

**OLYMPIALUOKKIEN SOUDUN FYSIOLOGISET VAATIMUKSET JA NIIDEN
TESTAAMINEN**

Ilona Hiltunen

Valmennus- ja testausopin asiantuntijuustehtävät
Liikuntatieteellinen tiedekunta
Jyväskylän yliopisto
2022–2023

KÄYTETYT LYHENTEET

AerK	aerobinen kynnyks eli suurin työteho, jolla elimistö pystyy tuottamaan energian lähes kokonaan hapen avulla eli aerobisesti, jolloin elimistön happamuus ei nouse ja veren laktaattipitoisuus pysyy perustasolla.
AnK	anaerobinen kynnyks eli työteho, jonka jälkeen tehoa nostettaessa anaerobinen energiantuotto alkaa lisääntyä niin, että elimistön happamuus alkaa kasvaa ja veren laktaattipitoisuus nousta voimakkaasti.
ATP	adenosiinitrifosfaatti eli lihassolujen energianlähde ja elimistön korkeaenerginen välitön energianlähde
KP	kreatiinifosfaatti eli elimistön korkeaenerginen välitön energianlähde, jonka avulla saadaan nopeasti lisää ATP:tä lihaksen energiantuottoon
MAP	maksimaalinen aerobinen teho
MMW	maximum minute power eli maksimaalinen minuutin aikainen keskiteho
mmol/l	millimoolia litrassa eli laktaatin mittayksikkö
PNK	Paavo Nurmi -keskus
VO ₂ max	maksimaalinen hapenottokyky eli hengitys- ja verenkiertoelimistön kyky kuljettaa happea lihaksille ja lihasten kyky käyttää happea energiantuottoon maksimaalisessa rasituksessa. Ilmoitetaan tilavuutena minuutissa (l/min tai ml/min).
%VO ₂ max	suhteellinen aerobinen teho eli kyky työskennellä tietyllä osuudella maksimaalisesta hapenottokyvyn tasosta.
W	watti, tehon yksikkö

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	OLYMPIALUOKKIEN SOUDUN FYSIOLOGISET VAATIMUKSET	2
2.1	Energiantuotto soutukilpailun aikana	2
2.2	Maksimaalinen hapenottokyky.....	5
2.3	Maksimaalinen aerobinen teho ja nousujohteisen testin maksimiteho.....	9
2.4	Suhteellinen aerobinen teho ja anaerobinen kynnys.....	12
2.5	Anaerobinen kapasiteetti ja teho.....	17
2.6	Soutusuorituskyky	17
3	FYSIOLOGISTEN OMINAISUUKSIEN TESTAAMINEN SOUDUSSA.....	21
3.1	Suorituskykytestit.....	21
3.2	Suora maksimaalisen hapenottokyvyn testi.....	22
4	SOUTUTESTIEN VIITEARVOT SUOMESSA	25
4.1	Suorituskykytestien viitearvot	25
4.2	Suoran maksimaalisen hapenottokyvyn testin ja kynnystestin viitearvot suomalaisilla soutajilla.....	25
4.3	Kuntotestitulosten viitearvojen käytännön sovellukset.....	28
	LÄHTEET	30

LIITTEET

Liite 1: Paavo Nurmi -keskuksen testidatasta muodostetut viitearvot olympialuokkien soudussa

1 JOHDANTO

Olympialuokkien soutu on voimakestävyyslaji, joka vaatii sekä korkeaa aerobista että anaerobista energiantuottokapasiteettia ja lajille erityisiä voimaominaisuuksia. Olympialuokkien soudun huipputason saavuttaminen vaatii korkeaa maksimaalista hapenottoa ($VO_2\max$) ja kykyä soutaa mahdollisimman korkealla hapenoton tasolla koko kilpailusuorituksen ajan. Soutajan fyysisellä koolla on merkitystä suorituskyykyyn, koska kehon ja lihasmassan koko on yhteydessä maksimaaliseen hapenottokyykyyn sekä anaerobiseen energiantuottokyykyyn, eikä soutajan tarvitse kannatella omaa kehon painoaan. Soutajan sekä soutajan raajojen pituus vaikuttaa myös tehokkaan ja taloudellisen soutu-tekniikan saavuttamisessa. Fyysisten ominaisuuksien lisäksi soutu-suoritukseen vaikuttaa tekniikka, välineet sekä psyykkiset tekijät. Lisäksi ulkoisten olosuhteiden hallinta voi vaikuttaa suorituskyykyyn. (Mäestu ym. 2005; Secher 1993; Treff ym. 2021; Volianitis ym. 2020)

Olympialuokkien soudun virallinen kilpailumatka on 2000 metriä ja soutu-suorituskyykyyn mittari on luonnollisesti tämän matkan suoritus-aika. Soutu-suoritukseen vaikuttaa kuitenkin merkittävästi olosuhteet ja joukkue-veneissä muiden joukkueen jäsenten suoritukset sekä tekniikan synkronisointi. Olosuhteiden vaikutusta vesillä on vaikea tarkasti huomioida. Vesillä voidaan mitata soutu-tekniikan biomekaanisia tekijöitä erilaisilla veneeseen asetetuilla mittalaitteilla. Yleisimmät soutajan fyysistä kapasiteettia mittaavat testit tehdään kuitenkin soutuergometrilla, jolloin olosuhteet pystytään vakioimaan. Soutajan fyysistä kapasiteettia voidaan mitata erilaisilla suorituskyykytesteillä sekä $VO_2\max$ -testillä tai taso- eli kynnystestillä, joissa mitataan elimistön kuormitusvasteita nousujohteisessa kuormituksessa. (Smith & Hopkins 2012; Treff ym. 2021) Suomessa soutajia on testattu etenkin 2000 metrin ja 5000 metrin suorituskyykytesteillä sekä $VO_2\max$ -testeillä ja kynnystesteillä (Suomen Melonta- ja Soutuliitto 2022).

Tämä työ on osa valmennus- ja testausopin asiantuntijustehtävät -opintojaksoa. Kiinnostava asiantuntijustehtävä löytyi Paavo Nurmi -keskuksen (PNK) liikuntafysiologi Jukka Kapasen ideoimana. PNK:n kuntotestiasemalla on viitearvot juoksu- ja pyörätesteille, mutta ei soutu-esteille, joita testiasemalla myös tehdään. Tavoitteena oli koota viitearvot Paavo Nurmi -keskuksen soutu-estidatasta. Samalla oli mielekäästä koota olympialuokkien soudun fysiologisista vaatimuksista laajempi katsaus, jotta voidaan saada käsitys huipputasolle vaadittavista ominaisuuksista. Työssä keskitytään olympialuokkien soudun fysiologiaan

vaatimukseen sekä niiden testaamiseen. Työn ensimmäinen osuus koostuu kirjallisuuskatsauksesta olympialuokkien soudun huipputason fysiologisiin vaatimuksiin. Toinen osuus käsittelee olympialuokkien soudun fysiologisten vaatimusten testausta. Viimeisessä kappaleessa esitellään fysiologisten testien suomalaisia viitearvoja, jotka on koottu PNK:n kuntotestidatasta yhteistyössä liikuntafysiologi Jukka Kapasen (LitM) kanssa. Viitearvojen tilastollisessa käsittelyssä apuna toimi väitöskirjatutkija Pekka Matomäki (FT, LitM).

2 OLYMPIALUOKKIEN SOUDUN FYSIOLOGISET VAATIMUKSET

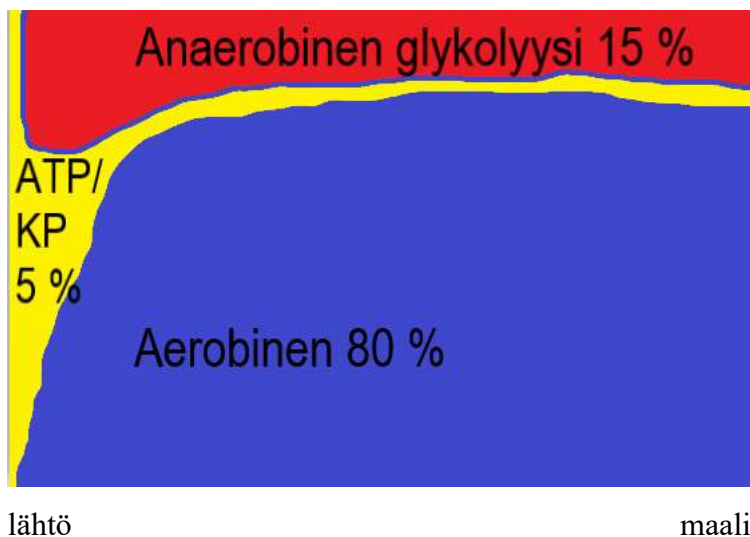
Olympialuokkien soutu on korkeaintensiteettinen voimakestävyyslaji (Treff ym. 2021). Olympialuokkien soudun virallinen kilpailumatka on 2000 metriä, jonka maailman parhaat ajat vaihtelevat 5 min 18 s ja 7 min 23 s välillä veneluokasta, sukupuolesta ja painoluokasta riippuen. Veneluokkia on seitsemän, joissa soutajien määrä vaihtelee yhdestä kahdeksaan ja lisäksi joissain veneluokissa on perämies. Painoluokkia ovat avoin, jossa ei ole painorajaa, ja kevyt, jossa soutajalle on asetettu maksimipainoraja. (World Rowing 2022) Lisäksi suorituksen kestoon vaikuttaa olosuhteet, kuten tuulen suunta ja nopeus sekä veden lämpötila (Kleshnev 2007). Edellä mainitut kilpailuajat vaativat keskimäärin 285–528 watin (W) tehontuoton soutukilpailun aikana (Kleshnev 2007). Kilpailusuorituksen vaatiman kokonaistehon kattamiseksi tarvitaan sekä korkea aerobinen kapasiteetti ja lisäksi kyky ylläpitää kohtalaisen isoa anaerobisen energiantuoton tasoa usean minuutin ajan (Treff ym. 2021).

2.1 Energiantuotto soutukilpailun aikana

Pääosa soutukilpailun energiasta tuotetaan aerobisesti, jossa glukoosista muodostetaan elimistön energiamolekyylä adenosiinitrifosfaattia (ATP:ta) reaktiosarjassa, johon tarvitaan happea. Tämän vuoksi hapenkuljetus lihassoluille on avainasemassa soutukilpailun energiantuotossa. Myös rasvoista voidaan tuottaa energiaa aerobisesti, mutta selkeästi hitaammin kuin glukoosista, joten korkeaintensiteetisessä 2000 metrin soutukilpailussa aerobisen energiantuoton lähteenä toimii pääasiassa hiilihydraatit. (Treff ym. 2021) Aerobisen energiantuoton osuus 2000 metrin soutukilpailussa on 67–88 % (kuva 1) (de Campos Mello ym. 2009; Mäestu ym. 2005; Treff ym. 2021).

Aerobinen energiantuotto toimii hitaammin kuin anaerobinen energiantuotto, joten etenkin kilpailun alussa energiaa tuotetaan anaerobisesti, koska energiaa tarvitaan kohtalaisen paljon ja nopeasti veneen kiihdyttämiseen (kuva 1) (Treff ym. 2021). Lisäksi elimistön hapenkulutus saavuttaa maksiminsa yleensä vasta noin 90 sekunnin kuluttua kuormituksen alettua. Hapenkulutus nousee nopeammin vaadittavalle tasolle, kun hapenkulutuksen maksimiteho saavutetaan mahdollisimman nopeasti. Tämän vuoksi nopea alkukiihdytys kilpailun alussa on energiantuoton taloudellisuuden kannalta hyvä taktiikka. (Secher ym. 2007)

Alkukiihdytykseen tarvittavaan energiantuottoon käytetään lihassolujen välittömiä energianlähteitä, joita ovat ATP ja kreatiinifosfaatti (KP). Koska lihaksen ATP- ja KP-varastot kestävät vain joitakin sekunteja, energiaa aletaan tuottaa lähes samanaikaisesti myös anaerobisella glykolyysillä, jossa glukoosista muodostetaan lisää ATP:tä ja samalla syntyy laktaattia. Anaerobisen glykolyysin osuus energiantuotosta on suurin kilpailun alkuvaiheessa, mutta sen avulla tuotetaan osa energiasta koko korkeaintensiteettisen kilpailun ajan. (kuva 1) (Treff ym. 2021) Anaerobinen glykolyysi ei tarvitse happea ja se on nopea tapa tuottaa energiaa, mutta sen yhteydessä syntyvät aineenvaihduntatuotteet, kuten vetyionien kertyminen, alkavat häiritä lihassolujen toimintaa ja siksi sen maksimaaliseen käyttöön voidaan turvautua vain parin minuutin ajan (Fitts 2016). Soutukilpailun kuormittavuutta ja anaerobisen energiantuoton merkittävyyttä voidaan kuvata myös soutukilpailun jälkeen mitatuilla erittäin alhaisilla veren pH-lukemilla (jopa 6,74), mikä on merkki veren korkeasta happamuudesta sekä korkeilla veren laktaattiarvoilla (jopa 26 mmol/l). (Treff ym. 2021) Anaerobisen energiantuoton määrää on kuitenkin vaikea mitata. Se voidaan arvioida laskemalla happivaje, joka on energiantuoton määrä, joka tarvitaan suoritukseen, mutta jota ei ole täytetty hapenkulutuksen avulla. Happivajeen on soutukilpailussa arvioitu olevan 62–97 ml/kg. (Maciejewski ym. 2013; Secher ym. 2007; Volianitis ym. 2020) Anaerobisen energiantuoton osuuden 2000 metrin soutukilpailussa on arvioitu olevan 12–33 % (kuva 1) (Mäestu ym. 2005; Treff ym. 2021).



KUVA 1. Energiantuoton arvioidut suhteelliset osuudet soutukilpailun aikana. (Mukaeltu Hartmann & Mader 2005).

