. Kuvassa 5 puolestaan ovat tutkittavakohtaiset tulokset ensimmäisenä ja toisena tehdyn testin välillä. Neljällä tutkittavalla ensimmäinen testi suoritettiin PSE:n jälkeen, ja seitsemällä tutkittavalla ei-valmistavan harjoituksen jälkeen. Toisessa testissä tutkittavien aika oli keskimäärin $1,5 \pm 2,6$ % parempi kuin ensimmäisessä

testissä, ja ero oli tilastollisesti erittäin merkitsevä ($p < 0.001$). Yhdeksän tutkittavaa juoksi kovempaa jälkimmäisessä, ja kaksi tutkittavaa ensimmäisessä testissä.



KUVA 4. PSE:stä hyötymisen määrä tutkittavakohtaisesti. Negatiivinen arvo tarkoittaa, että ei-valmistavan harjoituksen jälkeen kyettiin parempaan suoritukseen kuin PSE:n jälkeen.



KUVA 5. Tutkittavakohtaiset tulokset ensimmäisen ja toisen 800 metrin testin välillä. Negatiivinen arvo tarkoittaa sitä, että ensimmäisessä 800 metrin testissä kyettiin parempaan suoritukseen.

6.1.2 Syke ja laktaatti

Syke- ja laktaattiarvoista (taulukko 7) tilastollisesti merkitsevä ero löydettiin vain 180 sekuntia kuormituksen jälkeen mitatusta post-sykkeestä ($p=0.035$). $HR_{\text{post60s \%max}}$ -muuttujasta löytyi tilastollisesti merkitsevä yhteys suorituskyykyyn 800 metrillä ($r=0.644$, $p=0.033$) eli mitä matalammaksi syke oli laskenut minuutti suorituksen jälkeen, sitä parempi oli 800 metrin juoksun aika. Muista syke- tai laktaattiarvoista ei löytynyt tilastollista yhteyttä suorituskyykyyn 800 metrillä.

TAULUKKO 7. Tulokset syke- ja laktaattimittauksista ($ka \pm kh$), $n = 9-11$.

Muuttuja	PSE	ilman PSE:tä	p-arvo
HR_{max} (1/min)	184.3 ± 11.5	183 ± 12.6	0.399
$HR_{\text{post30s \%max}}$	90.8 ± 0.05	93.1 ± 2.6	0.148
$HR_{\text{post60s \%max}}$	82.3 ± 9.8	84.4 ± 6.0	0.268
$HR_{\text{post180s \%max}}$	66.6 ± 6.4	68.2 ± 7.0	0.035*
LA_{pre1} (mmol/l)	1.3 ± 0.4	1.6 ± 0.7	0.057
La_{pre2} (mmol/l)	1.9 ± 0.7	1.9 ± 0.7	0.684
La_{post2} (mmol/l)	12.5 ± 2.0	12.4 ± 2.4	0.858
La_{post4} (mmol/l)	12.6 ± 2.0	12.3 ± 2.6	0.575
La_{post7} (mmol/l)	12.7 ± 2.3	11.9 ± 2.8	0.248
La_{post10} (mmol/l)	11.7 ± 2.3	11.4 ± 1.7	0.619
La_{postkork} (mmol/l)	12.6 ± 3.1	11.1 ± 3.4	0.287
La_{postmat} (mmol/l)	11.6 ± 3.0	9.7 ± 2.9	0.729

*, tilastollisesti merkitsevä ero; %max, prosenttia maksimiarvosta; HR, heart rate, syke; l, litra; La, laktaatti; max, maksimi; mmol, millimooli; post, 800 metrin testin jälkeen mitattu arvo; postkork, korkein post-arvo; postmat, matalin post-arvo; pre, 800 metrin testiä ennen mitattu arvo; PSE, priming strength exercise, valmistava voimaharjoitus.

6.1.3 Esikevennyshyppy sekä kontakti- ja lentoajat

Valmistava voimaharjoitus ei saanut aikaan tilastollisesti merkitsevää parannusta tuoreena (pre 2 min) eikä väsyneenä (post 1 min) tehtyyn esikevennyshyppykorkeuteen. Sen sijaan näiden erotus oli PSE:n jälkeisenä päivänä suurempi ($p=0.048$). Kontakti- ja lentoajoissa ei näkynyt tilastollisesti merkitseviä eroa. Taulukossa 7 on vertailtuna tulokset testien välillä esikevennyshyppyjen sekä kontakti- ja lentoaikojen osalta.

TAULUKKO 7. Tulokset kontakti- ja lentoajoista sekä esikevennyshypyistä ($ka \pm kh$), $n = 9$.

Muuttuja	PSE	ilman PSE:tä	p-arvo
CMJ _{pre2min} (cm)	36.7 ± 6.3	37.0 ± 6.0	0.894
CMJ _{post1min} (cm)	33.1 ± 5.5	34.3 ± 4.8	0.478
CMJ _{pre-post} (cm)	3.0 ± 1.8	1.6 ± 3.3	0.048*
Kontaktiaika _{ka} (ms)	177.4 ± 16.2	171.4 ± 16.0	0.825
Lentoaika _{ka} (ms)	141.0 ± 18.8	148.7 ± 19.2	0.558

*, tilastollisesti merkitsevä ero; cm, centimeter, senttimetri; CMJ, countermovement jump, esikevennyshyppy; ka, keskiarvo; ms, millisekunti; post, 800 metrin testin jälkeen mitattu arvo; pre, 800 metrin testiä ennen mitattu arvo; pre-post, pre- ja post-arvojen erotus.

6.1.4 Subjektiiiviset koetut tekijät

Koettua lihasarkuutta, valmiuden tasoa ja jännittyneisyyttä mitattiin ennen 800 m testiä. Kuten taulukosta 8 nähdään, näissä muuttujissa ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa testikertojen välillä.

TAULUKKO 8. Subjektiiivisten koettujen tekijöiden tulokset ($ka \pm kh$), $n = 11$.

Muuttuja	PSE	ilman PSE	p-arvo
Koettu lihasarkuus 1–10	3.3 ± 2.2	2.0 ± 0.85	0.102
Koettu valmius 1–10	7.1 ± 1.4	7.4 ± 0.9	0.669
Koettu jännittyneisyys 1–10	4.9 ± 2.2	5.3 ± 1.7	0.459

PSE, priming strength exercise, valmistava voimaharjoitus.

Lihasarpuuden taso on tutkimusalueen kannalta olennainen asia. Taulukossa 9 on listattuna tekijöitä, jotka saattavat vaikuttaa siihen, miten paljon lihasarpuutta voimaharjoituksen jälkeen ilmenee. Tässä tutkimuksessa yhteys koettuun lihasarpuuteen löytyi esikevennyshyppykorkeudesta ($p=0.013$) sekä lentävän 20 metrin juoksun ($p=0.038$) ajasta. Mitä parempi oli suorituskyky näissä testeissä, sitä suurempi oli koettu lihasarpuus. Harjoitustaan muuttajat tutkimusjaksoa edeltäneen kahden kuukauden ajalta eivät olleet yhteydessä koettuun lihasarpuuteen.

TAULUKKO 9. Eri tekijöiden yhteys koetun lihasarpuuden suuruuteen PSE:n jälkeisenä päivänä ($ka \pm kh$), $n = 10-11$.

muuttuja	arvo	r	p-arvo
Lentävä 20 m (s)	2.59 ± 0.24	-0.611	0.038*
5m jalkaprässi (kg)	180.7 ± 32.5	0.096	0.793
CMJ (cm)	35.5 ± 6.2	0.749	0.013*
voimaharjoituskerrat 2 kk	11.3 ± 7.3	0.139	0.702
voimaharjoitusaika 2 kk (min)	415 ± 397	0.328	0.355
kimmoisuusharjoittelukerrat 2 kk	14.7 ± 20.7	-0.445	0.198
kimmoisuusharjoittelu-aika 2 kk (min)	83.0 ± 70.0	-0.207	0.593
nopeusharjoittelukerrat 2 kk	5.3 ± 4.6	-0.221	0.539
nopeusharjoittelu-aika 2 kk (min)	90.0 ± 36.7	0.639	0.064
800 m suorituskyky 2 kk (s)	157.1 ± 18.8	-0.267	0.428

*, tilastollisesti merkitsevä ero; 2kk, muuttujan arvo ajalta kaksi kuukautta ennen tutkimuksen alkua; cm, centimeter, senttimetri; CMJ, countermovement jump, esikevennyshyppy; kg, kilogramma; kk, kuukausi; m, metri; min, minuutti; s, sekunti.

