



# Laktaattimetabolia: historia ja nykytietämys

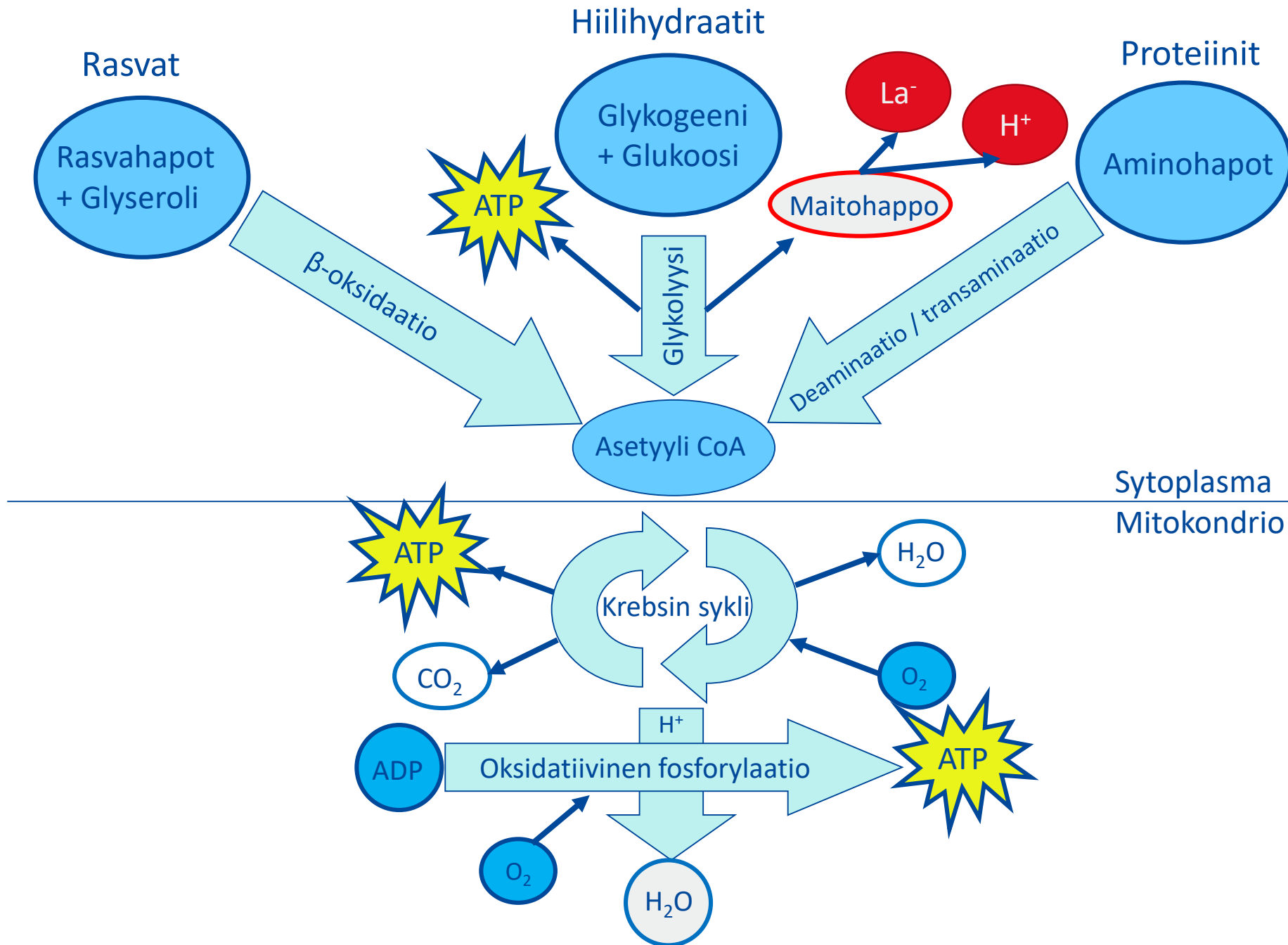
Ari Nummela, KIHU

Urheilijatestausverkosto 20.3.2019, Arcada, Helsinki

# Laktaattimetabolia: historia, väärin tulkinnat ja nykytietämys

- + Laktaatin historia
- + Hapen puute lisää laktaatin tuottoa
- + "Anaerobinen" kynnys
- + Laktaatin tuotto
- + Hypoksian yhteys laktaatin tuottoon
- + Laktaatti ja väsymys
- + Laktaattimetabolia
- + Laktaatin käyttö urheiluvalmennuksessa ja testauksessa