2.2 Maksimaalinen hapenottokyky

Maksimaalinen hapenottokyky ($VO_2\max$) on suurin määrä happea, jonka elimistö pystyy käyttämään lihasten energiantuottoon. $VO_2\max$:yyn vaikuttavat hengitys- ja verenkiertoelimistön kyky siirtää ja kuljettaa happea ilmasta työskenteleville lihaksille, hapen siirtyminen verenkierrosta lihassolun mitokondrioihin, joissa aerobinen energiantuotto tapahtuu, sekä lihassolujen kyvystä käyttää happea energiantuottoon. $VO_2\max$ määrittää ylärajan aerobiselle energiantuotolle ja onkin tärkeimpiä kestävyysuorituskyvyn selittäviä tekijöitä. (Bassett & Howley 2000; Ferretti 2014)

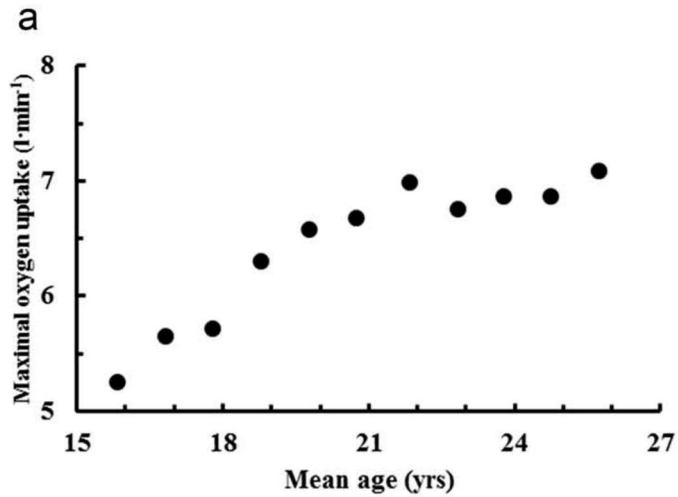
2000 metrin soudun aikana tuotetut parhaimmat keskimääräiset tehot asettavat suuret vaatimukset elimistön energiantuotolle. Soutajilla onkin mitattu korkeita maksimaalisen hapenoton arvoja vaihdellen 6–7 litraa minuutissa (l/min) miehillä (Bourgeois ym. 2014; Godfrey ym. 2005; Klusiewicz ym. 2014; Lacour ym. 2009; Mikulic & Bralic 2018; Nielsen & Christensen 2020; Tran ym. 2015; Treff ym. 2013; Winkert ym. 2022) ja 4–4,8 l/min naisilla (Bourdin ym. 2017; Klusiewicz ym. 2014; Nevill ym. 2011; Tran ym. 2015) (taulukko 1). $VO_2\max$ korreloi positiivisesti 2000 metrin soutuergometrisuorituskyvyn kanssa (Blervaque ym. 2022; Bourdin ym. 2017; Bourdin ym. 2004; Cerasola ym. 2020; Ingham ym. 2002; Jensen 2021) ja lisäksi soutu-uorituskyvyn vesillä kanssa (Jürimäe ym. 2000; Secher ym. 2007; Treff ym. 2021).

TAULUKKO 1. Huippusoutajien $VO_2\max$ -arvoja. Jos tutkimuksessa on useampi tutkittava, luku on keskiarvo.

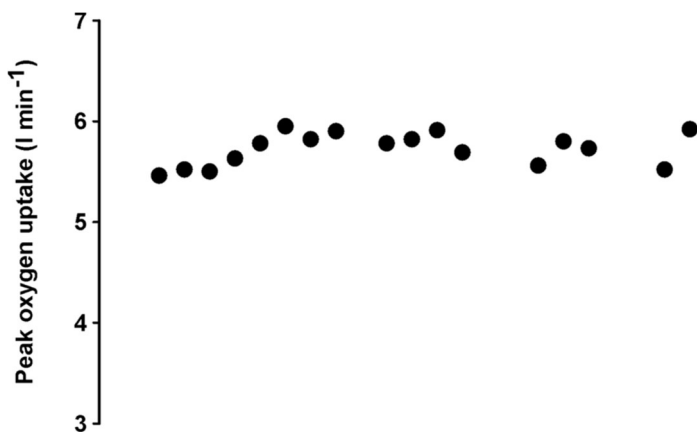
Tutkimuksen kohdejoukko	Tutkittavien taso	$VO_2\max$, l/min (keskiarvoistus- aika)	Lähde
21 avoimen luokan miestä	maajoukkue (sis. 2 olympiavoittajaa)	5,7 (30 s)	Blervaque ym. (2022)
1 avoimen luokan mies	olympiafinalisti	6,0 (30 s)	Bourgeois ym. (2014)
1 avoimen luokan mies	olympiavoittaja	6,7 (30 s)	Godfrey ym. (2005)
8 avoimen luokan miestä	olympiavoittajia	5,9 (30 s)	Ingham ym. (2007)
4 avoimen luokan miestä	olympiavoittajia	6,1 (1 min)	Klusiewicz ym. (2014)
1 avoimen luokan mies	olympiavoittaja	6,3 (30 s)	Lacour ym. (2009)
7 avoimen luokan miestä	olympiamitalisteja ja maailmanmestareita	5,7 (30 s)	Lacour ym. (2009)

12 avoimen luokan miestä	olympia- tai MM-finalisteja	5,6 (1 min)	Mikulic (2008)
4 avoimen luokan miestä	maailmanmestareita	6,6 (1 min)	Mikulic (2011)
2 avoimen luokan miestä	olympiavoittajia	7,0 (1 min)	Mikulic & Bralic (2018)
33 avoimen luokan miestä	MM-finalisteja	5,8 (30 s)	Nevill ym. (2011)
1 avoimen luokan mies	MM-mitalisti	6,9 (30 s)	Nielsen & Christensen (2020)
14 avoimen luokan miestä	maajoukkue	6,3 (1 min)	Tran ym. (2015)
12 avoimen luokan miestä	maajoukkuesoutajia	6,0	Treff ym. (2013)
14 avoimen luokan miestä	MM- ja olympiamitalisteja	6,6 (30 s)	Winkert ym. (2022)
18 avoimen luokan alle 19-vuotiasta miestä	alle 19-vuotiaiden MM-finalisteja	5,3 (1 min)	Mikulic (2008)
4 kevyen luokan miestä	olympiamitalisteja	5,2 (1 min)	Klusiewicz ym. (2014)
15 kevyen luokan miestä	MM-finalisteja	5,0 (30 s)	Nevill ym. (2011)
1 kevyen luokan mies	olympiavoittaja	5,9 (15 s)	Nybo ym. (2014)
3 kevyen luokan miestä	maajoukkuesoutajia	5,4	Treff ym. (2013)
2 avoimen luokan naista	olympiamitalisteja	4,4 (1 min)	Klusiewicz ym. (2014)
21 avoimen luokan naista	MM-finalisteja	4,1 (30 s)	Nevill ym. (2011)
avoimen luokan naisia	maajoukkue	4,5 (1 min)	Tran ym. (2015)
7 kevyen luokan naista	MM-finalisteja	3,7 (30 s)	Nevill ym. (2011)
kevyen luokan naisia	maajoukkue	3,8 (1 min)	Tran ym. (2015)

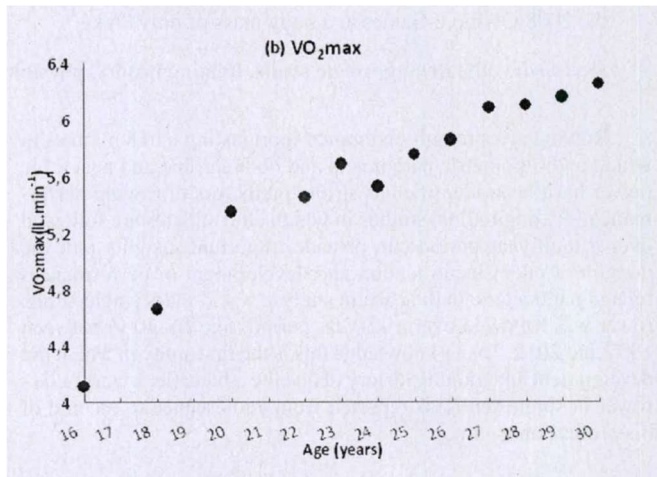
Secherin ym. (2007) mukaan tyypilliset huipputaso soutajan VO₂max-arvot ovat avoimen luokan miehillä noin 6,5 l/min, kevyen luokan miehillä 5,6 l/min, avoimen luokan naisilla 4,4 l/min ja kevyen luokan naisilla 4 l/min. Taulukossa 2 esitetään Australian ja Saksan maajoukkuesoutajien VO₂max-tavoitearvoja (Rowing Australia 2019; Steinacker 2008). VO₂max-arvoja vertaillaessa on huomioitava, että mittaustuloksiin voi vaikuttaa harjoituskauden ajankohta, mittalaitteiden ja testiprotokollien väliset erot sekä VO₂max-arvon keskiarvoistus ajan suhteen (Jamnick ym. 2018; Martin-Rincon & Calbet 2020; Secher ym. 2007; Steinacker 2008).



KUVA 2. Kahden avoimen luokan miesolympiavoittajan VO₂max:n kehitys 16–26-vuotiaana. VO₂max kehittyi vuosittain 22-vuotiaaksi asti, jonka jälkeen kehitys tasaantui. (Mikulic & Bralic 2018).



KUVA 3. Kevyen luokan miessoutajan (5 olympiamitalia ja 6 maailmanmestaruutta) VO₂max:n kehitys 19–40-vuotiaana. Kehitys on tasaantunut 24-vuotiaana, jonka jälkeen havaittu vaihtelu johtuu harjoittelutaukojen vaikutuksesta. (Nybo ym. 2014)

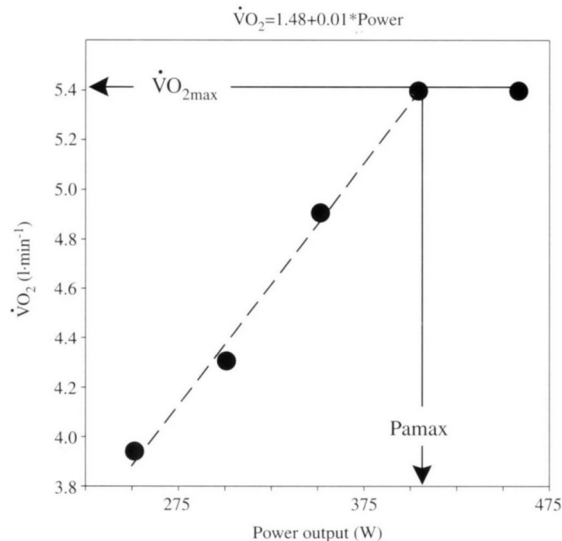


KUVA 4. Olympialaisten finaalitason miessoutajan VO₂max:n kehitys. VO₂max kehittyi 16–20-vuotiaana keskimäärin 1,24 l/min/vuosi, jonka jälkeen 27-vuotiaaksi asti keskimäärin 0,65 l/min/vuosi. 27–30-vuotiaana VO₂max asettui 6,0 (±0,2) l/min tai 70,7 (±2,4) ml/min/kg tasolle. (Bourgeois ym. 2014)

Godfrey ym. (2005) tapaustutkimus selvitti harjoittelutauon vaikutusta VO₂max:yyn. Avoimen luokan miehen VO₂max oli 6,76 l/min kahdeksan viikkoa ennen olympialaisia, jossa hän voitti olympiakultaa. Olympialaisten jälkeen soutaja piti kahdeksan viikon täydellisen harjoittelutauon, jonka jälkeen VO₂max oli 6,19 l/min. VO₂max oli palautunut kahdeksan viikon harjoittelun jälkeen tasolle 6,42 l/min ja 20 viikon harjoittelun jälkeen lukemiin 6,46 l/min. (Godfrey ym. 2005)

2.3 Maksimaalinen aerobinen teho ja nousujohteisen testin maksimiteho

Huippusoutajilla suorituskykyä 2000 metrin ergometrisoudussa yksi parhaiten selittävästä tekijöistä on nousevatehoisesta VO₂max-testistä lineaarisen regression avulla määritetty maksimaalista hapenkulutusta vastaava suoritusteho eli maksimaalinen aerobinen teho (MAP) (kuva 5) (Blervaque ym. 2022; Ingham ym. 2002; Jürimäe ym. 2000; Nevill ym. 2011). Ergometrillä mitatun MAP:n on todettu olevan paras selittävä tekijä myös suorituskyvylle yksiköllä vesillä 2000 metrillä (Jürimäe ym. 2000). Huippusoutajien MAP-arvoja on taulukossa 3.



KUVA 5. Tehon ja hapenkulutuksen suhde nousujohteisessa testissä. MAP määritetään lineaarisen regression avulla vastaamaan maksimaalista hapenkulutusta. P_{max}, maksimaalinen aerobinen teho; Power output, teho; VO₂, hapenkulutus; VO_{2max}, maksimaalinen hapenotto-kyky; (Bourdin ym. 2004a)

Godfrey ym. (2005) tapaustutkimuksessa tutkittiin harjoittelutauon vaikutusta suorituskykyyn ja ominaisuuksiin. Olympiavoiton saavuttaneen avoimen luokan miessoutajan nousujohteisesta VO_{2max}-testistä regressiolla määritetty MAP oli kahdeksan viikkoa ennen olympialaisia 546 W. Kahdeksan viikon tauon jälkeen MAP oli tippunut 435 wattiin. Kahdeksan viikkoa harjoittelun uudelleen aloituksen jälkeen MAP oli noussut 501 wattiin ja 20 viikkoa harjoittelun jälkeen 552 wattiin.