6.2 Voimaharjoituksesta hyötymiseen vaikuttavat tekijät

Käytännön sovelluksien kannalta on syytä selvittää voimaharjoituksesta hyötymiseen vaikuttavat tekijät. PSE:stä hyötymisen määrä laskettiin siten, että vähennettiin ei-valmistavan harjoituksen jälkeisen 800 metrin loppuajasta PSE:n jälkeisen 800 metrin loppuaika, ja erotuksen arvo suhteutettiin PSE:n jälkeisen 800 metrin loppu-aikaan.

6.2.1 Nopeus- ja voimaominaisuudet sekä 800 m suorituskyky

Nopeus- ja voimaominaisuuksilla sekä tutkittavien 800 metrin suorituskyvyllä ei ollut tässä tutkimuksessa tilastollisesti merkitsevää yhteyttä voimaharjoituksesta hyötymiseen.

Nopeusominaisuuksien määrittämiseen käytettiin myös 800 metrin ja lentävän 20 metrin nopeuksien välistä suhdetta ($v_{800m}/v_{lentävä20m}$), mutta myöskään tämän muuttujan ja PSE:stä hyötymisen väliltä ei löydetty tilastollisesti merkitsevää yhteyttä. Vaikka esikevennyshyppyjen erotus (pre-post) oli suurempi PSE:n jälkeen, ei sen suuruudella ollut yhteyttä PSE:stä hyötymiseen. Taulukossa 10 on kirjattuna em. asioiden ja PSE:stä hyötymisen väliset korrelaatiokertoimet ja p-arvot.

TAULUKKO 10. Nopeus- ja voimaominaisuuksien sekä 800 metrin juoksun suorituskyvyn yhteys voimaharjoituksesta hyötymiseen ($ka \pm kh$), $n = 10-11$.

Muuttuja	arvo	r	p-arvo
800 m suorituskyky (s)	157.1 ± 18.8	-0.058	0.867
Lentävä 20 m (s)	2.59 ± 0.24	-0.100	0.783
$v_{800m}/v_{lentävä20m}$ (m/s)	0.66 ± 0.06	-0.050	0.890
CMJ _{pre} – CMJ _{post} (cm)	2.4 ± 2.8	0.033	0.937
Jalkaprässi 5 RM (kg)	180.7 ± 32.5	-0.076	0.835
CMJ	36.1 ± 6.5	-0,267	0.455

cm, centimeter, senttimetri; CMJ, countermovement jump, esikevennyshyppy; m, metri; RM, repetition maximum, toistomaksimi; s, sekunti; v, nopeus; post, testin jälkeen mitattu arvo; pre, testiä ennen mitattu arvo.

6.2.2 Harjoitustausta

Kuten taulukosta 11 nähdään, nopeus-, voima- ja kimmoisuusharjoittelun määrässä on suurta hajontaa tutkittavien välillä. Näiden muuttujien ja PSE:stä hyötymisen välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää yhteyttä, kuten ei myöskään juoksuharjoittelutaustan ja PSE:stä hyötymisen välillä.

TAULUKKO 11. Juoksuharjoittelutaustan ja hermostollisen harjoittelun määrän yhteys PSE:stä hyötymiseen ($ka \pm kh$), $n = 10$.

Muuttuja	arvo	r	p-arvo
Juoksuharjoittelumäärä 2kk (km)	168.7 \pm 129.6	-0.314	0.377
juoksuharjoittelukokemus (vuosia)	12.1 \pm 9.3	-0.384	0.273
kimmoisuusharjoittelukerrat 2 kk	14.7 \pm 20.7	-0.065	0.859
kimmoisuusharjoittelu-aika 2 kk (min)	83.0 \pm 70.0	-0.037	0.926
voimaharjoittelukerrat 2 kk	11.3 \pm 7.3	-0.301	0.399
voimaharjoittelu-aika 2 kk (min)	415 \pm 397	0.043	0.906
nopeusharjoittelukerrat 2 kk	5.3 \pm 4.6	0.044	0.904
nopeusharjoittelu-aika 2 kk (min)	90.0 \pm 36.7	-0.129	0.740

2kk, muuttujan arvo ajalta kaksi kuukautta ennen tutkimuksen alkua; kk, kuukausi; km, kilometri; min, minuutti.

6.2.3 Subjektiiiset koetut tekijät

Kuten taulukosta 12 voidaan havaita, mitä enemmän lihasarkuutta koettiin PSE:n jälkeen verrattuna ei-valmistavaan harjoitukseen, sitä vähemmän PSE:stä hyödyttiin ($p=0.011$). Koetun valmiuden tai jännittyneisyyden erotuksilla testien välillä ei ollut yhteyttä PSE:stä hyötymiseen.

TAULUKKO 12. Koettujen subjektiiivisten tekijöiden yhteys PSE:stä hyötymiseen ($ka \pm kh$), $n = 11$.

Muuttuja	arvo	r	p-arvo
Koettu lihasarkuus 1-10 (PSE – ilman PSE:tä)	1.0 \pm 1.7	-0.731	0.011*
koettu valmius 1-10 (PSE – ilman PSE:tä)	-0.25 \pm 2.0	-0.132	0.700
Koettu jännittyneisyys 1-10 (PSE – ilman PSE:tä)	-0.3 \pm 1.5	-0.016	0.963

PSE; priming strength exercise, valmistava voimaharjoitus.

7 POHDINTA

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, onko valmistavalla voimaharjoituksella hyötyä 800 metrin juoksun suorituskykyyn, kun se tehdään suoritusta edeltävänä päivänä. Valmistavalla voimaharjoituksella ei ollut tilastollisesti merkitsevää vaikutusta 800 metrin juoksun aikaan, vauhdinjakoon, esikevennyshyppykorkeuteen tai kontakti- ja lentoaikoihin. Mitä parempi oli suorituskyky lentävän 20 metrin juoksussa sekä esikevennyshypyssä, sitä enemmän lihasarkuutta koettiin PSE:n jälkeisenä päivänä.

7.1 Päälöydökset

7.1.1 Kokonaisaika ja vauhdinjako

Tässä tutkimuksessa valmistavalla voimaharjoituksella ei ollut vaikutusta tutkittavien suorituskykyyn 800 metrillä eikä vauhdinjakoon. Vauhdinjaolla ei ollut yhteyttä myöskään 800 metrin juoksun suorituskykyyn. Jotta hermostollinen suorituskyky PSE:n jälkeen paranee, on oleellista löytää oikea suhde suorituskykyä edistävien ja väsymystä aiheuttavien tekijöiden välillä. Kun valmistava harjoitus on hermostolliselta kuormitukseltaan optimaalinen, ja palautusaika riittävä, pitäisi tällöin hermostollinen suorituskyky nousta väliaikaisesti seuraavina tunteina. (Blacevich & Babault 2019) Koska juoksun suorituskykyä ei pystytty parantamaan tässä tutkimuksessa valmistavan voimaharjoituksen avulla, on syytä pohtia, miksi niin kävi.