# Laktaatin historia

- + Ruotsalainen apteekkari/kemisti Carl Wilhelm Scheele keksi maitohapon happamasta maidosta 1780
- + Berzelius (1807) havaitsi teuraseläimissä laktaatin olevan suhteessa lihastyön määrään ennen teurastusta
- + Hermann von Helmholtz (1845) raportoi, että laktaatin tuotto liittyi glykogeenin kulutukseen
- + Heidenhain (1864) raportoi, että laktaatin määrä kasvoi suhteessa työn määrään
- + Nasse 1877 teki johtopäätöksen, että laktaattia muodostuu glykogeenista



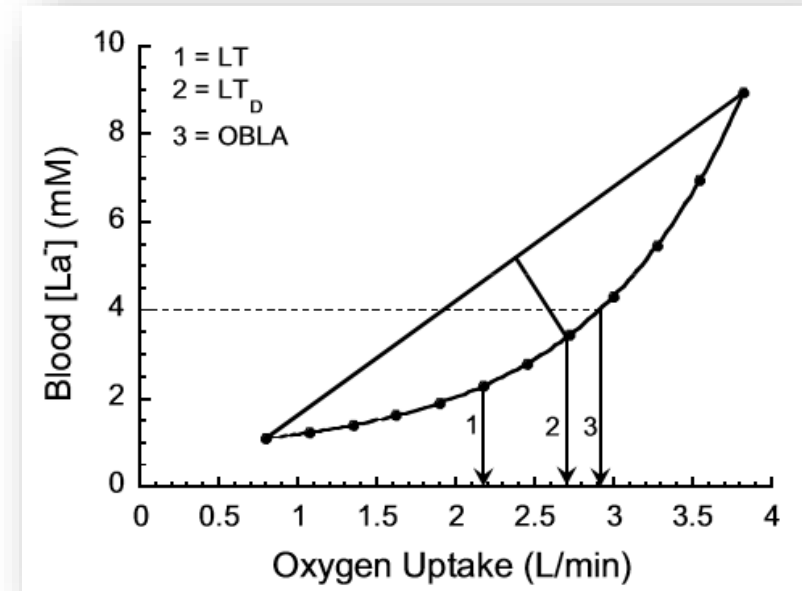
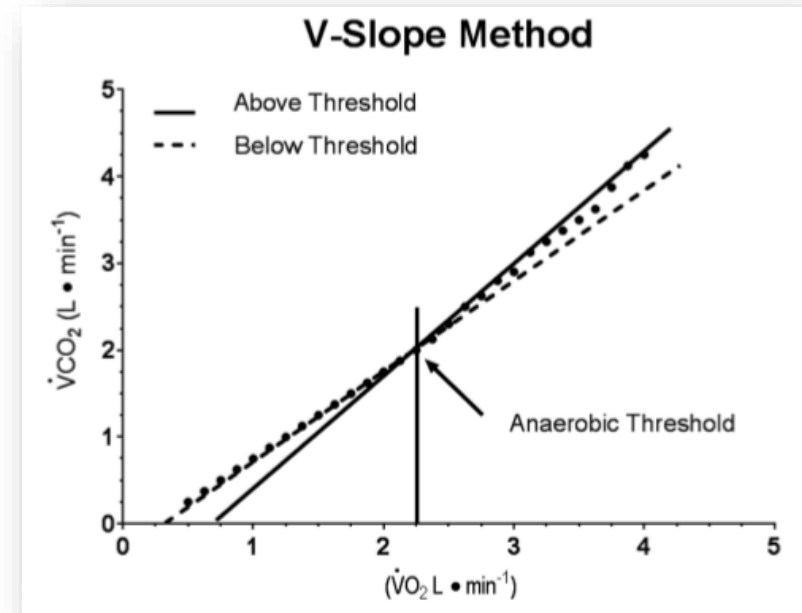
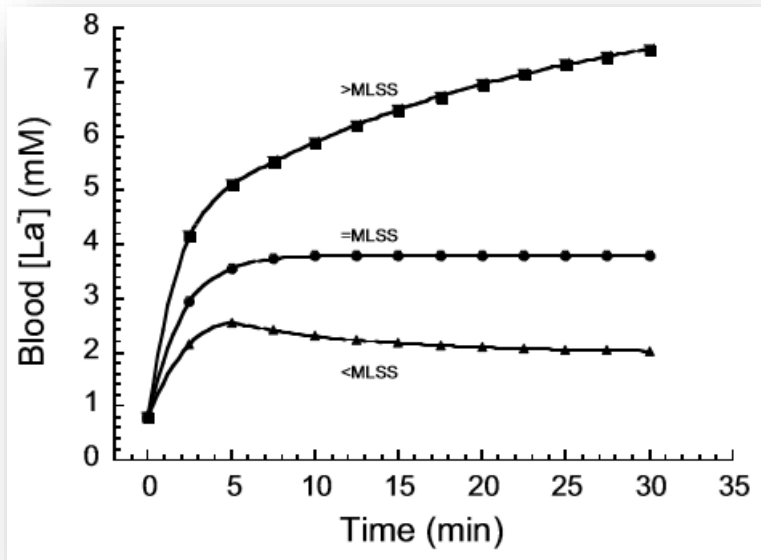
# ”Korkea $\text{La}^-$ tarkoittaa matalaa $\text{O}_2$ ” -paradigma

