

3.5.2024



# Kestävyyssuorituskykyyn vaikuttavat tekijät

Jussi Mikkola

Huippu-urheilun instituutti KIHU

Kuntotestauspäivät 18.4.2024, Jyväskylä

# Tavoite

- Esitellä pintaraapaisuna mitä eri (fysiologiaan liittyviä) tekijöitä kestävyysuorituskyvyn taustalla on.



# Sisältö

- Määritelmä: mikä on kestävyyslaji?
- Klassinen, energiantuottokapasiteettiin painottuva malli
  - $VO_{2MAX}$
  - ”performance  $VO_2$ ” ja kynnsominaisuudet
  - Suorituksen hyötysuhde ja taloudellisuus
- Pitkäaikainen kestävyys: durabiliteetti
- $O_2$  - kinetiikka
- Kehon koko ja massa
- Anaerobinen suorituskyky
- Hermolihasjärjestämän voimantuotto
- Aivojen ja psykologisten tekijöiden rooli?

Mikkola J. (2022). *Kestävyysuorituskykyyn vaikuttavat tekijät*. Teoksessa Nummela, Hynynen, Mikkola, Vesterinen: ”*KESTÄVYYSHARJOITTELU*” Nummela, Hynynen, Mikkola, Vesterinen. S. 21-38. VK-Kustannus Oy.



# Miten kestävyyslaji määritellään?

- Jones & Poole 2009, *The Olympic Textbook of Science in Sport*: Pääosin yhtäjaksoiset suoritukset joissa aerobinen energiantuotto on suurta ja ne kestävät "riittävän pitkään" (kovatehoiset yli 90 sek kestävät lajit – "submaxtehoiset" yli 10 min kestävät lajit).
- Määritelmä "veteen piirretty viiva" ja määritelmän sisälle mahtuu hyvinkin erilaisia lajeja (vrt. 800m juoksu vs. maraton).

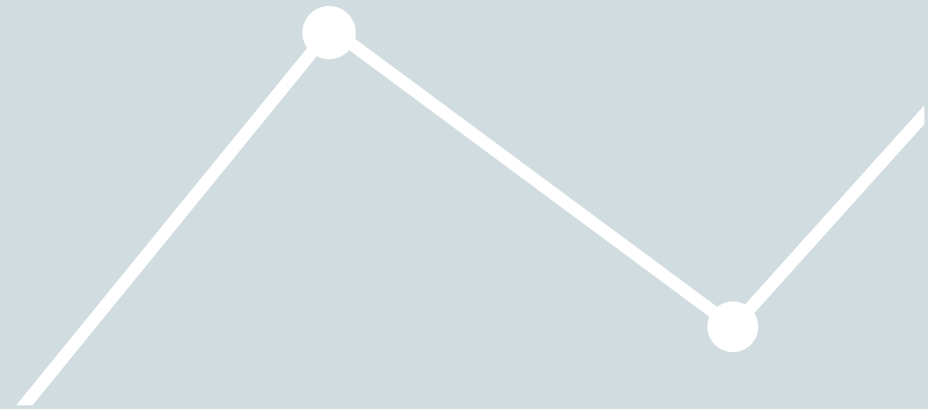
	800m	1500m	3000m	5000m	10 000m	42km
Miesten ME	1:40.91	3:26.00	7:20.67	12:37.35	26:17.53	2:01:39
Km. kisaintensiteetti (%VO <sub>2MAX</sub> )	115-130	105-115	~100	95-100	90-95	75-80
Aer. energiantuotto% KET	60-75	75-85	85-90	90-95	97	99

Juoksumatkojen keskimääräiset kilpailuintensiteetit ja arvioitu aerobisen energiantuoton osuus.  
(Billat et al. 2001, Duffield et al. 2005, Sandford et al. 2019)

Suorituksen keston (~keskimääräisen intensiteetin) lisäksi mm. rataprofiili (maastohiihto, pyöräily), vauhdinjako, kirit ym. vaikuttavat suorituksen aikaiseen energiantuottoon (Losnegard 2019).

”Klassinen malli”

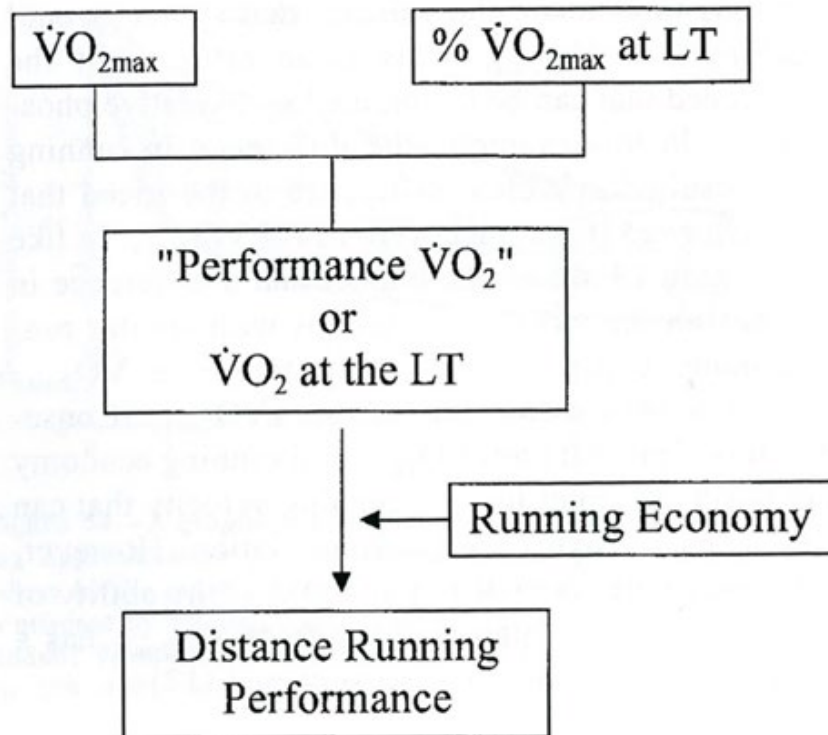
kestävyyssuorituskykyyn vaikuttavista  
tekijöistä



# Klassinen malli kestävyys suorituskykyyn vaikuttavista tekijöistä

Maksimaalinen hapenottokyky antaa "raamit" ts. ylärajan kestävyys suorituksen energiatuottokapasiteetille.

Yleisesti  $\dot{V}O_{2MAX}$  korreloi hyvin heterogeenisen joukon kestävyys suorituskykyyn mutta ei välttämättä homogeenisen, hyvin harjoitelleiden kestävyysurheilijajoukon suorituskykyyn.



"Kynnysominaisuudet" yhdessä  $\dot{V}O_{2MAX}$  kanssa määrittelevät suorituksen aikaisen hapenkulutuksen (~energiantuotto) määrän.

Suorituksen taloudellisuus määrittelee kuinka kovalla nopeudella/teholla tällä suorituksen aikaisella energiankulutuksella päästään.

*Bassett & Howley 2000,  
Joyner & Coyle 2008*

# VO<sub>2</sub>MAX:n rooli; case espanjalaiset juoksijat

TAULUKKO 2.3 Espanjalaisten eri juoksumatkojen yleisurheilijoiden VO<sub>2</sub>max-arvoja päämatkan mukaan (mukailtu Legaz – Arrese et al. 2007).

Juoksijoiden päämatka	100 m	400 m	800 m	1500 m	3000 m	3000 m esteet	5000 m	10 km	42 km
<b>Miehet</b>	→					→			
Aika	10,7 s	47,8 s	1:50,1	3:42,1	7:45,5	8:38,9	13:45,5	28:58,8	2:13,2
VO <sub>2</sub> max	62±6	62±6	68±5	74±6	78±4	80±5	79±8	77±6	80±4
Ikä / n	21,4/18	23,9/22	21,7/24	24,2/18	26,9/3	21,8/9	25,1/7	26,1/17	30,4/19
<b>Naiset</b>	→					→			
Aika	12,2 s	55,2 s	2:07,1	4:19,7	9:11,6	-	15:13,9	33:54,8	2:35,5
VO <sub>2</sub> max	48±6	57±4	63±7	62±6	69±5		70±12	71±8	74±7
Ikä / n	24,9/5	22,3/9	22,8/7	24,8/9	21,7/6		26,6/2	24,6/5	30,8/10

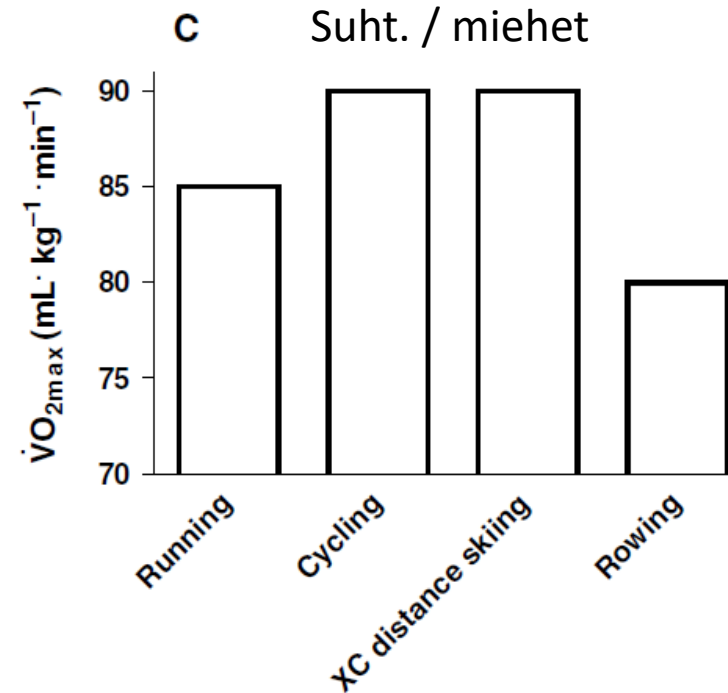
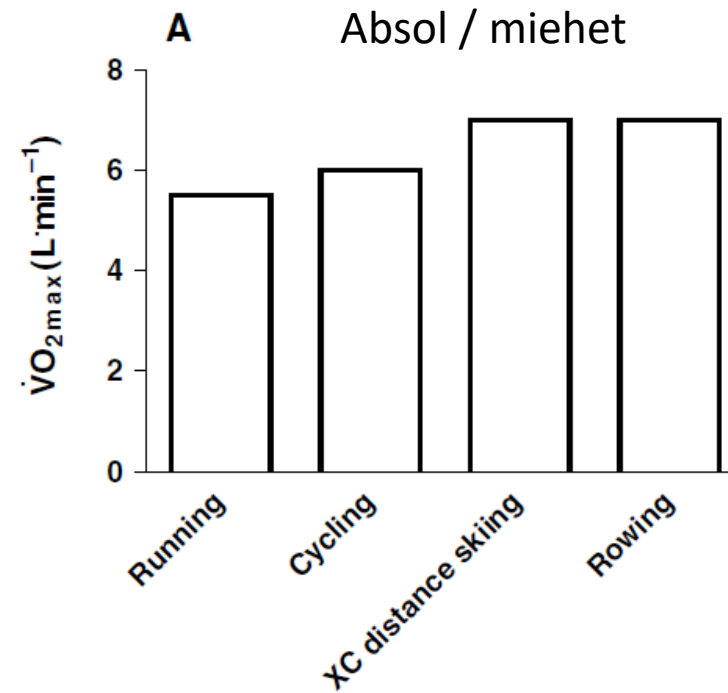
Juoksijoiden painoon suhteutettu VO<sub>2</sub>MAX nousee päämatkan mukaan 3000m:n asti – sen jälkeen eroja ei juuri ole.