McGowan ym. (2017) ja Dahl ym. (2021) suorittivat valmistavan harjoituksen 6 tuntia, ja Rud ym. (2021) 5 tuntia ennen kestävyystestiä. Ensiksi mainitussa saatiin aikaan kehitystä 100 metrin uintisuoritukseen, kun taas kahdessa jälkimmäisessä ei havaittu vaikutusta juoksun ja hiihdon tasatyön suorituskykyihin. Lisäksi Feroksen ym. (2012) tutkimuksessa 5 x 5 sekunnin isometriset supistukset soutuergometrissä, minuutteja ennen starttia, johtivat kovempaan keskitehoon 1 kilometrin soutu-testin ensimmäisen 500 metrin aikana. Voi olla, että valmistavan voimaharjoituksen liikkeet ovat juoksussa voimantuottoajoiltaan kaukana lajinomaisesta suorittamisesta, jolloin suorituskykyhyötyä ei nähdä, kuten tässä tutkimuksessa kävi. Boullosan ym. (2018) mukaan suurin vaikutus voiman potentioitumisella on konsentrisessa lihastyössä ja lyhyillä lihaspituuksilla. Voi olla, että maksimivoimaa sisältävät valmistavat harjoitukset palvelevat paremmin nimenomaan pidemmän voimantuottoajan ja

konsentrisen voimantuoton uintia ja soutua kuin juoksua, jossa Barnesin ja Kildingin (2015) mukaan nopealla elastisen energian varastoinnilla ja vapauttamisella on suurempi rooli.

Voimaliikkeissä oli kaksi plyometrista harjoitetta (pudotushyppy ja syklinen esikevennyshyppy), jotka sisälsivät yhteensä 30 hyppyä. Voikin olla, että kyseisellä palautusaikaikkunalla olisi pitänyt sisällyttää harjoitukseen enemmän venymislyhenemissykliä sisältäviä liikkeitä. Huipputason kenialaisilla kestävyysjuoksijoilla on havaittu olevan pienempi venymislyhenemissyklin amplitudi, lyhempi maakontaktiaika sekä parempi hyppykapasiteetti kuin japanilaisilla kansallisen tason kestävyysjuoksijoilla (Sano ym. 2015). Nilkkanivelen elastisen energian varastointikyky lienee siis merkittävä juoksukapasiteettia parantava tekijä, ja PSE:n kuormittavuutta olisi voitu kenties lisätä nilkkanivelen lihasten ja jänteiden osalta. Voi olla, että 15 toistoa nilkan kimmoisuudelle olivat PSE:ssä liian vähän, ottaen huomioon, että tutkittavat olivat kestävyysharjoittelijoita, joiden voi olla vaikeampi saada aikaan suorituskykyvasteita lyhyellä ja intensiivisellä kuin pidempikestoisella protokollalla (Morana & Perrey 2009). Toisaalta Lowin ym. (2019) tutkimuksessa saatiin parannettua 5 x 1 km juoksusuorituksen keskivauhtia, kun 8 minuuttia ennen suoritusta tehtiin kuminauhavastusteisia kyykkyhyppyjä, jotka eivät nilkkaa ojentavia lihaksia juurikaan aktivoi. Blackgroven ym. (2019) tutkimuksessa puolestaan kuusi depth jump –suoritusta tehtynä kymmenen minuuttia ennen juoksusuoritusta johti parempaan taloudellisuuteen. On siis mahdollista saada aikaan parannusta juoksun suorituskykyyn tekemällä PSE:ssä vain polvi- ja lonkkaniveliä liikuttavien lihasten aktivointia.

Se, että suorituskykyhyötyä ei saatu, voi siis johtua myös PSE:n ärsykkeen voimakkuuden ja palautusajan epäoptimaalisesta suhteesta. Wein ym. (2020) tutkimuksessa saatiin kehitystä juoksun taloudellisuuteen ja raajan jäykkyyteen, kun 10 minuuttia ennen testiä suoritettiin hyppeilyprotokolla, joka sisälsi yhteensä 48 hyppyä. Tässä tutkimuksessa hyppyjä tuli yhteensä vain 30, ja testiä edelsi huomattavasti pidempi palautusaika kuin Wein ym. (2020) tutkimuksessa. Voi olla, että tämän tutkimuksen palautusajalla suurempi PSE:n volyyymi on edullinen, etenkin nilkan plyometristen liikkeiden osalta.

Voimantuoton parantuminen valmistavan voimaharjoituksen jälkeen on suurinta niissä lihaksissa, joita on harjoitettu paljon (Hamada ym. 2000). Pinnington ym. (2005) tulivat siihen johtopäätökseen, että hiekalla juoksu on epätaloudellista siksi, että etu- ja takareisien aktiivisuustaso on korkeampi kuin kovalla alustalla. Voi siis olla, että nilkkaniveltä liikuttavat

lihakset ovat juoksijoilla harjaantuneempia kuin polvi- ja lonkkaniveltä liikuttavat, koska juoksuharjoittelu on opettanut käyttämään etu- ja takareisiä säästeliäästi, jotta taloudellisuus maksimoituu. On mahdollista, että tässä tutkimuksessa jalkaprässi ja syklinen esikevennyshyppy eivät aiheuttaneet suurta suorituskykyhyötyä, koska lonkan ja polven ojennusvoima ei ollut tutkittavilla järin suuri, ja näitä lihaksia ei olla harjoittelussa käytetty paljoa. Myöskään Dahlin ym. (2021) tutkimuksessa ei saatu aikaan kehitystä juoksun suorituskyvyssä, kun kuusi tuntia ennen suoritusta tehtiin isokineettisiä yhden jalan kyykkyjä, muttei ollenkaan plyometrisia harjoitteita. Blackgroven ym. (2019) tutkimuksessa kuusi depth jump –suoritusta tehtynä kymmenen minuuttia ennen juoksusuoritusta johti parempaan juoksun taloudellisuuteen, ja vaikutus oli suurempi räjähtävillä juoksijoilla. Depth jump on liike, joka sisältää paljon samoja elementtejä kuin tässä tutkimuksessa tehty syklinen esikevennyshyppy, joten silläkin liikkeellä olisi Blackgroven ym. (2019) perusteella potentiaalia saada aikaan juoksun suorituskykyä hetkellisesti parantavia vaikutuksia.

Sekä Dahl ym. (2021) että Rud ym. (2021) tulivat siihen johtopäätökseen, että valmistavasta harjoituksesta ei ehditty palautua 5–6 tunnissa iltapäivän kestävyysuoritukseen. Tässä tutkimuksessa ei havaittu eroa 800 metrin testien välillä koetussa lihasarkuudessa, eikä testiä ennen suoritettua esikevennyshypyssä. Näin ollen voidaan olettaa, että palautumisaika ennen valmistavaa voimaharjoitusta on ollut riittävä, ja mahdollisesti jopa liian pitkä suhteessa voimaharjoituksen hermostolliseen rasitukseen.

Tyypillisiä vauhdinjakotapoja kestävyysuorituksissa ovat negatiivinen, positiivinen, tasainen, parabolinen ja all-out –vauhdinjako. Alle 30 sekunnin suorituksissa all-out vauhdinjako on suosittelavin, ja yli 2 minuutin suorituksissa negatiivinen tai tasainen vauhdinjako. (Abbiss & Laursen 2008) Tässä tutkimuksessa ensimmäinen kierros oli keskimääräisesti nopein ja kolmas hitain. Niissä 800 metrin juoksuissa, joissa saavutetaan ajallisesti paras tulos, ensimmäinen 200 metriä on yleensä kilpailun nopein, ja vauhti hidastuu pikkuhiljaa loppua kohden (Kadono ym. 2008). Toisaalta Filipasin ym. (2018) tutkimuksessa todettiin, että naisilla vauhti on ensimmäisen 200 metrin jälkeen melko tasainen, kun taas miehillä vauhti hidastuu selvästi loppua kohden. Koska kolmas kierros oli tässä tutkimuksessa keskimäärin hitain, voidaan olettaa, että vauhdinjako ei ollut kaikkein optimaalisinta. Tutkittavina ei kuitenkaan ollut nimenomaan 800 metrin juoksijoita, joten voi olla, että negatiivinen vauhdinjako ei olisi ollut heille kaikkein optimaalisin. Tässä tutkimuksessa valmistava voimaharjoitus ei johtanut siihen, että suoritus olisi aloitettu kovemmalla vauhdilla, kuten kävi Feroksen ym. (2012), Silvan ym.

