

**Korkeanpaikan
harjoittelu**

Ari Nummela,

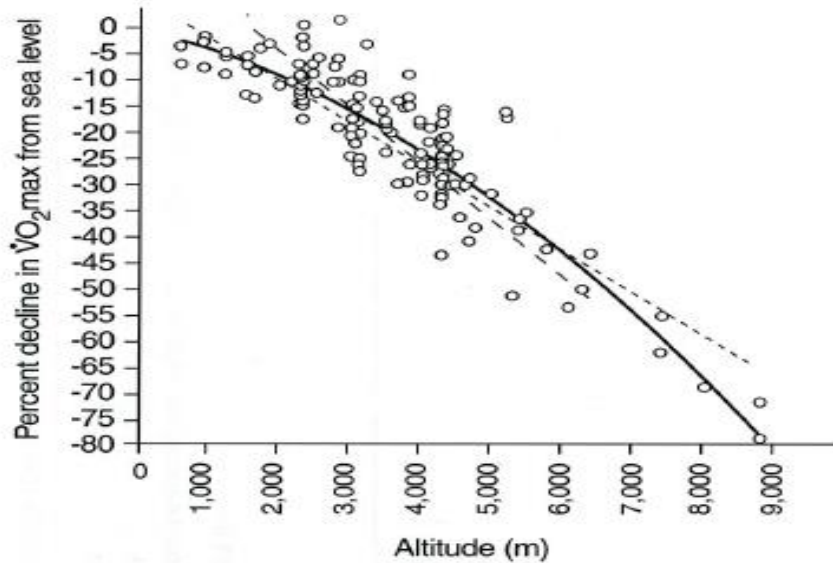
8.11.2017

Jyväskylän yliopisto,
liikuntatieteellinen
tdk, LBIA028

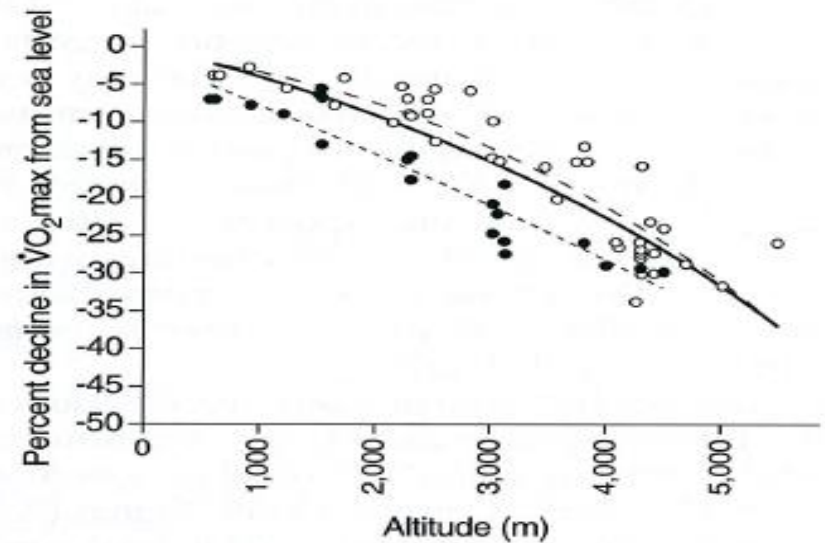




Korkeuden vaikutus VO₂max:iin



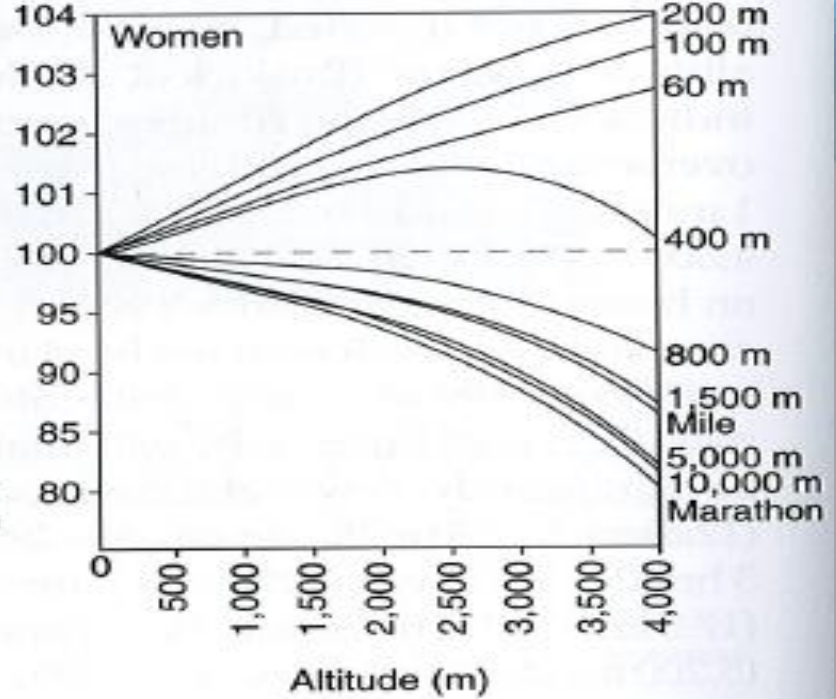
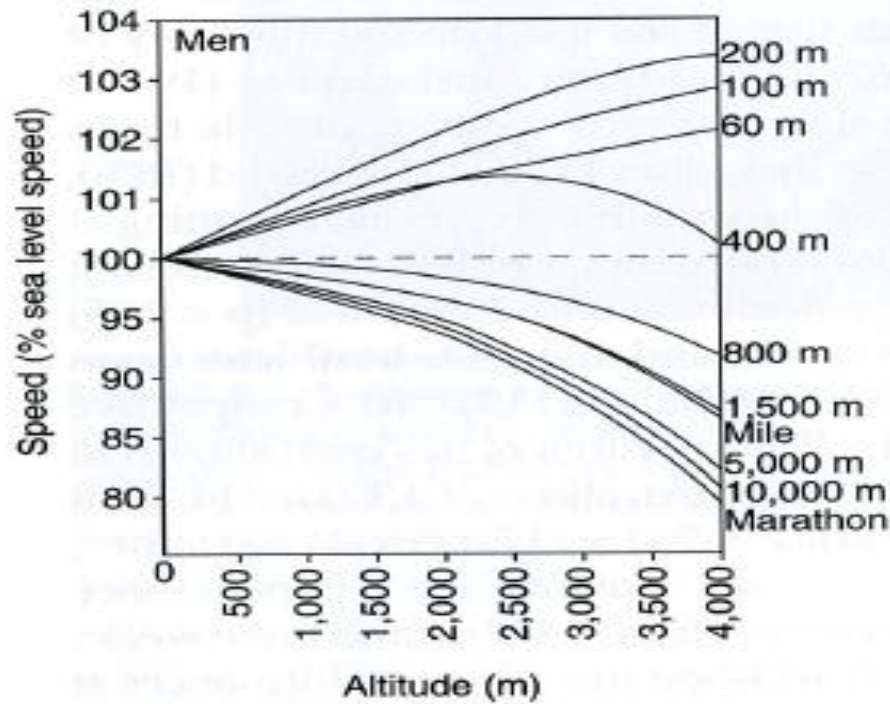
Korkeus vaikuttaa VO₂max:iin noin 7% jokaista 1000 m kohti (Fulco et al. 1998)