Arvot keskiarvoja. VO<sub>2</sub>max = maksimaalinen hapenottokyky (ml/kg/min), ikä vuosissa, n = henkilömäärä



# VO<sub>2</sub>MAX:n rooli; suurimmat arvot

- ~ 7-7.5 l/min: soutu, MH
- ~ 90ml/kg/min: MH, pyöräily
- Aktiivisen lihasmassan määrä vaikuttaa
- Sukupuoliero ~10-15(-20)%
  - Kehonkoko ja kehonkoostumus (rasva%)
  - Hb-massa
  - Ylävartalo painotteisissa lajeissa ero korostuu (Sandbakk et al. 2018)
- Absoluuttinen vs. painoon suhteutettu
  - ”Välinelajit vs. jalan”
  - Maastonkohdat



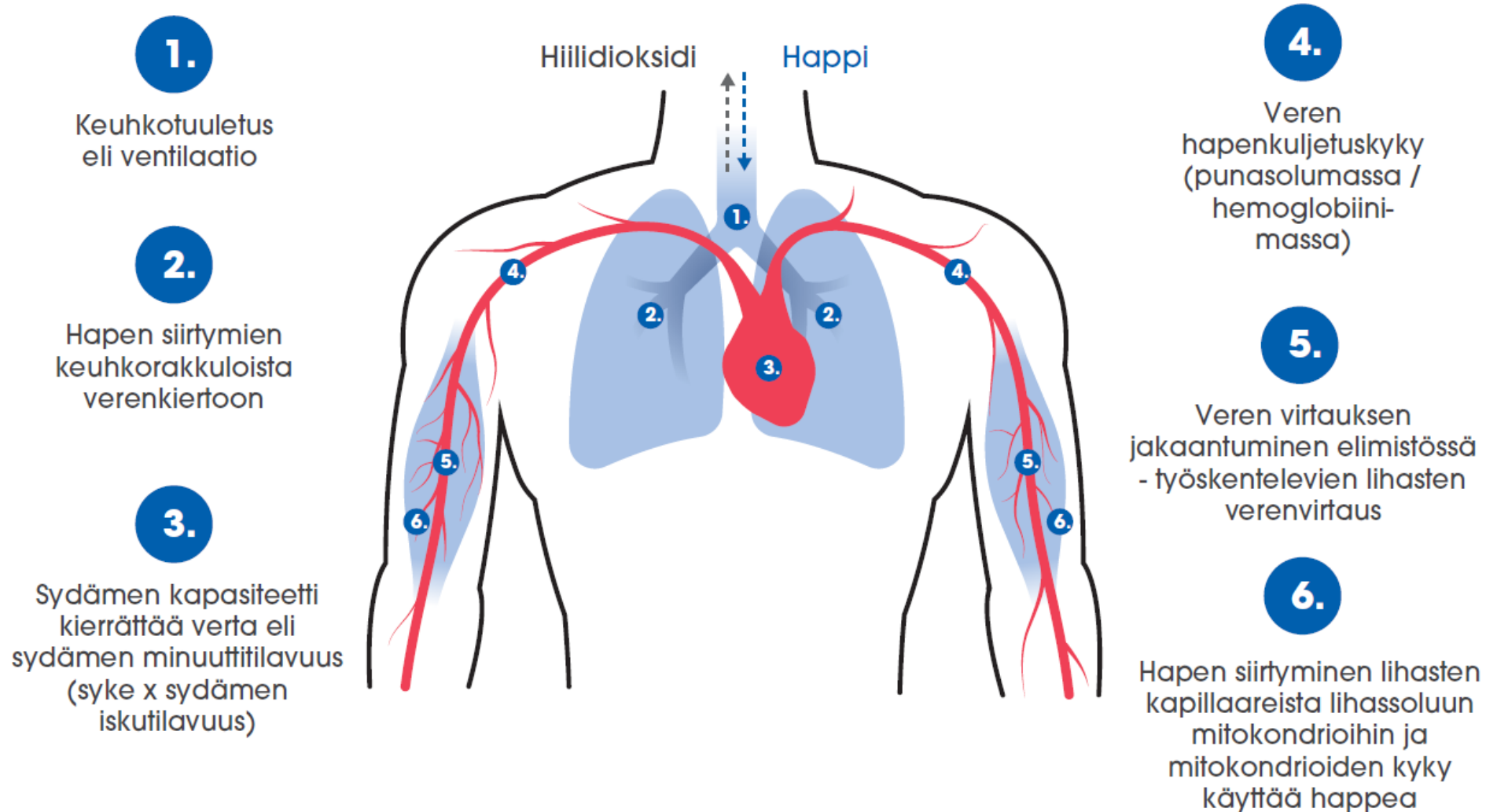
KIHU

Haugen et al. 2018: New records in human power, International Journal of Sports Physiology and Performance, 2018, 13, 678-686



# VO<sub>2</sub>MAX; Hapen siirtyminen hengitysilmaasta lihasten mitokondrioihin ja siihen liittyviä tekijöitä

KIHU

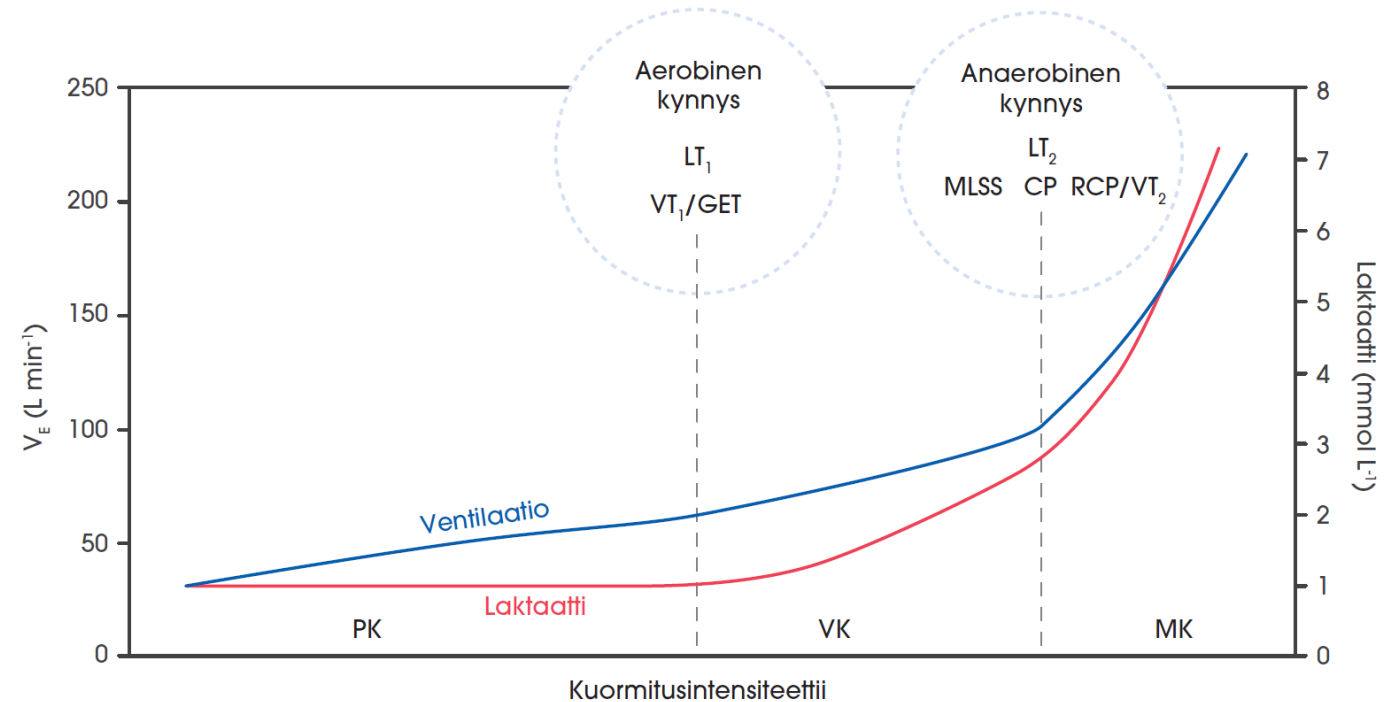


# Suorituksen aikainen hapenkulutus ~ ”performance $VO_2$ ” ja kynnyksominaisuudet

## Suorituksen aikainen hapenkulutus

= kuinka isoa osaa  $VO_{2MAX}$ :sta ( ~energiantuotannon määrää) voidaan suorituksen aikana ylläpitää ilman merkittävää väsymistä.