(2014) ja Lowin ym. (2019) tutkimuksissa. Niissä tutkittiin valmistavan potentoivan voimaärsykkeen vaikutusta, tehtynä vain minuutteja ennen suoritusta. Voikin siis olla, että kovan alkuvauhdin saavuttamiseksi valmistava voimaärsyke kannattaa suorittaa vain hetki ennen suoritusta, eikä edellisenä päivänä.

7.1.2 Syke ja laktaatti

Zouhalin ym. (2010) tutkimuksessa 400 metrin juoksijoiden laktaatti oli $5,7 \pm 0,3$ mmol 3 minuuttia verryttelyn jälkeen. Korkeahkosta laktaattitasosta ennen starttia lienee siis hyötyä lyhyissä, anaerobisissa suorituksissa, siitähän huolimatta, että mitä korkeammalta laktaattitasolta suoritukseen lähdetään, sitä nopeammin uupumus tulee. Korkea laktaattitaso ennen starttia voi auttaa pääsemään nopeammin kiinni kovaan vauhtiin ja auttaa riittävän korkean aloitusvauhdin saavuttamisessa. (Zouhal ym. 2010) Tässä tutkimuksessa ennen 800 metrin testiä pre-laktaatit olivat täsmälleen samat ($1,9 \pm 0,7$) sekä PSE:n että ei-valmistavan harjoituksen jälkeisinä päivinä. Koska 800 metriä on aerobisempi laji kuin 400 metriä, lienee optimaalinen laktaattitaso starttiviivalla matalampi kuin Zouhalin ym. (2010) $5,7 \pm 0,3$ mmol, koska korkeaan alkuvauhtiin päästään helpommin kiinni.

Dahlin ym. (2021) tutkimuksessa ei havaittu eroja post-laktaateissa tai -sykkeissä 6 tuntia PSE:n jälkeen tehdyssä juoksuosuorituksessa. Tässä tutkimuksessa laktaatti nousi PSE:n jälkeen keskimääräisesti korkeammaksi jokaisessa aikapisteessä post-laktaattien osalta, mutta tilastollisesti merkitseviä eroavaisuuksia ei silti ollut. PSE:n jälkeisessä testissä $HR_{\text{post180s}}/\%_{\text{max}}$ -arvo laski matalammalle tasolle kuin ei-valmistavan harjoituksen jälkeisessä testissä.

7.1.3 Esikevennyshyppyt sekä kontakti- ja lentoajat

Optimaalisella voima- ja plyometria harjoittelulla voidaan saada aikaiseksi lyhyempi juoksun maakontaktiaika parantuneen koordinaation ja koaktivaation seurauksena (Paavolainen ym. 1999), mutta tässä tutkimuksessa valmistavalla voimaharjoituksella ei ollut vaikutusta maakontaktiaikaan. Tämä myös tukisi sitä, että valmistavan voimaharjoituksen plyometrasta vaativuutta olisi voinut lisätä, kenties määrän osalta, koska intensiteetti liikkeissä oli maksimaalinen.

Valmistava voimaharjoitus ei saanut aikaan tilastollisesti merkitsevää parannusta tuoreena (pre 2 min) eikä väsyneenä tehtyyn (post 1 min) esikevennyshyppykorkeuteen. Sen sijaan näiden erotus (pre-post) oli PSE:n jälkeisenä päivänä suurempi, eli mahdollisesti valmistavan voimaharjoituksen tehneenä tutkittavat saivat hermo-lihasjärjestelmästäan enemmän irti, tai he olivat muulla tavoin enemmän väsyneitä PSE:n jälkeisen 800 metrin testin jälkeen. Se, että muutoksia nähtiin nimenomaan esikevennyshyppykorkeuden osalta, mutta voimaharjoituksen vaikutusta itse juoksusuoritukseen liittyviin muuttujiin ei havaittu, kertoo mahdollisesti myös siitä, että tämä voimaharjoitusprotokolla ei palvellut parhaiten nimenomaan juoksun tarpeita. Vaikka esikevennyshyppyjen erotus (pre-post) oli suurempi PSE:n jälkeen, ei sen suuruudella ollut yhteyttä PSE:stä hyötymiseen, eli suurempi ero post- ja pre-hyppyjen välillä ei johtanut parempaan 800 metrin juoksun aikaan. Dahl ym. (2021) saivat kestävyysjuoksijoilla kehitystä aikaan juoksutestiä ennen tehtävässä esikevennyshypyssä, kun he tekivät 2 x 3 isokineettistä yhden jalan kyykkyä, ja palautusaika oli 6 tuntia. Tässä tutkimuksessa juoksutestiä ennen tehty esikevennyshyppy ei parantunut PSE:n seurauksena. Sen vuoksi on mielenkiintoista, että tilastollisesti merkitseviä eroja havaittiin kuitenkin pre- ja post-hyppyjen erotuksessa.

7.1.4 Subjektiiiviset koetut tekijät

Koettua lihasarkuutta, valmiuden tasoa ja jännittyneisyyttä mitattiin ennen 800 metrin testiä. Näissä muuttujissa ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa 800 metrin testien välillä. Fryn ym. (1995) tutkimuksessa koettu ahdistuneisuus ennen suoritusta oli suurempaa niillä, jotka hyötyivät valmistavasta voimaharjoituksesta. Samaa ei havaittu tässä tutkimuksessa, jossa käytettiin termiä "koettu jännittyneisyys". Koetun valmiuden tai jännittyneisyyden erotuksilla testien välillä ei ollut yhteyttä PSE:stä hyötymiseen. Myöskään Dahlin ym. (2021) tai Rudin ym. (2021) tutkimuksissa PSE ei johtanut parempaan koettuun valmiuteen.

Tässä tutkimuksessa yhteys koettuun lihasarkuuteen voimaharjoituksen jälkeisenä päivänä löytyi esikevennyshyppykorkeudesta sekä lentävän 20 metrin juoksun ajasta. Mitä parempi suorituskyky näissä testeissä oli, sitä suurempi oli koettu lihasarkuus. Tämä kertoo siitä, että hermostollisesta voimaharjoituksesta saatavat vasteet ovat mahdollisesti suuremmat niillä henkilöillä, joilla lyhytaikainen suorituskykyisyys on parempi. Siksi myös suurempi palautumisaika todennäköisesti vaaditaan. Mitä enemmän tässä tutkimuksessa koettiin lihasarkuutta PSE:n jälkeen verrattuna ei-valmistavaan harjoitukseen, sitä vähemmän PSE:stä

hyödyttiin. Lihaskuus ei siis ole toivottavaa PSE:n jälkeen, vaikka se mahdollisesti tarkoittaisikin suurempia hermostollisia suorituskykyvasteita.

7.1.5 Voimaharjoituksesta hyötyminen

Suorituskykyvasteet valmistavan voimaharjoituksen jälkeen ovat hyvin yksilöllisiä (Fry ym. 1995). Siksi tässä tutkimuksessa pyrittiin selvittämään, mitkä yksilölliset ominaisuudet johtavat suurempaan PSE:stä hyötymiseen. PSE:stä hyötymisen määrä laskettiin siten, että ei-valmistavan harjoituksen jälkeisen 800 metrin loppuajasta vähennettiin PSE:n jälkeisen 800 metrin loppuaika, ja erotus suhteutettiin PSE:n jälkeisen 800 metrin loppu-aikaan.