- + Klassinen tutkimus: Fletcher and Hopkins, 1907
- + Kehittivät menetelmän, joka esti  $\text{La}^-$  muodostuksen lihaksissa ennen analysointia
- + He osoittivat, että:
  - + Tuoreessa lihaksessa on levossa pieni  $[\text{La}^-]$
  - +  $[\text{La}^-]$  kasvaa anaerobisissa lihaksissa
  - +  $[\text{La}^-]$  kasvaa väsyttäessä lihasta
  - + Kun väsytetty lihas tuodaan  $\text{O}_2$  rikkaaseen ympäristöön  $\text{La}^-$  häviää
- + Otto Meyerhof (1930) myös havaitsi, että  $\text{La}^-$  kasaantuu  $\text{O}_2$  puutteessa ja poistuu  $\text{O}_2$  lisääntyessä
- + Hill et al. (1924) olettivat, että  $\text{La}^-$  lisääntyi lihastyössä, koska  $\text{O}_2$  ei riittänyt  $\text{La}^-$  poistoon



# ”Anaerobinen” kynnyks

- + Anaerobisen kynnyksen idea perustui ajatukseen, että riittämätön  $O_2$  saanti aiheutti  $La^-$  kasautumisen (Wasserman & McIlroy 1964; Wasserman et al. 1973)
- + D.B. Dill ehdotti nimeksi anaerobinen kynnyks
- + Wasserman määritteli anaerobisen kynnyksen: ”työteho tai  $O_2$  kulutustaso, joka on juuri alle tason, jossa metabolinen asidoosi ja muutokset kaasujen vaihdossa tapahtuu”



# La<sup>-</sup> muodostus ei johdu O<sub>2</sub> puutteesta

- + Hypoxiasta johtuva La<sup>-</sup> kasautuminen on enemmän poikkeus kuin syy
- + Stainsby & Welch (1966) tutkivat La<sup>-</sup> tuottoa tasaisissa kuormituksissa eri tehoilla ja havaitsivat La<sup>-</sup> saavuttavan korkeimman arvon 15-20 min kohdalla
- + Mittaustekniikan keittyminen solun sisäisen PiO<sub>2</sub> mittaamiseen suuri edistysaskel
- + Connett et al. (1983, 1984, 1986) tulokset osoittivat, että La<sup>-</sup> kasautui 70 % kuormituksessa, vaikka PiO<sub>2</sub> ei muuttunut solun sisällä
- + <sup>1</sup>H-MRS tekniikan kehittymisen myötä päädyttiin samaan johtopäätökseen (Richardson et al. 1998)
- + Hypoksia (12 % O<sub>2</sub>) ei ollut riittävä rajoittamaan oksidatiivista fosforylaatiota (Richardson et al. 1998)