Korkeuden vaikutus on suurempi parempi kuntoisilla (>63 ml/kg/min, musta ympyrä) kuin heikompi kuntoisilla (<51 ml/kg/min) (Fulco et al. 1998)



Korkeuden vaikutus juoksusuorituskykyyn





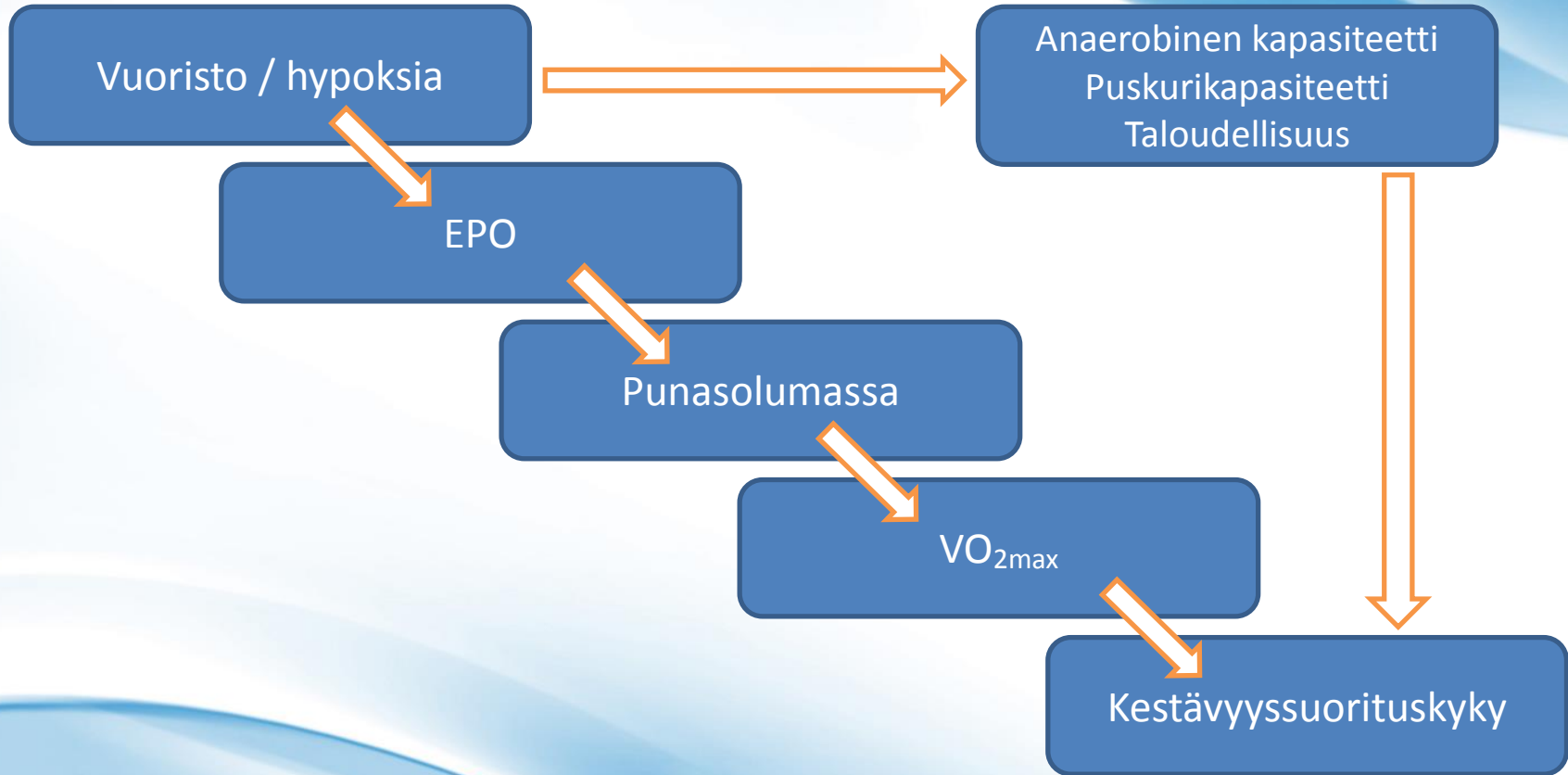
Vuoristoharjoittelu

Miksi mennä vuoristoon harjoittelemaan?

1. Kun halutaan lisätä punasolumassaa → hapenottokykyä
2. Kun halutaan parantaa suorituskykyä kestävyys- / nopeuskestävyyslajeissa
3. Pistesijan ja mitalisijan välinen ero on kestävyyslajeissa usein alle 0,5 %, mikä on vähemmän kuin vuoristoharjoittelulla voidaan saavuttaa
4. Kun ollaan menossa kilpailemaan vuoristoon
