

Kuntotestauspäivät 2024 – #KTP24

Kuntotestaus kestävyysvalmennuksessa

**18.–19.4.2024, Liikuntatieteellinen tiedekunta,
Jyväskylän yliopisto**

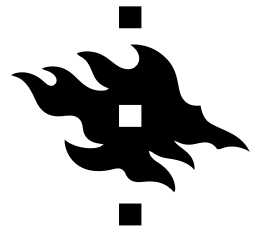
**Fickistä Wagneriin – $\dot{V}O_{2\max:n}$ kokonaismalli
rajoitusten ja harjoitusvaikutusten analysoinnissa**

Juha Peltonen, LitT, dosentti

HULA – Helsingin urheilulääkäriasema;

Liikuntalääketiede, lääketieteellinen tiedekunta,

Helsingin yliopisto



EP2 FINLAND

ENVIRONMENTAL EXERCISE PHYSIOLOGY PROGRAM

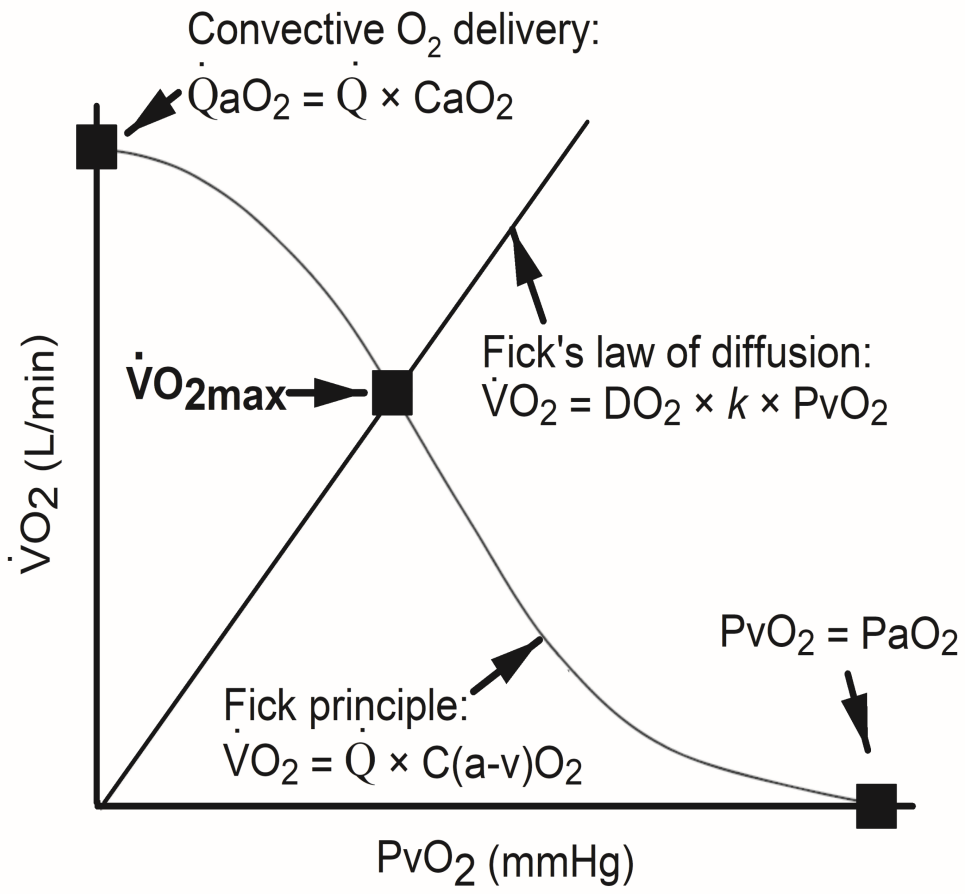


**Liikuntalääketiede
Suomi**

<https://hula.fi/>



Tavoite



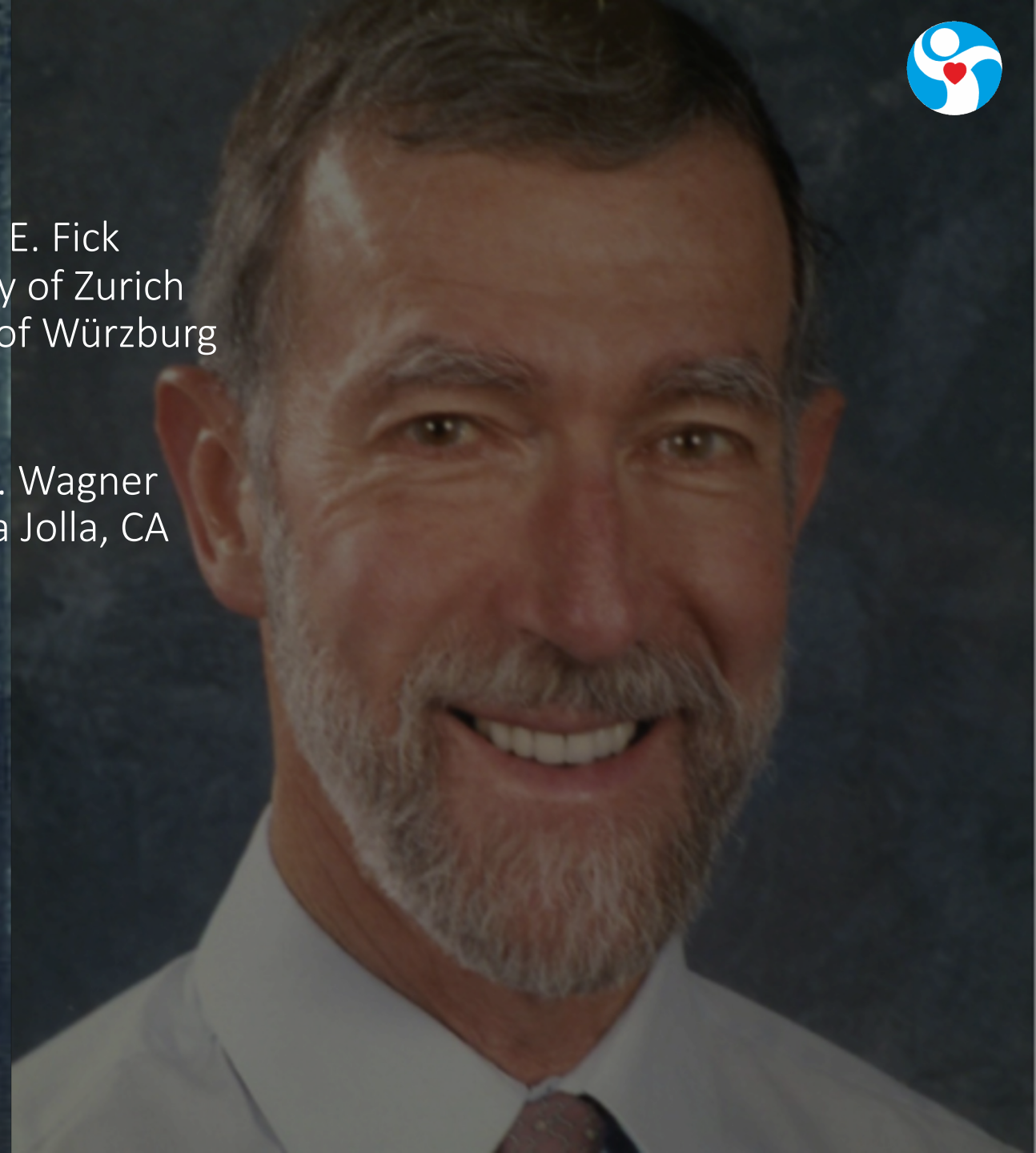
Fickin periaate: $\dot{V}O_2 = \dot{Q} \times (CaO_2 - C\bar{v}O_2)$

Fickin diffuusiolaki: $\dot{V}O_2 = \dot{D}O_2 \times (P_{cap}O_2 - P_{mito}O_2)$



Adolf E. Fick
University of Zurich
University of Würzburg

Peter D. Wagner
UCLA, La Jolla, CA



Mahdolliset hapenkulutusta rajoittavat ja harjoitteluun reagoivat tekijät



5. Keskushermosto

6. Ääreishermosto

1. Hengitys

O₂ diffuusio
Ventilaatio
Alveolaarinen V_A/Q
Hb - O₂ affiniteetti

2. Keskeisverenkierto

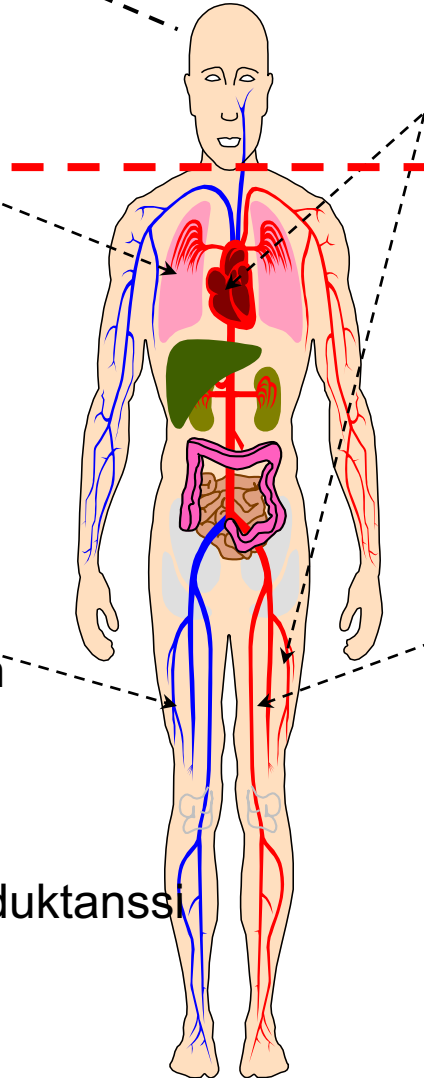
Sydämen minuuttitilavuus
(syke, iskutilavuus)
Valtimoverenpaine
Hemoglobiinikonsentraatio
Hemoglobiinimassa
Veritilavuus

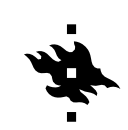
3. Ääreisverenkierto

Virtaus inaktiivisiin kudoksiin
Lihasten veren virtaus
Lihasten kapillaaritiheys
O₂ diffuusio
Lihasten vaskulaarinen konduktanssi
O₂ ekstraktio
Hb - O₂ affiniteetti