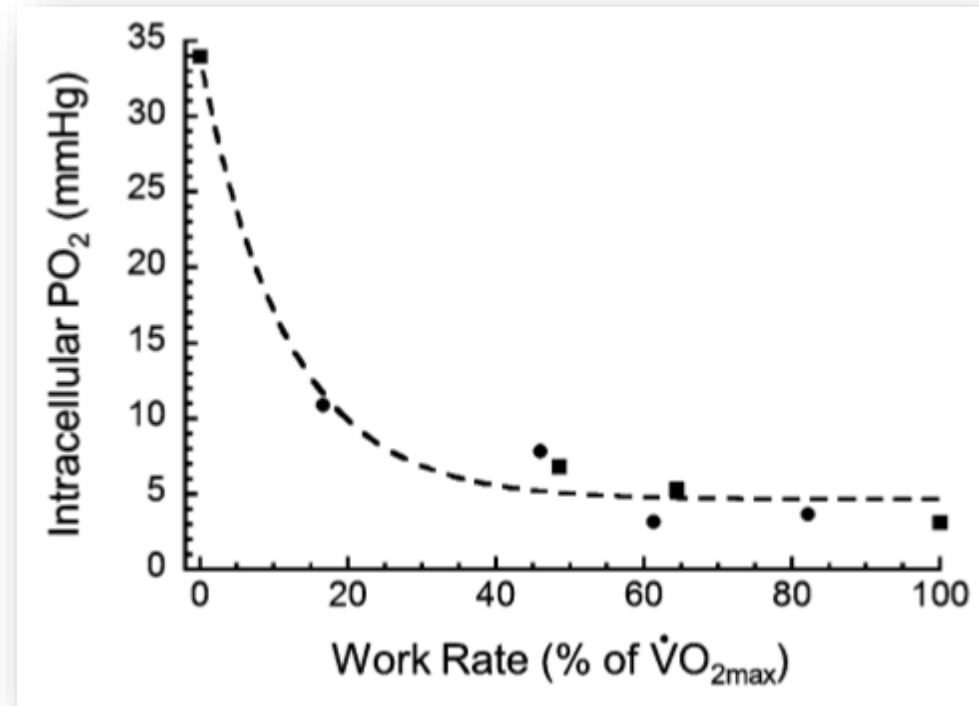
## Gladden 1996 ja 2004:

- + Mekanismit, jotka johtavat La<sup>-</sup> kasautumiseen suorituksen tehon noustessa:
  - + Glykolyysin kiihtyminen lisää La<sup>-</sup> tuottoa
  - + La<sup>-</sup> poisto ei kasva samassa suhteessa kuin La<sup>-</sup> tuotto
  - + Nopeiden lihassolujen rekrytointi tehon kasvaessa