Seitzin ja Haffin (2016) mukaan vahvemmat henkilöt saavat aikaan suuremman potentiaation. Tässä tutkimuksessa voimaharjoituksen jälkeinen koettu lihaskuus oli nopeammilla ja räjähtävämmillä tutkittavilla suuri, joten voidaan olettaa, että he ovat saaneet PSE:stä enemmän vasteita irti. Nopeus- ja voimaominaisuuksilla ei kuitenkaan ollut tässä tutkimuksessa tilastollisesti merkitsevää yhteyttä voimaharjoituksesta hyötymiseen. Koska näin kävi, on vaihtoehtoja kolme. Joko voimaharjoitus aiheutti nopeilla ja räjähtävillä tutkittavilla enemmän väsymystä kuin suorituskykyhyötyjä, PSE:n liikkeet eivät palvelleet tarkoitustaan optimaalisesti tai palautusaika PSE:n jälkeen oli liian pitkä.

Nopeus-, voima- sekä kimmoisuusharjoittelutaustan ja PSE:stä hyötymisen välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää yhteyttä, kuten ei myöskään juoksuharjoittelutaustan ja PSE:stä hyötymisen välillä. Tutkittavat vastasivat itse kysymyksiin harjoitustaustastaan edellisen kahden kuukauden ajalta, joten tämä on voinut aiheuttaa virhettä tuloksiin. Harjoituspäiväkirjat keräämällä olisi saatettu päästä luotettavampiin tuloksiin harjoitustaustasta, mutta tällöin ongelmaksi olisi voinut muodostua virheelliset tulkinnat harjoituspäiväkirjamerkinnöistä. Myös terminä “voimaharjoittelu” tai “kimmoisuusharjoittelu” voi sisältää niin paljon sisällöllistä vaihtelua eri tutkittavien välillä, että vertailu on vaikeaa. Rudin ym. (2021) tutkimuksessa huomattiin, että neljän parhaan hiihtäjän joukosta kolme olivat niitä, jotka hyötyivät kaikista eniten aamupäivän valmistavasta voimaharjoituksesta iltapäivän aikakokeessa. Tässä tutkimuksessa ei löydetty yhteyttä kahden 800 metrin testin keskiarvoajan, ja voimaharjoituksesta hyötymisen välillä, joten parhaat 800 metrin juoksijat eivät hyötyneet PSE:stä enempää kuin heikommat juoksijat.

7.2 Tutkimuksen vahvuudet ja heikkoudet

Tässä tutkimuksessa valmistavan voimaharjoituksen vaikutuksia ei verrattu siihen, että tilalla ei tehdä minkäänlaista harjoitusta. Esimerkiksi Ekstrandin ym. (2013), Cookin ym. (2014) ja Tsoukoksen ym. (2018) teholajitutkimuksissa sekä Rudin ym. (2021) kestävyystutkimuksessa valmistavan voimaharjoituksen vertailuna oli täysi lepo. Levon sijasta tässä tutkimuksessa tehtiin juoksuharjoitus, jonka tyyppisen harjoituksen urheilijat usein kilpailua edeltävänä päivänä tekevät. Näin ollen yritettiin hakea vastauksia sille, kannattaako kilpailua edeltävänä päivänä tehdä nimenomaan voimaharjoitus pelkän juoksemisen sijaan. Koska juokсутestinä oli 800 metriä ja väliaikoja ei kerrottu, eivät tutkittavat saaneet jälkimmäisessä testissä psyykkistä etua yrittämällä parantaa ensimmäistä suoritustaan. Näin voi käydä esimerkiksi mattotestissä tai pidemmässä ratatestissä, jossa väliaikoja kerrotaan.

Jos valmistavassa harjoituksessa tehdään liikkeitä, jotka ovat vieraita tutkittaville, on viivästynyt lihaskipu, DOMS (delayed-onset muscle soreness) todennäköisesti hyvin suurta, mikä voi vaikuttaa negatiivisesti suorituskyykyyn (Rixon ym. 2007). Tutkittaville annettiin aikaa totuttautua liikkeisiin kahden omatoimisen harjoituksen verran. Koettu lihasarkuus jäikin asteikolla 1-10 melko pieneksi ($3,3 \pm 2,2$) PSE:n jälkeisenä päivänä, vaikka toki nopeammilla ja räjähtävämmillä tutkittavilla lihasarkuutta koettiin enemmän.

Tässä tutkimuksessa pyrittiin nopeus- ja voimaominaisuuksia mittaamalla selvittämään, millaiset ominaisuudet viittaisivat siihen, että valmistava voimaharjoitus kannattaisi tehdä ennen 800 metrin suoritusta. Oletettavaa on, että hermostollisen harjoittelun määrä vaikuttaa suorituskyykyyn nopeutta, kimmoisuutta ja voimaa vaativissa testeissä. Sen vuoksi tutkittavilta kysyttiin varsin kattavasti heidän aikaisemmasta harjoittelustaan hermostollisen harjoittelun ja myös juoksuharjoittelun osalta. Tätä ei aiemmissa kestävyyslajien valmistavia voimaharjoituksia koskevissa tutkimuksissa olla tehty.

Yhdeksän tutkittavaa juoksi kovempaa jälkimmäisessä, ja kaksi tutkittavaa ensimmäisessä 800 metrin testissä. Tämä kertoo siitä, että 800 metrin juoksu oli tutkittaville vieras matka, ja kenties vauhdinjako ei onnistunut ensimmäisissä testeissä optimaalisella tavalla. Myös suorituskyyky saattoi ensimmäisen testin ansiosta nousta toiseen testiin. Tutustuttaminen 800 metrin juoksuun yhdellä tai kahdella harjoitussuorituksella olisi vähentänyt tätä virhelähdettä.

Neljällä tutkittavalla ensimmäinen testi suoritettiin PSE:n jälkeen, ja seitsemällä tutkittavalla ei-valmistavan harjoituksen jälkeen. Tarkoituksena oli suorittaa testit niin, että PSE olisi ollut viidellä tutkittavalla ensimmäisessä testissä, ja ei-valmistava harjoitus kuudella tutkittavalla ensimmäisenä. Aikataulullinen ongelma pakotti tähän epätasaiseen jakaumaan, joka saattoi vaikuttaa tuloksiin. Vaikka tutkimuksen tarkoituksena oli nimenomaan selvittää, onko noin 16 tunnin aikaikkunalla mahdollista saada suorituskykyhyötyä PSE:llä, on selvää, että kun PSE:n ja suorituksen välissä on niin pitkä aika, tulee palautuksen aikaisessa tekemisessä muuttuvia tekijöitä, esimerkiksi yönun laatu.

Tutkittavien määrä jäi 11:een, mikä heikentää mahdollisuuksia saada aikaan tilastollisesti merkitseviä eroja. Tutkittavien ryhmä oli myös kestävyyskuntotasoltaan, hermostolliselta suorituskyvyltään, sekä hermostollisen harjoittelun taustaltaan varsin heterogeeninen, mikä voi aiheuttaa sekoittavia tekijöitä PSE:stä saataviin vasteisiin. Hermostollisen harjoittelun tausta saattoi osalla tutkittavista olla niin vähäinen, että valmistavalla voimaharjoituksella ei olla kykeneviä saamaan aikaan suoritusta edistäviä asioita. Toisaalta nopeus-, kimmoisuus- ja voimaharjoittelun määrä aikana tai kertoina mitattuna ei ollut yhteydessä voimaharjoituksesta saatuun hyötyyn.