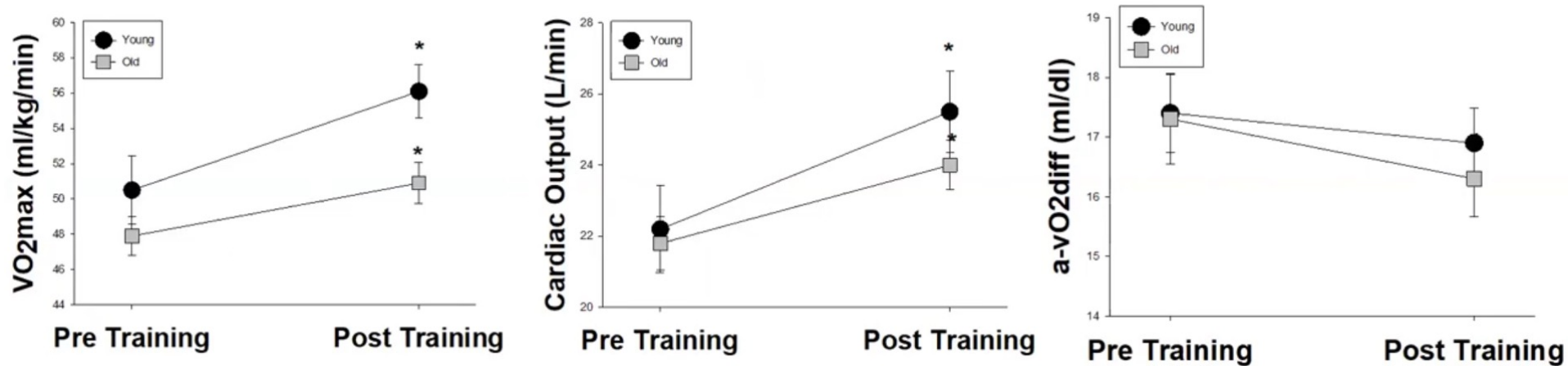
4. Lihasten metabolia

Ensyymit ja oksidatiivinen potentiaali
Energiavarastot
Myoglobiini
Mitokondriot
(koko ja määrä)
Lihasmassa ja solutyypit
Substraattien jakelu





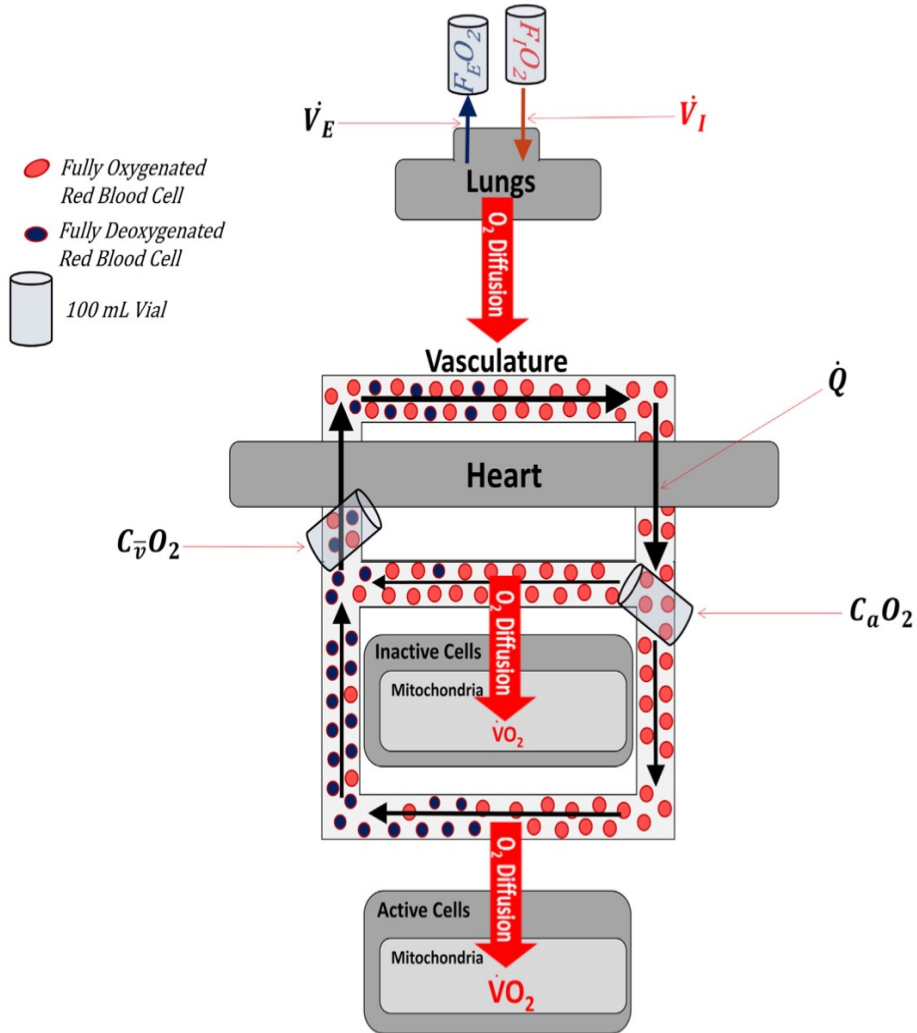
Kestävyysharjoittelun vaikutus $\dot{V}O_{2max}$:iin / Fickin periaate



- Korkeatehoista kestävysharjoittelua 8 vk (13 nuorta + 13 vanhaa tutkittavaa)
- $\dot{V}O_{2max} \uparrow$; $\dot{Q}_{max} \uparrow$; $(a-\bar{v})O_2 \leftrightarrow / \downarrow$
- Perinteinen tulkinta (Fickin periaate $\dot{V}O_{2max} = \dot{Q} \times (a-\bar{v})O_2$): $\dot{Q}_{max} \uparrow \rightarrow \dot{V}O_{2max} \uparrow$
 - Tulkinta on väärä!
 - Jos vain $\dot{Q}_{max} \uparrow \rightarrow MTT \downarrow \rightarrow \dot{V}O_{2max} \downarrow$
- $\dot{V}O_{2max}$ rajoittuneisuus/lasku/nousu voi johtua monista tekijöistä.

Wang E et al. AGE36:665-676, 2014.

Fickin periaatteen $\dot{V}O_{2\max} = \dot{Q} \times (a-\bar{v})O_2$ edut ja puutteet






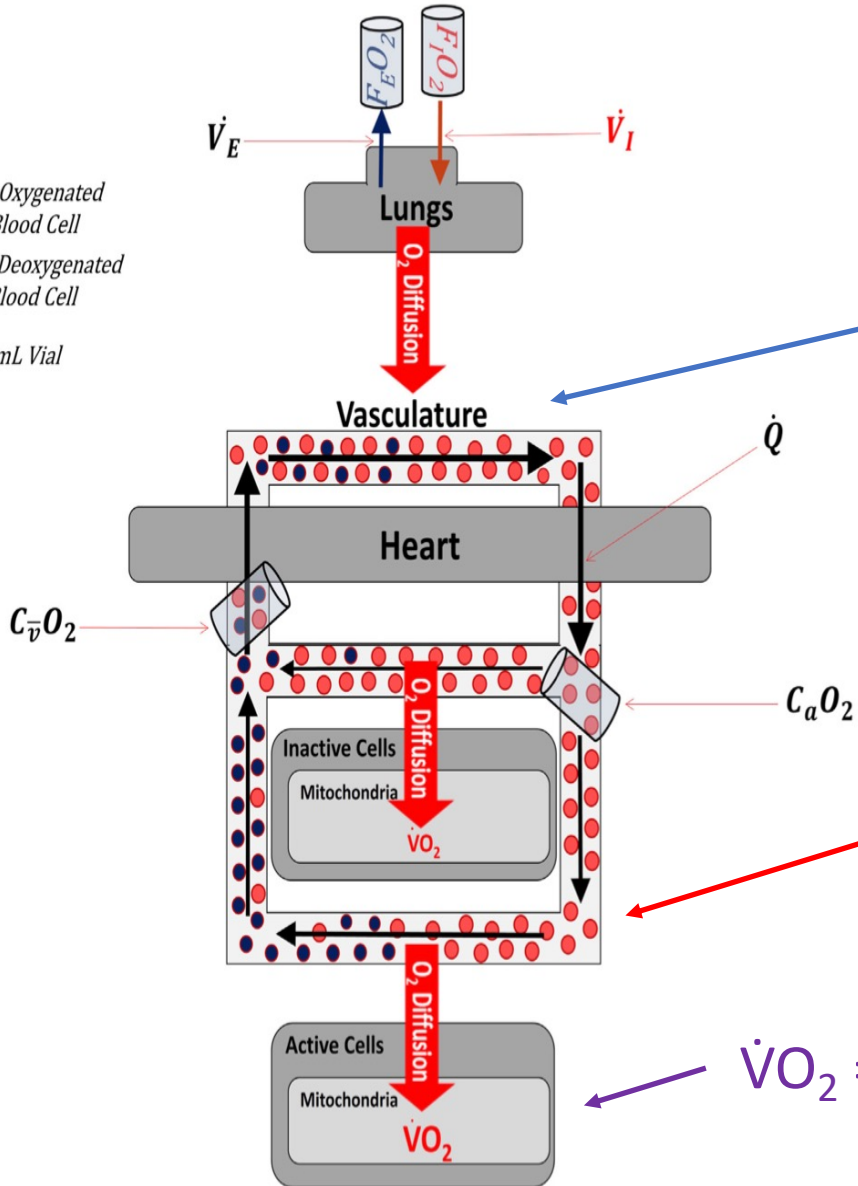
- Fickin periaatetta voi käyttää $\dot{V}O_{2\max:n}$ **laskemiseen, ei rajoitusten tai kehittymisen kokonaisvaltaiseen tunnistamiseen**
- Minuuttitilavuuden (\dot{Q}) vaikutus on selkeä
 - \dot{Q} on volyymivirtaus L/min
- Valtimo-laskimo –happieroon $(a-\bar{v})O_2$ vaikuttaa ”kaikki”
 - $(a-\bar{v})O_2$ on fraktio, $\Delta O_2 / 100$ ml verta
 - $(a-\bar{v})O_2$ on riippuvainen verivirrasta (keuhkot ja lihas), [Hb], verivirran jakautumisesta, Mean Transit Time (MTT), diffuusiokapasiteetista, mitokondrioiden kapasiteetista.
- Normaali vaste kestävyysharjoitteluun
 - $\dot{V}O_{2\max} \uparrow$, $\dot{Q}_{\max} \uparrow$, $(a-\bar{v})O_2 \leftrightarrow$
 - Tämä ei tarkoita, että vain \dot{Q} olisi noussut ja muissa tekijöissä ei olisi muutosta
 - Jos $\dot{Q}_{\max} \uparrow$ ja $(a-\bar{v})O_2 \leftrightarrow$ on tämä osoitus kaikkien vasemmalla olevien tekijöiden paranemisesta.