# Onko hypoksialla mitään roolia $L_a^-$ kasautumisessa kuormituksen tehon kasvun myötä

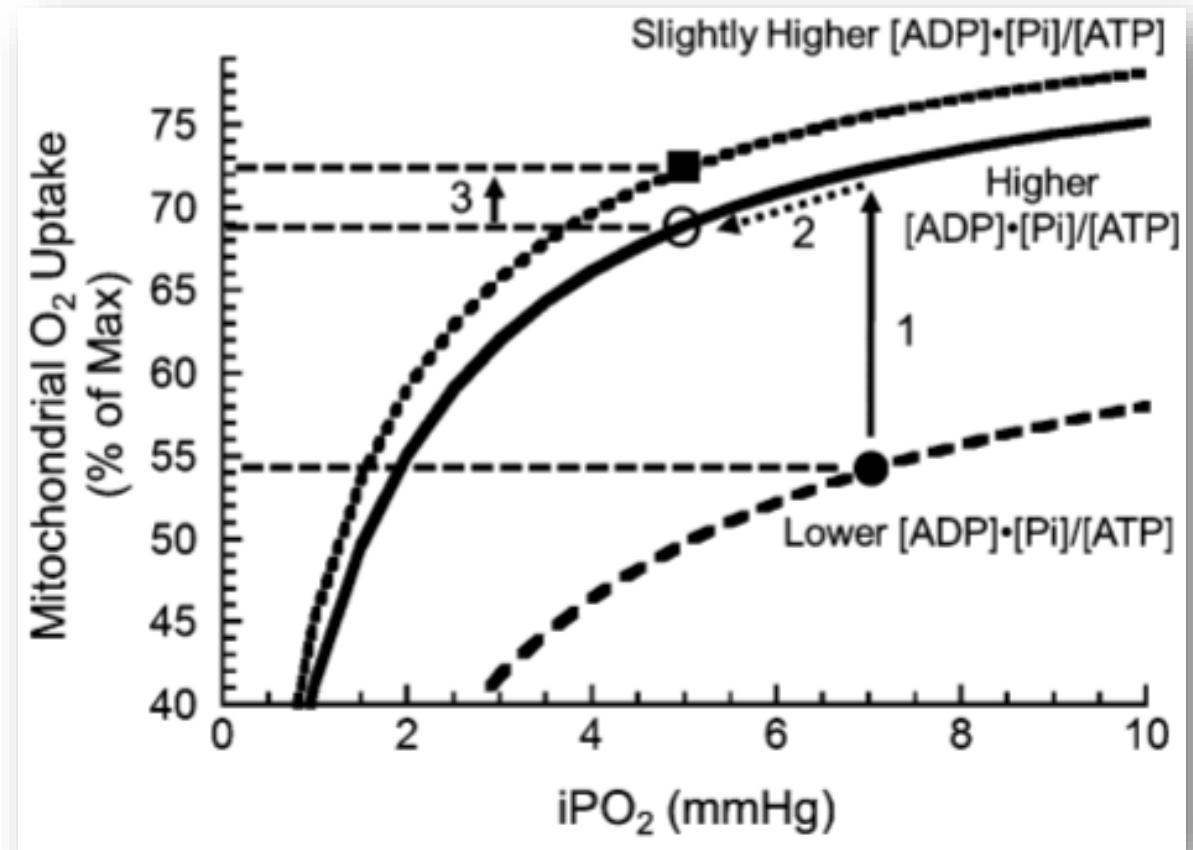
- + Vaikka  $PiO_2$  ei laske alle tason, joka inhiboisi oksidatiivista fosforylaatiota,  $PiO_2$  laskee suorituksen tehon nousun myötä, mutta saavuttaa tasanteen 50-60 %  $\dot{V}O_{2max}$  teholla
- + Hypoksiassa  $L_a^-$  tasot kasvavat suorituksessa (Lundin & Ström 1947)
- + CO hengittäminen lisää  $L_a^-$  suorituksessa (Vogel and Gleser 1972)
- + Veritilavuuden pieneneminen lisää  $L_a^-$  suorituksessa (Fortney et al. 1981)
- + Sydänpotilailla ja beta-salpaajien käyttö lisää  $L_a^-$  kasautumista (Twentyman et al. 1981)
- + Hyperoksiassa  $L_a^-$  kasautuminen pienenee (Hogan et al. 1983)
- + Katekoliamiinipitoisuudet korkeammat hypoksiassa (Mazzeo et al. 1991)