5. Kun halutaan hiihtää lumella



Vuoristoharjoittelun fysiologiset vaikutukset





VO_{2max} vs. Hb-massa ja Hb-konsentraatio

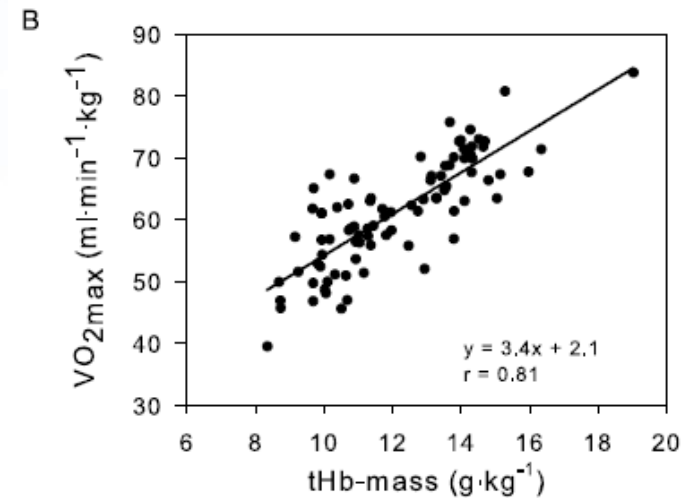
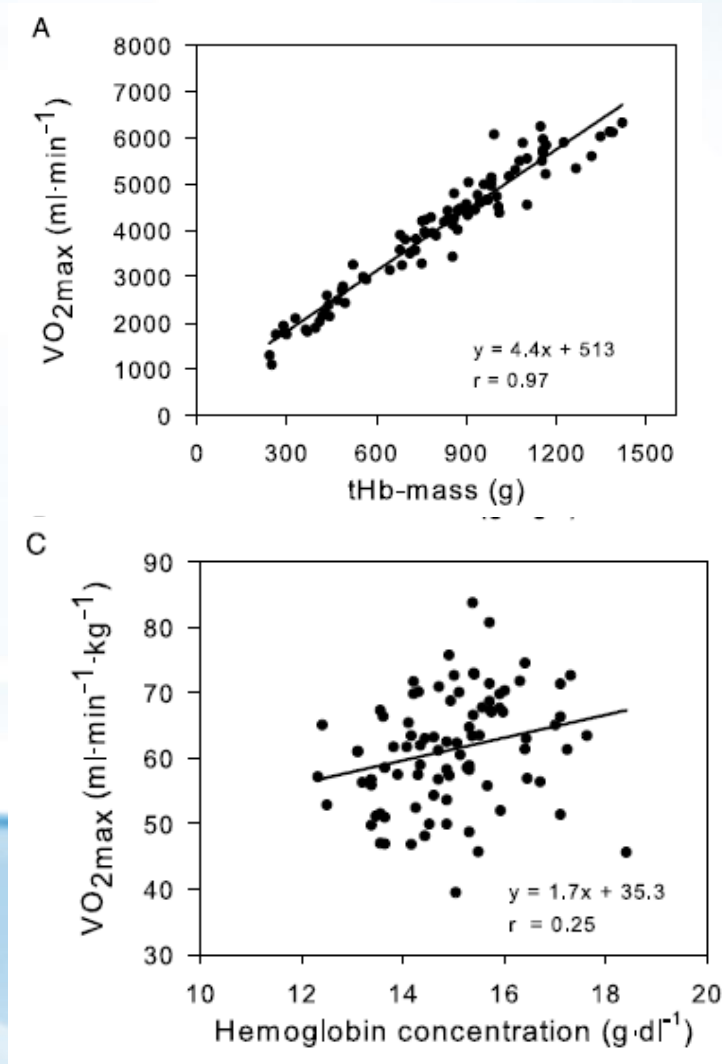


Figure 2. Relationship between absolute maximal oxygen uptake (VO_{2max}) and absolute total hemoglobin mass (tHb-mass) (A), as well as between normalized VO_{2max} and body-mass related tHb-mass (B), and hemoglobin concentration (C) obtained from cross-sectional studies. Presented are data from boys aged 9–14 yr, fit untrained subjects, leisure sport athletes, elite runners, and elite rowers (32).