$\dot{V}O_{2max}$

- 3 tasoa
- Fickin periaate + Fickin diffuusiolaki yhtä aikaa voimassa

 Fully Oxygenated Red Blood Cell
 Fully Deoxygenated Red Blood Cell
 100 mL Vial



Fickin periaate: $\dot{V}O_2 = \dot{Q} \times (CaO_2 - CvO_2)$

O_2 diffuusiokapasiteetti, ml/min/mmHg

0 mmHg

Fickin diffuusiolaki: $\dot{V}O_2 = \dot{D}O_2 \times (P_{cap}O_2 - P_{mito}O_2)$

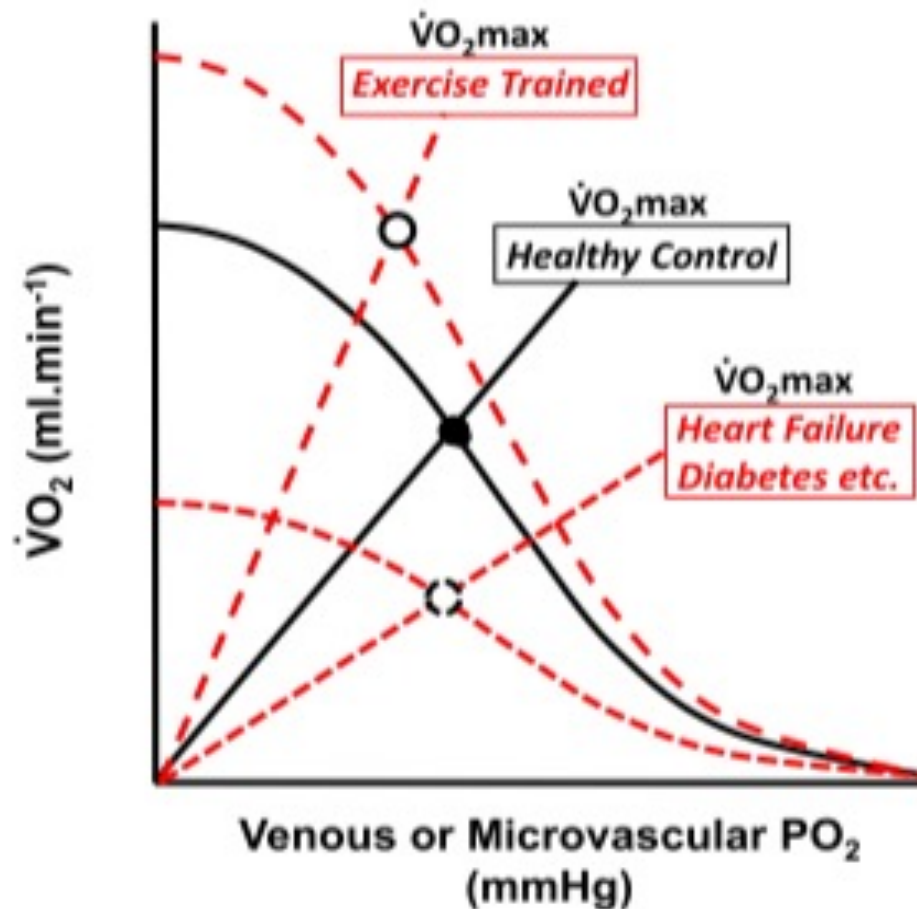
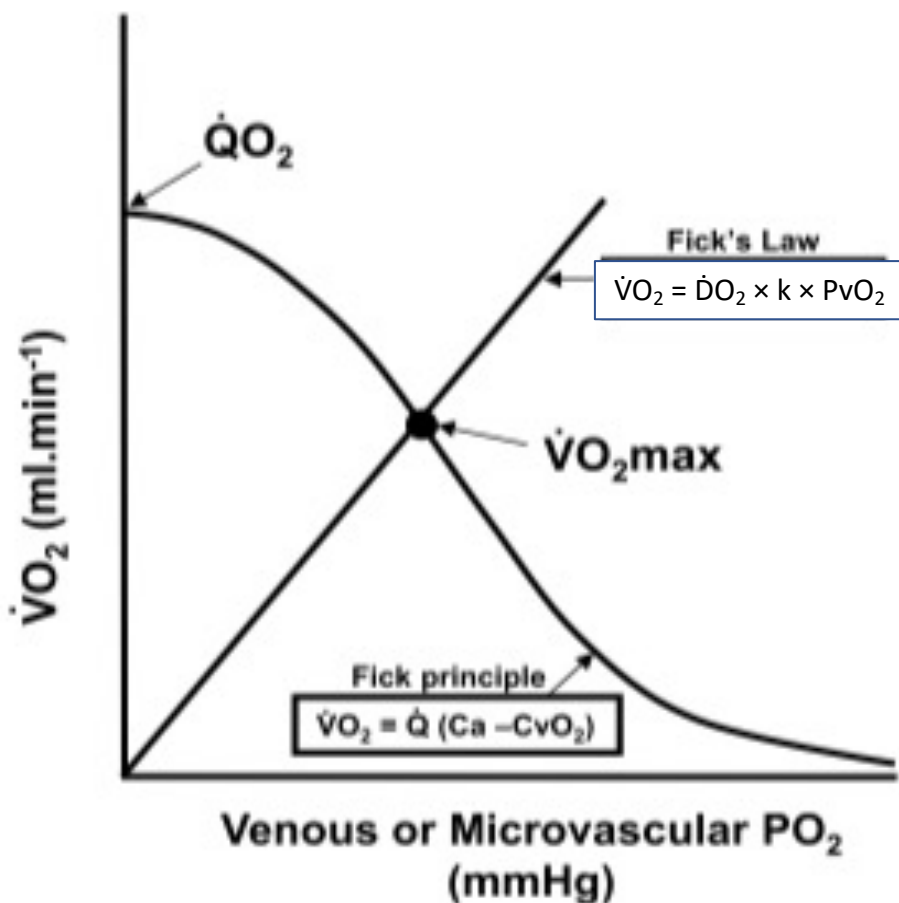
$\dot{V}O_2 = \dot{D}O_2 \times k \times PvO_2$

$\dot{V}O_2 = \text{Mitokondrioiden kapasiteetti} \times O_2\text{-kulutusvakio} \times P_{mito}O_2$

$\dot{V}O_2 / PO_2$ mmHg



Wagner diagrammi: Fickin periaate ja Fickin diffuusiolaki yhtä aikaa voimassa

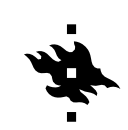


P_{vO_2} x-akselilla

Fickin diffuusiolaki: valmiina yhtälössä
Fickin periaate: pitää laskea

Poole DC et al. Eur J Appl Physiol 122:7–28, 2022.

Juha Peltonen



Tuunattu CPET

- Hengityskaasuanalyysi ($\dot{V}O_2$)
- Impedanssikardiografia (\dot{Q})
- Pulssioksimetria (SpO_2)
- [Hb]
- pH , T



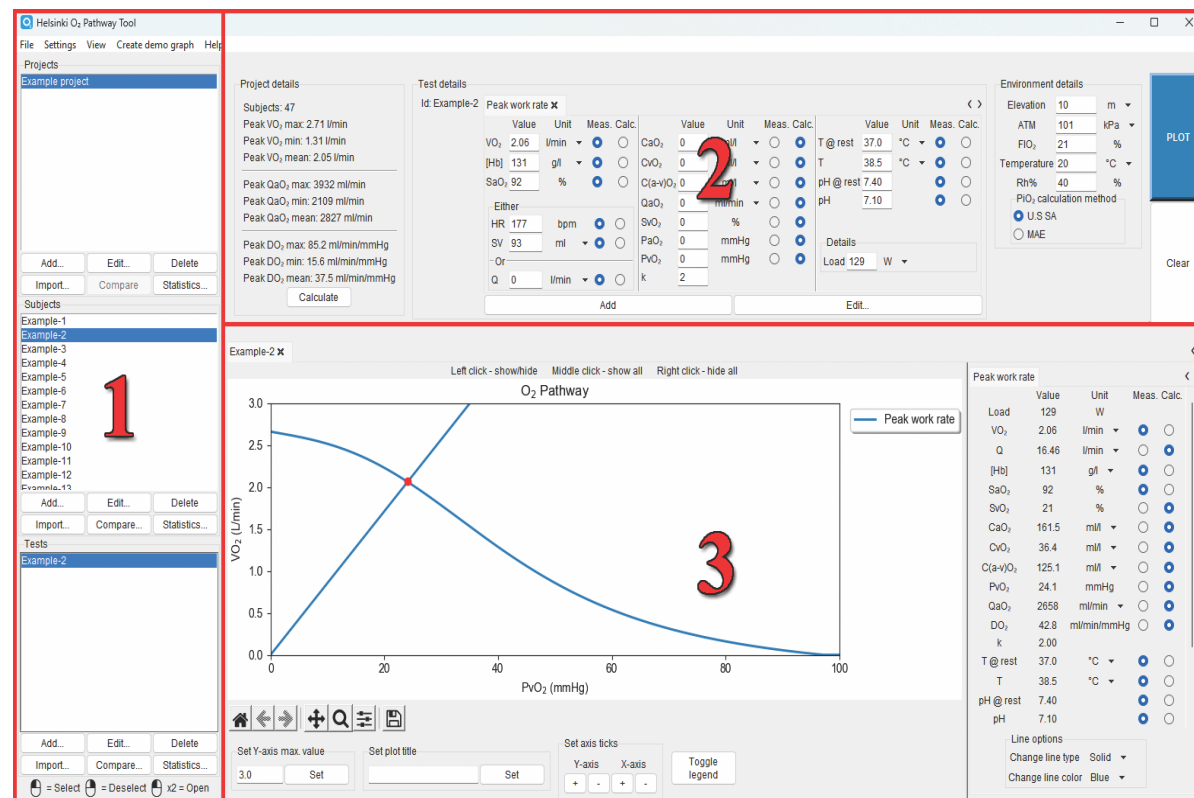
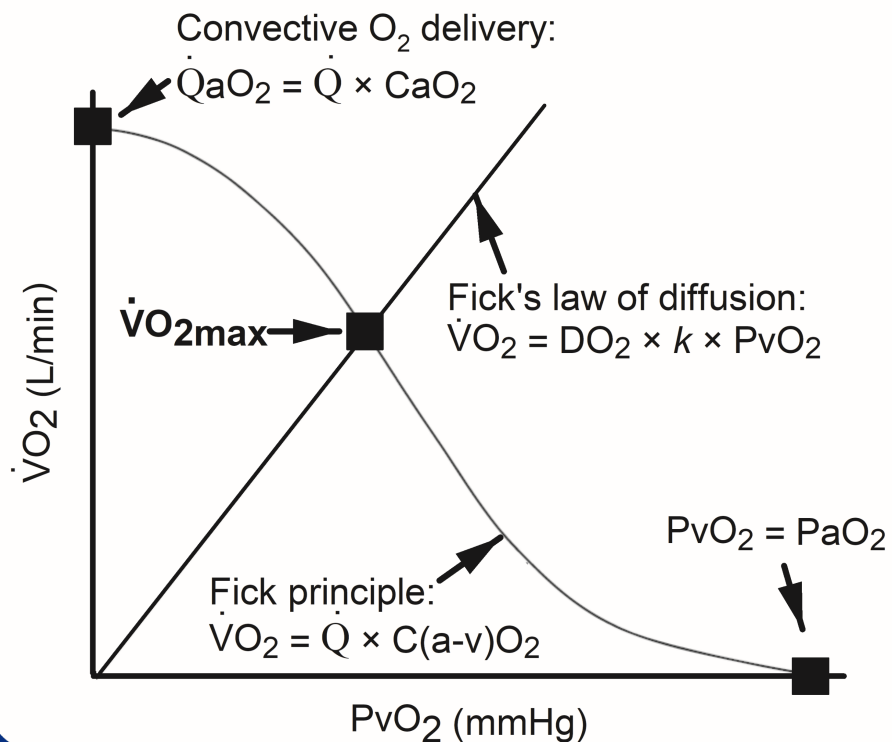
- Fickistä Wagneriin
- $\dot{V}O_{2max}$:n osatekijöiden mallintaminen "uudella" tavalla