- Tähän vaikuttaa sekä  $VO_{2MAX}$  ja ns. kynnyksominaisuudet (esim. 15km TT pyöräilijät, LT &  $VO_{2MAX}$  selitysaste 86%, [van der Zwaard et al., 2018b](#))
- Riippuu matkasta/kestosta ja harjoitustaustasta
  - 3 km: ~100%  $VO_{2MAX}$  :ista ([Billat et al. 2001](#))
  - 10km: ~90-95%  $VO_{2MAX}$  :ista ([Billat et al. 2001](#))
  - Maraton: tyypillisesti 75-85%, maailman parhaat jopa yli 85%  $VO_{2MAX}$  :ista ([Jones et al. 2021](#))



**KUVIO 2.3** Harjoitusalueiden ja merkittävimpien kynnyksien karkea sijoittuminen ventilaatio- ja laktaattikäyrille kuormituksen intensiteetin kasvaessa (mukailtu Jamnick ym. 2020).

Yleisesti kynnyksominaisuuksien ja kestävyysuorituskyvyn yhteyden vahvuuteen vaikuttaa analysoitu ”kynnyks” ja kestävyyslajin kesto ja luonne.

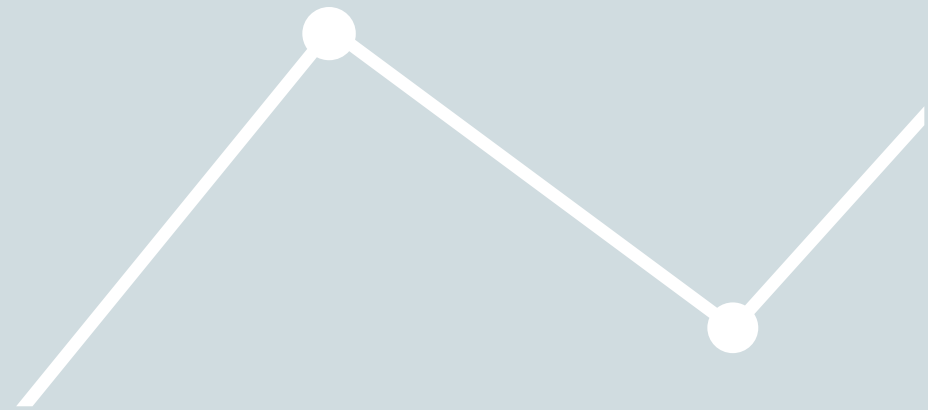


Reference	Threshold	Criteria
<b>Invasive methods</b>		
Holmann <sup>[152]</sup>	OEPL	Non-linear increase of [La]
Farrell et al. <sup>[18]</sup>	OPLA	Rupture of the [La] curve
Foxdal et al. <sup>[169]</sup>	OPLA	[La] of 4.0 mmol/L
Sjödín and Jacobs <sup>[134]</sup>	OBLA	[La] of 4.0 mmol/L
Kinderman et al. <sup>[140]</sup>	LT	[La] of 2.0 mmol/L
Reinhard et al. <sup>[154]</sup>	LT	2 standard deviations above resting [La]
Ivy et al. <sup>[133]</sup>	LT	Before onset of [La] breakpoint
Hughson and Green <sup>[170]</sup>	LT	0.5 mmol/L above resting [La]
Hagberg and Coyle <sup>[171]</sup>	LT	1 mmol/L above 40-60% $\dot{V}O_{2max}$
Hurley et al. <sup>[166]</sup>	LT	[La] of 2.5 mmol/L
Sucec et al. <sup>[172]</sup>	LT	Abrupt and sustained [La] increase
Worms et al. <sup>[165]</sup>	LT	[La] of 3.0 mmol/L
Yoshida et al. <sup>[167]</sup>	LT	1 mmol/L above resting [La]
Coyle et al. <sup>[173]</sup>	LT	1.0 mmol/L above baseline [La]
Cheng et al. <sup>[174]</sup>	LT	Distance max from [La] curve to the line formed by its two endpoints
Skinner and McLellan <sup>[141]</sup>	AT	First increase of [La] (2 mmol/L)
	AnT	Second increase of [La] (4 mmol/L)
Keul et al. <sup>[175]</sup>	IAT	[La] tangent at 45°
Simon et al. <sup>[176]</sup>	IAT	[La] tangent at 51°
Stegmann et al. <sup>[135]</sup>	IAT	[La] tangent with [La] recovery curve where [La] is equal to the value at the end of exercise
Bunc et al. <sup>[177]</sup>	IAT	See section 2.1.1 in text
LaFontaine et al. <sup>[142]</sup>	MSS	[La] of 2.2 mmol/L
Palmer et al. <sup>[178]</sup>	MLSS	Change of <1.0 mmol/L in [La] during SSE
Tegtbur et al. <sup>[150]</sup>	LMS	Minimum [La] during MET after HIE

Bosquet et al. Sports Med; 32: 675-700, 2002 / 23 laktaatista määritettyä ”kynnystä”!

**11 LT!**

# Suorituksen taloudellisuus ja hyötysuhde



# Suorituksen hyötysuhde (efficiency)

# Suorituksen taloudellisuus (economy)

Hyötysuhde (ja taloudellisuus) pyrkivät arvioimaan kuinka tehokkaasti urheilija pystyy ”muuttamaan” metabolisen energian lajispesifiksi liikkumisen tehoksi tai nopeudeksi

- Yleisin: kokonaishyötysuhde (gross efficiency) = tehdyn ulkoisen mekaanisen työn ja käytetyn kokonaisenergian suhde
- Myös muita laskentoja