Bourgeois ym. (2014) raportoi, että kansainvälisen tason miessoutajan maksimiteho kehittyi nousujohteisessa testissä 16–27-vuotiaana 330 wattista noin 560 wattiin, joka oli painoon suhteutettuna 6,5 W/kg. Tässä tutkimuksessa tätä viimeisen maksimikuorman keskitehoa pidettiin maksimaalisena aerobisena tehona.

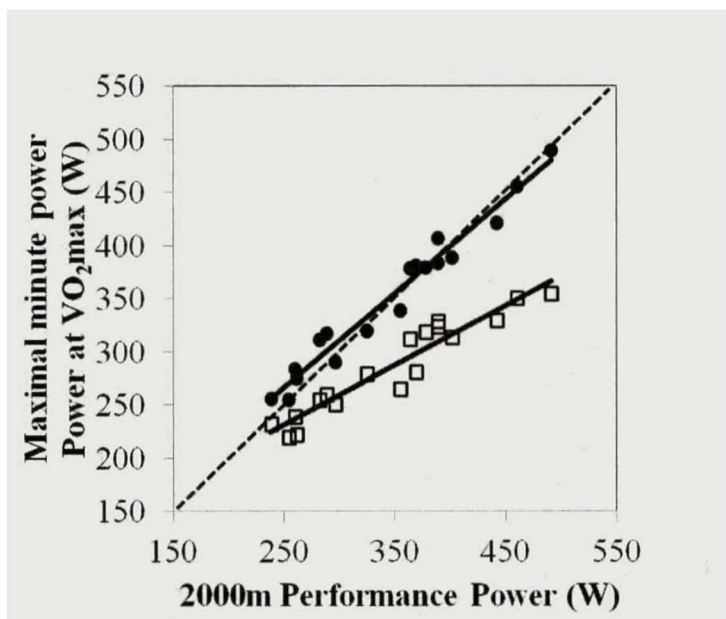
Nousevatehoisen VO_{2max}-testin maksimiteho on joissain tutkimuksissa selittänyt parhaiten 2000 metrin ergometrisuorituskykyä sekä naisilla että miehillä. Miehillä 2000 metrin tehon on havaittu olevan keskimäärin 104 % tai 13 W korkeampi VO_{2max}-testin korkeimmasta tehosta, kun taas naisilla 2000 metrin keskiteho oli lähes sama kuin VO_{2max}-testin korkein teho. Tämä ero miesten ja naisten välillä saattaa johtua miesten korkeammasta voimatasosta. (Bourdin ym. 2017; Bourdin ym. 2004b) Huippusoutajien VO_{2max}-testin maksimitehoja on taulukossa 3.

TAULUKKO 3. Nousevatehoisesta testistä määritettyjä huippusoutajien maksimaalisia aerobisia tehoja (MAP) ja viimeisen kuorman maksimitehoja. Arvot ovat keskiarvoja.

Tutkimuksen kohdejoukko	Tutkittavien taso	MAP (W)	Maksimi (W)	Lähde
avoimen luokan mies	olympiavoittaja	546		Godfrey ym. (2005)
8 avoimen luokan miestä	olympiavoittajia	415,3		Ingham ym. (2007)
avoimen luokan miehiä	MM-finalisteja	382,6		Nevill ym. (2011)
avoimen luokan mies	olympiavoittaja ja MM-mitalisti	461	527 (3min ka)	Lacour ym. (2009)
avoimen luokan miehiä	maajoukkue	422	511 (4 min ka)	Tran ym. (2015)
2 avoimen luokan miestä	olympiavoittajia		531 (1 min ka)	Mikulic & Bralic (2018)
12 avoimen luokan miestä	Olympia- tai MM-finalisteja		441,6 (1 min ka)	Mikulic (2008)
kevyen luokan miehiä	MM-finalisteja	339,4		Nevill ym. (2011)
18 avoimen luokan alle 19-vuotiasta miestä	alle 19-vuotiaiden MM-finalisteja		391,3 (1 min ka)	Mikulic (2008)
avoimen luokan naisia	MM-finalisteja	262,7		Nevill ym. (2011)
avoimen luokan naisia	maajoukkue	305	371 (4 min ka)	Tran ym. (2015)
kevyen luokan naisia	MM-finalisteja	236,9		Nevill ym. (2011)
kevyen luokan naisia	maajoukkue	264	291 (4 min ka)	Tran ym. (2015)

Tran ym. (2015) tutkimuksessa käytettiin dynaamista soutuergometria (Concept2 Slides).

Yhtäjaksoisen VO₂max-testin, jossa kuormaa nostettiin 30 sekunnin välein, korkeimman tehon minuutin ajan (MMW=maximum minute power) on todettu korreloivan kansallisen tason soutajilla vahvasti 2000 metrin soutuergometrituloksen kanssa. MMW ja 2000 metrin tehon on todettu eroavan keskimäärin vain 6 W. Lähes yhtä vahva korrelaatio löytyi kuitenkin myös maksimaalisen aerobisen tehon ja 2000 metrin testituloksen välillä (kuva 5). (Ingham ym. 2013) Myös huippusoutajilla MMW on vastannut 6–15 watin tarkkuudella 2000 metrin ergometrisoudun keskitehoa. Tehoa nostettiin tässä yhtäjaksoisessa VO₂max-testissä minuutin välein. (Mikulic & Bralic 2018)



KUVA 5. MMW:n (mustat ympyrät) ja maksimaalisen aerobisen tehon (neliöt) yhteys 2000 metrin ergometritestitulokseen (Ingham ym. 2013).

Australian maajoukkueelle on asetettu tavoitetehtot nousevatehoisen $VO_2\max$ -testin viimeiselle neljän minuutin pituisen maksimisuoritukselle (taulukko 4) (Rowing Australia 2019).

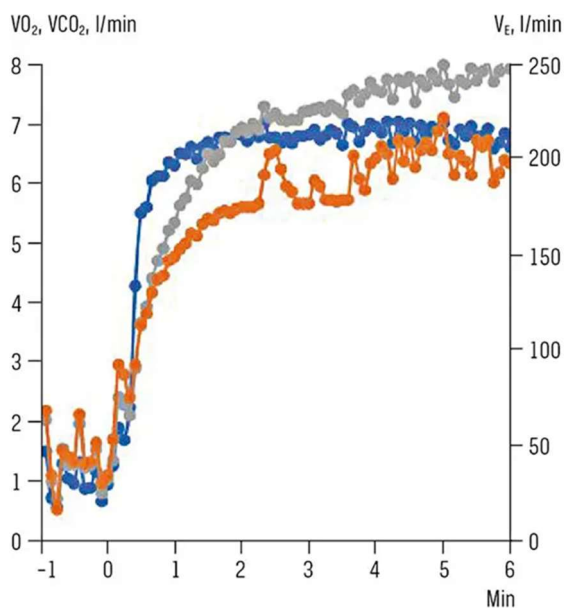
TAULUKKO 4. Australian maajoukkuesoutajien $VO_2\max$ -testin viimeisen kuorman (4 min) tavoitetehtot (W). (Rowing Australia 2019).

	miehet				naiset			
	U19	U23	avoin	kevyt	U19	U23	avoin	kevyt
Australia	404–445	483–512	512–544	417–452	260–279	299–321	321–359	280–300

U19, alle 19-vuotiaat; U23, alle 23-vuotiaat.

2.4 Suhteellinen aerobinen teho ja anaerobinen kynnys

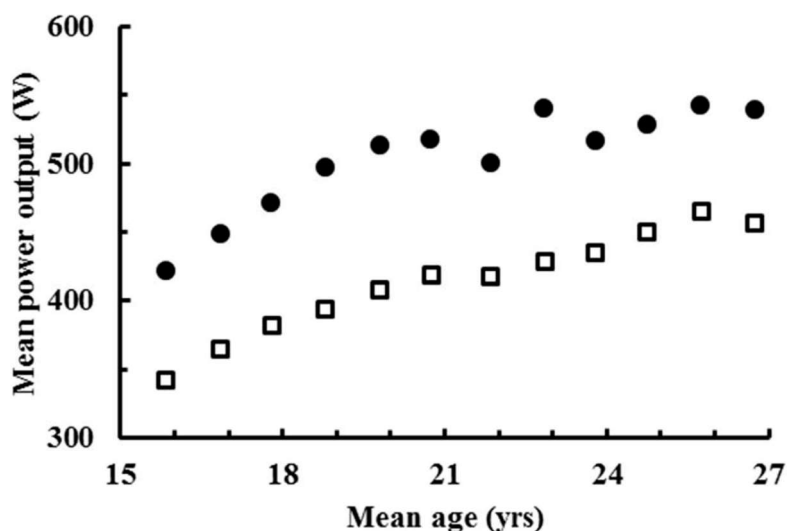
Huippusoutajien hapenkulutus on lähes koko 2000 metrin kilpailun ajan 95–98 % tasolla $VO_2\max$:stä. $VO_2\max$ ja kyky työskennellä kilpailusuorituksen ajan mahdollisimman korkealla osuudella maksimihapenotosta ($\%VO_2\max$) eli suhteellinen aerobinen teho määrittelevät henkilön aerobisen energiantuoton kapasiteetin suorituksen aikana (kuva 6). (Secher ym. 2007)



KUVA 6. Hapenkulutus (sininen), hiilidioksidin tuotto (punainen) ja ventilaatio (harmaa) kuuden minuutin soutuergometritestin aikana huippusoutajalla. Hapenkulutus nousee nopeasti ja pysyy lähellä maksimia koko suorituksen ajan. (Nielsen & Christensen 2020)

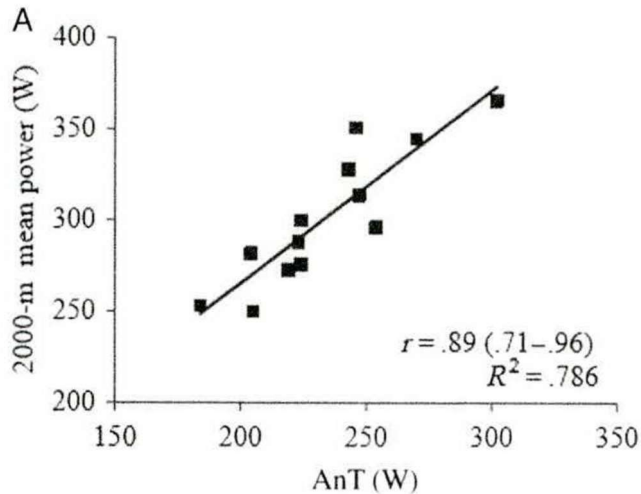
$\%VO_2\max$ on yhteydessä anaerobisella kynnysteholla (AnK) mitattuun hapenkulutuksen tasoon (Bassett & Howley 2000). AnK:n ylityessä anaerobinen energiantuotto kiihtyy niin, että elimistön happamuus alkaa nousta ja anaerobisen energiantuoton tuotteena syntyvää laktaattia ja vetyioneja alkaa kertyä lihaksiin ja verenkiertoon (Svedahl & MacIntosh 2003). Hapenkulutus anaerobisella kynnyksellä on tärkeä selittävä tekijä 2000 metrin ergometrisoutusuorituskyvyssä (Nevill ym. 2011; Secher ym. 2007) sekä 2000 metrin yksikkösoutusuorituksessa (Jürimae ym. 2000). Kestävyysharjoitelleilla sekä absoluuttinen hapenkulutus että $\%VO_2\max$ on suurempi AnK:lla verrattuna harjoittelemattomiin. Kestävyysurheilijoilla on todettu, että suorituskyky voi nousta, vaikka $VO_2\max$ pysyisi samana (kuva 7). Yksi suorituskyvyn kehittymistä selittävä tekijä voi tällöin olla AnK:n ja $\%VO_2\max$:n paraneminen. (Beneke 2003; Greco ym. 2011; Svedahl & MacIntosh 2003)

AnK:tä (4 mmol/l) vastaavan hapenkulutuksen suhteellinen osuus $VO_2\max$:stä (AnK $\%VO_2\max$) on vaihdellut huippusoutajilla 87–100 % (Bourgois ym. 2014; Lacour ym. 2009) ja muilla hyväkuntoisilla soutuajilla 85–88 % (Bourdin ym. 2017). Huippusoutajilla AnK (perustaso + 1,5 mmol/l) $\%VO_2\max$ on ollut keskimäärin 84 % (Winkert ym. 2022).



KUVA 7. Kahden olympiavoittajan 2000 m (mustat ympyrät) ja 6000 m (valkoiset neliöt) keskitehon kehitys iän myötä. Kyseisten soutajien $VO_2\max$ ei kehittynyt 22 ikävuoden jälkeen (kuva 2), mutta kuten kuvasta 7 näkyy, niin keskiteho suorituskykytesteissä kehittyi tästä huolimatta edelleen. (Mikulic & Bralic 2018)

AnK:n on todettu korreloivan vahvasti 2000 metrin soutuergometrisuorituskyvyn kanssa (kuva 8) (Bourdin ym. 2017; Ingham ym. 2013; Ingham ym. 2002; Nevill ym. 2011; Treff ym. 2021; Turnes ym. 2019). Huippusoutajilla onkin mitattu korkeita tehoja AnK:lla (taulukko 5). AnK-tehoja vertailtaessa on huomioitava, että AnK:n määrittämiseksi on olemassa useita erilaisia menetelmiä, joista soudussa yleisiä ovat esimerkiksi tiettyyn laktaattipitoisuuteen (2-4 mmol/l) tai laktaattikäyrän muotoon perustuvat menetelmät (Bourdin ym. 2017; Bourdin ym. 2004b; Bourgeois ym. 2014; Godfrey ym. 2005; Ingham ym. 2002; Klusiewicz ym. 2014; Lacour ym. 2009; Nevill ym. 2011; Rice 2019; Treff ym. 2014; Treff ym. 2017; Turnes ym. 2019; Vogler ym. 2010). Australian ja Saksan maajoukkuesoutajille on asetettu tavoitetehtot 2 mmol/l ja 4 mmol/l laktaattipitoisuuksille (taulukko 6).