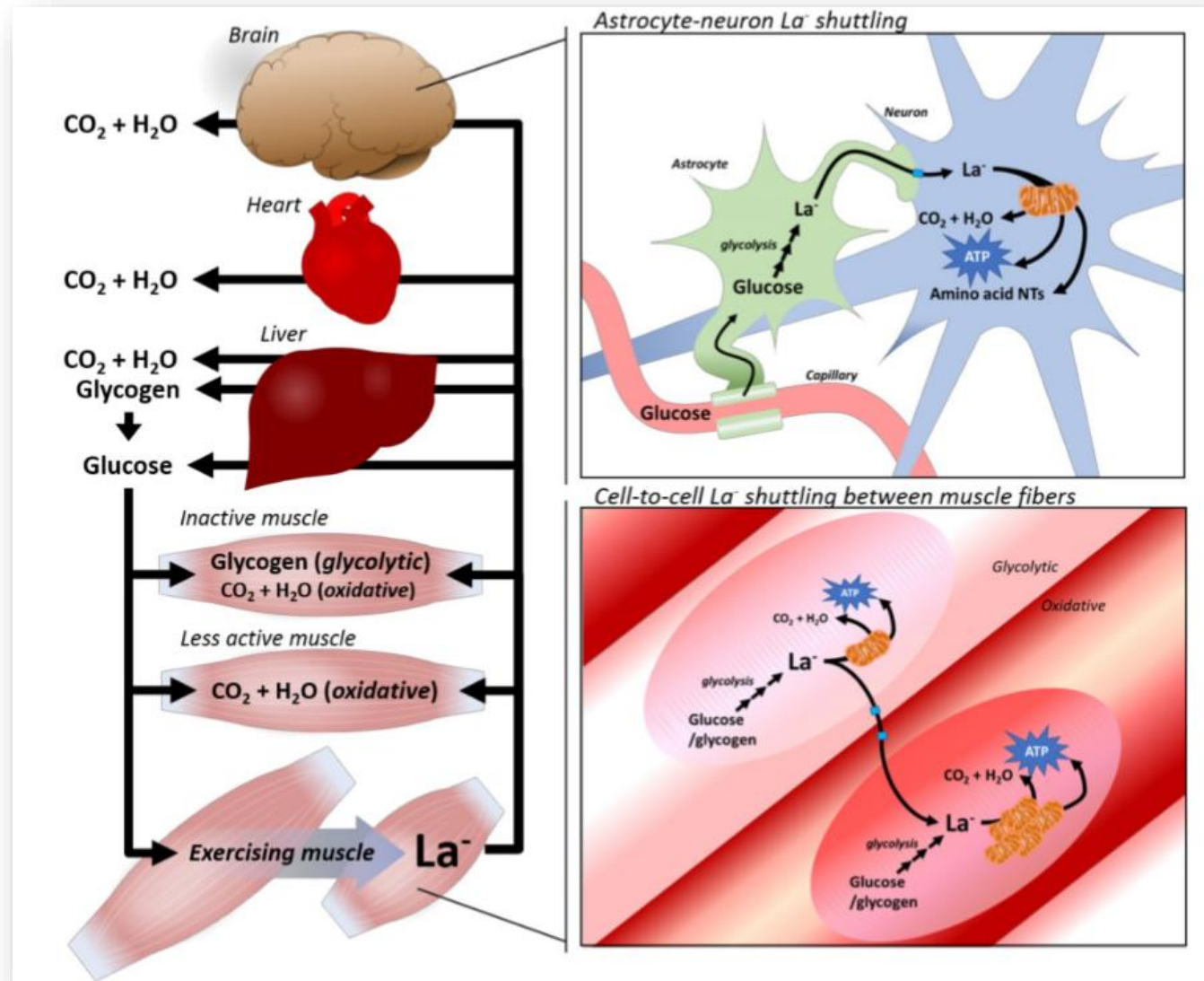
# O<sub>2</sub> ja La<sup>-</sup> riippuvuussuhde

- + Solun [ADP]·[Pi]/[ATP] suhde muuttuu kuormituksen kasvaessa
- + Muutokset [ADP]·[Pi]/[ATP] suhteessa lisää sekä VO<sub>2</sub> että glykolyysiä, riippumaton PiO<sub>2</sub> muutoksista
- + Data tukee hypoteesiä, jonka mukaan matala PiO<sub>2</sub> ei vaikuta La<sup>-</sup> tuottoon, vaan [ADP]·[Pi]/[ATP] suhteen kasvu kiihdyttää energiantuottoa sekä mitokondrioissa että glykolyysissä