$\dot{V}O_{2\max}$ vs. Hb-massa, veritilavuus ja minuuttivolyymi

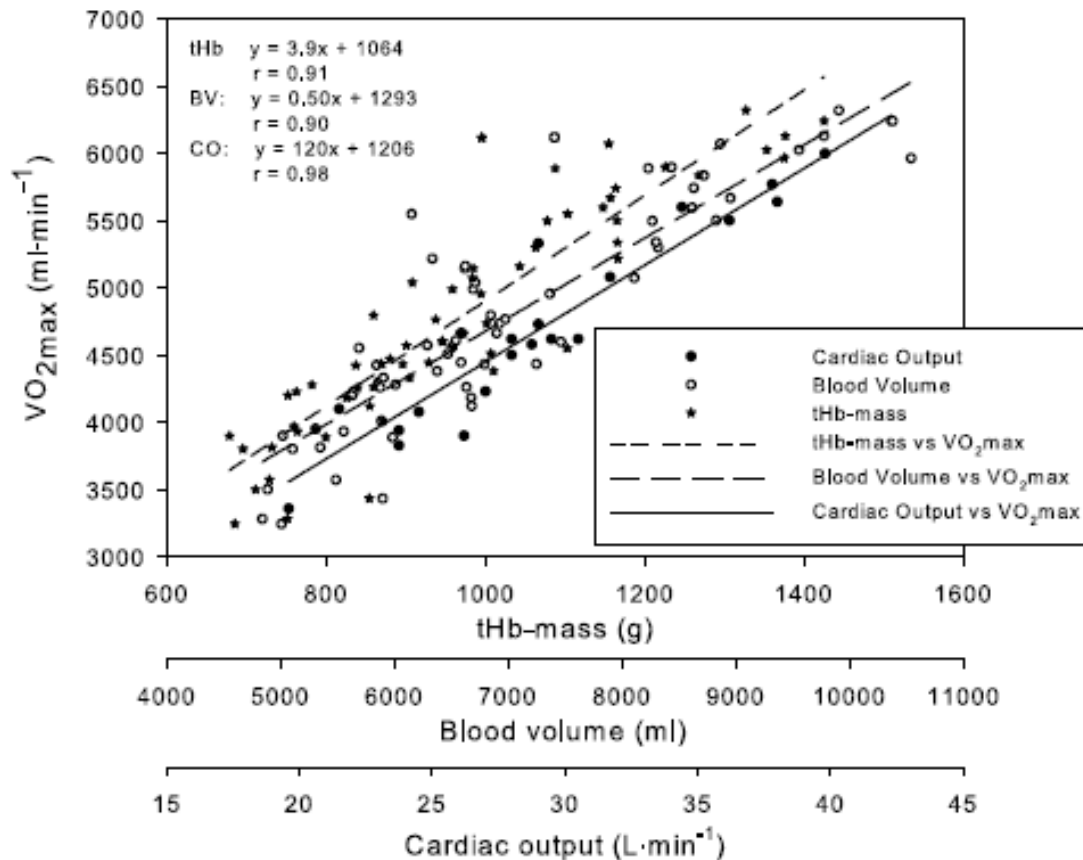


Figure 3. Relationship between maximal oxygen uptake ($\dot{V}O_{2\max}$) and total hemoglobin mass (tHb-mass), blood volume (BV), and cardiac output (CO). Data for cardiac output are obtained from (6); data for tHb-mass and BV are obtained from (32).



Vuoristoharjoittelun parhaat käytänteet

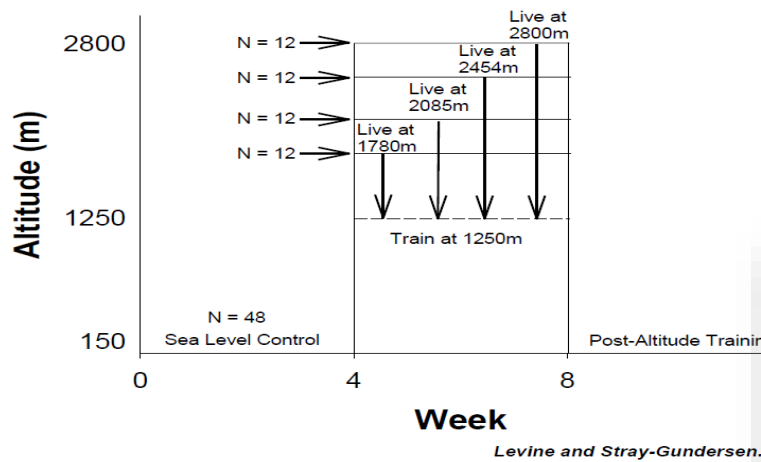
Tärkeät kysymykset:

- Kuinka korkealle asumaan?
- Millä korkeudella harjoitella?
- Kuinka kauan?
- Milloin kannattaa palata meren pinnan tasolle ennen kauden pääkilpailua?
- Miten sopeutumista ja harjoittelua kannattaa seurata korkealla?
- Hyötyykö kaikki korkean paikan harjoittelusta?
- Sairastuuko vuoristossa helpommin?
- Voiko vuoristoharjoittelun tyriä perusteellisesti?