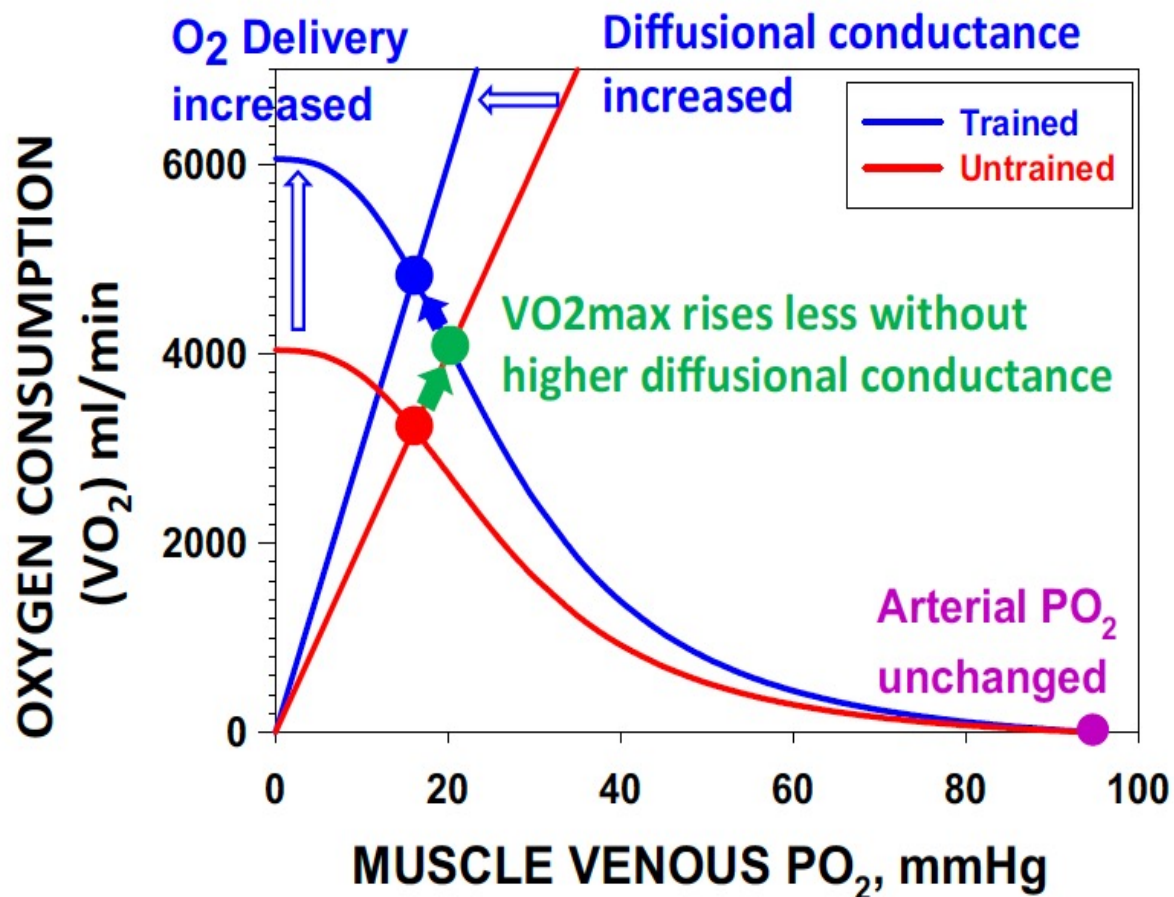
Antti-Pekka E. Rissanen, Tom Mikkola, Dominique D. Gagnon, Elias Lehtonen, Sakari Lukkarinen, Juha E. Peltonen

Wagner diagram for modeling O₂ pathway – Calculation and graphical display by the Helsinki O₂ Pathway Tool (HO₂PT)





Harjoittelun vaikutus $\dot{V}O_{2\max}$:iin - esimerkki



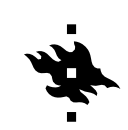
Wagner PD (2022). Journal of Muscle Research and Cell Motility.
<https://doi.org/10.1007/s10974-022-09636-y>

Harjoittelulla voi olla kaksi erillistä vaikutusta O_2 jakeluun, jotka yhdessä nostavat $\dot{V}O_{2\max}$:

1. $\dot{Q}_{\max} \uparrow \rightarrow O_2$ jakelu lihaksille \uparrow
2. Lihasten $\dot{D}O_2 \uparrow \rightarrow O_2$ ekstraktio verestä ja kuljetus lihaksille \uparrow

Jos molemmat tapahtuvat yhtä aikaa, ei PvO_2 (tai $(a-v)O_2$) muutu \rightarrow voi syntyä väärä vaikutelma, jonka mukaan O_2 ekstraktio ei olisi muuttunut harjoittelun myötä.

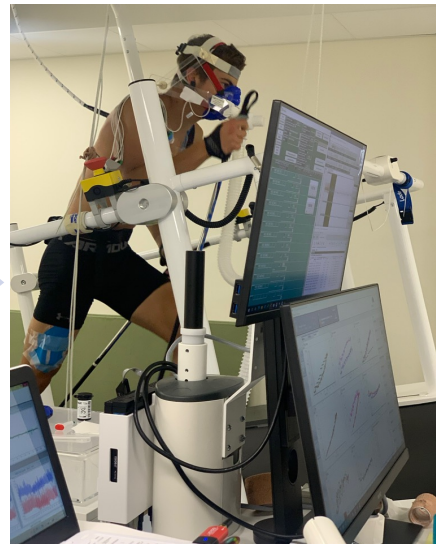
$\dot{D}O_2 \uparrow$ (Fickin diffusiolaki) mahdollistaa $\dot{V}O_{2\max:n}$ nousun enemmän kuin pelkkä \dot{Q} :n nousu (Fickin periaate).



Hypoksiaajakson vaikutus $\dot{V}O_{2max}$:iin / HOTPOXIA

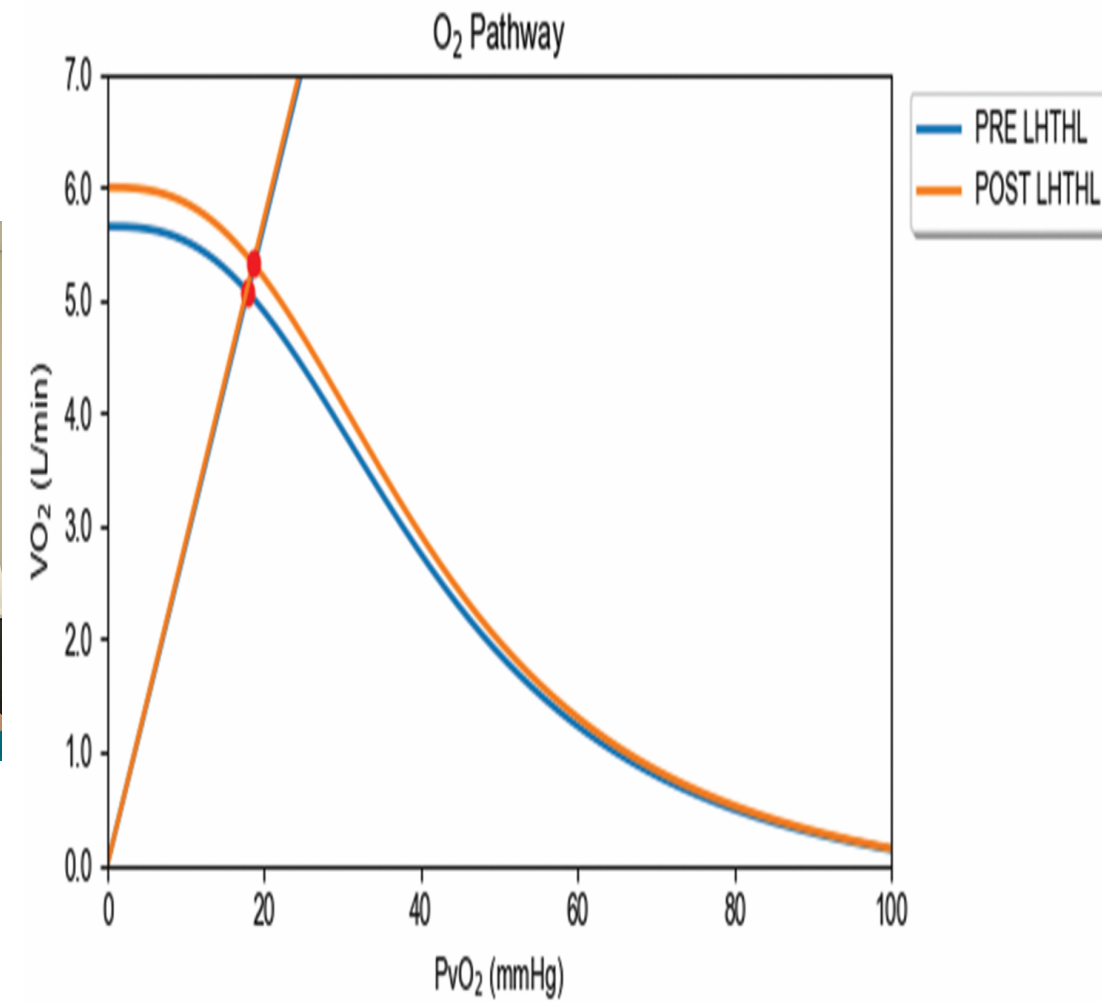
Hiihtäjä
4 vk normobarinen
LHTHL

$\dot{V}O_{2max}$ 5.01 vs. 5.27
L/min
 \dot{Q}_{max} 31.8 vs. 30.9
L/min
SaO₂ 94 vs. 94 %
[Hb] 141 vs. 154 g/L.