KUVA 8. AnK:n (3,5 mmol/l) ja 2000 metrin ergometrisoudun keskitehon välillä on vahva korrelaatio. (Turnes ym. 2019) AnT, Anaerobic Threshold, AnK.

TAULUKKO 5. Huippusoutajien AnK-tehoja (W). Arvo on keskiarvo, jos tutkimuksessa on ollut useampi soutaja. AnK-tehon perässä on suluissa menetelmä, jolla AnK on määritetty.

Tutkittava/t	Taso	AnK (W)	Lähde
21 avoimen luokan miestä	maajoukkue (sis. 2 olympiavoittajaa)	328 (2 mmol/l)	Blervaque ym. (2022)
		389 (4 mmol/l)	
1 avoimen luokan mies	16-vuotiaana	200 (4 mmol/l)	Bourgeois ym. (2014)
	olympiafinalistina	404 (4 mmol/l)	
1 avoimen luokan mies	olympiavoittaja	385–399 (2 mmol/l)	Godfrey ym. (2005)
		441–452 (4 mmol/l)	
8 avoimen luokan miestä	olympiavoittajia	391 (4 mmol/l)	Ingham ym. (2007)
14 avoimen luokan miestä	maajoukkue	360 (modDmax, ka 3,0 mmol/l)	Tran ym. (2015)
14 avointa miestä	MM- ja olympiamitalistit	360 (perustaso + 1,5 mmol/l, ka 2,4 mmol/l)	Winkert ym. (2022)
avoimen luokan naisia	maajoukkue	261 (modDmax, ka 3,2 mmol/l)	Tran ym. (2015)
kevyen luokan naisia	maajoukkue	209 (mod Dmax, ka 3,2 mmol/l)	Tran ym. (2015)

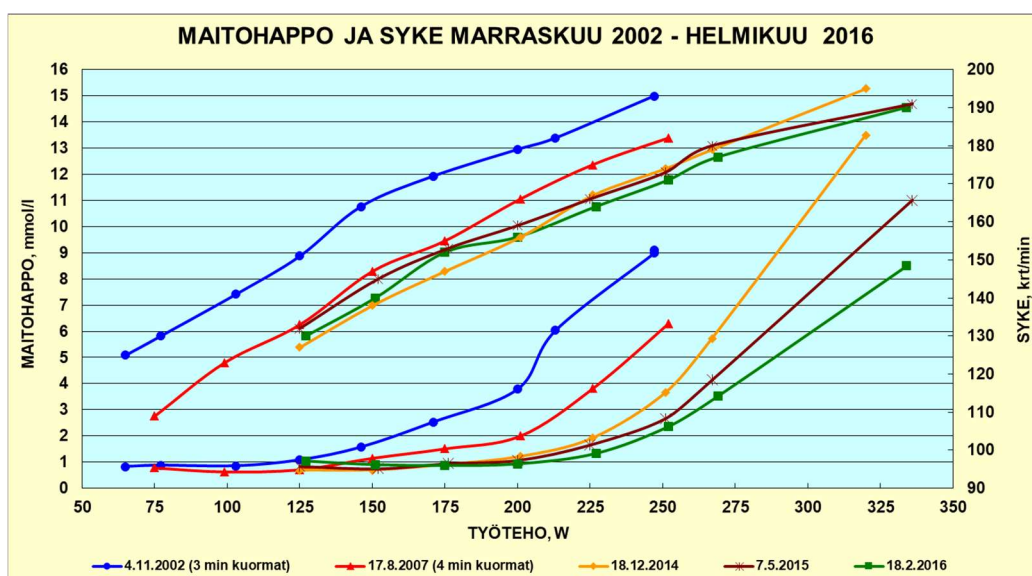
modDmax; laktaattikäyrän muotoon perustuva AnK:n määrittämenetelmä

TAULUKKO 6. Australian ja Saksan maajoukkuesoutajien nousevatehoisen testin tavoitetehtot (W) 2 mmol/l ja 4 mmol/l laktaattipitoisuuksille. (Rowing Australia 2019; Steinacker 2008).

	miehet				naiset			
	U19	U23	avoin	kevyt	U19	U23	avoin	kevyt
Australia 2 mmol/l			330	300			235	215
Australia 4 mmol/l			390	370			275	255
Saksa 4 mmol/l	355	370	390	350	280	295	310	270

U19, alle 19-vuotiaat; U23, alle 23-vuotiaat.

Nousevatehoisen testin laktaattikäyrän siirtyminen oikealle ja alaspäin kertoo yleisesti aerobisen energiantuoton ja kestävyyskapasiteetin paranemisesta. Tällöin tietyllä teholla laktaattiarvo on alempi. On todettu, että veren laktaattipitoisuus AnK:lla on yksilöllinen, jolloin kiinteät laktaattiarvot AnK:n määrittämisessä ei toimi yksilöllisiä harjoittelualueita määritettäessä. Sen sijaan seuraamalla tiettyä laktaattiarvoa vastaavan tehon kehittymistä vakioidussa testissä, voidaan kuitenkin havaita kestävyyskapasiteetin kehitys (kuva 9). (Beneke 1995; Beneke ym. 2000; Billat ym. 2003; Faude ym. 2009)



KUVA 9. Esimerkki kestävyyskapasiteetin kehityksestä suomalaisella naissoutajalla 15–28-vuotiaana (Paavo Nurmi -keskus).

2.5 Anaerobinen kapasiteetti ja teho

Soutukilpailussa kohtalaisen iso osa, 12–33 %, energiasta tuotetaan anaerobisesti (Treff ym. 2021). Anaerobisen suorituskyvyn onkin todettu korreloivan 2000 metrin soutuergometrisuorituskyvyn kanssa. Viiden vedon maksimiteho ja maksimivoima olivat tärkeimpien tekijöiden joukossa ennustettaessa huippusoutajien suorituskykyä 2000 metrin soutuergometrisuorituksessa (Inghamin ym. 2002; Nevill ym. 2011). Myös 20, 30, 40 ja 60 sekunnin testien keskitehot ennustavat 2000 metrin ergometritulosta (Cerasola ym. 2020; Cerasola ym. 2022; Jürimäe ym. 2000; Riechman ym. 2002). Nybo ym. (2014) tapaustutkimuksessa kevyen luokan olympiavoittajan maksimiteho 10 sekunnin testissä oli noin 800 W ja 60 sekunnin testin teho noin 700 W koko hänen 20 vuotta kestävänsä uransa ajan.

Verestä mitattua maksimilaktaattia on käytetty anaerobisen aineenvaihdunnan mittarina. Se ei kuitenkaan kerro juurikaan anaerobisen aineenvaihdunnan määrästä, koska siihen vaikuttaa laktaatin tuoton lisäksi laktaatin käyttö uudelleen energiaksi. (Maciejewski 2013; Secher ym. 2007) Maksimilaktaatin ja 2000 metrin suorituskyvyn välille ei ole löydetty yhteyttä (Bourdin ym. 2017; Riechman ym. 2002). Huippusoutajien maksimilaktaatit ovat vaihdelleet 7–26 mmol/l (Blervaque ym. 2022; Bourgeois ym. 2014; Ingham ym. 2007; Nielsen & Christensen 2020; Secher ym. 2007; Treff ym. 2021).

2.6 Soutusuorituskyky

Suorituskykyyn vaikuttaa aerobisen ja anaerobisen energiantuottokapasiteettien lisäksi hermosto- ja lihaskuitujen voimantuottokyky ja suorituksen taloudellisuus (Mäestu ym. 2005; Peltonen & Nummela 2018). Lisäksi suorituskykyyn vaikuttaa myös psyykkiset ja biomekaaniset tekijät (Mäestu ym. 2005; Kleshnev 2007). Tässä työssä käsitellään vain kestävyysuorituskyvyn taustalla olevia fysiologisia ominaisuuksia, mutta on huomioitava, että ne eivät ole ainoita suorituskykyyn vaikuttavia tekijöitä ja lisäksi muita tekijöitä voi olla fysiologisten tekijöiden taustalla.

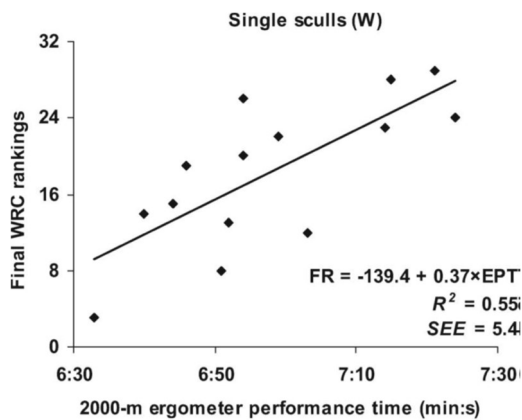
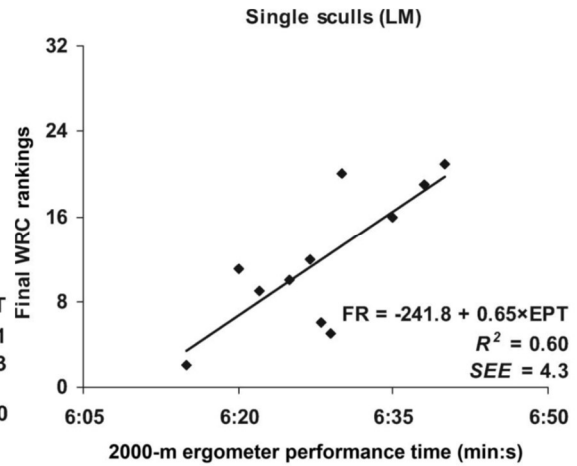
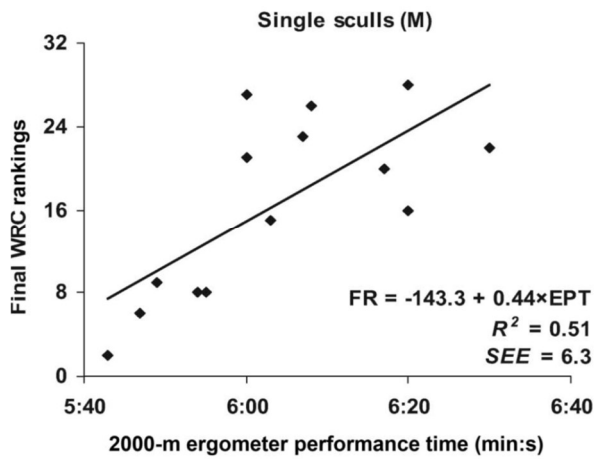
Fysiologiset ominaisuudet riippuvat muun muassa kehon ja lihasmassan koosta. Maksimaalinen hapenotto on korkeampi isompikokoisilla ja anaerobinen kapasiteetti on

suorassa suhteessa lihasmassan kokoon. Tässä työssä ei käsitellä yksityiskohtaisemmin antropometrisia ominaisuuksia. On kuitenkin huomattava, että soudussa on selkeää etua pituudesta ja lihasmassasta. Tätä etua korostaa vielä kilpailusääntöjen asettama kiinteä veneen minimipaino. (Jürimäe ym. 2000; Secher 1993; Volianitis ym. 2020).

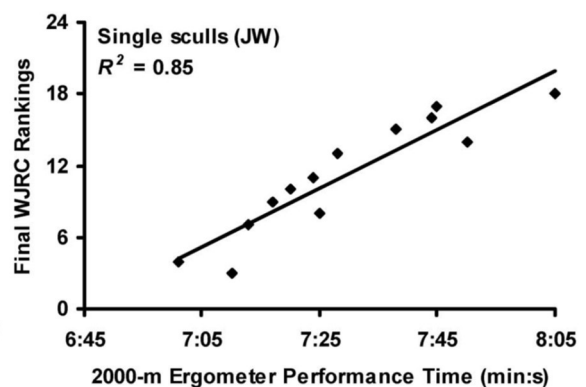
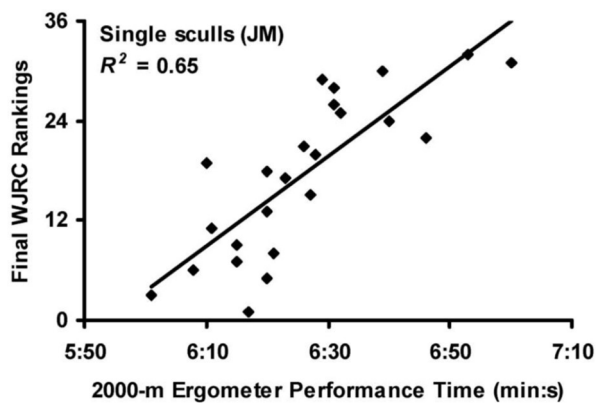
Suorituksen taloudellisuudella tarkoitetaan mahdollisimman pientä energiankulutusta tietyllä liikkumisnopeudella tai tehontuotolla. Taloudellisuuteen vaikuttaa hermo-lihasjärjestelmän suorituskyky ja tekniikka. (Nummela & Peltonen 2018; Peltonen & Nummela 2018). Veden aiheuttama vastus kasvaa suoraan suhteessa veneen nopeuden neliöön, mikä tarkoittaa sitä, että veneen nopeuden kaksinkertaistaminen vaatii nelinkertaisen työn. Veneen nopeuden lisäys siis kasvattaa energiantarvetta eli hapenkulutusta moninkertaisesti ja siksi kilpailuissa paras taktiikka energiataloudellisesti on tasainen vauhti. Lisäksi soutaja kuluttaa energiaa ja happea liikkeessaan edestakaisin vedon ja palautuksen vuorotellessa, minkä vuoksi vetotiheyden nousu lisää energiankulutusta. (Secher 1993; Volianitis ym. 2020).