(1) Kokonaishyötysuhde

$$= \eta_{\text{gross}} = W_e \times E_t^{-1} \times 100$$

(2) Nettohyötysuhde

$$= \eta_{\text{net}} = W_e \times (E_t - E_r)^{-1} \times 100$$

(3) Todellinen hyötysuhde

$$= \eta_{\text{true}} = (W_e - W_f) \times (E_t - E_r)^{-1} \times 100$$

missä

$\eta$  = mekaaninen hyötysuhde

$W_e$  = tehty ulkoinen mekaaninen työ

$W_i$  = sisäinen mekaaninen työ

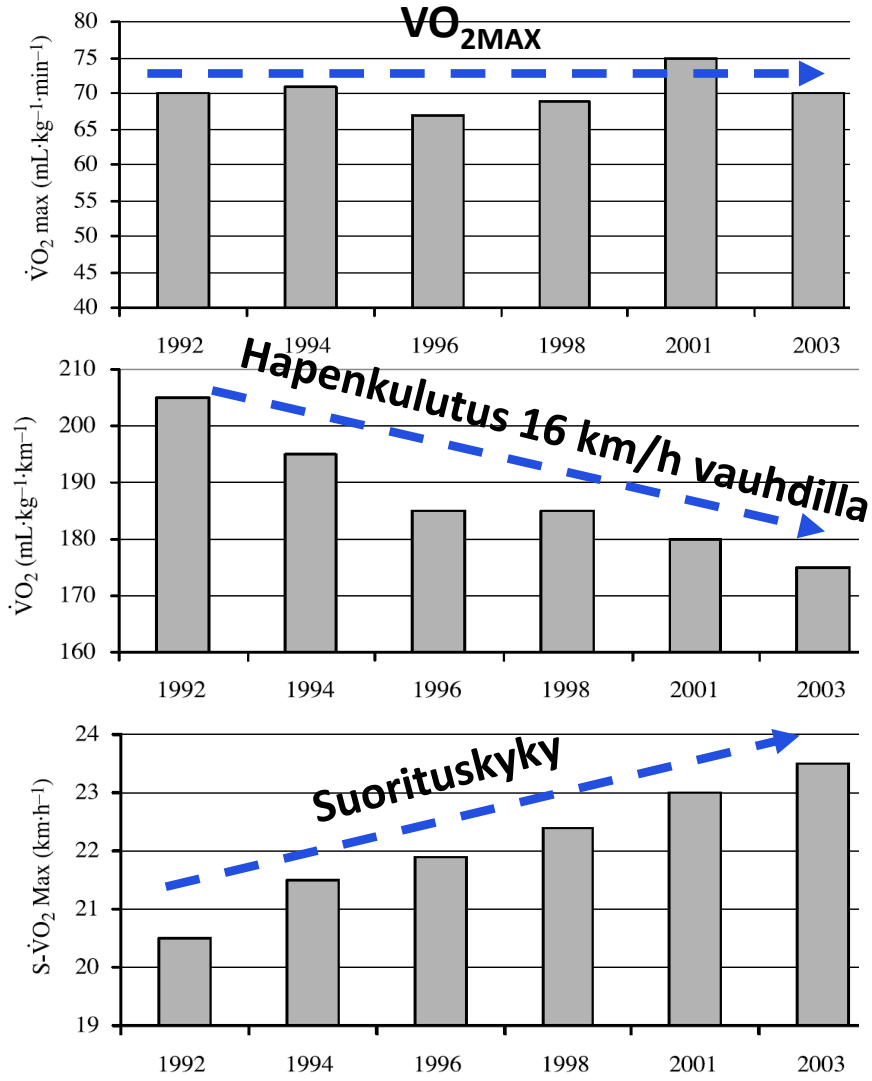
$E_t$  = kokonaisenergiankulutus

$E_r$  = lepoenergiankulutus

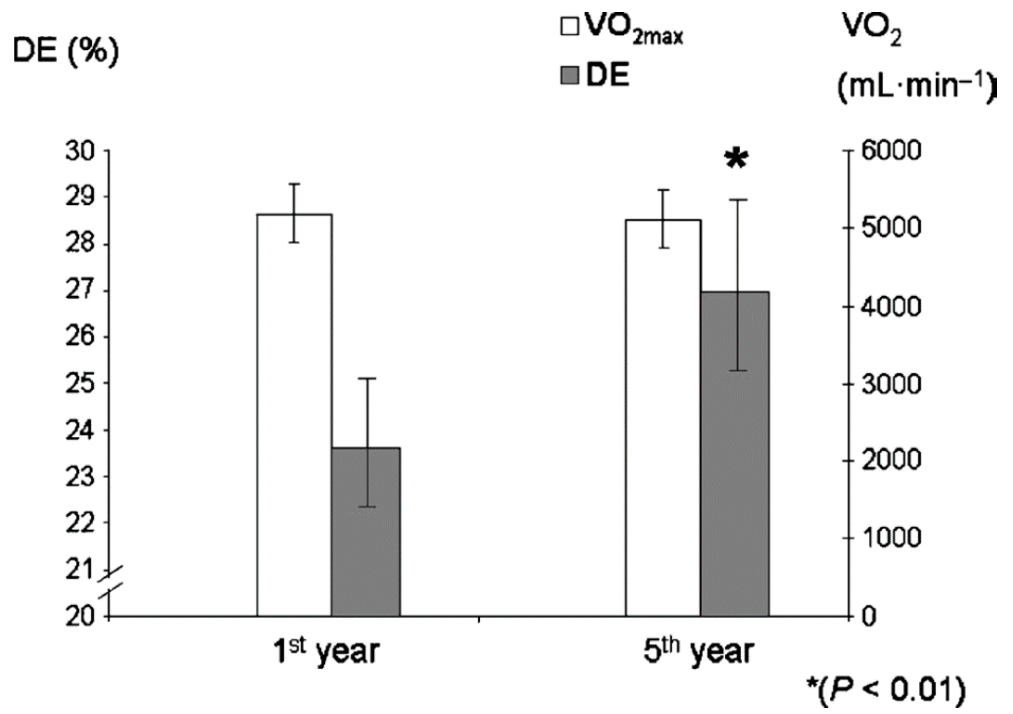
- Juoksun ja rullahiihdon mekaaninen työ on kohtuullisen vaikea määrittää
- Taloudellisuus (RE) = hapenkulutus vakionopeudella (*alle anaerobisen kynnyksen kuormalla*) = [ml/kg/km] tai [ml/kg/min]
- Homogeenisessa urheilijajoukossa juoksun taloudellisuus usein parempi kestävyysjuoksun suorituskykyä ennustava tekijä kuin  $VO_{2\text{MAX}}$  (Saunders et al. 2004)
- On ehdotettu että taloudellisuuden laskennassa pitäisi siirtyä energiankulutuksen käyttämiseen ( $VO_2$  & RER), jossa otetaan huomioon hiilihydraattien ja rasvojen käyttö (Shaw et al. 2014, Fletcher et al. 2009)

# Suorituksen taloudellisuus/tehokkuus: harjoitteluvuosien/kumulatiivisen harjoittelumäärän vaikutus

Jones 2006: Paula Ratcliffen kehitys 1992-2003



Santalla et al. 2009: 12 huippupyöräilijää, 5 vuoden aikana ei muutoksia VO<sub>2</sub>MAX tai kehonpainossa mutta pyöräilyn hyötysuhde kehittyi merkittävästi.



Myös laktaattikynnysvauhti kasvoi selvästi

## HARJOITTELU

- Lajiharjoittelu
- Voimaharjoittelu
- Plyometria /  
nopeusvoimaharjoittelu
- Korkeanpaikanharjoittelu

## BIOMEKAANISET TEKIJÄT

- Suoritustekniikka - vähän jarruttavia  
& paljon eteenpäin vieviä voimia
- Elastisen energian hyväksikäyttö
- Vähäinen vertikaalinen  
painopisteen liike taloudellinen

## SUORITUKSEN TALOUDELLISUUS / HYÖTYSUHDE

Genetiikka

## ANTROPOMETRIA

- Kehonpaino, rasva %
- Raajojen mittasuhteet ja massat
- Jänteiden pituudet ja ominaisuudet

## MUITA TEKIJÖITÄ

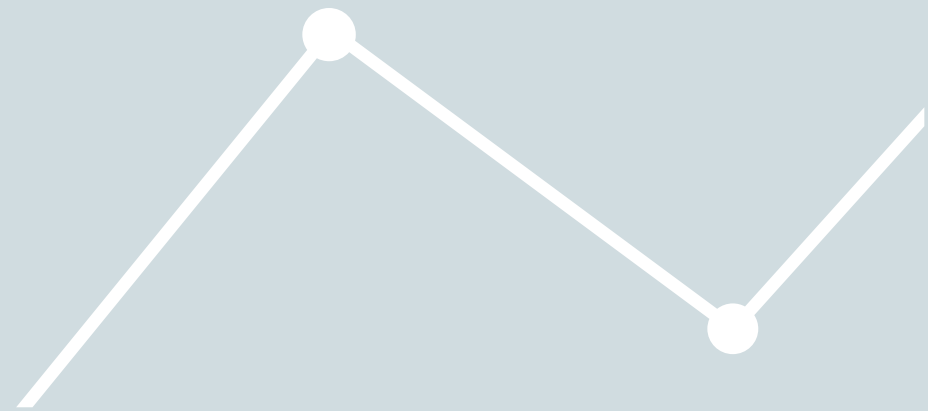
- Hengitylihasten "tehokkuus"
- Lihassolutyppi
- Kehon lämpötila
- Ilmanvastus - peesaus



# ”Pitkääaikainen kestävyys, Durabiliteetti”

*~ fatigue resistance, resilience, durability*

”vanha valmennuksellinen asia uudessa, tieteellisessä paketissa”





# Pitkäaikainen kestävyys; ”durabiliteetti”

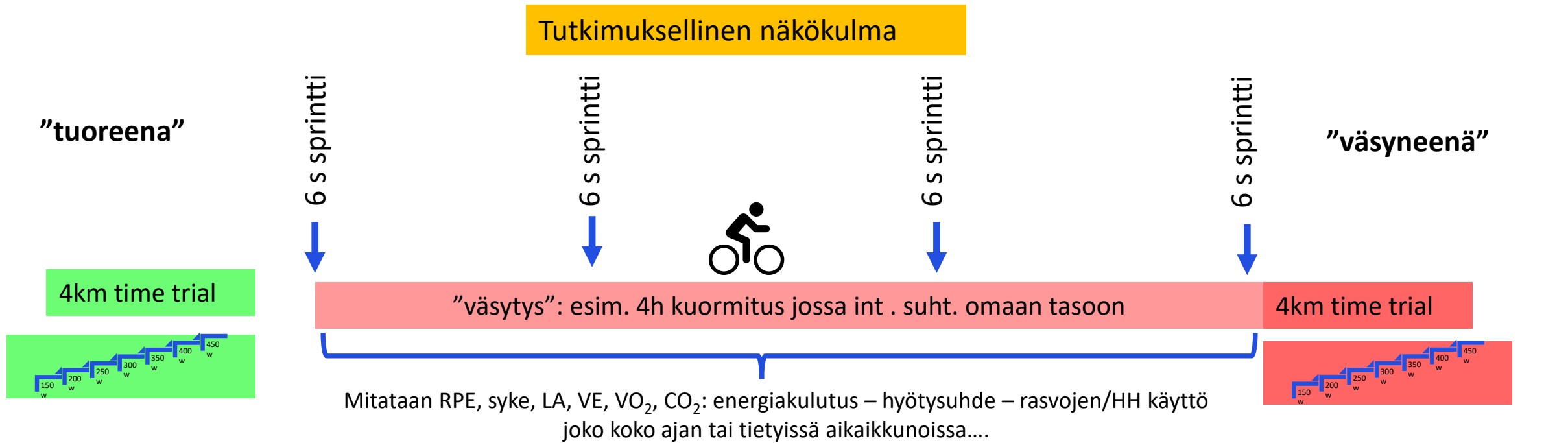
- **Maunder et al. 2021:** *durability*’ concept, defined as the time of onset and magnitude of any deterioration in physiological profiling characteristics over time during prolonged exercise
- ~ **Kyky ylläpitää ”fysiologisia vasteita”** (syke, LA, VE, VO<sub>2</sub>, taloudellisuus/hyötysuhde, kynnsominaisuudet) ja sitä kautta **suorituskykyä mahdollisimman samalla tasolla** pitkässä (~2h - päiviä) kestävyysuorituksessa.

## The Importance of ‘Durability’ in the Physiological Profiling of Endurance Athletes

Ed Maunder<sup>1</sup> · Stephen Seiler<sup>2</sup> · Mathew J. Mildenhall<sup>3</sup> · Andrew E. Kilding<sup>1,3</sup> · Daniel J. Plews<sup>1</sup>



# Pitkäaikainen kestävyys; ”durabiliteetti”



1. Muutokset vasteissa pitkän suorituksen aikana

2. Muutokset suorituskyvyssä tuoreena vs. väsyneenä

Paremmat ”durabiliteetin” omaavilla urheilijoilla fysiologiset vasteet kuormitukseen ja sitä myötä esim. kynnysominaisuudet ja suorituskyky muuttuvat/heikkevät vähemmän

# Pitkäaikainen kestävyys; ”durabiliteetti”

- Joissakin tutkimuksissa durabiliteetilla yhteys “tuoreena mitattuihin kuntoominaisuuksiin” ( $VT_1$ , RCP,  $VO_{2max}$ ) ja hyötysuhteeseen (Spragg et al. 2023a) – joissain ei (Valenzuela et al. 2023; Passfield and Doust 2000).
- **Väsyneenä** mitattu suorituskykyprofiili (10s-2h) on **parempi** suorituskyvyn ennustaja pyöräilijöillä kuin “tuoreena” mitattu profiili (Mateo-March ym. 2022)
- Durabiliteettiin mahdollisesti vaikuttavia tekijöitä:
  - Lihassolujakauma
  - Rasvojen/HH käyttö energiantuotannossa (Ortenblad ym. 2024 – ei vahvoja korrelaatioita, Spragg et al. 2023a yhteys oli eli mitä pienempi HH käyttö sitä parempi durabiliteetti)
  - Lämmönsäätelykyky
- Harjoittelun rooli
  - Matomäki et al. 2023: sekä HIT- että matalatehoinen harjoittelu paransivat durabiliteettia ei-urheilijamiehillä
  - Ronnestad et al. 2011 & Ofsteng et al. 2018: kilpapyöräilijöillä ja hiihtäjillä voimaharjoittelu (yhdessä kest.harjoittelun kanssa) paransi durabiliteettia
  - Spragg et al. 2023b: LIT määrä (~enemmän polarisoitu harjoittelu) voi olla yhteydessä parantuneeseen durabiliteettiin



# Hapen kinetiikka ja sen mahdollinen merkitys kestävyys suorituskykyyn

Burnley M, Jones AM .