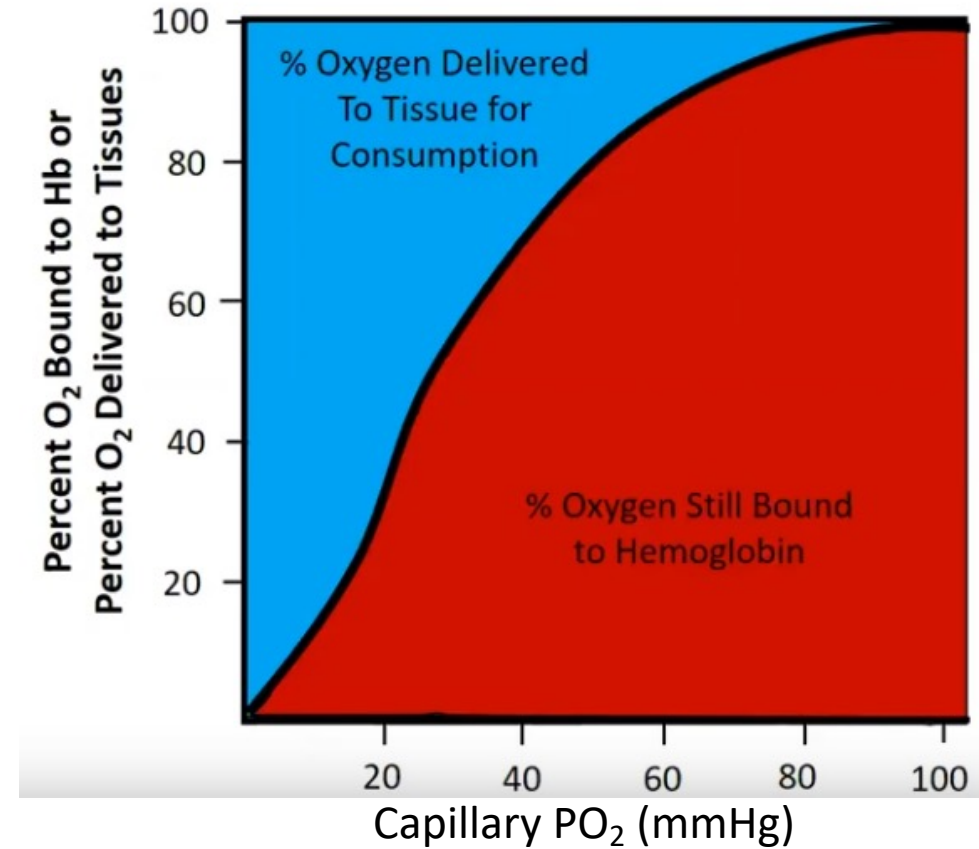
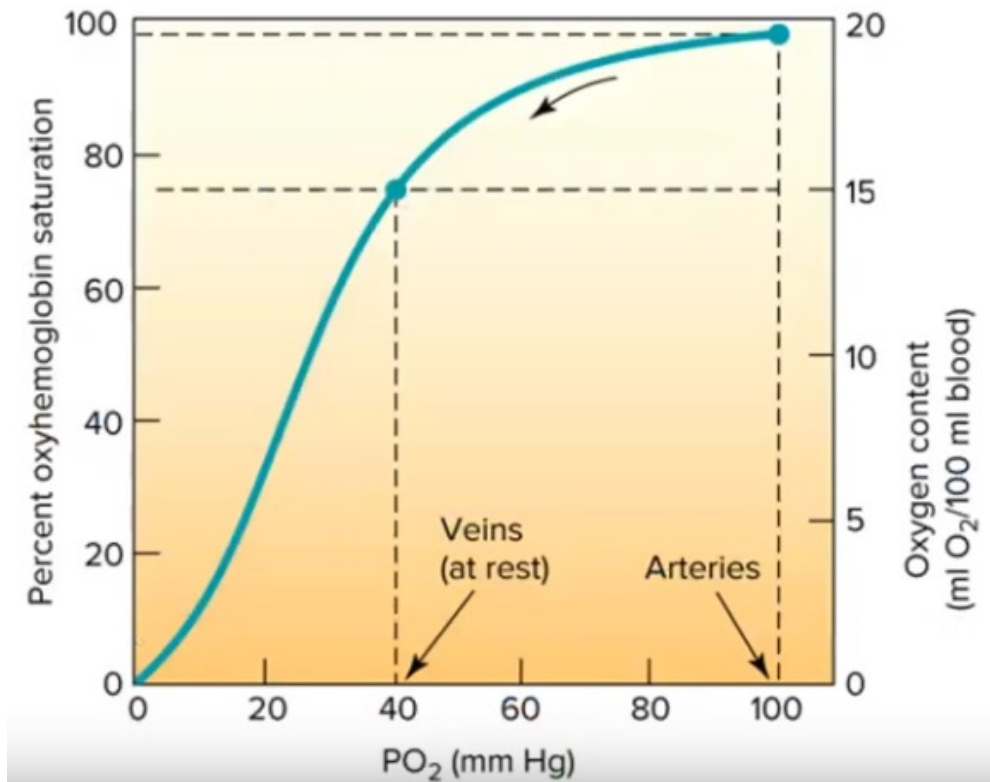
HO₂PT:
DO₂ 142 vs. 143
mL/min/mmHg
PvO₂ 18 vs. 18 mmHg

Arvioitu
laskimoveren
pH 7.03
T 38.5 °C





Fickin periaate konvektiivisesta O₂ jakelusta: $\dot{V}O_2 = \dot{Q} \times (a-v)O_2$



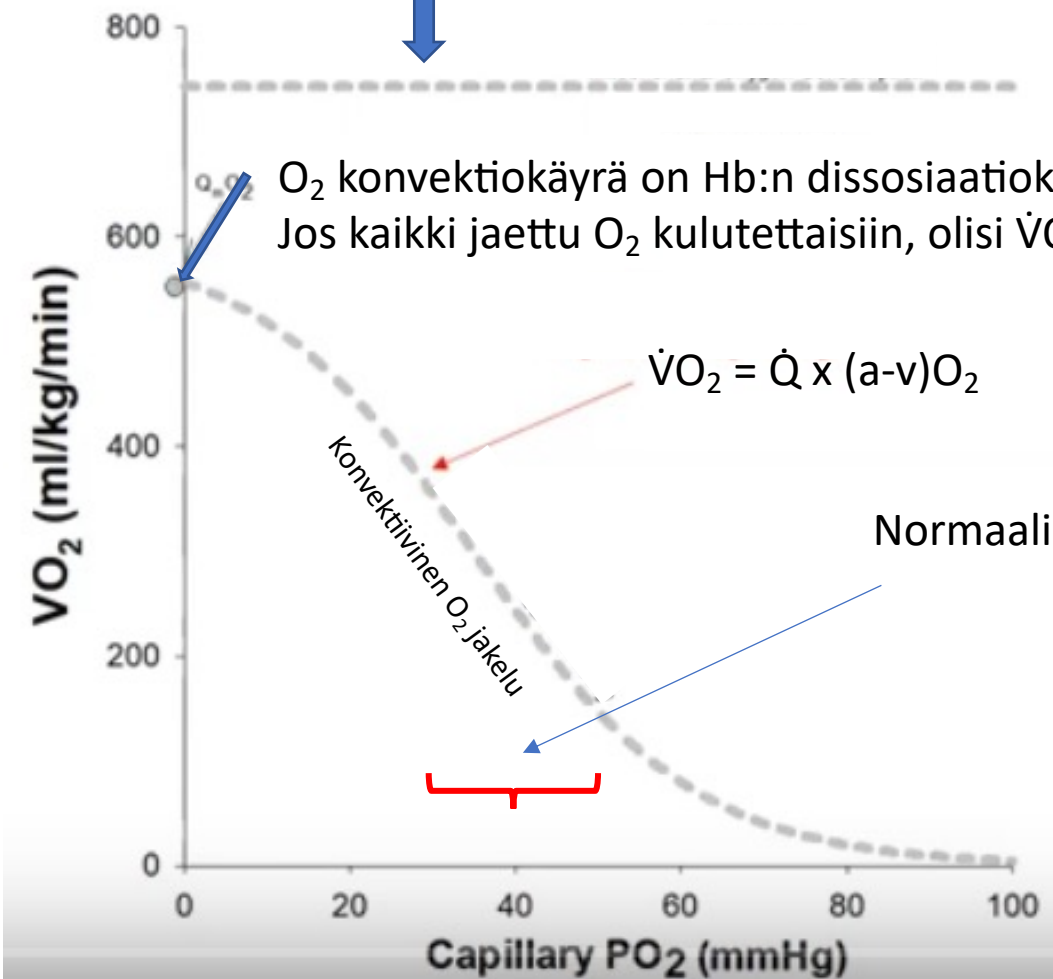
Gifford J, 2019.

Fickin periaate: $\dot{V}O_{2max:n}$ kannalta on alhainen P_{capO₂} hyvä asia.