# Solujen välinen laktaatin kierto

- + Brooks (1985, 2007, 2009, 2016) esitti mallin: "cell-to-cell lactate shuttle"
- +  $\text{La}^-$  siirtyy työtätekevien lihasten välillä (glykolyttinen  $\rightarrow$  oksidatiivinen)
- +  $\text{La}^-$  siirtyy työtätekevistä lihaksista vähemmän aktiivisiin lihaksiin
- +  $\text{La}^-$  siirtyy työtä tekevistä lihaksista sydämeen
- +  $\text{La}^-$  siirtyy työtä tekevistä lihaksista maksaan
- +  $\text{La}^-$  siirtyy työtä tekevistä lihaksista aivoihin



# Laktaatti ja väsymys

- + Lihasväsymys kompleksinen prosessi sisältäen lukuisia syitä sentraalisista tekijöistä perifeerisiin
- +  $\text{La}^-$  kasvu yhteydessä pH laskuun (Klausen et al. 1972, Karlsson et al. 1975)
- +  $\text{La}^-$  infuusio (12-15 mM) aiheutti 15 % laskun voiman tuotossa ilman pH muutosta (Hogan et al. 1995)
- + Allen et al. 2001 esittivät todisteet  $\text{La}^-$  väsymysvaikutusta vastaan
- + Fitts 1994 esitti pH lasku olevan yksi merkittävimmistä väsymystekijöistä lihaksessa
- + Matala pH ja korkea  $[\text{Pi}]$  vaikuttavat väsymiseen  $[\text{Ca}^{2+}]$  kanssa (Fitts 2016)
- + Useissa tutkimuksissa ei ole pystytty osoittamaan pH vaikutusta väsymiseen (Sahlin & Ren 1989, Westerblad & Allen 1992, Degroot et al. 1993)
- + Lamb & Stephenson (2006) tekivät johtopäätöksen, että  $\text{La}^-$  asidoosi hidastaa väsymyksen alkamista



# Hapottaminen ja väsymys valmennuskielessä

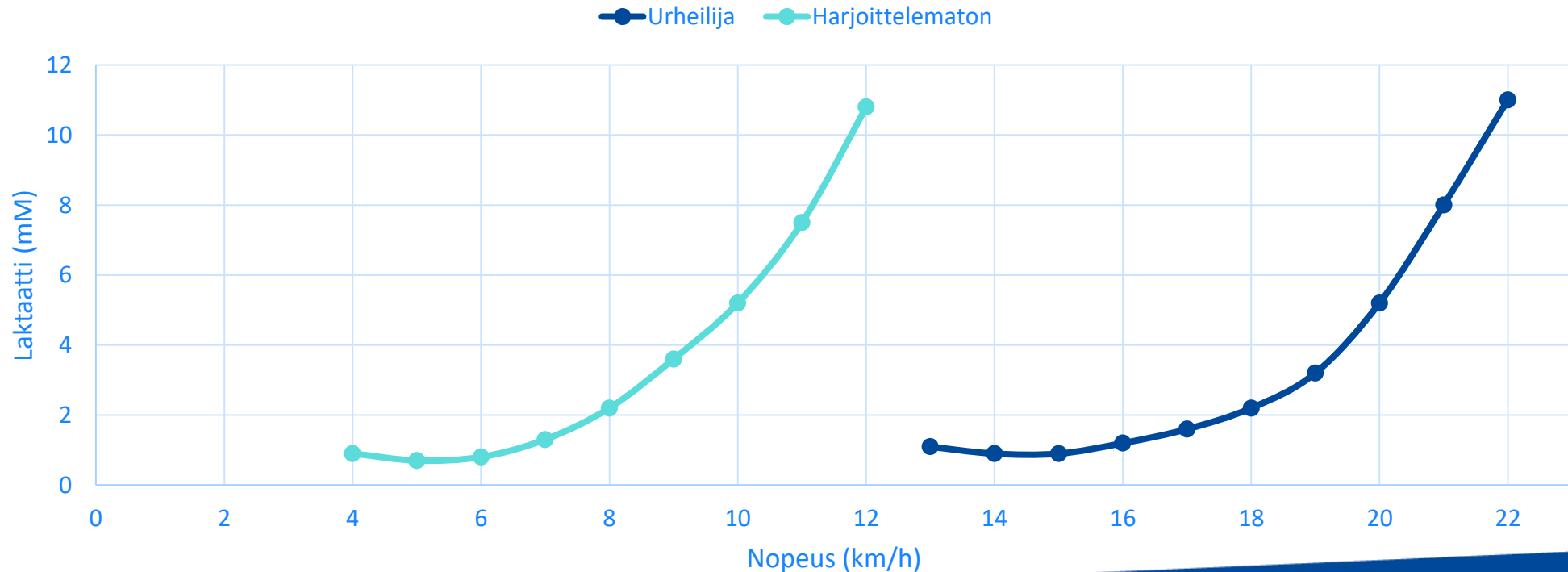
+ ”- Vitonen matkana on maastohiihtäjillä harvoin. Täysiä on vain lähdevä ja toivottava, etteivät nouse maitohapot liian kovaksi, Mäkäräinen kommentoi matkaa.”