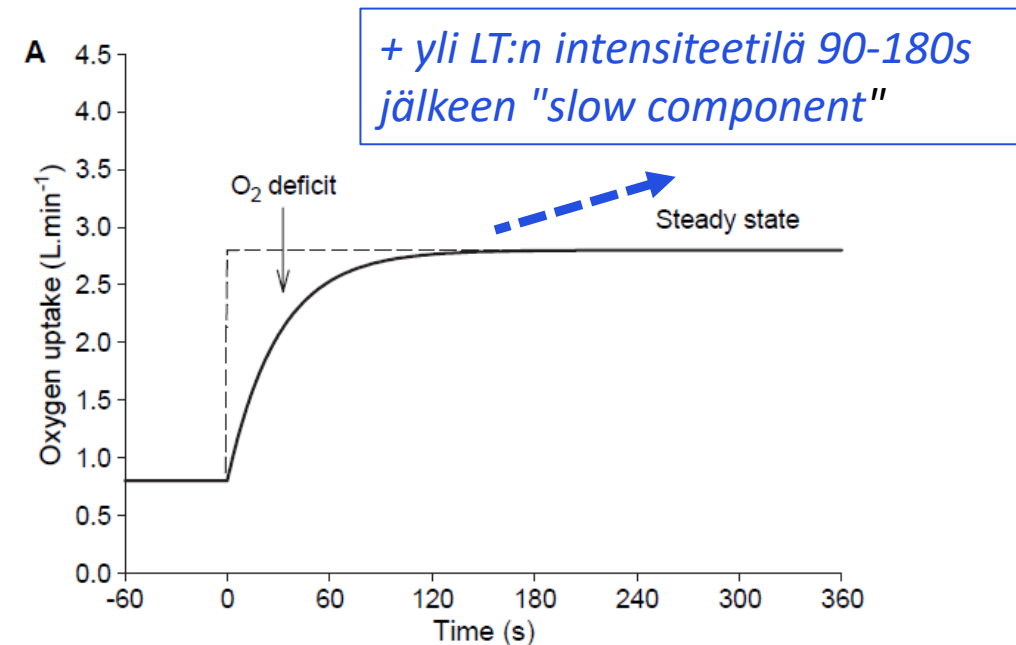
Oxygen uptake kinetics as a determinant of sports performance, European Journal of Sport Science 2007, 7:2, 63-79.

Poole DC, Jones AM.

Oxygen uptake kinetics. Compr Physiol . 2012 Apr;2(2):933-96.

# Hapen kinetiikan merkitys kestävyys suorituksessa

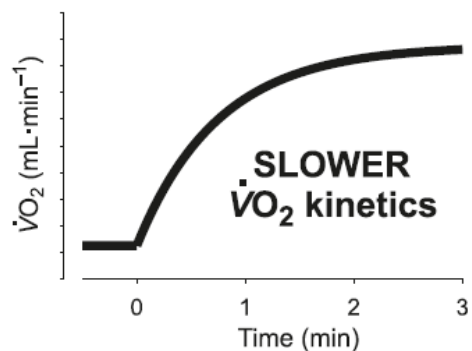
- O<sub>2</sub>-kineetiikalla pyritään kuvaamaan **vastetta kuinka nopeasti elimistö pystyy mukautumaan muuttuneeseen hapenkäytön tarpeeseen** (~suorituksen energiankulutuksen vaatimuksiin)
- Mitä nopeampi O<sub>2</sub> vaste - sitä pienempi happivaje (eli pienempi anaerobinen energiantarve) suorituksen alussa tai kilpailunaikaisen tehonlisäyksen alussa eli nopeammalla O<sub>2</sub>-kineetiikalla pystytään **säästämään anaerobista energiantuottoreserviä** suorituksen myöhempään vaiheeseen.
- Nopeampi O<sub>2</sub> kineetiikka – parempi suorituskyky 2000m soudussa (Ingham et al. 2007) ja 400m uinnissa (Reis et al. 2012)
- O<sub>2</sub> kineetiikan merkitys?
  - Kilpailun alussa (erityisen merkittävä lyhytkestoisissa kestävyyslajeissa tai esim. yhteislähdöissä joissa voidaan taktisten syiden takia joutua lähtemään ”ylikovaa”)
  - Intervalliluonteisessa suorituksessa (maasto, nopeudenvaihtelut jne.) vaikutukset monistuvat?



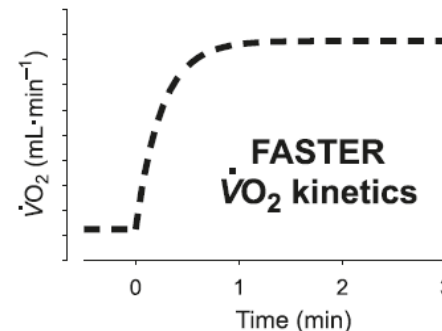
Burnley & Jones 2007

# Mitkä asiat vaikuttavat hapen kinetiikkaan?

- Heterogeenisessä joukossa  $\dot{V}O_{2MAX}$  – taso vaikuttaa → mitä korkeampi  $\dot{V}O_{2MAX}$  – sitä nopeampi  $O_2$  kinetiikka.
- Lihasolujakauma – mitä enemmän tyypin I ("hitaita") lihassoluja → nopeampi  $O_2$  kinetiikka
- Harjoittelu:
  - Harjoittelemattomilla CONT että HIT (1'/1') yhtä tehokkaita (Berger et al. 2006)
  - "kuntoilijoilla" CONT ja HIT (n x 30") yhtä tehokkaita (DaBoit et al. 2014)
  - Huippusoutajilla ei eroja 6 vk aikana kahden intervalliharjoittelun välillä (3' @90% tai 90" @100% peak power) (Mujika et al. 2023)
  - More research is needed...
- (Riittävän kovalla) alkuverryttelyllä positiivinen vaikutus suorituksen alun  $O_2$ -kineetiikkaan (Esim. Bailey et al. 2009)

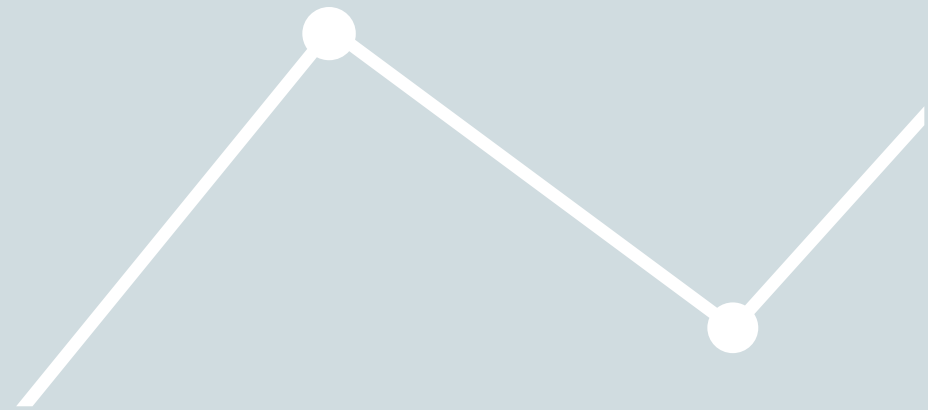


Kestävyysharjoittelu  
Alkuverryttely



Kuva Hughson 2009

Kehon koon, massan ja  
koostumuksen vaikutus  
kestävyyssuorituskykyyn



# Kehon massan (ja koon) merkitys

- Lajikohtaisesti massan ja yleisemmin kehon koon merkityksen suuruus riippuu
  - Liikutaanko välineellä (painovoimaa vastaan tehtävän työn suuruus)
  - Maastonkohdasta
  - Suorituksen kestosta (~intensiteetistä)
- →Painon vaikutus kestävyysuorituskykyyn osin laji- ja tilannesidonnaista
- Kehonkoostumus tietysti olennaista ("kiloista" mahdollisimman paljon lihasta ja "riittävä" määrä rasvaa)
  - Paino/tehontuottosuhte – loppukirit & rytminvaihdot
- "Energiankulutushyödyn" lisäksi pieni kehonkoko ja vähäinen rasvan määrä voivat antaa etua elimistön **lämmönsäätelyssä** ja lisäksi pieni koko on edullinen **ilmavastuksen** kannalta.

Berg et al. 1987/1992, Mikkola et al. 2010, Carlsson et al. 2014



Massasta usein hyötyä "välinelajeissa"



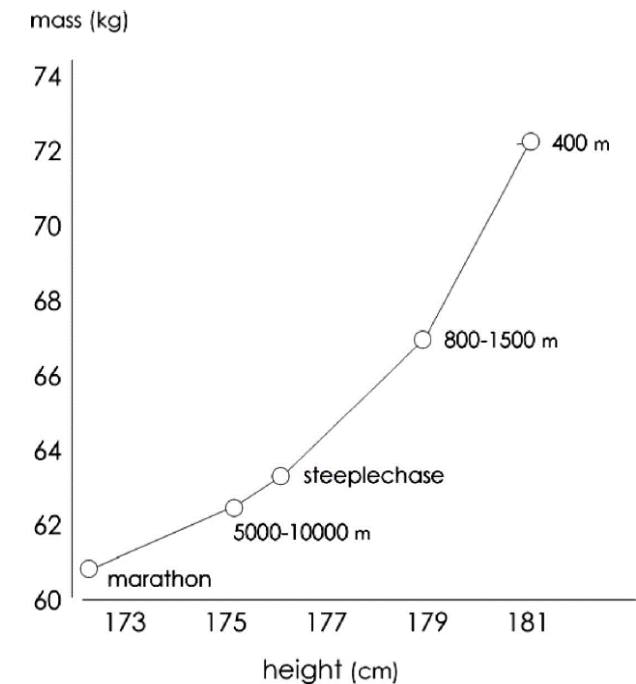
Lihasmassasta usein hyötyä "välinelajeissa"

VO<sub>2</sub> l/min!



Massasta eniten "haittaa" koska gravitaatiotyön määrä ↑

VO<sub>2</sub> ml/kg/min!