Fickin periaate konvektiivisesta O₂ jakelusta: $\dot{V}O_2 = \dot{Q} \times (a-v)O_2$

Mitokondrioiden maksimaalinen kyky kuluttaa happea. **1**



O₂ konvektiokäyrä on Hb:n dissosiaatiokäyrän peilikuva. Jos kaikki jaettu O₂ kulutettaisiin, olisi $\dot{V}O_2$ täällä. **2**

$$\dot{V}O_2 = \dot{Q} \times (a-v)O_2$$

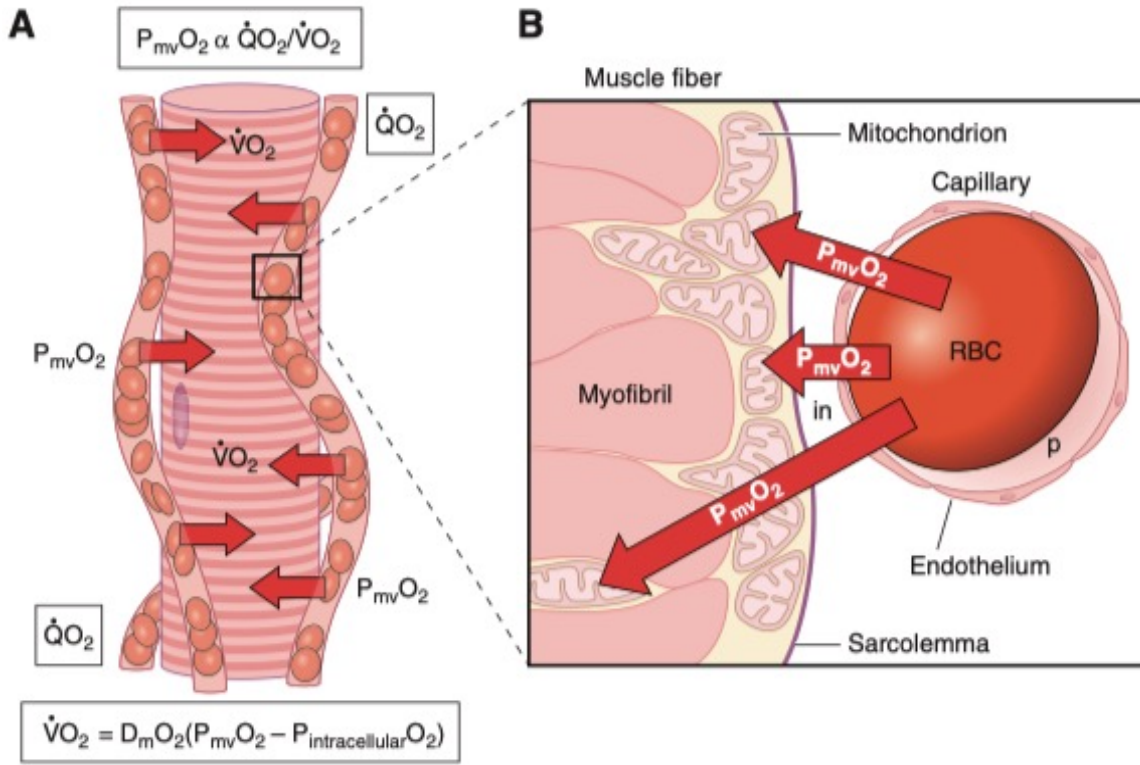
Normaali PcapO₂ **3**

Fickin periaate: $\dot{V}O_{2max:n}$ kannalta on alhainen PcapO₂ hyvä asia.

Gifford J, 2019.



Mikä määrittää kapillaareista mitokondrioihin diffusoituvan O₂:n määrän?

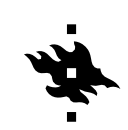


Fickin diffuusiolaki

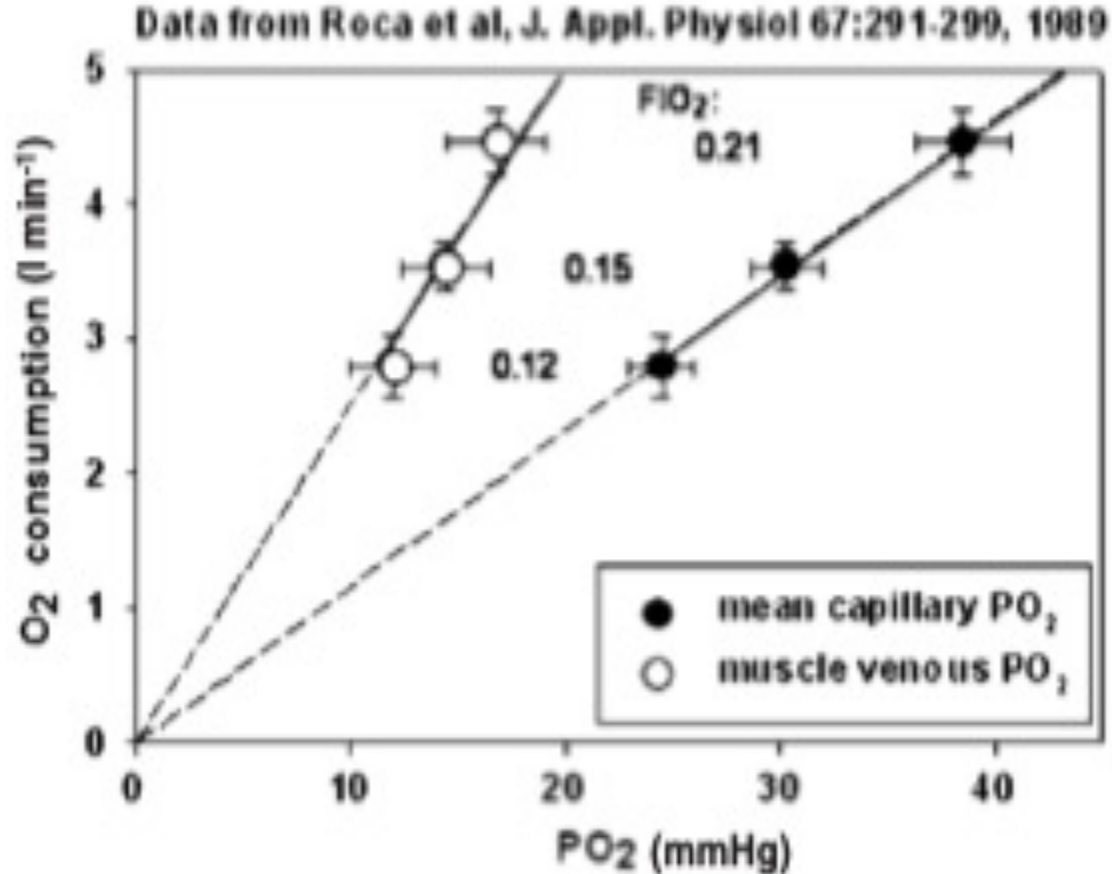
Diffuusio (ml/min/mmHg) =

$$\frac{\text{Vakio} \times (\text{Kaasujenvaihdon pinta-ala}) \times (\text{Paine1} - \text{Paine2})}{\text{Kalvorakenteiden paksuus}}$$

- Veren jakelu oikeisiin lihassoluihin
- Kapillaaritiheys
- Etäisyys kapillaareista mitokondrioihin
- Punasolujen määrä kapillaarissa
- Mean Transit Time (MTT)
- Kapillaarin PO₂



Fickin diffuusiolaki: $\dot{V}O_2 = \dot{D}O_2 \times (P_{cap}O_2 - P_{mito}O_2)$



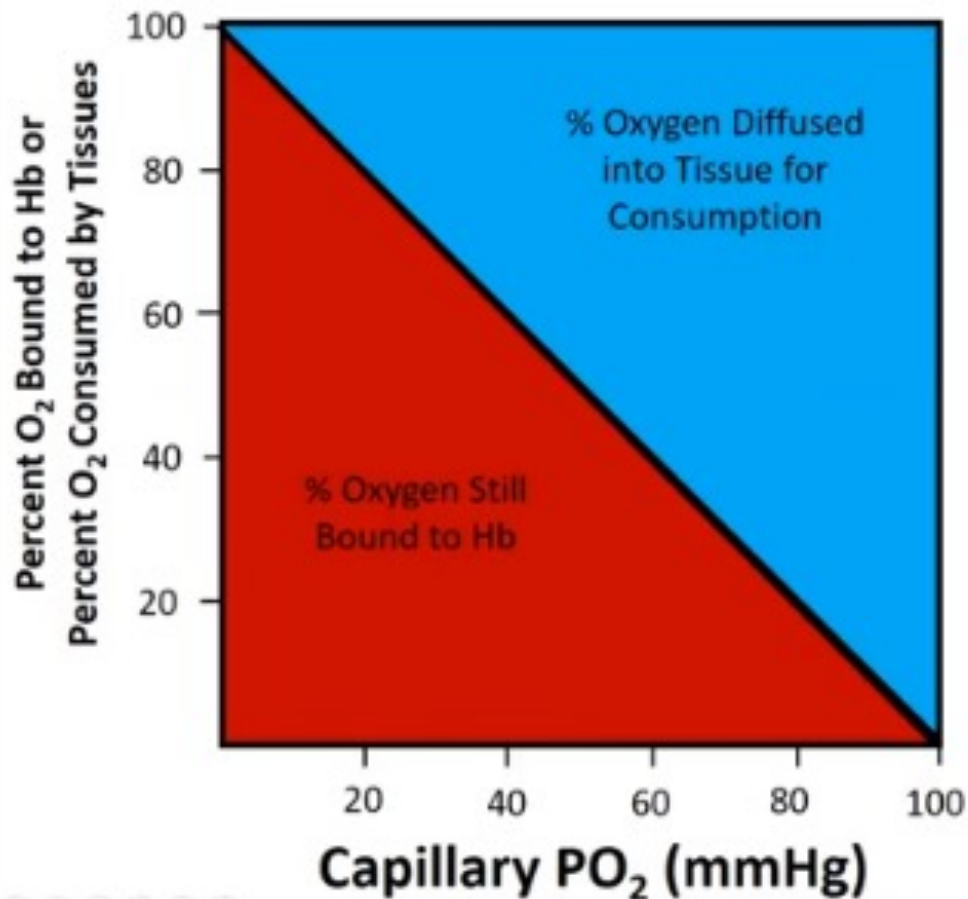
FIO₂

- 0.21 merenpinnan taso
- 0.15 ~ 3 000 m
- 0.12 ~ 5 000 m
- $\dot{V}O_{2max}$, PvO₂ ja PcapO₂ muuttuvat FIO₂:n mukaan
- Tämä heijastaa diffuusiolakia
 - $\dot{V}O_2 = \dot{D}O_2 \times (P_{cap}O_2 - P_{mito}O_2)$
 - $\dot{V}O_2 = \dot{D}O_2 \times k \times PvO_2$

Wagner PD. J Breath Res 2 (024001), 2008.

Fickin diffuusiolaki: $\dot{V}O_{2max:n}$ kannalta on korkea PcapO₂ hyvä asia.