PSE:n liikevalinnoissa oli sekä huonoja että hyviä puolia. Benardin ym. (1996) mukaan tutkittavan taito valmistavan harjoituksen liikkeissä vaikuttaa siihen, kuinka suuren suorituskykyhyödyn niistä voi saada. Isometriset liikkeet ovat taidollisesti helpompia toteuttaa kuin dynaamiset, joten taidon vaikutus tuloksiin voitiin minimoida isometrisen pohjeprässin osalta. Toisaalta dynaamiset moninivelliikkeet vapailla painoilla olisivat todennäköisesti saaneet aikaan suurempaa potentiaatiota ja suorituskyvyn hetkellistä nousua (Fry ym. 1995; Raastad & Hallen 2000; Ekstand ym. 2013). Seitzin ja Haffin (2016) meta-analyysin mukaan plyometriset liikkeet ja suuren kuorman voimaliikkeet aikaansaavat yhtä suuret potentioivat tai räjähtävää suorituskykyä parantavat vaikutukset, kun taas pienemmän kuorman harjoitteilla ja isometrisillä supistuksilla on vain pieni vaikutus. Tämän tutkimuksen voimaliikkeet eivät sisältäneet dynaamisia vapailla painoilla tehtyjä liikkeitä, sillä pohjeprässi tehtiin isometrisesti, ja sekä pohje- että jalkaprässi laitteissa, jotka tukevat vartaloa. Nämä taidollisesti helpot liikkeet valittiin sen vuoksi, että liiketaito ei erottelisi tutkittavia, mutta ilmeisesti nämä liikkeet eivät olleet optimaalisia saamaan aikaan suorituskykyä parantavia vasteita. Valmistavan harjoituksen liikkeisiin tottumattomuus aiheuttaa todennäköisesti suurempaa väsymystä kuin jos niihin olisi tottunut (Morana & Perrey 2009), ja myös se olisi aiheuttanut suurta hajontaa eri tutkittavien

aikaansaamissa vasteissa, olettaen että tutkittavien tausta vapailta painoilla tehtävistä voimaliikkeistä oli hyvin erilainen.

7.3 Johtopäätökset

Tässä tutkimuksessa ei saatu aikaan parannusta 800 metrin juoksun suorituskykyyn, kun edellisenä päivänä tehtiin valmistava voimaharjoitus. Samaan lopputulokseen on päädytty myös muissa kestävyyslajien tutkimuksissa, joissa valmistavan voimaharjoituksen ja kestävyysuorituksen välissä on ollut useita tunteja. Sen sijaan suorituskykyhyötyä kestävyysurheilijoilla on saatu, kun voimaliikkeitä on tehty vain minuutteja ennen suoritusta. Tässä tutkimuksessa nopeammilla ja räjähtävämmillä urheilijoilla koettu lihasarkuus voimaharjoituksen jälkeisenä päivänä oli suurempi kuin vähemmän nopeilla ja räjähtävillä. Mitä enemmän valmistavan voimaharjoituksen jälkeen koettiin lihasarkuutta verrattuna ei-valmistavaan harjoitukseen, sitä vähemmän voimaharjoituksesta hyödyttiin.

7.4 Käytännön sovellukset

Tämän tutkimuksen perusteella valmistavalla voimaharjoituksella ei ole vaikutusta seuraavan päivän suorituskykyyn 800 metrin juoksussa. Optimaalisella voimaharjoituksen kuormittavuudella ja sopivalla palautusajalla positiiviset hyödyt voivat olla kuitenkin mahdollisia. Oleellista valmistavassa voimaharjoituksessa on se, että sen suorituskykyä parantavat vaikutukset ovat suuremmat kuin väsyttävät vaikutukset. Valmistavan voimaharjoituksen yksilöllisessä kuormittavuudessa on huomioitava se, että nopeat ja räjähtävät urheilijat saattavat kokea sen jälkeen voimakasta lihasarkuutta, mikä ei ole toivottavaa. Näin ollen voidaan todeta, että nopeiden kestävyysurheilijoiden kohdalla valmistavan voimaharjoituksen kuormituksen kanssa on oltava varovainen. On mahdollista, että hitaampien, paljon tyypin 1 lihassoluja omaavien kestävyysurheilijoiden on puolestaan huolehdittava siitä, että voimaharjoituksen hermostollinen ärsyke on riittävän suuri, ja palautumisaika riittävän lyhyt, jotta voimaharjoituksesta saadut hyödyt eivät katoa ennen suoritusta. Sama absoluuttinen määrä ja intensiteetti voivat olla vaatimuksiltaan hyvin erilaisia eri henkilöille, joten voisi olla tarkoituksenmukaista yksilöidä valmistavan harjoituksen määrää ja intensiteettiä yksilöllisesti, sekä aiemman harjoitustaustan perusteella, koska valmistavassa

voimaharjoituksessa kannattaa tehdä urheilijalle itselleen tuttuja liikkeitä. Vaikka valmistavasta voimaharjoituksesta ei ollut hyötyä suorituskykyyn, ei siitä ollut myöskään haittaa. Käytännön harjoittelussa on siis mahdollista tehdä määrältään matala voimaharjoitus 16 tuntia ennen kovaa intervalliharjoitusta ilman, että siitä olisi haittaa kovien intervallien läpiviemiselle.

LÄHTEET

- Abbiss C. & Laursen P. (2005). Models to explain fatigue during prolonged endurance cycling. *Sports Medicine* 35 (10), 865–898. doi:10.2165/00007256-20053510000004
- Abbiss, C. & Laursen, P. (2008). Describing and Understanding Pacing Strategies During Models to explain Athletic Competition. *Sports Medicine* 38 (3), 239–252. doi:10.2165/00007256-200838030-00004
- Barnes, K., Hopkins, W., McGuigan, M., & Kilding, A. (2015). Warm-up with a weighted vest improves running performance via leg stiffness and running economy. *Journal of Science and Medicine in Sport* 18 (1), 103–108. doi:10.1016/j.jsams.2013.12.005.
- Barnes, K. & Kilding, A. (2015). Running economy: Measurement, norms, and determining factors. *Sport Medicine Open* 1 (1). doi:10.1186%2Fs40798-015-0007-y.
- Bernardi, M., Solomonow, M., Nguyen, G., Smith, A., & Baratta, R. (1996). Motor unit recruitment strategy changes with skill acquisition. *European Journal of Applied Physiology* 74 (1-2), 52–59. doi:10.1007/bf00376494.
- Bishop, D., Bonetti, D. & Spencer, M. (2003). The effect of an intermittent, high-intensity warm-up on supramaximal kayak ergometer performance. *Journal of Sports Science* 21 (1), 13–20. doi:10.1080/0264041031000070912.
- Blagrove, R., Holding, K., Patterson, S., Howatson, G., & Hayes, P. (2019). Efficacy of depth jumps to elicit a post-activation performance enhancement in junior endurance runners. *Journal of Science and Medicine in Sport* 22 (2), 239–244. doi:10.1016/j.jsams.2018.07.023.
- Boullosa, D. & Tuimil, J. (2009). Postactivation potentiation in distance runners after two different field running protocols. *Journal of Strength and Conditioning Research* 23 (5), 1560–1565. doi:10.1519/jsc.0b013e3181a3ce61.
- Boullosa, D. & Tuimil, J. (2009). Boullosa, D., Tuimil, J., Alegre, L., Iglesias, E. & Lusquinos, F. 2011. Concurrent fatigue and potentiation in endurance athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 6 (1), 82–93. doi:10.1123/ijsp.6.1.82.
- Boullosa, D., Del Rosso, S., Behm, D. & Foster, C. (2018). Post-activation potentiation (PAP) in endurance sports: A review. *European Journal of Sport Science* 18 (5), 595–610. doi:10.1080/17461391.2018.1438519.
- Burnley, M., Doust, J. & Jones, A. (2002). Effects of prior heavy exercise, prior sprint exercise and passive warming on oxygen uptake kinetics during heavy exercise in humans.