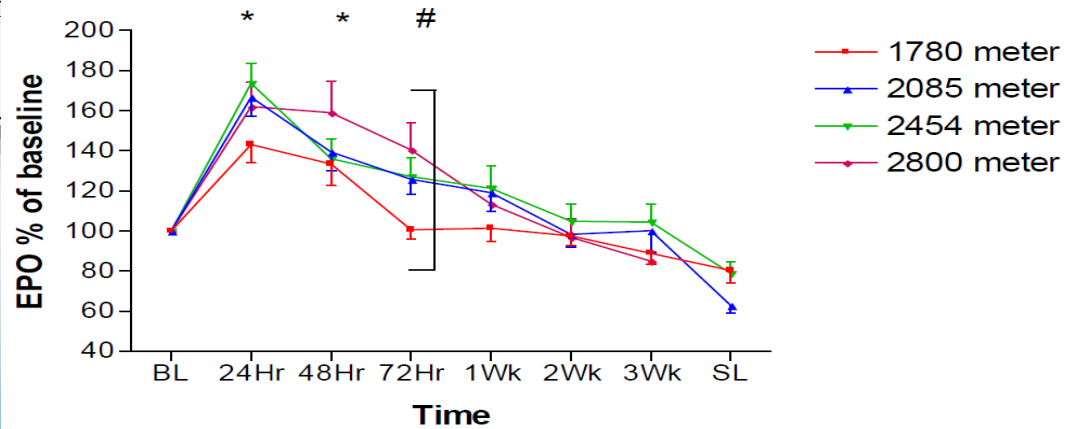


Kuinka korkealle asumaan?

Study Design



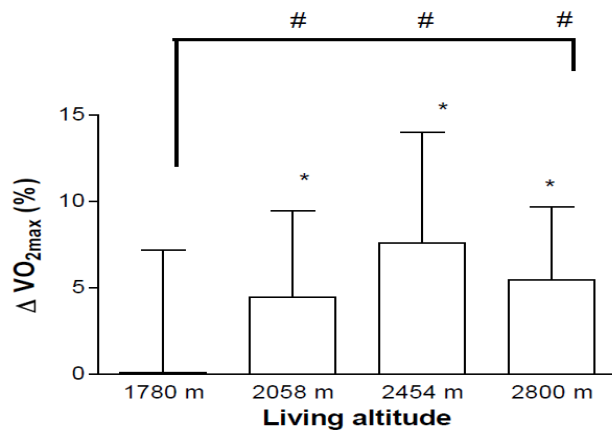
Acute and Chronic EPO Response to Altitude



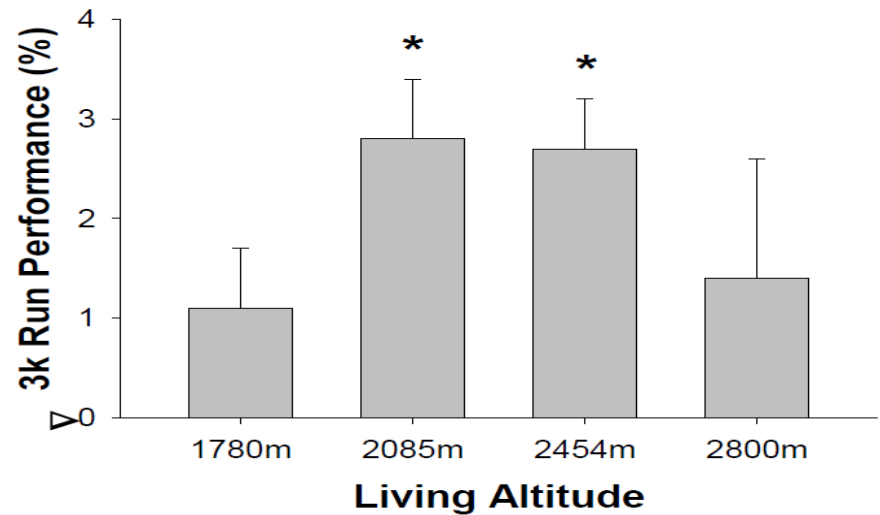


Kuinka korkealle asumaan?