Suorituskyvyn arviointiin on kehitetty erilaisia ennusteyhtälöitä, joissa huomioidaan eri ominaisuuksia. Yhtälöt on muodostettu yhdistämällä eri ominaisuuksia, jotka tutkimuksissa on selittäneet eniten soutu-suorituskykyä. Nevill ym. (2011) loivat ennusteyhtälön, jossa on yhdistettynä $VO_2\text{max}$ -teho, hapenkulutus AnK:llä ja viiden vedon maksimiteho. Ennusteyhtälö selitti 96,16 % 2000 metrin ergometrisuorituskyvystä huippusoutajilla. Ingham ym. (2002) yhdisti neljä tekijää: $VO_2\text{max}$ -tehon, hapenkulutuksen AnK:llä (laktaatin käännekohta), tehon AnK:llä (4mmol/l) ja viiden vedon maksimitehon ja totesi näiden selittävän 98,3 % 2000 metrin ergometrituloksen vaihtelusta.

Yleisin suorituskykytesti soutajilla on 2000 metrin ergometrisuoritus testi (Smith & Hopkins 2012). MM-kilpailujen tuloksen ja 2000 metrin ergometriaajan välillä on positiivinen korrelaatio etenkin pienissä veneluokissa sekä aikuisilla että junioreilla (kuva 10 ja 11) (Mikulic ym. 2009a). Myös 2000 metrin testi yksiköllä vesillä korreloi vahvasti 2000 metrin soutuergometrituloksen kanssa (Jürimäe ym. 2000).



KUVA 10. MM-kilpailujen sijoituksen ja 2000 metrin ergometrituloksen yhteys miesten (M) yksikössä, miesten kevyessä (LM) yksikössä ja naisten (W) yksikössä (Mikulić ym. 2009a).



KUVA 11. Juniorien MM-kilpailujen sijoituksen yhteys 2000 metrin ergometritulokseen alle 19-vuotiaiden miesten (JM) ja naisten (JW) yksikössä (Mikulić ym. 2009b).

2000 metrin testin lisäksi soutajien suorituskykyä testataan myös muilla matkoilla. Monissa maissa käytetään niin sanottua suorituskyvyn tehoprofiilia, jossa testataan suorituskykyä eripituisilla matkoilla, joiden tarkoitus on vastata eri energiantuottotapoja. Tanskassa on käytetty testipatteristoa, johon kuuluu 100 metrin, 60 sekunnin, 2000 metrin, 6000 metrin ja 60 minuutin testit. 100 metrin ja 60 sekunnin testin tulokset mittaavat pääasiassa anaerobista suorituskykyä ja pidemmät testit aerobista suorituskykyä (Jensen 2007). Australiassa on käytetty 100 metrin, 500 metrin, 2000 metrin ja 6000 tai 5000 metrin testipatteristoa (Taulukko 7 ja 8) (Tran ym. 2015).

TAULUKKO 7. Australian maajoukkuesoutajien suorituskykyprofiilitestien tulokset dynaamisella soutuergometrillä (Concept2 slides) (ka, vaihteluväli) (Tran ym. 2015).

	Avoimet miehet	Avoimet naiset	Kevyet naiset
100 m	14,6 (13,7-15,1)	16,5 (16,0-17,0)	18,4 (18,2-18,7)
500 m	1:17,8 (1:13,2-1:20,0)	1:28,8(1:25,9-1:31,5)	1:36,1 (1:34,6-1:37,3)
2000 m	5:49,6 (5:40,8-5:58,7)	6:39,2 (6:29,3-6:48,3)	7:00,0 (6:59,0-7:02,0)
6000 m	18:56,7 (18:35,9-19:53,6)	21:19,1 (20:48,8-21:57,3)	22:32,5 (22:18,5-22:55,1)

min:s

TAULUKKO 8. Australian maajoukkuesoutajien tavoitearvot 2000 m ja 5000 m ergometritesteille (Rowing Australia 2019).

	U19 miehet	Avoimet miehet	Kevyet miehet	U19 naiset	Avoimet naiset	Kevyet naiset
2000 m	6:08-6:20	5:48-5:55	6:10-6:20	7:05-7:15	6:40-6:55	7:05-7:15
5000 m	16:24-16:56	15:30-15:49	16:25-16:52	18:40-19:06	17:41-18:21	18:40-19:06

U19, alle 19-vuotiaat; min:s

3 FYSIOLOGISTEN OMINAISUUKSIEN TESTAAMINEN SOUDUSSA

Soutajien suorituskykyä testataan yleisesti soutuergometreilla. Soutuergometri mahdollistaa melko tarkasti soutukilpailun energiantuoton vaatimusten mittaamisen. (Blervaque ym. 2022; Bourdin ym. 2017; Smith & Hopkins 2012; Volianitis ym. 2020). Soudun kokonaissuorituskyvyn mittaamisessa tulee kuitenkin ottaa huomioon, että teknisesti soutu vesillä on osittain erilaista ja vaativampaa kuin soutuergometrilla. Vesillä soutaja joutuu lisäksi sopeutumaan vaihteleviin olosuhteisiin sekä joukkuevenessä yhdenmukaiseen tekniikkaan ja rytmiin muiden joukkueen soutajien kanssa. Ergometrisoudussa kehon massasta on hyötyä, kun taas vesillä ylimääräisestä massasta on haittaa. Soutuergometritulokset eivät siten suoraan kerro soutajan suorituskyvystä vesillä, vaikka yhteys ergometritulosten ja vesillä tulosten välillä on löytynyt. Soutuergometrituloksiin ei kuitenkaan vaikuta olosuhteet, kuten testeihin vesillä, ja tämän vuoksi soutuergometritestejä pidetään luotettavana ja toistettavana soutajan fyysisen suorituskyvyn mittarina. (Blervaque ym. 2022; Bourdin ym. 2017; Jürimäe ym. 2000; Mikulic 2009a; Mikulic 2009b; Mäestu ym. 2005; Smith & Hopkins 2012; Volianitis ym. 2020). Ergometritesteistä johdetut harjoitusalueohjeet eivät kuitenkaan kaikilla yksilöillä vastaa vesillä mitattuja fysiologisia vasteita ja tämän vuoksi ergometritulosten sovellettavuus harjoitteluohjeisiin vesillä kannattaa varmistaa vesillä tehtävillä testeillä (Vogler ym. 2010).

Soutajien yleisimmät fyysisiä ominaisuuksia mittaavat testit ovat erimittaisten matkojen suorituskykytestit, VO_2 max-testi, nousujohteinen kynnystesti ja anaerobisen suorituskyvyn testit.

3.1 Suorituskykytestit

Soutajien yleisin suorituskykytesti on 2000 metrin testi soutuergometrilla. Lisäksi suorituskykyä voidaan mitata muun pituisilla suorituskykytesteillä, jolloin voidaan arvioida eri ominaisuuksien kehittymistä ja tasapainoa. Näiden testien vahvuus on se, että ergometrin lisäksi ei tarvita mitään muita välineitä. (Smith & Hopkins 2012) Esimerkiksi 10 sekunnin, 100 metrin, 20 sekunnin, 30 sekunnin, 40 sekunnin ja 60 sekunnin testiä käytetään anaerobisen suorituskyvyn mittaamiseen. 500 metrin ja 2000 metrin testiä käytetään maksimaalisen hapenottokyvyn ja happamuuden siedon arviointiin. 6000 metrin ja 60 minuutin testit sen sijaan

arvioivat pidempiaikaiseen kestävyyyteen tarvittavia ominaisuuksia. (Cerasola ym. 2020; Cerasola ym. 2022; Jensen 2007; Jürimäe ym. 2000; Nybo ym. 2014; Riechman ym. 2002; Tran ym. 2015). Lajinomaista voimaa ja anaerobista alaktista (välittömät energianlähteet) kapasiteettia on testattu 5–7 vedon maksimaalisilla testeillä (Inghamin ym. 2002; Nevill ym. 2011; Steinacker 2008).

On otettava huomioon, että suorituskykytestin tulokseen vaikuttaa moni ominaisuus yhtä aikaa. Esimerkiksi 30–60 sekunnin testiin vaikuttaa anaerobisten ominaisuuksien lisäksi aerobiset ominaisuudet, jotka vaikuttavat sitä enemmän mitä pidempi testi on. (Cerasola ym. 2020; Nummela 2018; Riechman ym. 2002). Lisäksi etenkin lyhyisiin suorituskykytesteihin vaikuttaa energiantuottotavan lisäksi hermo-lihasjärjestelmän suorituskyky (Nummela 2018). Kaikkiin suorituskykytesteihin vaikuttaa myös tekniikka, taloudellisuus ja psyykkiset tekijät (Mäestu ym. 2005; Peltonen & Nummela 2018).

3.2 Suora maksimaalisen hapenottokyvyn testi

Soutajan suorituskyvyn tärkeimpiä tekijöitä oleva $VO_2\max$ voidaan selvittää hengityskaasuanalysaattorilla, jolla mitataan ventilaatiota eli keuhkotuuletusta ja hapen ja hiilidioksidin pitoisuuksien eroa sisään- ja uloshengitysilmassa. Mittauksen tuloksena saadaan elimistön hapenkulutus ja hiilidioksidin tuotto. Maksimaalinen hapenkulutus voidaan mitata kilpailusuoritusta vastaavassa testissä, kuten 2000 metrin soututestissä tai ajallisesti sitä vastaavassa suorituksessa. Useimmiten $VO_2\max$ kuitenkin mitataan nousujohteisessa testissä, jossa tehoa nostetaan tietyin väliajoin uupumukseen tai maksimikuormaan asti. Nousujohteinen $VO_2\max$ -testi voi olla yhtäjaksoinen 8–12 minuuttia kestävä testi, jolloin tehoa nostetaan 30–60 sekunnin välein ilman taukoa. Usein $VO_2\max$ -testiin yhdistetään veren laktaatin mittaus sormenpääverinäytteestä, jolloin saadaan monipuolisemmin tietoa elimistön energia-aineenvaihdunnasta ja eri ominaisuuksien kehityksestä. Laktaattimittauksen yhteydessä testi jaetaan kuormaportaisiin, joiden välissä on palautus laktaatinäytteenottoa varten. Tehoa lisätään jokaisella kuormaportaalla. Nousujohteinen testi voidaan tehdä myös pelkästään laktaattimittauksin, jolloin sitä kutsutaan taso- tai kynnystestiksi. (Martin-Rincon & Calbet 2020; Nielsen & Christensen 2020; Nummela & Peltonen 2018) Kannettavan hengityskaasuanalysaattorin avulla $VO_2\max$ voidaan mitata vesillä, mutta koska mittaus vesillä

on hankalaa ja olosuhteille altis, yleensä $VO_2\text{max}$ -testit tehdään laboratoriossa soutuergometrilla (Mäestu ym. 2005).

Hengityksen ja veren laktaattipitoisuuden vasteita nousevaan kuormitustehoon tarkastelemalla saadaan tietoa elimistön energiantuottomekanismien toiminnasta ja suhteellisista muutoksista ja voidaan havaita niin sanottuja kynnyksarvoja (Svedahl & MacIntosh 2013). Aerobinen kynnyks (AerK) on suurin työteho, jolla elimistö pystyy tuottamaan energian lähes kokonaan hapen avulla, jolloin elimistön happamuus ei nouse ja veren laktaattipitoisuus pysyy perustasolla. AnK on kohta, jossa laktaattimittausten muodostamassa laktaattikäyrässä tulee selkeä jyrkkä muutoskohta ja laktaatti alkaa kasvaa eksponentiaalisesti suhteessa kuormitustehoon. Kuormitustehon kasvaessa yli aerobisen kynnyksen elimistön happamuus alkaa nousta ja happamuuden puskuroinnin vaikutuksesta hiilidioksidin tuotto lisääntyy suhteessa hapenkulutukseen. Lisäksi hengityksen säätelytekijöiden vaikutuksesta ventilaatio kiihtyy suhteessa hapenkulutukseen. Tämä hiilidioksidin tuoton ja ventilaation nousukohta on ensimmäinen ventilaatiokynnyks. Toinen ventilaatiokynnyks on kuormitusteho, jolla ventilaatio alkaa kasvaa jyrkemmin suhteessa tehon nousuun, hapenkulutukseen tai hiilidioksidin tuottoon, koska hyperventilaation avulla pyritään kompensoimaan elimistön voimakasta happamuuden kasvua (Jamnick ym. 2020; Nummela & Peltonen 2018; Svedahl & MacIntosh 20013). Laktaatti- ja ventilaatiokynnykset kuvaavat molemmat aerobisen ja anaerobisen aineenvaihdunnan muutoksia, mutta ne eivät johdu täsmälleen samoista asioista, eivätkä näin ollen aina satu täsmälleen samalle kohdalle (Nummela & Peltonen 2018).