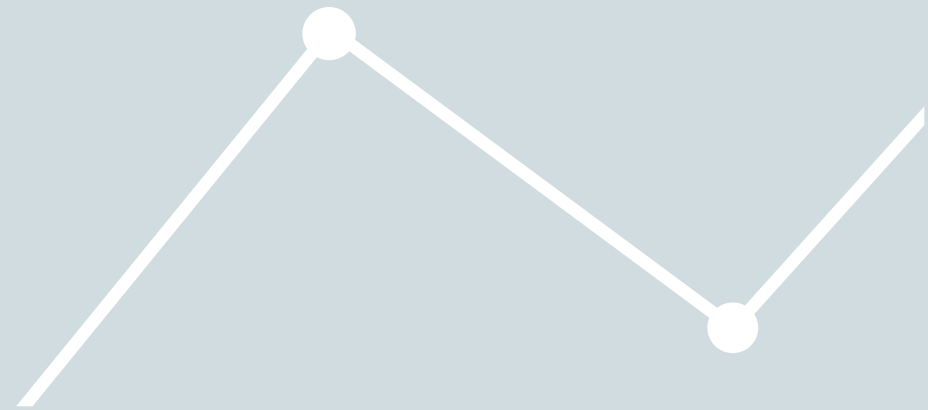


O'Connor et al. 2007 / 1960 - 2005

**Painon optimointi aikuisten huippu-urheilijoiden toimintaa ja se pitää toteuttaa alan asiantuntijoiden kanssa!**



# Anaerobisen suorituskyvyn ja HLJ:n rooli kestävyyslajeissa

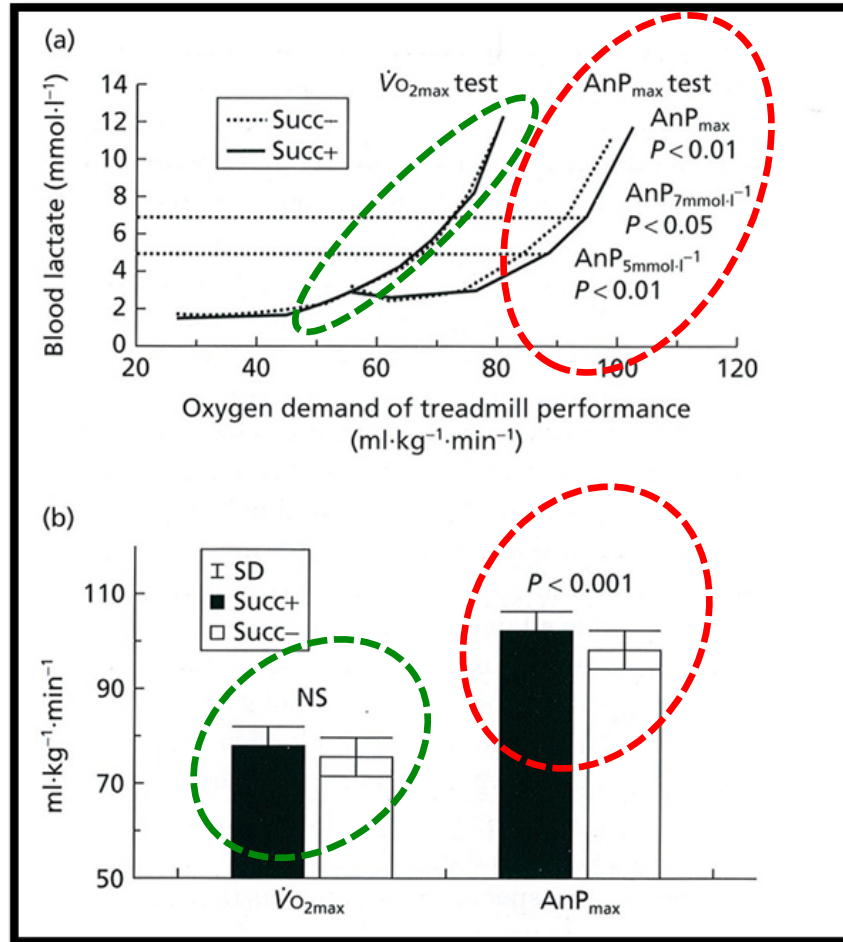


# Anaerobinen suorituskyky?

- Erityisesti lyhyehköissä (2-4min) ja Intervallityyppisessä suorituksessa joissa suoritusintensiteetti ylittää  $VO_{2MAX}$ -intensiteetin (esim. sprinttihilhdossa ylämäet/loppukirit, keskimatkojen juoksut) anaerobisella kapasiteetilla, puskurointikyvyllä ja kyvyllä palauttaa anaerobiset energiavarastot on vaikutus suorituskykyyn
  - $O_2$  kinetiikan rooli?
- Isosta lihasvolyymista hyötyä 30 sek anaerobiseen suorituskykyyn soutajilla ja pyöräilijöillä ([van der Zwaard 2018ab](#))
- →Anaerobinen kapasiteetti osin yhteydessä lihasmassan määrään ([Bangsbo et al. 1993](#)) (huom. tietyissä ”välinelajeissa” massasta ei niin paljoa haittaa)

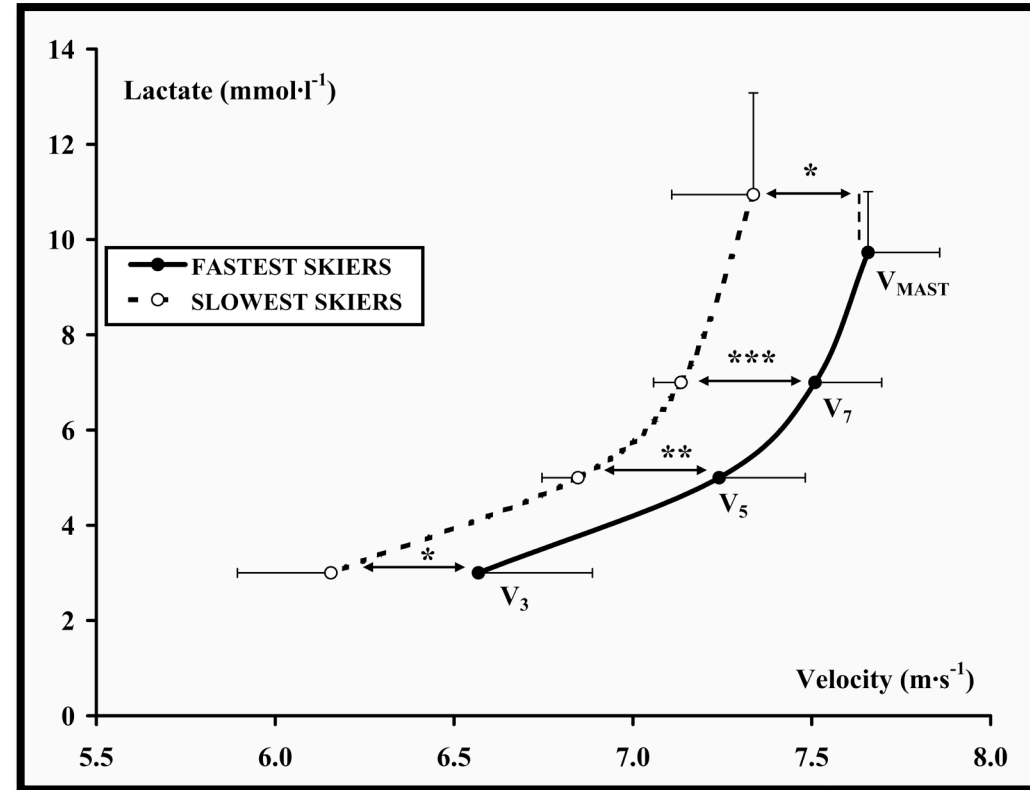
# Anaerobisen suorituskyvyn merkitys?

Distance skiers, VO<sub>2</sub>max-test vs MART



Rusko 2003

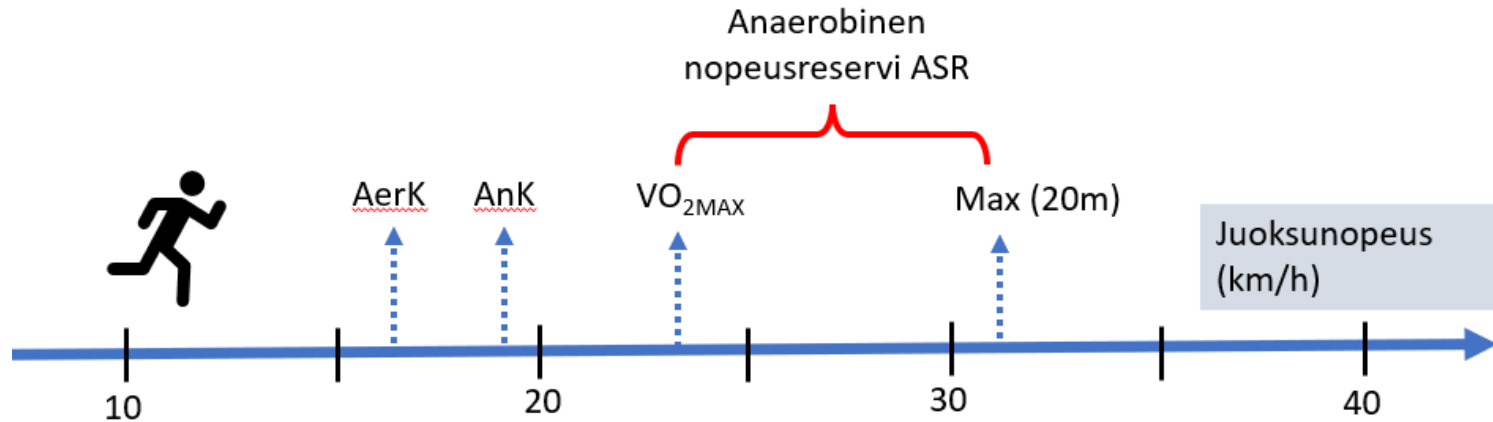
MART/MAST = 10 x 20sec/150 m with 100 sec recovery between workloads



Mikkola et al. 2010

- Elimistön kyky tuottaa voimaa toistuvasti ja nopeasti tilanteissa, joissa energiantuottovaatimukset ovat suuria ja lihaksen supistumiskyky voi olla rajoittunutta, näyttää erotteluvan suorituskyvyltään "paremmat" ja "huonommat" hiihtäjät paremmin kuin suhteellinen VO<sub>2</sub>MAX.