- European Journal of Applied Physiology 87 (4), 424–432. doi:10.1007/s00421-002-0647-8.
- Casado, A., Hanley, B., Jiménez-Reyes, P. & Renfree, A. (2021). Pacing profiles and tactical behaviors of elite runners. *Journal of Sport and Health Science* 10 (5), 537–549. doi:10.1016/j.jshs.2020.06.011.
- Cook, C. J., Kilduff, L. P., Crewther, B. T., Beaven, M. & West, D. J. (2014). Morning based strength training improves afternoon physical performance in rugby union players. *Journal of Science and Medicine in Sport* 17, 317–321. doi:10.1016/j.jsams.2013.04.016.
- Costill, D., Thomas, R., Robergs, R., Pascoe, D., Lambert, C., Barr, S. & Fink, W. (1991). Adaptations to swimming training: influence of training volume. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 23 (3), 371–377. doi:10.1249/00005768-199103000-00017.
- Dahl, E., Øygaard, E., Paulsen, G., Rud, B. & Losnegard, T. (2021). Morning preconditioning exercise does not increase afternoon performance in competitive runners. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 16 (12), 1816–1823. doi:10.1123/ijsp.2020-0747.
- Di Prampero P., Atchou G., Bruckner J. & Moia C. (1986). The energetics of endurance running. *European Journal of Applied Physiology* 55 (3), 259–266. doi:10.1007/bf02343797.
- Duffield, R., Dawson, B. & Goodman, C. (2005). Energy system contribution to 1500- and 3000- metre track running. *Journal of Sport Sciences* 23 (10), 993–1002. doi:10.1080/02640410400021963.
- Ekstrand, L. G., Battaglini C. L., McMurray R. G. & Shields E. W. (2013). Assessing explosive power production using the backward overhead shot throw and the effects of morning resistance exercise on afternoon performance. *Journal of Strength and Conditioning Research* 27 (1), 101–106. doi:10.1519/jsc.0b013e3182510886.
- Feros, S., Young, W., Rice, A., & Talpey, S. (2012). The effect of including a series of isometric conditioning contractions to the rowing warm-up on 1,000-m rowing ergometer time trial performance. *Journal of Strength and Conditioning Research* 26 (12), 3326–3334. doi:10.1519/jsc.0b013e3182495025.
- Filipas, L., Nerli Ballati, E., Bonato, M., La Torre, A. & Piacentini, M. (2018). Elite male and female 800 m runners' display of different pacing strategies during season-best performances. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 13 (10), 1344–1348. doi:10.1123/ijsp.2018-0137.

- Foster C., Snyder A., Thompson N., Green. M., Foley, M. & Schragger, M. (1993). Effect of pacing strategy on cycle time trial performance. *Medicine & Science in Sports and Exercise* 25 (3), 383–388.
- Foster C., Schragger M., Snyder A. & Thompson, N. (1994). Pacing strategy and athletic performance. *Sports Medicine* 17 (2), 77–85. doi:10.2165/00007256-199417020-00001.
- Fry, A.C., Stone M. H., Thrush J. T. & Fleck, S. J. (1995). Precompetition training session enhance competitive performance of high anxiety junior weightlifters. *Journal of Strength and Conditioning Research* 9 (1), 37–42.
- Hamada, T., Sale, D., & Macdougall, J. (2000). Postactivation potentiation in endurance-trained male athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 32 (2), 403–411. doi:10.1097/00005768-200002000-00022.
- Hanley, B., Stellingwerff, T. & Hettinga F. (2019). Successful pacing profiles of Olympic and IAAF World Championship middle-distance runners across qualifying rounds and finals. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 14 (7), 894–901. doi:10.1123/ijsp.2018-0742.
- Harrison, P. W., James, L. P., McGuigan, M. R., Jenkins, D. G., & Kelly, V. G. (2019). Resistance Priming to Enhance Neuromuscular Performance in Sport: Evidence, Potential Mechanisms and Directions for Future Research. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 49 (10), 1499–1514. doi:10.1007/s40279-019-01136-3.
- Hayes, P. & Caplan, N. (2014). Leg stiffness decreases during a run to exhaustion at the speed at VO_{2max} . *European Journal of Sport Science* 14 (6), 556–562. doi:10.1080/17461391.2013.876102.
- Hettinga, F., de Koning, J., Broersen, F., Geffen, P. & Foster, C. (2006). Human and the occurrence of fatigue in 4000-m cycling time trials. *Medicine & Science in Sports and Exercise* 38 (8), 1484–1491. doi:10.1249/01.mss.0000228956.75344.91.
- Hill, D. (1999). Energy system contributions in middle distance running events. *Journal of Sports Science* 17 (6), 477–483. doi:10.1080/026404199365786.
- Hudgins, B., Scharfenberg, J., Triplett, N., & McBride, J. (2013). Relationship between jumping ability and running performance in events of varying distance. *Journal of Strength Conditioning Research* 27 (3), 563–567. doi:10.1519/jsc.0b013e31827e136f.
- Inbar, O., Kaiser, P. & Tesch, P. (1981). Relationships between leg muscle fiber type distribution and leg exercise performance. *International Journal of Sports Medicine* 2 (3), 154–159. doi:/10.1055/s-2008-1034603.

- Ingham, S., Fudge, B., Pringle, J., & Jones, A. (2013). Improvement of 800m running performance with prior high-intensity exercise. *International Journal of Sports Physiology Performance* 8 (1), 77–83. doi:10.1123/ijsp.8.1.77.
- Johnston, R., Quinn, T., Kertzer, R. & Vroman, N. (1997). Strength training in female distance runners: Impact on running economy. *Journal of Strength and Conditioning Research* 11 (4), 224–229. doi:10.1519/00124278-199711000-00004.
- Joyner, M. (1991). Modeling: Optimal marathon performance on the basis of physiological factors. *Journal of Applied Physiology* 70 (2), 683–687. doi:10.1152/jappl.1991.70.2.683.
- Kadono H., Ae M., Enomoto Y., Sugita M. & Morioka Y. (2008). The racing patterns of male 800 m runners of different record levels. *Japan Journal of Physical Education, Health and Sport Sciences* 53 (2), 247–263. doi:10.5432/jjpehss.a530211.
- Lacour, J., Padilla-Magunacelaya, S., Barthélémy, J. & Dormois, D. (1990). The energetics of middle-distance running. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 60 (1), 38–43. doi:10.1007/bf00572183.
- Laursen, P. B. (2010). Training for intense exercise performance: high-intensity or high-volume training? *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 20 (2), 1–10. doi:10.1111/j.1600-0838.2010.01184.x.
- Legaz-Arrese, A., Munguía-Izquierdo, D., Carranza-García, L. & Torres-Dávila, C. (2011). Validity of the wingate anaerobic test for the evaluation of elite runners. *Journal of Strength and Conditioning Research* 25 (3), 819–824. doi:10.1519/jsc.0b013e3181c1fa71.
- Lehmann, M., Baumgartl, P., Wiesenack, C., Seidel, A., Baumann, H., Fischer, S., Spori, U., Gendrich, G., Kaminski, R. & Keul, J. (1992). Training–overtraining: influence of a defined increase in training volume vs training intensity on performance, catecholamines and some metabolic parameters in experienced middle and long distance runners. *European Journal of Applied Physiology* 64 (2), 169–177. doi:10.1007/bf00717956.
- Maloney, S., Turner, A., & Fletcher, I. (2014). Ballistic exercise as a pre-activation stimulus: A review of the literature and practical applications. *Sports Medicine* 44 (10), 1347–1359. doi:10.1007/s40279-014-0214-6.
- Mason, B. R. J., Argus, C. K., Norcott, B. & Ball, N. B. (2017). Resistance training priming activity improves upper-body power output in rugby players: implications for game day performance. *The Journal of Strength and Conditioning Research* 31 (4), 913–920. doi:10.1519/jsc.0000000000001552.