+ ” - Lähdin tosi kovaa liikkeelle ja ajattelin, että kestä happoa loppuun asti. En sitten viimeiseen kilometriin kestänyt. Ihan hyvin sain irti itsestäni näin keväällä. Kova kisa, Pärämäkoski sanoi.”



# Veren laktaatti urheiluvalmennuksessa

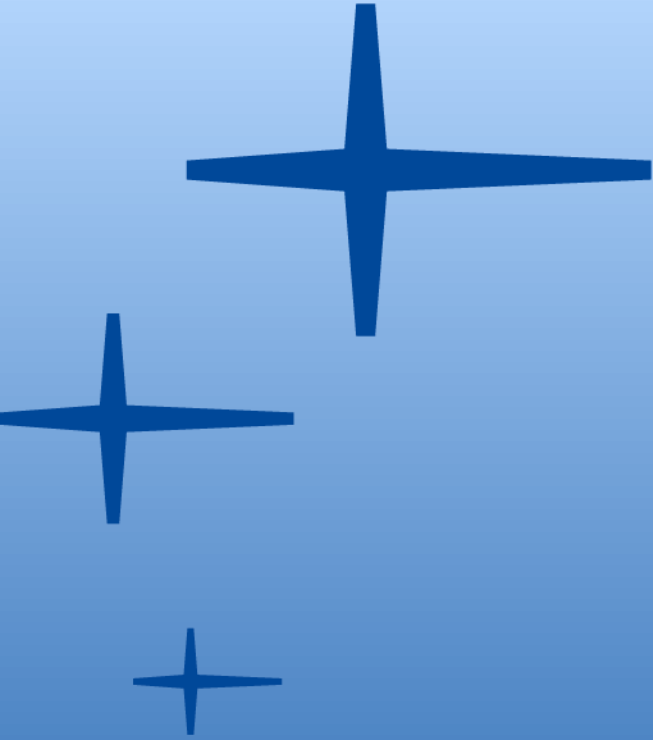
- + Levossa veren laktaatti on yleensä 0,5-2,5 mM
- + Vaikka urheilusuorituksessa  $\text{La}^-$  tuotto lisääntyy, niin alle AerK suorituksissa veren  $[\text{La}^-]$  laskee alle lepotason
- + AnK  $[\text{La}^-]$  on yleensä 2-4 mM, mutta yli 6 mM on mitattu
- + Suurimmat  $[\text{La}^-]$  on mitattu lyhytkestoisten maksimaalisten suoritusten jälkeen (>25 mM)



# Veren laktaatin käyttötapoja urheiluvalmennuksessa

- + Testauksessa: kynnystasojen määrittäminen (epäsuorat ja suorat testit), MART testi
- + Submaksimaaliset testit (esim. pikkumattotesti)
- + Harjoituskontrollit: nopeuskestävyysharjoitukset, VK- ja MK-harjoitukset
- + Kilpailut/ottelut/pelit





Kiitos!