Fickin diffuusiolaki: $\dot{V}O_2 = \dot{D}O_2 \times (P_{\text{cap}}O_2 - P_{\text{mito}}O_2)$

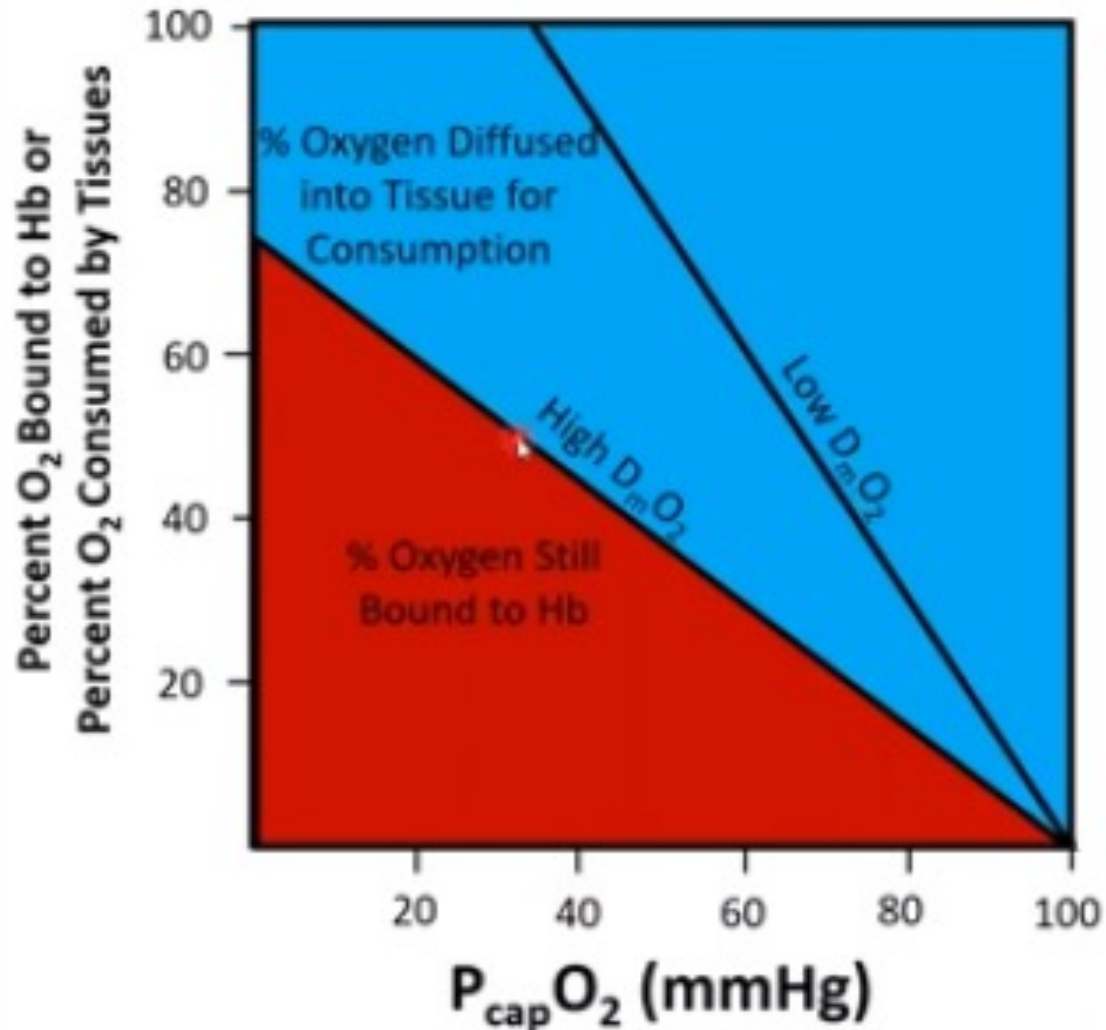


Gifford J, 2019.

- $\dot{D}O_2$ = Diffuusiokapasiteetti (ml O₂/min/mmHg)
 - Diffuusiosuoran kulmakerroin
- $P_{\text{mito}}O_2 \sim 1-3$ mmHg
- $P_{\text{cap}}O_2 \uparrow \rightarrow \dot{V}O_2 \uparrow$
- Jos $P_{\text{cap}}O_2$ on korkea $\rightarrow \Delta PO_2$ on suuri \rightarrow paljon O₂ voi diffusoitua $\rightarrow \dot{V}O_2 \uparrow$
- Jos $P_{\text{cap}}O_2$ on alhainen $\rightarrow \Delta PO_2$ on pieni \rightarrow O₂ ei voi diffusoitua paljoa $\rightarrow \dot{V}O_2 \downarrow$
- Tärkeä ero
 - Fickin periaate: Pieni $P_{\text{cap}}O_2 \rightarrow \dot{V}O_2 \uparrow$
 - Fickin diffuusiolaki: Suuri $P_{\text{cap}}O_2 \rightarrow \dot{V}O_2 \uparrow$

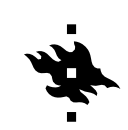


Fickin diffuusiolaki: $\dot{V}O_2 = \dot{D}O_2 \times (P_{\text{cap}}O_2 - P_{\text{mito}}O_2)$

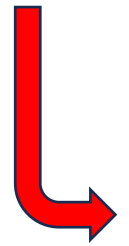


- $\dot{D}O_2$ = Diffuusiokapasiteetti (ml O_2 /min/mmHg)
 - Diffuusiosuoran kulmakerroin
- Suuri $\dot{D}O_2 \rightarrow$ paljon O_2 :a voi diffusoitua, vaikka $P_{\text{cap}}O_2$ on alhainen.
- Pieni $D_m O_2 \rightarrow$ vain vähän O_2 :a voi diffusoitua kapillaareista lihakseen, kun $P_{\text{cap}}O_2$ on alhainen.
- Kestävyysharjoittelu suurentaa $\dot{D}O_2$:a.

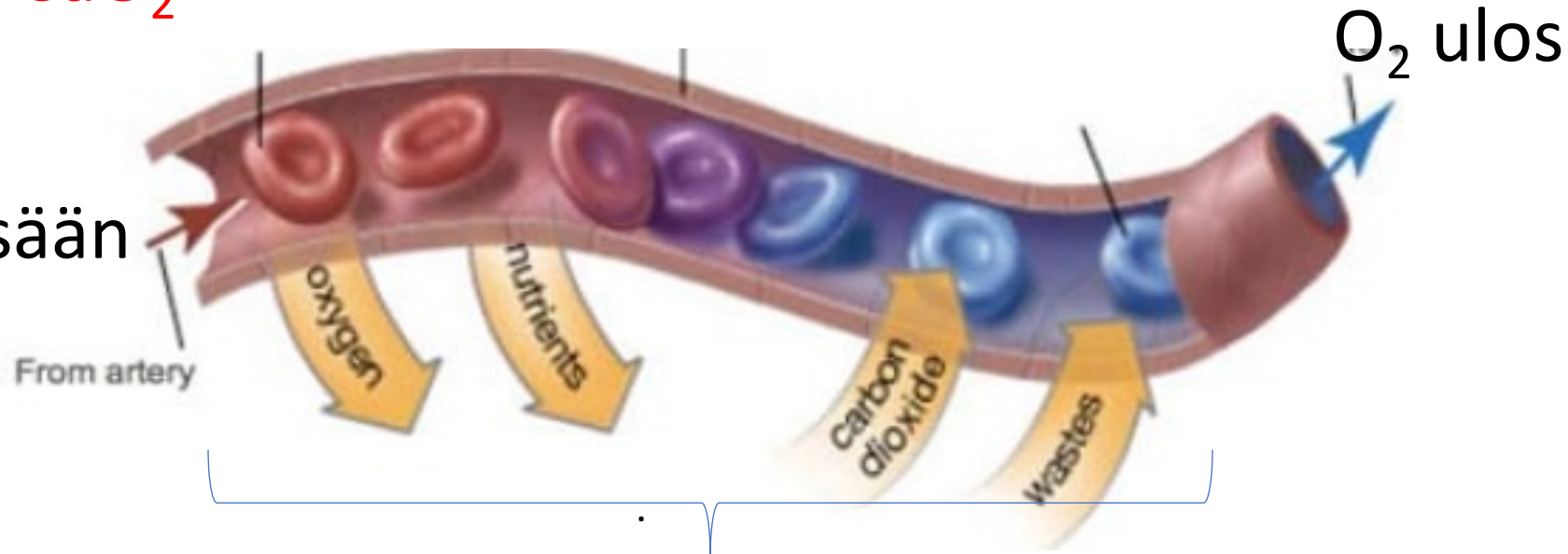
Modified from Gifford J, 2019.