Change in Sea Level $\text{VO}_{2\text{max}}$ After 4 Weeks of Hi-Lo



Change in Sea Level 3k Run Performance After 4 Weeks of Hi-Lo



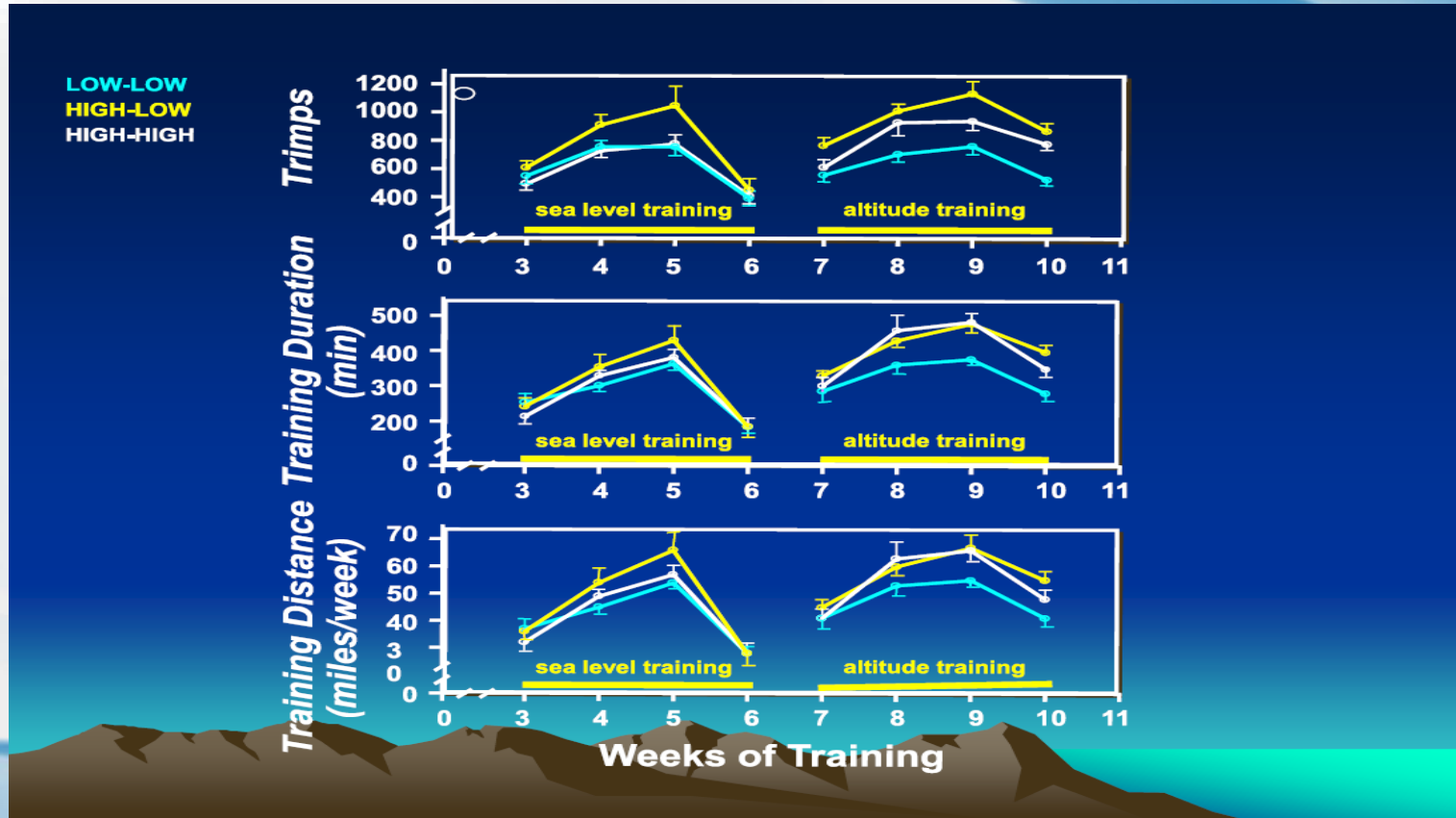


Kuinka korkealle asumaan?

- Verimuuttujia ja suorituskykyä ajatellen optimi korkeus on 2100 – 2500 m
- < 1800 m ei saa aikaan merkittäviä muutoksia punasolumassassa
- > 2800 m ei saa aikaan merkittävää punasolumassan lisääystä, kun lisätään muut sopeutumiseen vaikuttavat tekijät, jotka vaikuttavat negatiivisesti suorituskykyyn

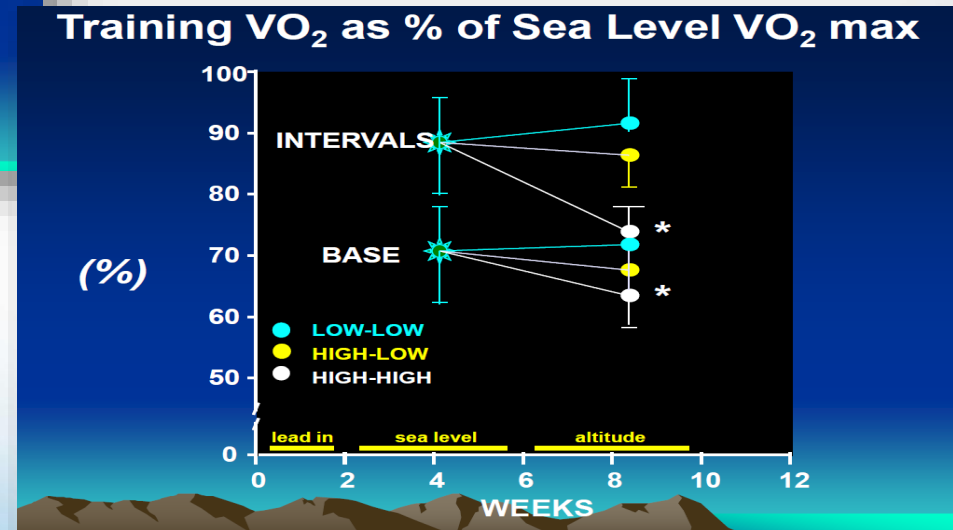
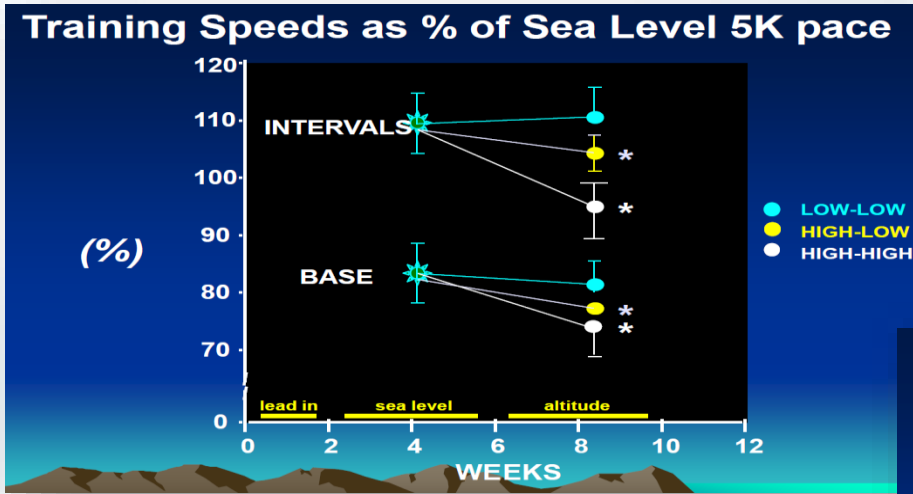


Kuinka korkealla harjoitella?