Erilaiset testiprotokollat voivat vaikuttaa testituloksiin. Kuormaportaiden ja niiden väliset palautusten kestot vaikuttavat niin hengityskaasumuuttujiin kuin veren laktaattipitoisuuksiin. Testin kokonaiskesto voi vaikuttaa $VO_2\text{max}$:oon ja maksimitehoon. Kuormaportaiden tehon noston suuruus ja kuormaportaiden määrä vaikuttavat kynnyksarvojen määrityksiin. (Bourdon ym. 2018; Jamnick ym. 2018; Jamnick ym. 2020; Mäestu ym. 2005; Svedahl & MacIntosh 2003) Mittaustulosten analyysivaiheen kestolla on merkitys $VO_2\text{max}$:n suuruuteen. Mitä lyhyemmältä jaksolta $VO_2\text{max}$ on keskiarvoistettu sitä korkeampia lukemia saadaan. Yleisesti käytössä on 30 tai 60 sekunnin keskiarvoistus, mutta myös esimerkiksi 15 sekunnin keskiarvoistuksia on raportoitu (taulukko 1). (Nummela & Peltonen 2018)

Kansainvälisissä tutkimuksissa sekä eri maiden testauksessa yleisimmät kuormitusprotokollat soutajilla ovat 3 min/30 s tai 4 min/30-60 s. Testien lähtöteho ja kuormaportaiden noston

suuruudet vaihtelevat. Testi pyritään aloittamaan helpolla teholla ja kuormaportaiden nostot vaihtelevat 15-50 W riippuen kuntotasosta, sukupuolesta ja kyseisen maan käytännöstä. Joissain maissa testi suoritetaan tasaisesti tehoa nostaen uupumukseen asti, kun taas joissain maissa tehdään tietyn rasiustason tai kuormaportaan jälkeen erillinen maksimikuormaportas, jossa soudetaan mahdollisimman suuri keskiteho koko vaaditun ajan. Joissain maissa ja tutkimuksissa ergometrin vastuskerroin on määrätty, kun taas joissain se on vapaasti valittavissa. Kynnystasojen määrittämisessä on olemassa lukuisia erilaisia menetelmiä. Soudussa kynnysmäärittämisessä on käytetty ainakin kiinteitä 2, 3, 3,5 tai 4 mmol/l laktaattipitoisuuksia sekä yksilöllisiä ja sovitteilla määritettyjä laktaattikäyrän muotoon perustuvia menetelmiä, (Bourdin ym. 2017; Bourdin ym. 2004b; Bourgois ym. 2014; Godfrey ym. 2005; Ingham ym. 2002; Klusiewicz ym. 2014; Lacour ym. 2009; Nevill ym. 2011; Rice 2019; Treff ym. 2014; Treff ym. 2017; Turnes ym. 2019; Vogler ym. 2010) Eri menetelmillä määritetyt anaerobiset kynnykset korreloivat yleensä kestävyysuorituskyvyn kanssa, mutta eivät kuitenkaan välttämättä tuota samaa anaerobisen kynnyksen tehoa tai intensiteettiä. Eri menetelmillä määritettyjä kynnysarvoja ei voikaan vertailla keskenään. (Ferguson ym. 2018; Jamnick ym. 2020; Rice & Osborne 2013)

Testituloksiin vaikuttaa useat testattavasta johtuvat tekijät sekä olosuhteet. Ergometritesteissä olosuhteiden vaikutus on pieni verrattuna vesillä tehtyihin testeihin, mutta myös ergometritestissä olosuhteet voivat vaihdella. Kun testejä tehdään seurannan tai vertailun vuoksi, on erittäin tärkeää vakioda tuloksiin vaikuttavat tekijät mahdollisimman hyvin. Seurantatesteissä testiä edeltävä vuorokausi pitäisi olla kuormituksen, ravinnon ja nestetasapainon suhteen mahdollisimman samanlainen joka kerta. Testi tulisi tehdä aina samaan vuorokaudenaikaan. Olosuhteet lämpötilan ja ilman kosteuden osalta tulisi vakioda mahdollisimman hyvin. Harjoittelun painotukset vaikuttavat myös tuloksiin, joten seurantatesteissä harjoittelukauden ajankohta pitää huomioida. Laktaattimittauksissa tulisi käyttää samaa näytteenottoa paikkaa (sormenpää tai korvanlehti) sekä mittalaitetta (Bourdon 2013; Mäestu ym. 2005; Nummela & Peltonen 2018; Svedahl & MacIntosh 2003).

4 SOUTUTESTIEN VIITEARVOT SUOMESSA

4.1 Suorituskykytestien viitearvot

Suomessa soutajien suorituskykytesteinä käytetään 2000 metriä ja 5000 metriä soutuergometrilla. 2000 metriä on ollut sisäsoutukilpailujen virallisena matkana vuodesta 1996 lähtien. 5000 metriä on soudettu testinä ainakin vuodesta 2001 lähtien. Suorituskykytestien tulokset löytyvät Suomen Melonta- ja Soutuliiton internetsivuilta kaudesta 2008–2009 lähtien (Suomen Melonta- ja Soutuliitto 2022).

5000 metrin matkaa soudetaan ergometrilla maajoukkueen testinä Suomen lisäksi muun muassa Australiassa, Isossa-Britanniassa, Norjassa, Ranskassa, Ruotsissa, Saksassa ja Uudessa-Seelannissa (British Rowing 2022; Deutscher Ruderverband 2022; Fédération Française d'Aviron 2022; Norges Roforbund 2022; Rowing Australia 2022; Rowing New Zealand 2022; Svenska Roddförbundet 2022).

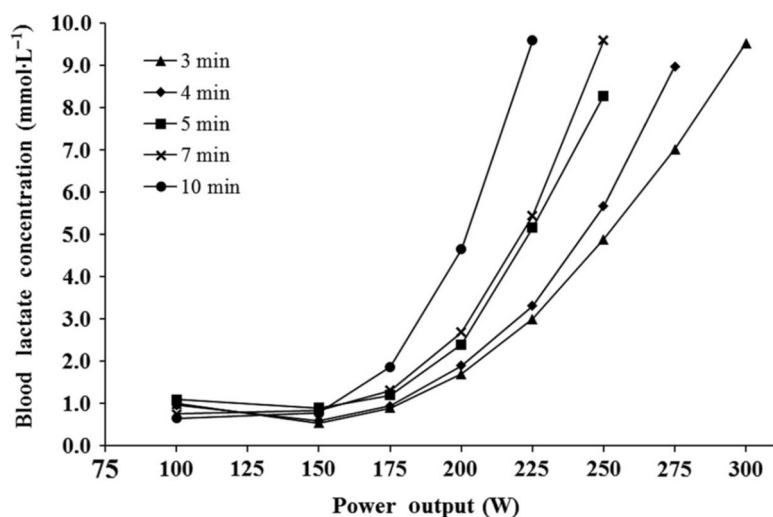
4.2 Suoran maksimaalisen hapenottotestin ja kynnystestin viitearvot suomalaisilla soutajilla

Soutajien fysiologisten ominaisuuksien mittaamiseen ja niiden kehittymisen seurantaan Suomessa käytetään suoraa VO₂max-testiä sekä kynnystestiä pelkillä laktaatti- ja sykemittauksilla. VO₂max-testejä tehdään eri testiasemilla hieman erilaisilla protokollilla. Protokollat ovat kuitenkin hyvin lähellä toisiaan. Yleisimmin käytetään 3,5–4 minuutin pituisia työjaksoja, joiden välissä on 30–60 sekunnin näytteenottotauko.

Paavo Nurmi -keskuksen (PNK) kuntotestilaboratoriossa Turussa on testattu soutajia 1990-luvun alusta lähtien liikuntafysiologi Jukka Kapasen toimesta. PNK:n soututestidatan perusteella koottiin viitearvot suomalaisille olympialuokan soutajille (liite 1). Testidata käsittää 1990-luvulta lähtien soutuergometrilla testatut 17–45-vuotiaat olympialuokkien soutajat. Testidatan analyysiin valittiin PNK:ssa käyneiltä soutajilta viimeisin testi, jossa on mahdollisimman paljon mitattuja arvoja. Väitöskirjatutkija Pekka Matomäen avulla PNK:n testidatasta tehtiin jakaumat Excel-taulukko-ohjelmalla.

PNK:n testidatan testeissä käytetty protokolla on vaihdellut hieman eri aikoina. PNK:n testidatassa vanhimmat testit oli tehty vain kahden minuutin kuormilla, mutta tällaisia testejä oli vain muutama. Kahden minuutin kuormat oli muutettu ensimmäisten testien jälkeen kestävyystesteille tyypillisiin kolmen minuutin kuormiin, jotka sisälsivät laktaattinäytteenoton. 90-luvun aikana osa testeistä alettiin tehdä neljän minuutin työjaksoilla, joiden välissä oli minuutin näytteenottotauko. Tämän testimallin aloitti silloinen soutuiliiton päävalmentaja. Malli oli saatu Tanskan maajoukkueelta. Viimeinen kuorma tehtiin joko kuuden tai neljän minuutin pituisena. Kaikissa protokollissa viimeinen kuorma on tehty maksimitaholla niin, että tavoiteaika on tullut täyteen. Maksimikuorma on ohjeistettu tekemään, kun AnK on selkeästi ylitetty. Kuuden minuutin kuormaa ennen oli pidempi tauko. Kuuden minuutin pituisen kuorman tavoitteena oli mallintaa soudun kilpailusuoritusta. Koska kuuden minuutin maksimikuormaa käytettäessä kokonaistestiaika pitenee huomattavasti pidemmän palautuksen vuoksi, eikä pidempi kuorma tuo erityistä lisäarvoa tuloksiin, on palattu neljän minuutin maksimikuormaan. Viime vuosien testit on tehty neljän minuutin työjaksoilla, joiden välissä on minuutin palautus.

Erilaisilla testiprotokollilla voi olla jonkin verran vaikutusta tuloksiin. PNK:ssa tehdyissä testeissä kuormaportaan pidentyessä kuitenkin myös palautus kuormien välillä on pidentynyt, mikä todennäköisesti tasoittaa vaikutusta tuloksiin. Bourdon ym. (2018) eivät saaneet eroja aerobisen kynnyksen arvoihin, eikä merkitseviä eroja anaerobisen kynnyksen arvoihin kolmen tai neljän minuutin kuormien pituudella soutajilla tehdyissä VO₂max-testeissä, vaikka molemmissa testeissä oli palautus kuormien välissä minuutin pituinen (kuva 12).

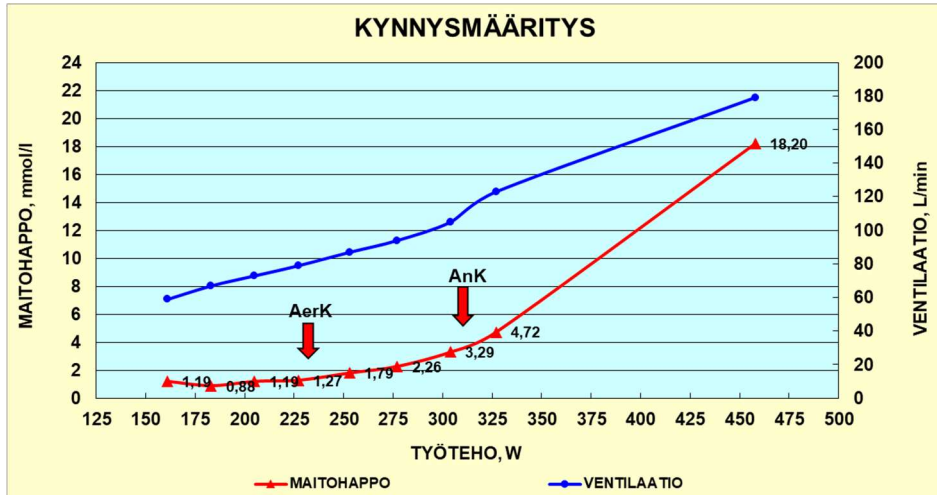


KUVA 12. Kuormaportaiden pituuden vaikutus laktaattikäyrään nousujohteisessa testissä (Bourdon ym. 2018).

Maksimikuormien pituuden vaihtelu todennäköisesti vaikuttaa maksimikuormassa saavutettuun keskitehoon. Koska kuuden minuutin maksimikuormaa käytettäessä kuitenkin pidettiin usean minuutin tauko ennen maksimikuormaa, ei vaikutus välttämättä ole niin suuri vertailtaessa neljän minuutin kuormaan, joka on tehty heti edellisen kuorman jälkeen. Tätä olettamusta tukee esimerkiksi Bourdin ym. (2017) ja Bourdin ym. (2004b) tutkimukset, joissa nousujohteisen VO₂max-testin viimeisen kuorman keskiteho oli naisilla keskimäärin sama kuin 2000 metrin keskiteho ja miehillä nousujohteisen testin viimeisen kuorman teho oli 2000 metrin tehosta 104 %, joka vastasi keskimäärin vain 13 watin suuruista eroa. Kuorman pituus tässä tutkimuksessa oli kolme minuuttia ja kuormien välissä oli 30 sekunnin näytteenottotauko.

PNK:n kaikki kynnysmääritykset on tehty saman liikuntafysiologin toimesta vahvaan asiantuntemukseen ja pitkään kokemukseen perustuen. Kynnysmääritys perustuu ennen kaikkea laktaatin muutokseen. AerK on määritetty laktaattikäyrän matalalle perustasolle, josta on tapauskohtaisesti sallittu 0,3–0,5 mmol/l nousu, jos se kokonaisuus huomioon ottaen on vaikuttanut järkevältä. AerK:lla on määrittäksen tukena käytetty laktaatin suhdetta hapenkulutukseen (La/VO₂) -käyrän alinta kohtaa. AnK:lla laktaattimäärityksen lisäksi on tarkasteltu ventilaation kiihtymistä ja tätä ventilaatiokynnystä on käytetty tukemaan kynnysmääritystä (kuva 13). Kiinteitä laktaattiarvoja ei ole käytetty, mutta AerK on yleensä asettunut 1–2 mmol/l väliin riippuen henkilön yleisestä laktaattitasosta. AnK puolestaan asettuu yleensä 2–4 mmol/l välille. Kynnysmäärityksissä tärkeään asemaan nousee myös edelliseen testiin vertaaminen. Laktaattikäyrää kokonaisuutena tarkasteltaessa näkee mihin suuntaan

kynnykset kehittyvät ja määritykset tarkentuvat säännöllisen testaamisen myötä. Kynnysmäärityksissä ja testitulosten tulkinnassa erittäin tärkeää on testaajan kokemus sekä säännöllinen seuranta. (Kapanen 2023)



KUVA 13. Esimerkki PNK:ssa tehdystä kynnysmäärityksestä soutajalla (Paavo Nurmi -keskus).