- McGowan, C., Pyne, D., Thompson, K., Raglin, J. & Rattray, B. (2017). Morning Exercise: Enhancement of Afternoon Sprint-Swimming Performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 12 (5), 605–611. doi:10.1123/ijsp.2016-0276.
- McIntyre, J. & Kilding, A. (2015). Effects of high-intensity intermittent priming on physiology and cycling performance. *Journal of Sports Science* 33 (6), 561–567. doi:10.1080/02640414.2014.960882.
- Michaut, A., Pousson, M., Ballay, Y., & Van Hoecke, J. (2000). Effects of an eccentric exercise session short-term recovery of muscle contractility. *Journal of Sociological and Biological Structures* 194 (3-4), 171–176. doi:10.3389/fphys.2019.00536.
- Morana, C. & Perrey, S. (2009). Time Course of Postactivation Potentiation During Intermittent Submaximal Fatiguing Contractions in Endurance- and Power-Trained Athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research* 23 (5), 1456–1464. doi:10.1519/jsc.0b013e3181a518f1.
- Nilwik, R., Snijders, T., Leenders, M., Groen, B., van Kranenburg, J., Verdijk, L., & van Loon, L. (2013). The decline in skeletal muscle mass with aging is mainly attributed to a reduction in type II muscle fiber size. *Experimental Gerontology* 48 (5), 492–498. doi:10.1016/j.exger.2013.02.012.
- Obst, S., Barrett, R. & Newsham-West, R. (2013). Immediate effect of exercise on achilles tendon properties: Systematic review. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 45 (8), 1534–1544. doi:10.1249/mss.0b013e318289d821.
- Paavolainen, L., Häkkinen, K., Hämmäläinen, I., Nummela, A., and Rusko, H. (1999). Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *Journal of Applied Physiology* 86 (5), 1527–1533. doi:10.1152/jappl.1999.86.5.1527.
- Pinnington, H., Lloyd, D. & Besier, T. (2005). Kinematic and electromyography analysis of submaximal differences running on a firm surface compared with soft, dry sand. *European Journal of Applied Physiology* 94 (3), 242–253. doi:10.1007/s00421-005-1323-6.
- Raastad, T. & Hallén, J. (2000). Recovery of skeletal muscle contractility after high and moderate intensity strength exercise. *European Journal of Applied Physiology* 82 (3), 206–214. doi:10.1007/s004210050673.
- Rud, B., Øygaard, E., Dahl, E., Paulsen, G. & Losnegard, T. (2021). The Effect of Resistance Exercise Priming in the Morning on Afternoon Sprint Cross-

- Country Skiing Performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 16 (12), 1786–1793. doi:10.1123/ijsp.2020-0881.
- Russell, M., King, A., Bracken, R., Cook, C., Giroud, T. & Kilduff, L. (2016). A comparison of different modes of morning priming exercise on afternoon performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 11 (6), 763–767. doi:10.1123/ijsp.2015-0508.
- Saez Saez de Villarreal, E., González-Badillo, J. J. & Izquierdo, M. (2007). Optimal warm-up stimuli of muscle activation to enhance short and long-term acute jumping performance. *European Journal of Applied Physiology* 100 (4), 393–401. doi: <https://doi.org/10.1007/s00421-007-0440-9>.
- Sandals L., Wood D., Draper, S. & James, D. (2006). Influence of pacing strategy on oxygen uptake during treadmill running. *International Journal of Sports & Medicine* 27 (1), 37–42. doi:10.1055/s-2005-837468.
- Sano, K., Nicol, C., Akiyama, M., Kunimasa, Y., Oda, T., Ito, A., Locatelli, E., Komi, P., & Ishikawa, M. (2015). Can measures of muscle tendon interaction improve our understanding of the superiority of Kenyan endurance runners? *European Journal of Applied Physiology* 115 (4), 849–859. doi:10.1007/s00421-014-3067-7.
- Seitz, L. & Haff, G. (2016). Factors modulating post-activation potentiation of jump, sprint, throw, and upper-body ballistic performances: A systematic review with meta-analysis. *Sports Medicine* 46 (2), 231–240. doi:10.1007/s40279-015-0415-7.
- Silva, R., Silva-Junior, F., Pinheiro, F., Souza, P., Boullosa, D., & Pires, F. (2014). Acute prior heavy strength exercise bouts improve the 20-km cycling time trial performance. *Journal of Strength and Conditioning Research* 28 (9), 2513–2520. doi:10.1519/jsc.0000000000000442.
- Staron, R., Karapondo, D., Kraemer, W., Fry, A., Gordon, S., Falkel, J., Hagerman, F., & Hikida, R. (1994). Skeletal muscle adaptations during early phase of heavy-resistance training in men and women. *Journal of Applied Physiology* 76 (3), 1247–1255. doi:10.1152/jappl.1994.76.3.1247.
- Tanji F., Shirai Y., Tsuji T., Shimazu W. & Nabekura Y. (2017a). Relation between 1,500-m running performance and running economy during high-intensity running in well-trained distance runners. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 6 (1), 41–48. doi:10.7600/jpfs.6.41.
- Tanji, F., Tsuji, T., Shimazu, W. & Enomoto, Y. (2017b). Relationship between 800-m running performance and running economy during high-intensity running in well-trained

- middle-distance runners. *The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine* 6 (5), 355–358. doi:10.7600/jpfsm.6.355.
- Thompson K., MacLaren D., Lees A. & Atkinson, G. (2003). The effect of even, positive and negative pacing on metabolic, kinematic and temporal variables during breaststroke swimming. *European Journal of Applied Physiology* 88 (4-5), 438–443. doi:10.1007/s00421-002-0715-0.
- Tillin, N. & Bishop, D. (2009). Factors modulating post-activation potentiation and its effect on performance of subsequent explosive activities. *Sports Medicine* 39 (2), 147–166. doi:10.2165/00007256-200939020-00004.
- Tomlin, D. & Wenger, H. (2001). The relationship between aerobic fitness and recovery from high intensity intermittent exercise. *Sports Medicine* 31 (1), 1–11. doi:10.2165/00007256-200131010-00001.
- Tsoukos, A., Veligages, P., Brown, L. E., Terzis, G. & Bogdanis, G. C. (2018). Delayed effects of a low-volume, power-type resistance exercise session on explosive performance. *Journal of Strength and Conditioning Research* 32 (3), 645–650. doi:10.1519/jsc.0000000000001812.
- Vandervoort, A., Quinlan, J., & McComas, A. (1983). Twitch potentiation after voluntary contraction. *Experimental Neurology* 81 (1), 141–152. doi:10.1016/0014-4886(83)90163-2.
- Vuorimaa T., Virlander R., Kurkilahti P., Vasankari T. & Häkkinen K. (2006). Acute changes in muscle activation and leg extension performance after different running exercises in elite long distance runners. *European Journal of Applied Physiology* 96 (3), 282–291. doi:10.1007/s00421-005-0054-z.
- Wei, C., Yu, L., Duncan, B. & Renfree, A. (2020). A Plyometric Warm-Up Protocol Improves Running Economy in Recreational Endurance Athletes. *Frontiers in Physiology* 11, 197. doi:10.3389/fphys.2020.00197.
- Wilkerson, D., Koppo, K., Barstow, T., & Jones, A. (2004). Effect of prior multiple-sprint exercise on pulmonary O₂ uptake kinetics following the onset of perimaximal exercise. *Journal of Applied Physiology* 97 (4), 1227–1236. doi:10.1152/jappphysiol.01325.2003.
- Wilson, J., Duncan, N., Marin, P., Brown, L., Loenneke, J., Wilson, S., Jo, E., Lowery, R., & Ugrinowitsch, C. (2013). Meta-analysis of post activation potentiation and power: Effects of conditioning activity, volume, gender, rest periods, and training status.

Journal of Strength and Conditioning Research 27 (3), 854–859.
doi:10.1519/jsc.0b013e31825c2bdb.

Zouhal, H., Jabbour, G., Jacob, C., Duvigneau, D., Botcazou, M., Ben Abderrahaman, A., Prioux, J., & Moussa, E. (2010). Anaerobic and aerobic energy system contribution to 400-m flat and 400-m hurdles track running. *Journal of Strength Conditioning Research* 24 (9), 2309–2315. doi:10.1519/jsc.0b013e3181e31287.