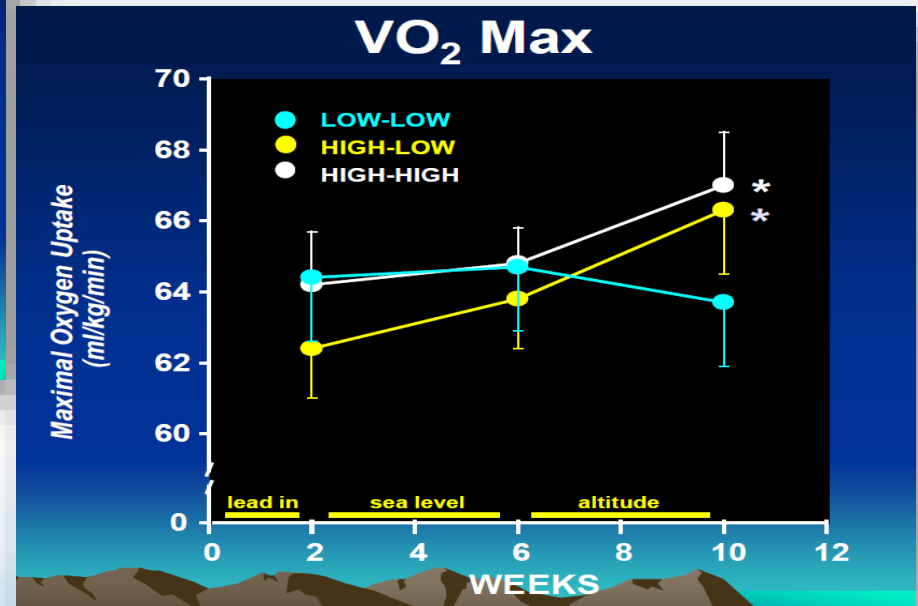
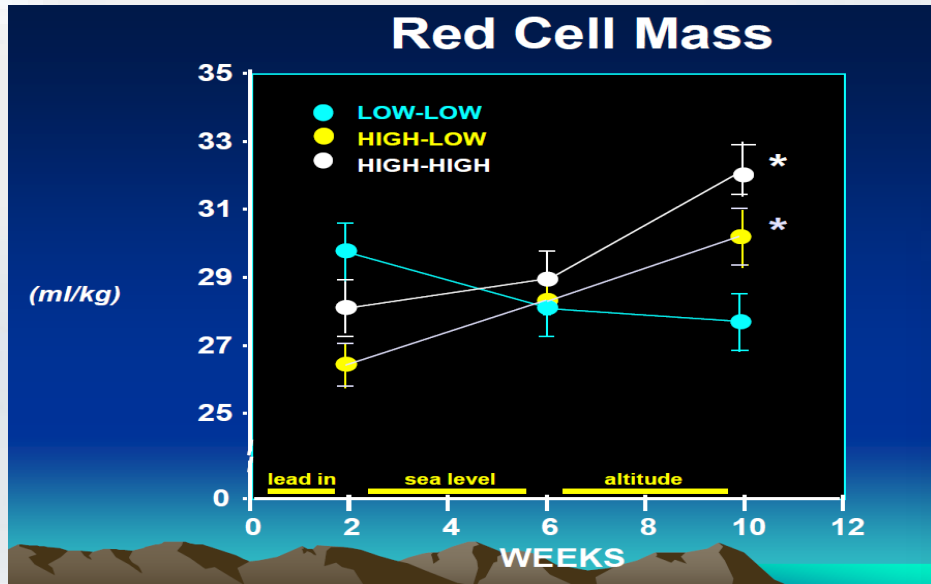


Kuinka korkealla harjoitella?