4.3 Kuntotestitulosten viitearvojen käytännön sovellukset

Tämän työn yhteydessä koottujen viitearvojen (liite 1) perusteella näkee, miten fysiologisten ominaisuuksien arvot jakautuvat PNK:ssa testattujen soutajien kesken. Viitearvojen perusteella voi vertailla omien ominaisuuksien painotuksia suhteessa muihin testattuihin. Esimerkiksi, jos aerobisen kynnyksen teho on selkeästi jakauman alapäässä ja maksimiteho selkeästi jakauman yläpäässä, voidaan päätellä, että tässä tapauksessa maksimitehontuotto on suhteessa vahva peruskestävyysominaisuuksiin verrattuna.

On huomattava, että viitearvot muodostuvat eri-ikäisten (17–45-vuotiaat) sekä eritasoisten olympialuokkien soutajien tuloksista. Viitearvotaulukon tarkoitus ei ole toimia tavoitearvotaulukkona. Sen sijaan viitearvot auttavat hahmottamaan, miten fysiologiset ominaisuudet jakautuvat ja painottuvat suomalaisilla testatuilla soutajilla. Mielenkiintoista on esimerkiksi nähdä, miten yksilöllisesti veren laktaatti vaihtelee anaerobisella kynnyksellä tai maksimitasolla. Tämä on linjassa kansainvälisten tutkimusten kanssa, joissa on todettu sekä kynnyslaktaattien että maksimilaktaattien olevan yksilöllisiä (Beneke 1995; Beneke ym. 2000;

Billat ym. 2003; Blervaque ym. 2022; Bourgois ym. 2014; Faude ym. 2009 Ingham ym. 2007; Nielsen & Christensen 2020; Secher ym. 2007; Treff ym. 2021). Viitearvotaulukkoon on lisätty myös testidatan korkeimmat arvot, jotka ovat kansainvälisen tason soutajien arvoja ja jotka antavat suuntaa siitä, miten korkeita fysiologisia arvoja kansainvälinen taso vaatii.

Viitearvotaulukkoa voi käyttää myös kenttätesteissä arvioimaan kynnystasoja silloin, kun testeihin ei ole käytettävissä hengityskaasumittausta tai laktaattimittausta. Esimerkiksi kynnyskyt voi karkeasti arvioida soutuergometritestillä ilman kalliita mittaussäiliöitä. Viitearvotaulukon perusteella AerK on naisilla keskimäärin 53 % ja miehillä 51 % maksimitehosta ja AnK on naisilla keskimäärin 72 % ja miehillä 68 % maksimitehosta. Näiden tietojen avulla voi karkeasti arvioida itselleen kynnystasot nousevatehoisen kuormituksen viimeisen 3–4 minuutin maksimisuoritustehon tai 2000 metrin testin keskitehon perusteella. Vastaavasti aerobinen kynnyskyt on keskimäärin 79–80 % maksimisykkeestä ja anaerobinen kynnyskyt keskimäärin 90–91 % maksimisykkeestä. Mittaamalla maksimisykkeen maksimisuorituksen aikana, voi arvioida edellisten viitearvojen perusteella myös kynnyskyt suuntaa antavasti. Tällainen määrittäminen on helppo ja ilmainen toteuttaa. Määrittäminen soveltuu esimerkiksi aloittelijoille tai kuntoilijoille, jotka haluavat määrittää itselleen harjoitusalueet ilman kalliita testejä. Määrittäminen ei kuitenkaan ota huomioon yksilöllisyyttä, joka yleensä aiheuttaa suuren vaihtelevuuden tuloksiin. Mitä enemmän harjoitellaan ja korkeammat tavoitteet ovat, sitä tarkemmin harjoitusalueet on syytä määrittää, jolloin laboratoriossa tehtävät säännölliset hengityskaasu- ja laktaattimittaukset nousevat merkittävään rooliin.

Viitearvotaulukon heikkoutena on kohtalaisen pieni testattujen lukumäärä. Taulukon koostamiseen käytetyn testidatan testiprotokollat eivät kaikki myöskään olleet samanlaisia. Testiprotokollan vaikutusta on pohdittu enemmän edellisessä kappaleessa. Rajoituksista huolimatta testidatan kooste ja jakaumat antavat arvokasta tietoa soutajien fysiologisista ominaisuuksista, jotka ovat osittain lajispesifejä, eikä muiden lajien viitearvoja voi suoraan soveltaa soutajiin.

LÄHTEET

- Alföldi, Z., Boryśławski, K., Ihasz, F., Soós, I. & Podstawski, R. (2021). Differences in the Anthropometric and Physiological Profiles of Hungarian Male Rowers of Various Age Categories, Rankings and Career Lengths: Selection Problems. *Frontiers in physiology*, 12, 747781. doi:10.3389/fphys.2021.747781
- Bassett, D. R., Jr, & Howley, E. T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine and science in sports and exercise* 32 (1), 70–84. doi:10.1097/00005768-200001000-00012
- Beneke, R. (1995). Anaerobic threshold, individual anaerobic threshold, and maximal lactate steady-state in rowing. *Medicine and science in sports and exercise* 27 (6), 863-867. doi:10.1249/00005768-199506000-00010
- Beneke, R., Hütler, M. & Leithäuser, R. M. (2000). Maximal lactate-steady-state independent of performance. *Medicine and science in sports and exercise* 32 (6), 1135-1139. doi:10.1097/00005768-200006000-00016
- Billat, V. L., Sirvent, P., Py, G., Koralsztejn, J. & Mercier, J. (2003). The Concept of Maximal Lactate Steady State: A Bridge Between Biochemistry, Physiology and Sport Science. *Sports Medicine* 33 (6), 407-426. doi:10.2165/00007256-200333060-00003
- Blervaque, L., Bowen, M., Chatel, B., Corbex, E., Dalmais, E. & Messonnier, L.A. (2022) Is the Energy Cost of Rowing a Determinant Factor of Performance in Elite Oarsmen? *Front. Physiol.* 13:827932. doi:10.3389/fphys.2022.827932
- Bourdin, M., Lacour, J., Imbert, C. & Messonnier, L. A. (2017). Factors of Rowing Ergometer Performance in High-Level Female Rowers. *International journal of sports medicine*, 38 (13), 1023-1028. doi:10.1055/s-0043-118849
- Bourdin, M., Messonnier, L., Hager, J. & Lacour, J. (2004a). Peak Power Output Predicts Rowing Ergometer Performance in Elite Male Rowers. *International journal of sports medicine*, 25(5), 368-373. doi:10.1055/s-2004-815844
- Bourdin, M., Messonnier, L., & Lacour, J. R. (2004b). Laboratory blood lactate profile is suited to on water training monitoring in highly trained rowers. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 44(4), 337–341.
- Bourdon, P. (2013). Blood Lactate Thresholds: Concepts and Applications. In Tanner, R.K. & Gore, C.J. (ed.) *Physiological Test for Elite Athletes*. 2nd Edition. Australian Institute of Sport, 77-102.

- Bourdon, P. C., Woolford, S. M. & Buckley, J. D. (2018). Effects of Varying the Step Duration on the Determination of Lactate Thresholds in Elite Rowers. *International journal of sports physiology and performance* 13 (6), 687-693. doi:10.1123/ijsp.2017-0258
- Bourgois, J., Steyaert, A., & Boone, J. (2014). Physiological and Anthropometric Progression in an International Oarsman: A 15-Year Case Study, *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(4), 723-726. doi: 10.1123/IJSP.2013-0267
- British Rowing (2022) Verkkosivu. Senior and U23 Selection Trials. Viitattu 20.12.2022. <https://www.britishrowing.org/gb-rowing-team/rowing-for-gb/trials/senior-u23-trials-information/>
- Cerasola, D., Bellafiore, M., Cataldo, A., Zangla, D., Bianco, A., Proia, P., Traina, M., Palma, A. & Capranica, L. (2020) Predicting the 2000-m Rowing Ergometer Performance from Anthropometric, Maximal Oxygen Uptake and 60-s Mean Power Variables in National Level Young Rowers. *Journal of Human Kinetics*, 75, (1), 77-83. doi:10.2478/hukin-2020-0038
- Cerasola, D., Zangla, D., Grima, J. N., Bellafiore, M., Cataldo, A., Traina, M., Capranica, L., Maksimovic, N., Drid, P. & Bianco, A. (2022) Can the 20 and 60 s All-Out Test Predict the 2000 m Indoor Rowing Performance in Athletes? *Front. Physiol.* 13:828710. doi: 10.3389/fphys.2022.828710
- de Campos Mello, F., de Moraes Bertuzzi, R. C., Grangeiro, P. M., & Franchini, E. (2009). Energy systems contributions in 2,000 m race simulation: A comparison among rowing ergometers and water. *European Journal of Applied Physiology*, 107(5), 615-9. doi:10.1007/s00421-009-1172-9
- Deutscher Ruderverband (2022) Allgemeine Informationen. Verkkosivu. Viitattu 20.12.2022. <https://www.rudern.de/nationalmannschaft/allgemeine-informationen>
- Faude, O., Kindermann, W. & Meyer, T. (2009). Lactate Threshold Concepts: How Valid are They? *Sports medicine (Auckland)* 39 (6), 469-490. doi:10.2165/00007256-200939060-00003
- Fédération Française d'Aviron. (2022) Règles de selection. Verkkosivu. Viitattu 20.12.2022. <https://www.ffaviron.fr/equipes-de-france/acces-haut-niveau/regles-de-selection>
- Fitts, Robert H. (2016) The Role of Acidosis in Fatigue: Pro Perspective. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 48 (11), 2335-2338. doi: 10.1249/MSS.0000000000001043

- Godfrey, R. J., Ingham, S. A., Pedlar, C. R., & Whyte, G. P. (2005). The detraining and retraining of an elite rower: a case study. *Journal of science and medicine in sport*, 8(3), 314–320. doi:10.1016/s1440-2440(05)80042-8
- Greco, C. C., Correa Carita, R. A., Dekerle, J. & Denadai, B. S. (2012). Effect of aerobic training status on both maximal lactate steady state and critical power. *Applied physiology, nutrition, and metabolism* 37 (4), 736-743. doi:10.1139/H2012-047
- Hartmann, U. & Mader, A. (2005). Rowing physiology. Teoksessa V. Nolte (toim.) Rowing faster. Human Kinetics Publisher, USA, 9–23.
- Ingham, S. A., Pringle, J. S., Hardman, S. L., Fudge, B. W. & Richmond, V. L. (2013). Comparison of step-wise and ramp-wise incremental rowing exercise tests and 2000-m rowing ergometer performance. *International journal of sports physiology and performance* 8 (2), 123-129. doi:10.1123/ijsp.8.2.123
- Ingham, S. S., Whyte, G. G., Jones, K. K., & Nevill, A. A. (2002). Determinants of 2,000 m rowing ergometer performance in elite rowers. *European Journal of Applied Physiology* 88 (3), 243-6. doi:10.1007/s00421-002-0699-9
- Ingham, S. A., Carter, H., Whyte, G. P., & Doust, J. H. (2007). Comparison of the oxygen uptake kinetics of club and olympic champion rowers. *Medicine and science in sports and exercise*, 39(5), 865–871. doi:10.1249/mss.0b013e31803350c7
- Jamnick, N. A., Botella, J., Pyne, D. B. & Bishop, D. J. (2018) Manipulating graded exercise test variables affects the validity of the lactate threshold and VO₂peak. *PLoS ONE* 13 (7): e0199794. doi:10.1371/journal.pone.0199794
- Jamnick, N. A., Pettitt, R. W., Granata, C., Pyne, D. B. & Bishop, D. J. (2020). An Examination and Critique of Current Methods to Determine Exercise Intensity. *Sports medicine (Auckland)* 50 (10), 1729-1756. doi:10.1007/s40279-020-01322-8
- Jensen, K. (2007) Performance assessment. Teoksessa Secher, N. H., & Volianitis, S. (toim.) Rowing. *Handbook of Sports Medicine and Science*, International Olympic Committee, Blackwell Publishing, 96-102.
- Jensen, K., Frydkjær, M., Jensen, N. M., Bannerholt, L. M., & Gam, S. (2021). A Maximal Rowing Ergometer Protocol to Predict Maximal Oxygen Uptake, *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 16(3), 382-386. doi:10.1123/ijsp.2019-0932

- Jürimäe, J., Mäestu, J., Jürimäe, T., Pihl, E. (2000). Prediction of rowing performance on single sculls from metabolic and anthropometric variables. *Journal of Human Movement Studies*, 38 (3), 123–136.
- Lacour, J.R., Messonnier, L. & Bourdin, M. (2009) Physiological correlates of performance. Case study of a world-class rower. *European Journal of Applied Physiology* 106, 407–413. doi:10.1007/s00421-009-1028-3
- Kapanen, J. (11.1.2023) Liikuntafysiologi Jukka Kapanen haastattelu puhelimitse. Paavo Nurmi -keskus.
- Kleshnev, V. 2007. Biomechanics. Teoksessa Secher, N. H., & Volianitis, S. (toim.) *Rowing. Handbook of Sports Medicine and Science*, International Olympic Committee, Blackwell Publishing, 22-34.
- Klusiewicz, A., Starczewski, M., Ładyga, M., Długołęcka, B., Braksator, W., Mamcarz, A., & Sitkowski, D. (2014). Reference values of maximal oxygen uptake for polish rowers. *Journal of human kinetics*, 44, 121–127. doi:10.2478/hukin-2014-0117
- Maciejewski, H., Bourdin, M., Lacour, J. R., Denis, C., Moyen, B., & Messonnier, L. (2013). Lactate accumulation in response to supramaximal exercise in rowers. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 23(5), 585–592. doi:10.1111/j.1600-0838.2011.01423.x
- Martin-Rincon, M. & Calbet J. A. L. (2020) Progress Update and Challenges on VO₂max Testing and Interpretation. *Frontiers in Physiology* 11:1070. doi: 10.3389/fphys.2020.01070.
- Mikulic, P. (2008). Anthropometric and physiological profiles of rowers of varying ages and ranks. *Kinesiology (Zagreb, Croatia)*, 40(1), 80-88.
- Mikulic P. (2009). Anthropometric and metabolic determinants of 6,000-m rowing ergometer performance in internationally competitive rowers. *Journal of strength and conditioning research*, 23(6), 1851–1857. doi:10.1519/JSC.0b013e3181b3dc7e
- Mikulic, P. (2011). Maturation to elite status: A six-year physiological case study of a world champion rowing crew. *European journal of applied physiology*, 111(9), 2363-2368. doi:10.1007/s00421-011-1870-y
- Mikulic, P. & Bralic, N. (2018) Elite status maintained: a 12-year physiological and performance follow-up of two Olympic champion rowers. *Journal of Sports Sciences*, 36 (6), 660-665. DOI: 10.1080/02640414.2017.1329548
- Mikulić, P., Smoljanović, T., Bojanić, I., Hannafin, J. A. & Matković, B. R. (2009a). Relationship between 2000-m rowing ergometer performance times and World Rowing