# Anaerobinen nopeus- tai tehoreservi (ASR/APR)



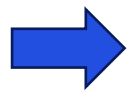
Menetelmäerot huomioitava!  
 $vVO_{2MAX} \approx \text{MaxAerobicSpeed} = ?$   
 $v_{MAX} \approx \text{MaxSprintingSpeed} = ?$

Anaerobinen nopeusreservi (ASR)  
 $= v_{MAX} - vVO_{2MAX}$

Esim. Sandford et al. 2021

Juoksija A:  $vVO_{2MAX} = 23\text{km/h}$ ,  $v_{max} = 31\text{ km/h}$

Juoksija B:  $vVO_{2MAX} = 23\text{km/h}$ ,  $v_{max} = 32.5\text{ km/h}$



A: **ASR** = 8 km/h

B: **ASR** = 9.5 km/h

Speed Reserve Ratio =  $V_{MAX}/vVO_{2MAX}$

A: 1.35

B: 1.41

Jiménez-Reyes et al. 2022

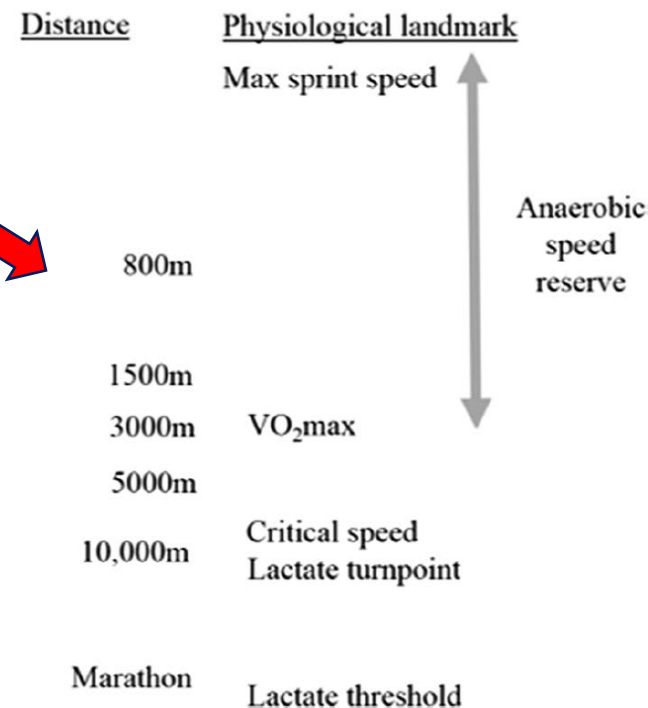
## Del Arco et al. 2023: systematic review

# Anaerobic Speed Reserve and Middle-Distance Performance

- Keskimatkojen matkavauhdit lähtökohtaisesti "ASR-alueella" ( $vVO_{2MAX} < V_{800-1500m} < V_{MAX}$ )
- 7 tutkimusta (2 HU, 4U, 1 X), 132 juoksijaa
- **ASR ei korreloinut** keskimatkojen (800-1500m) juoksun suorituskykyyn, **mutta  $vVO_{2MAX}$  &  $V_{MAX}$  kylläkin**
  - Erityisesti 1500m :  $vVO_{2MAX}$  ja 800m:  $V_{MAX}$
  - ja näillä on oma vaikutuksensa vauhdinjakoon ja juoksutaktiikkaan.
- Jos  $vVO_{2MAX}$  on sama → ASR todennäköisemmin yhteydessä suorituskykyyn

**ASR (erotus) ei siis kuitenkaan ole "itsenäinen" suorituskykyyn vaikuttava muuttuja – sitä voidaan keinoitekoisesti "kehittää" heikentämällä  $vVO_{2MAX}$ :a!!!**

Sandford et al. 2019



**Sandford et al. 2021/2019:** Kovavauhtisissa kestävyyslajeissa (kilpailunopeus  $> vVO_{2MAX}$ ) suorituskyky on monitahoinen asia, jossa yhdistyy neuromuskulaariset, mekaaniset ja aineenvaihdunnalliset tekijät yhdessä psyykkisten sekä teknis-taktisten tekijöiden kanssa – ASR on aivan liian yksinkertainen tekijä selittämään suorituskykyä.

Suorituskyvyn kannalta voi kuitenkin olla merkitystä, mikä kilpailunopeus on **suhteessa** anaerobiseen nopeusreserviin.

Näkökulma: voima- ja nopeusharjoittelun vaikutukset hermo-lihasjärjestelmään: mahdollisia vaikutusmekanismeja kestävyysuorituskykyyn

Voima- ja nopeusharjoittelu kestävyyslajeissa

Lihasmassa / lihasvoluumi ↑  
(tästä voi olla myös "haittaa")

Esiaktiivisuus/reaktiivisuus, jänne-  
lihaskompleksin jäykkyys ↑

Maxvoima ↑

$V_{MAX}$ , MSS ↑  
 $vVO2MAX$  ↔

Aerobinen energiantuotto

Submax voimantuottoon  
- Pystytään käyttämään

**Voimaharjoittelu – vammojen ennaltaehkäisy – enemmän terveitä harjoittelupäiviä – epäsuorat vaikutukset?**

- Loppukirit

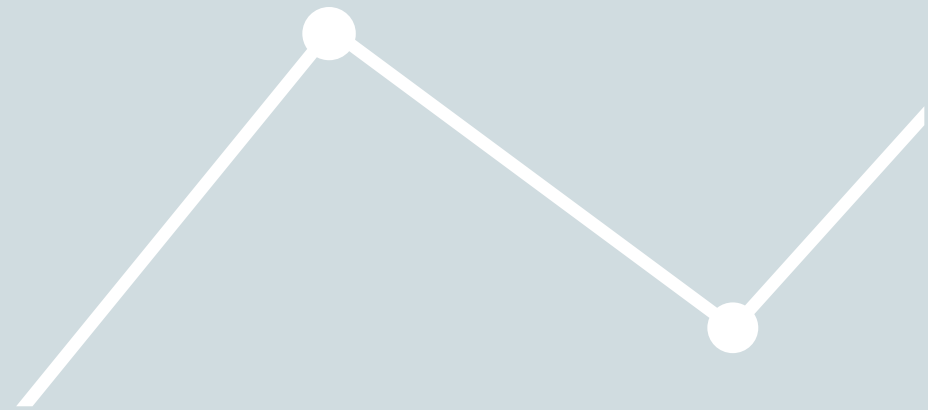
varhainen MY –  
suurempi osa MY  
"säästyy" loppua varten

Taloudellisuus / hyötysuhde ↑

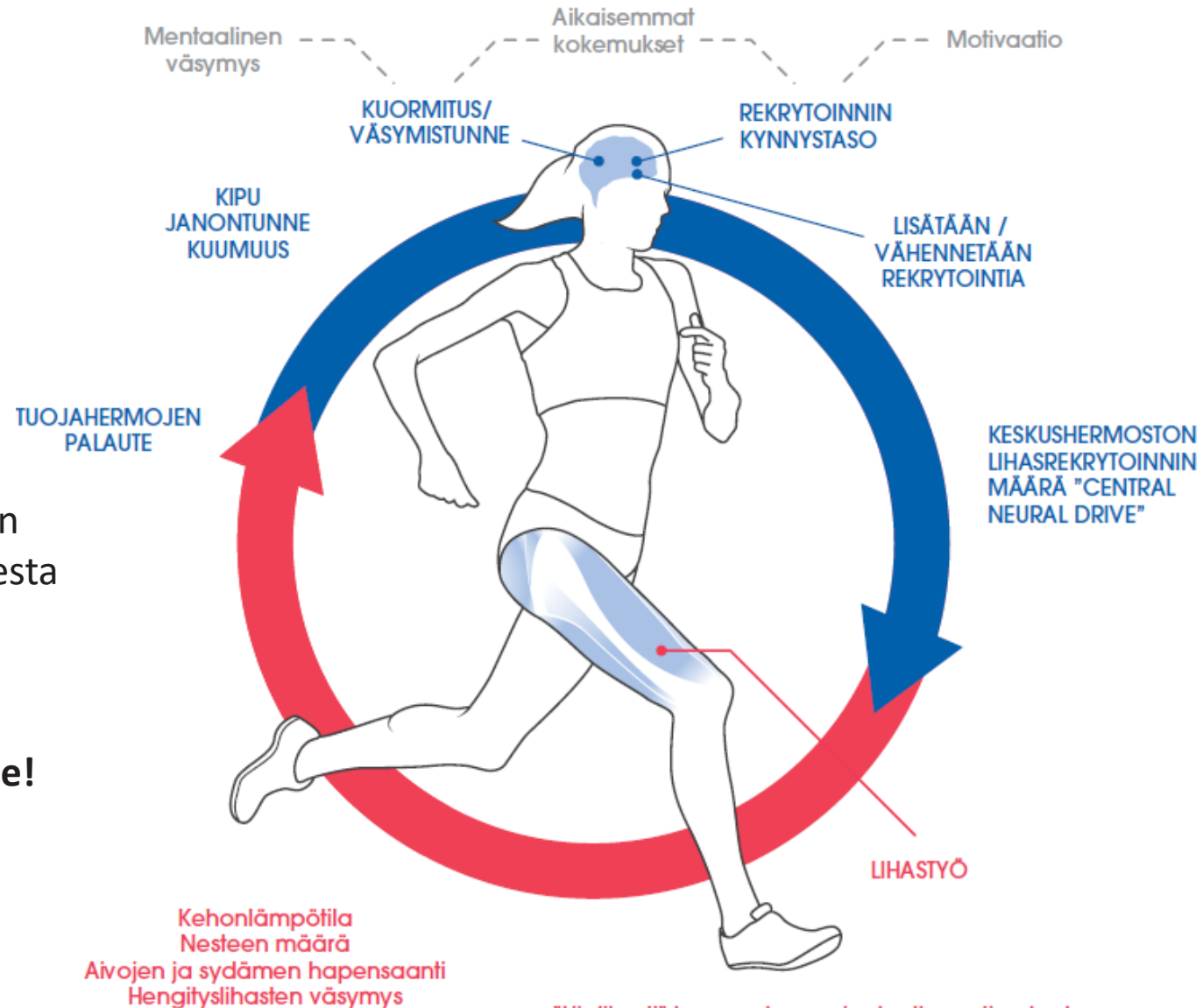
"fatigue resistance"  
/"durabiliteetti" ↑

Kestävyysuorituskyky

**AIVOJEN JA PSYKOLOGISTEN  
TEKIJÖIDEN ROOLI  
KESTÄVYSSUORITUSKYVYSSÄ**



# AIVOJEN JA PSYKOLOGISTEN TEKIJÖIDEN ROOLI KESTÄVYYSSUORITUSKYVYSSÄ



Yksinkertaistettu, osin teoreettinen malli keskushermoston mahdollisesta roolista kestävyysuorituksen säätelyssä ja siihen vaikuttavista tekijöistä. **Tieteellistä kokonaiskonsensusta asiasta ei ole!**

"Liiallisesti" kasvavat energiantuottovaatimukset voivat heikentää lihasten supistusolosuhteita useiden kasautuvien tekijöiden toimesta.