suuri \dot{Q} ja CaO_2



O_2 sisään



DmO_2

Fickin diffuusiolaki

- KORKEA PO_2 on hyvä

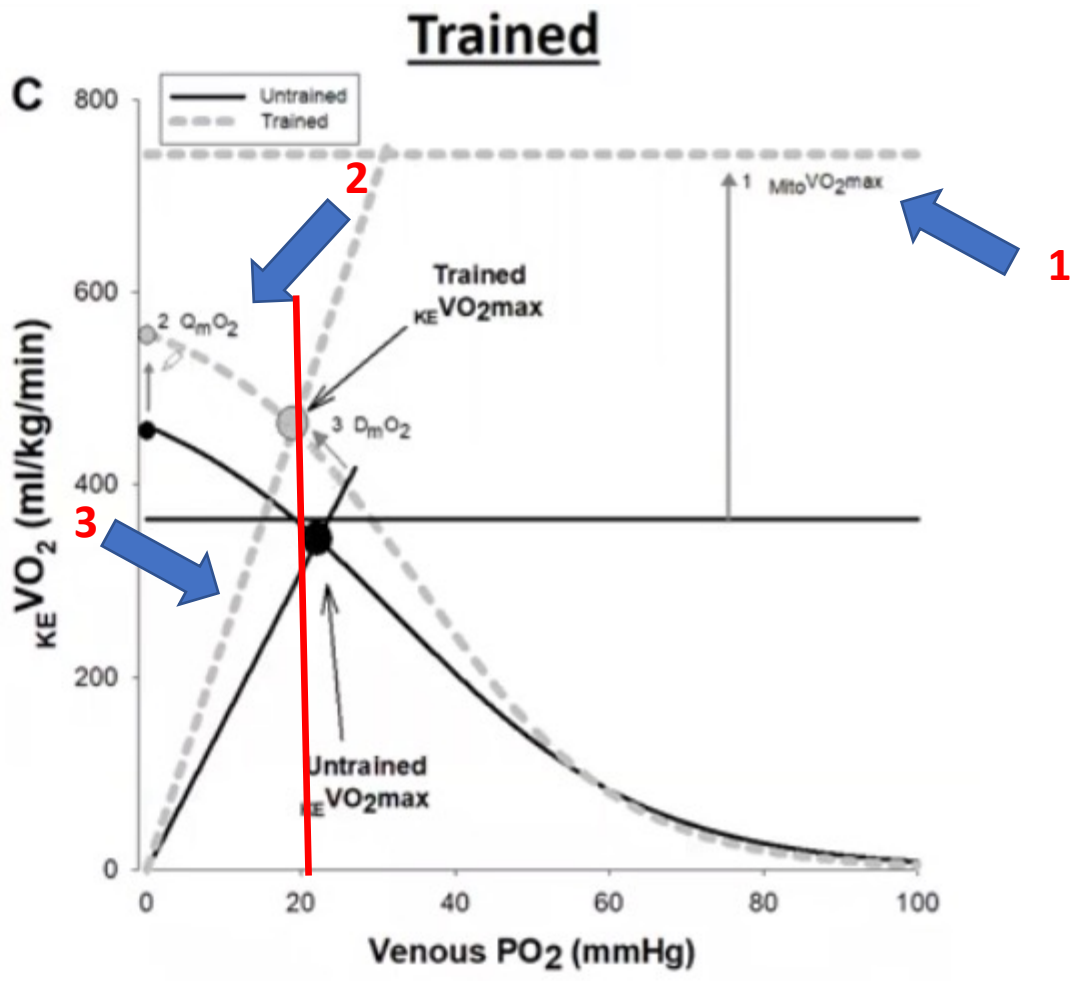
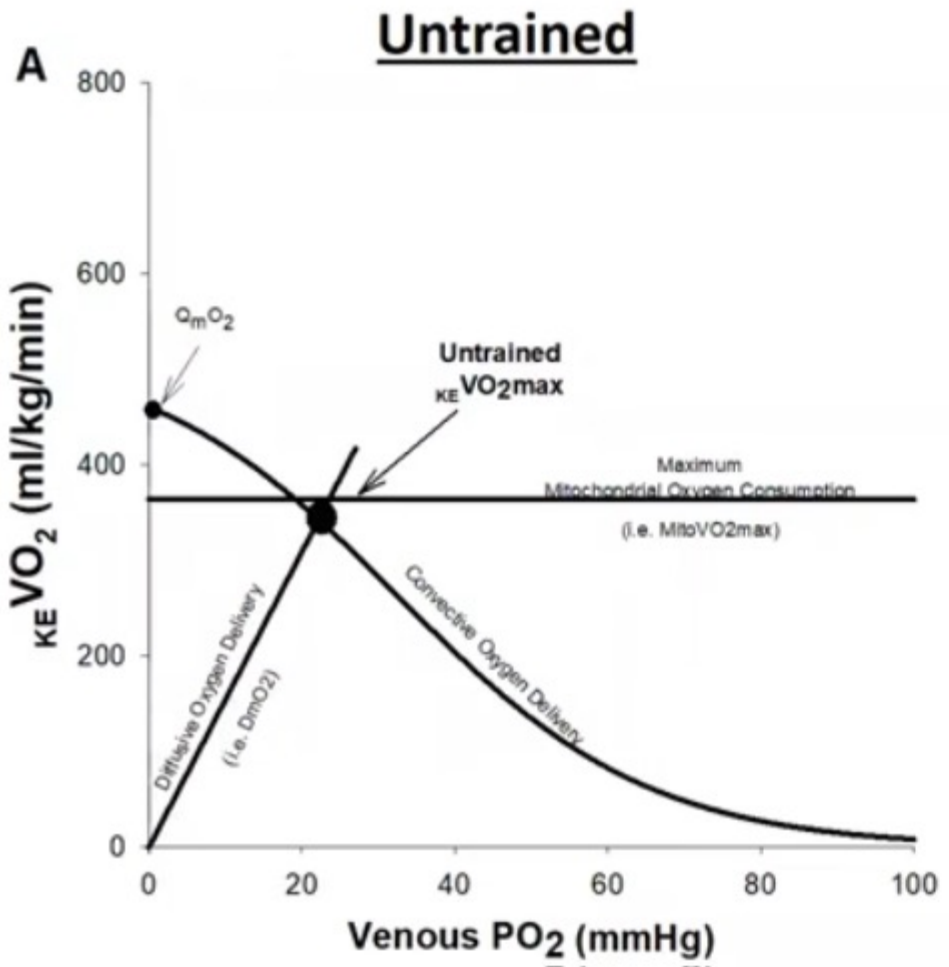
Fickin periaate

- ALHAINEN PO_2 on hyvä

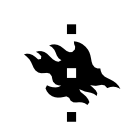
Korkea PO_2 kapillaarin alussa + Suuri $\dot{D}O_2 \rightarrow$ Alhainen PO_2 kapillaarin lopussa \rightarrow Suuri $(a-v)O_2 \rightarrow$ Suuri $\dot{V}O_2$



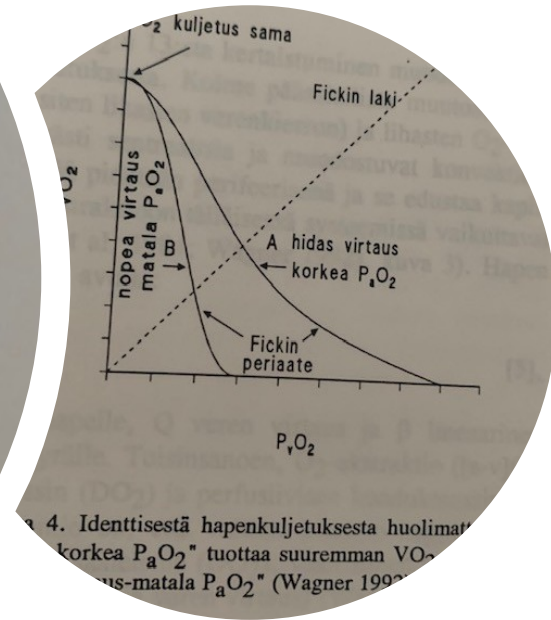
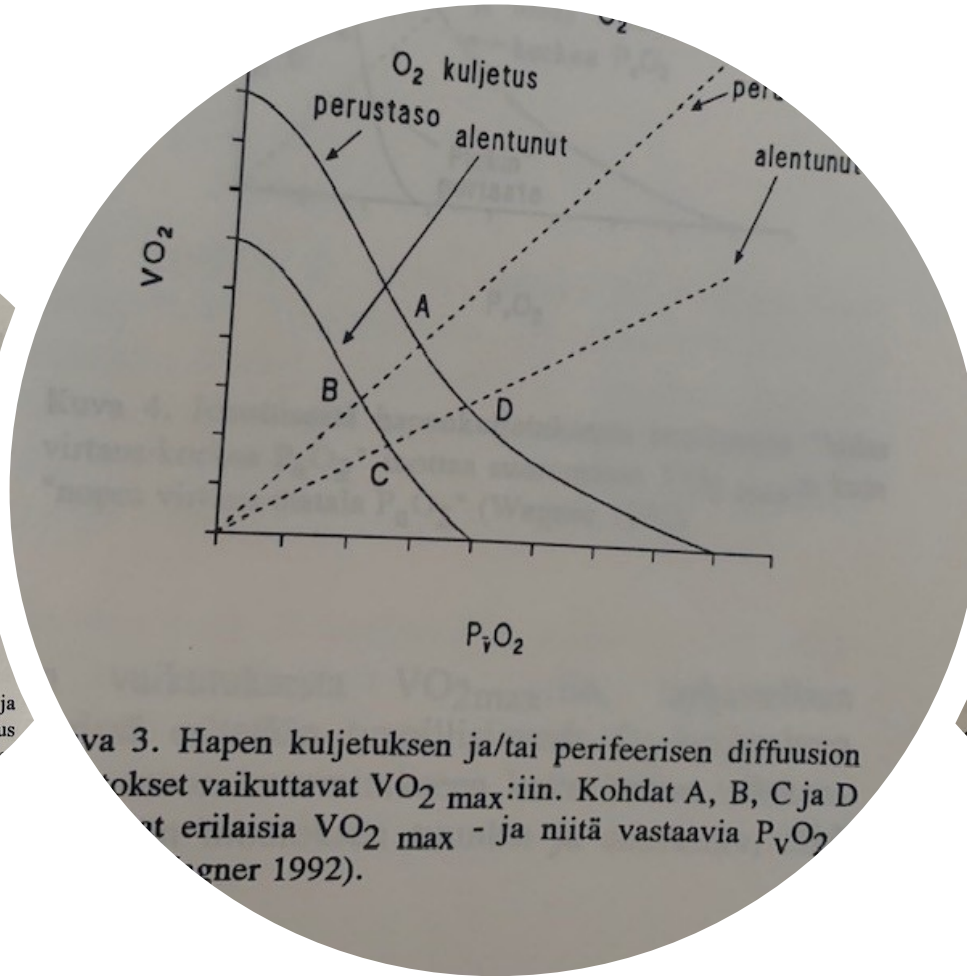
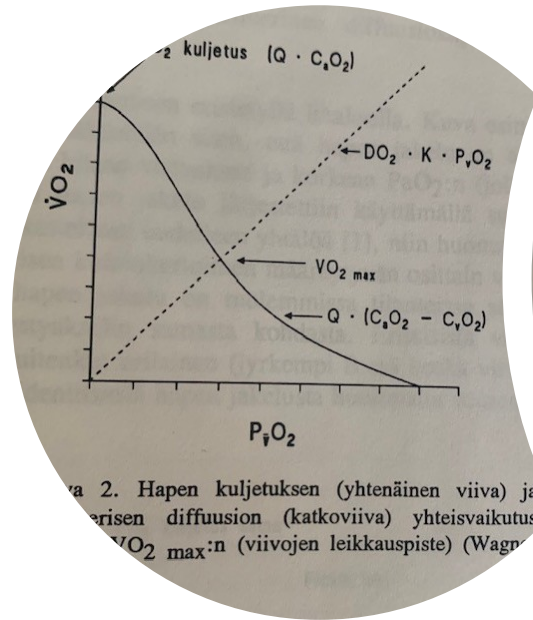
Miksi $\dot{V}O_{2max}$ kasvaa harjoittelulla?



Muokattu lähteestä Gifford J et al. J Physiol 594.6:1741–1751, 2016.
KE = Knee extension exercise.



1990-luvun alussa



Peltonen J (1994) Hengitysilman happiosapaineen vaikutus maksimaaliseen hapenottokykyyn ja lihasväsymykseen ergometrisoudussa. Liikuntabiologian laitos, Liikuntatieteellinen tiedekunta, Jyväskylän yliopisto, Jyväskylä. Licensiaattityö, liikuntafysiologia.

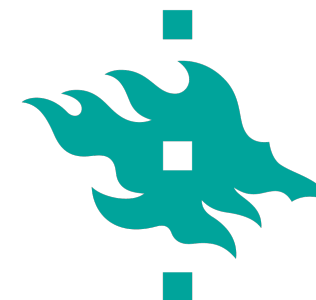


EP2 FINLAND

ENVIRONMENTAL EXERCISE PHYSIOLOGY PROGRAM



HULA - Helsingin urheilulääkäriasema
Urheilulääketieteen säätiö sr



HELSINGIN YLIOPISTO
LÄÄKETIETEELLINEN TIEDEKUNTA