- Championships rankings in elite-standard rowers. *Journal of sports sciences*, 27(9), 907-913. doi:10.1080/02640410902911950
- Mikulić, P., Smoljanović, T., Bojanić, I., Hannafin, J. & Pedisić, Ž. (2009b). Does 2000-m rowing ergometer performance time correlate with final rankings at the World Junior Rowing Championship? A case study of 398 elite junior rowers. *Journal of sports sciences*, 27(4), 361-366. doi:10.1080/02640410802600950
- Mäestu, J., Jürimäe, J. & Jürimäe, T. (2005) Monitoring of Performance and Training in Rowing. *Sports Medicine*, 35 (7), 597-617.
- Nevill, A.M., Allen, S.V. & Ingham, S.A. (2011) Modelling the determinants of 2000 m rowing ergometer performance: a proportional, curvilinear allometric approach. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 21, 73-78. doi:10.1111/j.1600-0838.2009.01025.x
- Nielsen, H. B., & Christensen, P. M. (2020). Rower with Danish record in maximal oxygen uptake. *Ugeskrift for læger*, 182(8), V10190610
- Norges Roforbund (2022) Testresultater. Verkkosivu. Viitattu 20.12.2022. <https://www.roing.no/toppidrett/trening-og-tester/testresultater>
- Nummela, A. (2018) Anaerobiset testit. Teoksessa Keskinen, K. L., Häkkinen, K., Kallinen, M., Aartolahti, E. & Kuivalainen, J. (toim.) *Fyysisen kunnon mittaaminen: Käsi- ja oppikirja kuntotestaajille*. Liikuntatieteellinen Seura, 133–144.
- Nummela, A. & Peltonen, J. (2018) Suorat testit. Teoksessa Keskinen, K. L., Häkkinen, K., Kallinen, M., Aartolahti, E. & Kuivalainen, J. (toim.) *Fyysisen kunnon mittaaminen: Käsi- ja oppikirja kuntotestaajille*. Liikuntatieteellinen Seura, 79–101.
- Nybo, L., Schmidt, J. F., Fritzdorf, S. & Nordsborg, N. B. (2014) Physiological Characteristics of an Aging Olympic Athlete. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 46 (11), 2132-2138. doi: 10.1249/MSS.0000000000000331
- Paavo Nurmi -keskus. (2022) Paavo Nurmi -keskuksen testidata.
- Peltonen, J. & Nummela, A. (2018). Kestävyyden fysiologiset perusteet. Teoksessa Keskinen, K. L., Häkkinen, K., Kallinen, M., Aartolahti, E. & Kuivalainen, J. (toim.) *Fyysisen kunnon mittaaminen: Käsi- ja oppikirja kuntotestaajille*. Liikuntatieteellinen Seura, 64-78.
- Rice, T. (2019) Information for Athletes, NTC Scientists and Pathways Programs. 7 x 4 min Step Test Protocol. Rowing Australia. Verkkosivu. Viitattu 10.12.2022. <https://rowingaustralia.com.au/tony-rice/rowing-testing-protocols/>

- Rice, A. J. & Osborne, M. A. (2013). Rowers. Teoksessa Tanner, R.K. & Gore, C.J. (toim.) *Physiological Test for Elite Athletes*. 2nd Edition. Australian Institute of Sport, 353.
- Riechman, S. E., Zoeller, R. F., Balasekaran, G., Goss, F. L., & Robertson, R. J. (2002). Prediction of 2000 m indoor rowing performance using a 30 s sprint and maximal oxygen uptake. *Journal of sports sciences*, 20(9), 681–687. doi:10.1080/026404102320219383
- Rowing Australia (2019) Rowing Australia Pathways Benchmarks. Verkkosivu. Viitattu 4.12.2022. <https://rowingaustralia.com.au/tony-rice/rowing-testing-protocols/>
- Rowing New Zealand (2022) Policies and Information. Verkkosivu. Viitattu 20.12.2022. https://rowingnz.kiwi/Category?Action=View&Category_id=91
- Secher, N. H. (1993) *Physiological and Biomechanical Aspects of Rowing. Implications for training*. *Sports Medicine* 15 (1), 24-42.
- Secher, N. H., Voliantis, S. & Jurimae, J. (2007) *Physiology*. Teoksessa Secher, N. H., & Voliantis, S. (toim.) *Rowing. Handbook of Sports Medicine and Science*, International Olympic Committee, Blackwell Publishing, 42-65.
- Smith, T. B. & Hopkins, W. G. (2012). Measures of Rowing Performance. *Sports medicine (Auckland)*, 42(4), 343-358. doi:10.2165/11597230-000000000-00000
- Steinacker J. (2008) *Leistungsdiagnostik*. Teoksessa Altenburg, D., Mattes, K. & Steinacker J. (toim.) *Handbuch rudertraining*. Limbert, 35–47
- Suomen Melonta- ja Soutuliitto (2022) Olympiasoudun valmennusryhmien testit. Verkkosivu. Viitattu 20.12.2022 <https://melontajasoutuliitto.fi/huippu-urheilu/maajoukkueet/olympiasoudun-maajoukkueet/olympiasoudun-valmennusryhmien-testit/>
- Svedahl, K. & MacIntosh, B. R. (2003). Anaerobic Threshold: The Concept and Methods of Measurement. *Canadian journal of applied physiology* 28 (2), 299-323. doi:10.1139/h03-023
- Svenska Roddförbundet 2022. Testrutiner, Träning och Kravanalyser. Verkkosivu. Viitattu 20.12.2022. <https://www.rodd.se/Landslag/testrutinertraningochkravanalyser/>
- Tran, J., Rice, A. J., Main, L. C. & Gatin, P. B. (2015). Profiling the Training Practices and Performance of Elite Rowers. *International journal of sports physiology and performance*, 10(5), 572-580. doi:10.1123/ijsp.2014-0295
- Treff, G., Schmidt, W., Wachsmuth, N., Völzke, C., & Steinacker, J. M. (2014). Total haemoglobin mass, maximal and submaximal power in elite rowers. *International journal of sports medicine*, 35(7), 571–574. doi:10.1055/s-0033-1358476

- Treff, G., Winkert, K., Sareban, M., Steinacker, J. M., Becker, M. & Sperlich, B. (2017) Eleven-Week Preparation Involving Polarized Intensity Distribution Is Not Superior to Pyramidal Distribution in National Elite Rowers. *Frontiers in Physiology*, 8:515. doi: 10.3389/fphys.2017.00515
- Treff G., Winkert K. & Steinacker, J. M. (2021) Olympic rowing – maximum capacity over 2000 meters. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 72, 203-211. doi:10.5960/dzsm.2021.485
- Turnes, T., Santos, R. P. D., De Aguiar, R. A., Loch, T., Possamai, L. T. & Caputo, F. (2019). Association Between Deoxygenated Hemoglobin Breaking-Point, Anaerobic Threshold and Rowing Performance. *International journal of sports physiology and performance* 14 (8), 1-1109. doi:10.1123/ijsp.2018-0675
- Volianitis, S., Yoshiga, C.C. & Secher, N.H. (2020) The physiology of rowing with perspective on training and health. *European Journal of Applied Physiology* **120**, 1943–1963. doi:10.1007/s00421-020-04429-y
- Vogler, A. J., Rice, A. J. & Gore, C. J. (2010). Physiological responses to ergometer and on-water incremental rowing tests. *International journal of sports physiology and performance*, 5(3), 342-358. doi:10.1123/ijsp.5.3.342
- Winkert, K., Steinacker, J.M., Koehler, K. & Treff, G. (2022) High Energetic Demand of Elite Rowing – Implications for Training and Nutrition. *Frontiers in Physiology*, 13:829757. doi: 10.3389/fphys.2022.829757
- World Rowing 2022. <https://worldrowing.com/athletes/best-times/> (viitattu 6.9.2022)

LIITE 1. Paavo Nurmi -keskuksen testidatasta muodostetut viitearvot olympialuokkien soudussa

Paavo Nurmi-keskuksessa soutuksissa käyneiden naisten jakaumat							
maksimin, anaerobisen ja aerobisen kynnyksen osalta (Kaikki: n = 26 , Mitattu VO2: n = 22)							
Maksimi							
	Työteho	Työteho	VO ₂	laktaatti			
	(W)	(W/kg)	(l/min)	(mmol/l)			
korkein	336	5,5	4,25				
10 %	289	4,3	3,91	14,41			
20 %	271	4,0	3,71	13,23			
30 %	258	3,8	3,57	12,38			
40 %	248	3,7	3,45	11,66			
50 %	237	3,5	3,33	10,98			
60 %	227	3,4	3,21	10,30			
70 %	216	3,2	3,09	9,57			
80 %	203	3,1	2,95	8,72			
90 %	185	2,8	2,75	7,54			
Anaerobinen kynnys							
	Työteho	Työteho	% maksimi- tehosta	VO ₂	(%VO _{2max})	% maksimi- sykkeestä	laktaatti
	(W)	(W/kg)	(%)	(l/min)	(%)	(%)	(mmol/l)
korkein	261	3,9		3,64	90		
10 %	213	3,1	78	3,36	88	94	3,45
20 %	198	2,9	76	3,16	86	93	3,18
30 %	188	2,7	74	3,02	85	93	2,98
40 %	179	2,6	73	2,89	84	92	2,82
50 %	170	2,5	72	2,78	83	91	2,66
60 %	162	2,4	70	2,66	82	91	2,50
70 %	152	2,3	69	2,54	81	90	2,34
80 %	142	2,2	67	2,40	80	90	2,14
90 %	127	2,0	65	2,20	78	88	1,87
Aerobinen kynnys							
	Työteho	Työteho	% maksimi- tehosta	VO ₂	(%VO _{2max})	% maksimi- sykkeestä	laktaatti
	(W)	(W/kg)	(%)	(l/min)	(%)	(%)	(mmol/l)
korkein	200	3,1		3,00	74		
10 %	166	2,4	61	2,72	72	88	1,39
20 %	152	2,3	58	2,55	70	85	1,29
30 %	143	2,1	57	2,43	69	83	1,22
40 %	135	2,0	55	2,33	68	82	1,16
50 %	127	1,9	53	2,23	67	80	1,10
60 %	120	1,8	52	2,13	66	79	1,05
70 %	112	1,7	50	2,03	64	77	0,99
80 %	102	1,6	48	1,91	63	75	0,92
90 %	89	1,4	46	1,74	61	73	0,82

**Paavo Nurmi-keskuksessa soutuksessa käyneiden miesten jakaumat
maksimin, anaerobisen ja aerobisen kynnyksen osalta (Kaikki: n = 70, Mitattu VO₂: n = 68)**

Maksimi

	Työteho (W)	Työteho (W/kg)	VO ₂ (l/min)	laktaatti (mmol/l)
korkein	524	5,6	6,25	
10 %	451	5,3	5,65	17,56
20 %	429	5,1	5,39	16,11
30 %	413	5,0	5,21	15,06
40 %	399	4,8	5,06	14,16
50 %	386	4,7	4,91	13,33
60 %	373	4,6	4,77	12,49
70 %	359	4,5	4,61	11,59
80 %	343	4,3	4,43	10,55
90 %	320	4,1	4,18	9,09

Anaerobinen kynnys

	Työteho (W)	Työteho (W/kg)	% maksimi- tehosta (%)	VO ₂ (l/min)	(%VO _{2max}) (%)	% maksimi- sykkeestä (%)	laktaatti (mmol/l)
korkein	338	4,0		5,25	97		
10 %	314	3,7	75	4,74	88	94	3,92
20 %	296	3,5	73	4,49	86	93	3,61
30 %	284	3,4	71	4,32	84	92	3,39
40 %	273	3,3	70	4,16	83	91	3,20
50 %	264	3,2	68	4,02	82	90	3,02
60 %	254	3,1	67	3,88	80	90	2,84
70 %	243	3,0	66	3,73	79	89	2,65
80 %	231	2,9	64	3,55	78	88	2,42
90 %	213	2,7	61	3,31	75	87	2,11

Aerobinen kynnys

	Työteho (W)	Työteho (W/kg)	% maksimi- tehosta (%)	VO ₂ (l/min)	(%VO _{2max}) (%)	% maksimi- sykkeestä (%)	laktaatti (mmol/l)
korkein	288	3,3		4,35	82		
10 %	244	2,9	59	3,85	73	84	1,73
20 %	227	2,7	56	3,62	70	82	1,58
30 %	215	2,6	54	3,46	68	81	1,48
40 %	205	2,5	52	3,32	66	80	1,38
50 %	195	2,4	51	3,19	64	79	1,30
60 %	186	2,3	49	3,05	63	78	1,22
70 %	175	2,2	47	2,91	61	76	1,13
80 %	163	2,0	45	2,75	59	75	1,02
90 %	147	1,9	42	2,52	56	73	0,87