# YHTEENVETO

Kehon koko ja koostumus (ilmanvastus, lämmönsäätely), raajojen mittasuhteet/rakenne (taloudellisuus) ja kehon massa (gravitaatiotyön määrä – toisaalta lihasmassa "anaer. kap. varasto") vaikuttavat omalta osaltaan suorituskykyyn → "antropometrinen valikoituminen" eri lajeihin

Aerobinen energiantuottokyky

Hermo-lihasjärjestelmän  
voimantuotto-ominaisuudet

Anaerobinen energiantuottokyky

Durabiliteetti

Suorituksen  
taloudellisuus /  
tehokkuus

Submax  
kynnykset

$VO_{2max}$

Hapenkäytön  
kineetiikka

Anaerobinen  
suorituskyky &  
maksiminopeus

Pitkäkestoisilla  
lajeilla korostuu

Lyhytkestoisilla  
lajeilla korostuu

Kestävyyssuorituskyky

Huom. Punaisessa laatikossa olevat tekijät eivät ole "yhteismitallisia" ja ne vaikuttavat myös toisiinsa.

Kiitos.  
[jussi.mikkola@kihu.fi](mailto:jussi.mikkola@kihu.fi)



## Lähteitä

- Bailey ym. 2009. Optimizing the "priming" effect: Influence of prior exercise intensity and recovery duration on O<sub>2</sub> uptake kinetics and severe-intensity exercise tolerance. *J Appl Physiol*, 107(6):1743-1756.
- Bangsbo ym. 1993 Accumulated O<sub>2</sub> Deficit during Intense Exercise and Muscle Characteristics of Elite Athletes. *Int J Sports Med*, Vol 14, No4, 207—213
- Bassett ja Howley. 2000. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med Sci Sports Exerc*, 32: 70-84.
- Berg & Forsberg. 1992. Influence of body mass on cross-country ski racing performance. *Med Sci Sports Exerc* 24: 1033–1039.
- Bergh. 1987. The influence of body mass in cross-country skiing. *Med Sci Sports Exerc* 1987: 19(4): 324–331.
- Berger ym. Influence of continuous and interval training on oxygen uptake on-kinetics. *Med Sci Sports Exerc*. 2006 Mar;38(3):504-12
- Billat, V. L. (2001). Interval training for performance: a scientific and empirical practice. *Sports Med*. 31, 75–90
- Burnley ja Jones. 2007. Oxygen uptake kinetics as a determinant of sports performance, *European Journal of Sport Science*, 7(2):63-79
- Bosquet ym. 2002. Methods to determine aerobic endurance. *Sport Med* 32: 675–700
- Carlsson et al. 2014. Prediction of race performance of elite cross-country skiers by lean mass. *Int J Sports Physiol Perform*. 9(6):1040–1045.
- Da Boit, M. (2014). Effects of interval and continuous training on O<sub>2</sub> uptake kinetics during severe-intensity exercise initiated from an elevated metabolic baseline. *Journal of applied physiology*.
- del Arco, Asier. "Anaerobic Speed Reserve and Middle-Distance Performance: A Systematic Review." *Strength & Conditioning Journal* (2022): 10-1519.
- Duffield, R., and Dawson, B. (2003). Energy system contribution in track running. *New Stud. Athlet*. 4, 47–56.
- Fletcher ym. 2009. Economy of running: beyond the measurement of oxygen uptake. *J Appl Physiol.*, 107:1918–1922
- Haugen et al. 2018: New records in human power, *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2018, 13, 678-686
- Hughson. 2009. Oxygen uptake kinetics: historical perspective and future directions. *Appl. Physiol. Nutr. Metab*. 34: 840–850
- Ingham ym. Comparison of the oxygen uptake kinetics of club and Olympic champion rowers. *Med Sci Sports Exerc*. 2007;39(5):865–871
- Jiménez-Reyes ym. Anaerobic Speed Reserve, Sprint Force–Velocity Profile, Kinematic Characteristics, and Jump Ability among Elite Male Speed- and Endurance-Adapted Milers. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2022, 19, 1447.

## Lähteitä

- Jones ja Poole. 2009. Physiological demands of endurance exercise. In Olympic textbook of science in sport 1st ed. Blackwell science
- Jones. 2006. The Physiology of the World Record Holder for the Women's Marathon. International Journal of Sports Science & Coaching, 1(2):101-118.
- Jones ym. 2021. Physiological demands of running at 2-hour marathon race pace. J Appl Physiol 130: 369–379.
- Joyner ja Dominelli. 2021. Central cardiovascular system limits to aerobic capacity. Experimental physiology, 106(12):2299-2303.
- Joyner ja Coyle. 2008. Endurance exercise performance: the physiology of champions. J Physiol, 586: 35 – 44.
- Legaz-Arrese. 2007. Average VO<sub>2</sub>max as a function of running performances on different distances. Science & Sports 22, 43–49.
- Losnegard T. 2019. Energy system contribution during competitive cross-country skiing. European Journal of Applied Physiology, 119:1675–1690
- Mateo-March ym. (2022) the record power profile of male professional cyclists: fatigue matters. Int J Sports Physiol Perform 17(6):926–931
- Matomäki ym. (2023) Durability is improved by both low and high intensity endurance training. Front Physiol 14:1128111.
- Maunder E. The importance of 'durability' in the physiological profiling of endurance athletes. Sports Med. 2021;51(8):1619–28
- Mikkola et al. 2010. Determinants of a simulated cross-country skiing sprint competition using V2 skating technique on roller skis. J Strength Cond Res. 24(4):920-8.
- Mikkola J. (2022). Kestävyys suorituskykyyn vaikuttavat tekijät. Teoksessa Nummela, Hynynen, Mikkola, Vesterinen: "Kestävyys harjoittelu" Nummela, Hynynen, Mikkola, Vesterinen. S. 21-38. VK-Kustannus Oy
- Mujika ym. (2023). High-Intensity Interval Training, Performance, and Oxygen Uptake Kinetics in Highly Trained Traditional Rowers. International Journal of Sports Physiology and Performance. 18. 1-5.
- Nummela, A. & Peltonen, J. 2018. Suorat testit. Teoksessa: Keskinen, K., Häkkinen, K. & Kallinen, M. (toim.). Fyysisen kunnan mittaaminen – käsi- ja oppikirja kuntotestaaajille. Helsinki: Liikuntatieteellinen Seura, 79–101
- O'Connor et al. 2007. Physique and performance for track and field events, Journal of Sports Sciences, 25:S1, S49-S60
- Passfield L, Doust JH (2000) Changes in cycling efficiency and performance after endurance exercise. Med Sci Sports Exerc 32(11):1935–1941
- Poole ja Jones. 2012. Oxygen uptake kinetics. Compr Physiol, 2(2):933-96
- Reis ym. Oxygen uptake kinetics and middle distance swimming performance. J Sci Med Sport. 2012;15(1):58–63
- Rusko. 2003. Cross Country skiing. IOC medical commission. Blackwell Science

## Lähteitä

- Rønnestad ym. Strength training improves 5-min all-out performance following 185 min of cycling. *Scand J Med Sci Sports* 2011a; 21: 250–259
- Sandbakk ym. Sex differences in world record performance: the influence of sport discipline and competition duration. *Int J Sports Physiol Perform.* 2018;13(1):2–8.
- Sandford ym. Maximal sprint speed and the anaerobic speed reserve domain; the untapped tools that differentiate the world's best 800m runners. *Sport Med.* 2019;49:843–52.
- Sandford GN, Stellingwerff T. “Question your categories”: the misunderstood complexity of middle-distance running profiles with implications for research methods and application. *Front Sport Act Living.* 2019;1:1–8
- Sandford et al. 2021. Anaerobic Speed/Power Reserve and Sport Performance: Scientific Basis, Current Applications and Future Directions. *Sports medicine.*
- Santalla ym. (2009). Muscle Efficiency Improves over Time in World-Class Cyclists. *Medicine and science in sports and exercise.* 41. 1096-101.
- Shaw ym. 2014. The valid measurement of running economy in runners. *Med Sci Sports Exerc.*, 46:1968–1973.
- Saunders ym.2004. Factors affecting running economy in trained distance runners. *Sport Med.*, 34:465–85.
- Spragg ym. (2023) The relationship between physiological characteristics and durability in male professional cyclists. *Med Sci Sports Exerc* 55(1):133–140.
- Spragg ym. (2022). The relationship between training characteristics and durability in professional cyclists across a competitive season. *Eur. J. Sport Sci.* 22, 1–10
- Øfsteng ym. (2017). Strength training improves double poling performance after prolonged submaximal exercise in cross-country skiers. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports.*
- Ørtenblad ym. (2024). Substrate utilization and durability during prolonged intermittent exercise in elite road cyclists. *European Journal of Applied Physiology.* Advance online publication.
- Valenzuela ym. (2023) Durability in professional cyclists: a field study. *Int J Sports Physiol Perform* 18(1):99–103
- van der Zwaard ym. (2018a). Muscle morphology of the vastus lateralis is strongly related to ergometer performance, sprint capacity and endurance capacity in Olympic rowers. *J. Sports Sci.* 36, 2111–2
- van der Zwaard ym. (2018b). Critical determinants of combined sprint and endurance performance: an integrative analysis from muscle fiber to the human body. *FASEB J.* 32, 2110–2123.