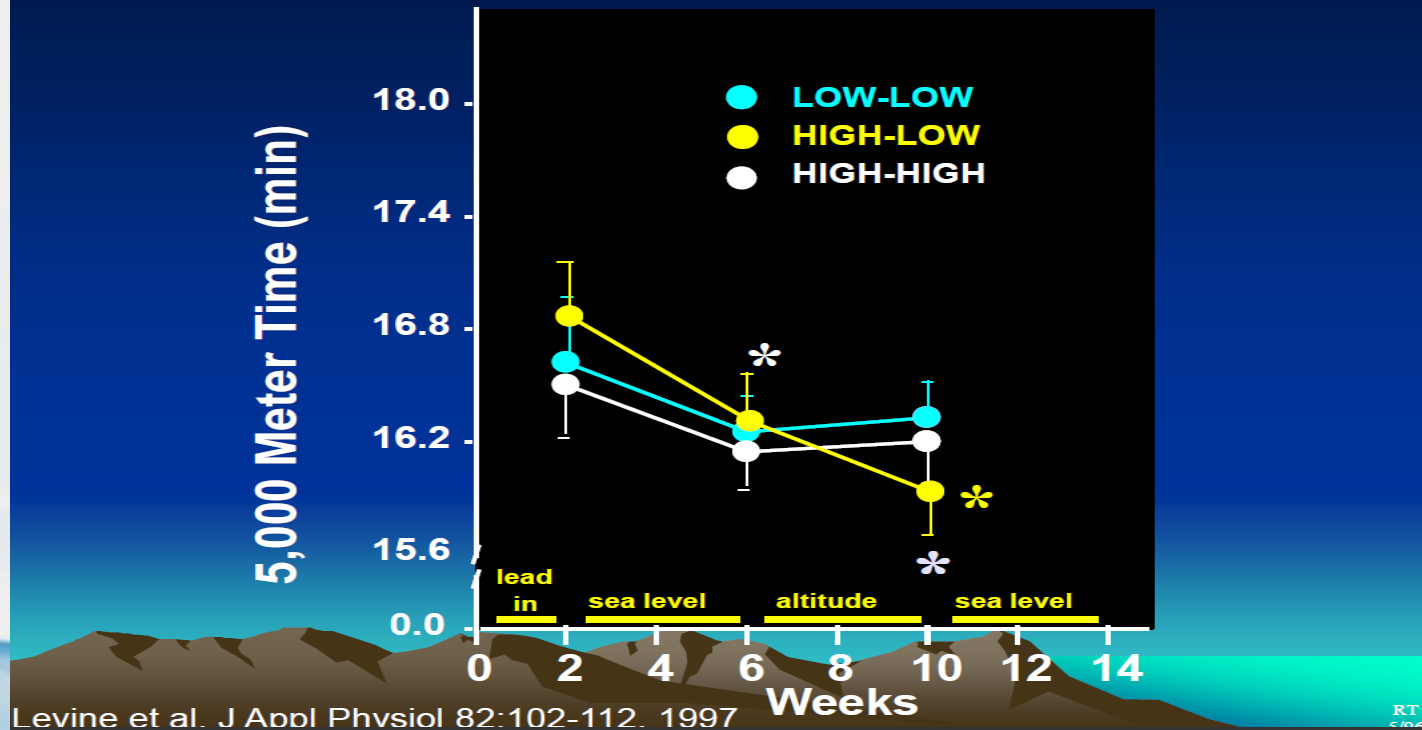
Kuinka korkealla harjoitella?





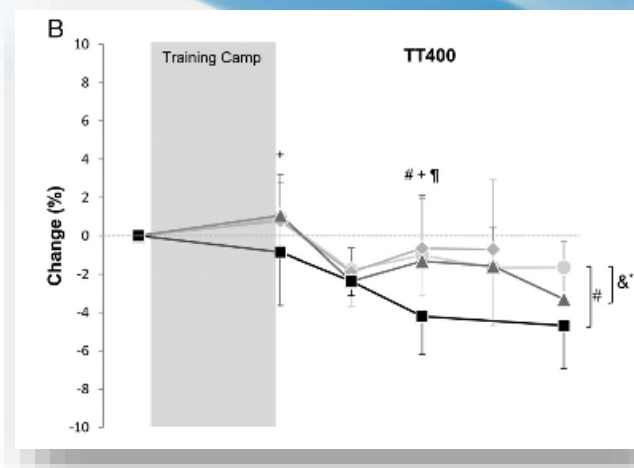
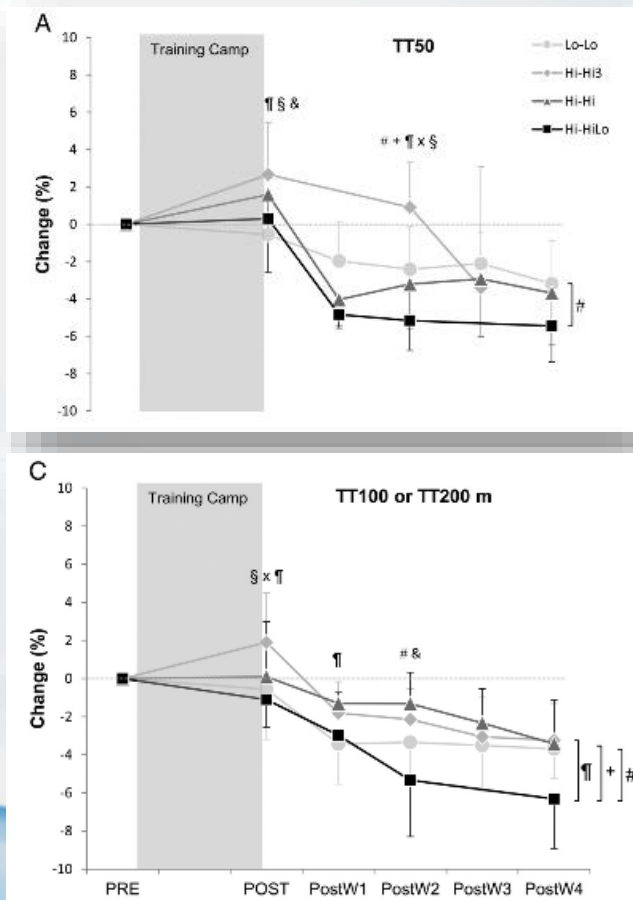
Kuinka korkealla harjoitella?

Only High-Low Improves Performance





Vaikutukset suorituskykyyn



Neljän tai kolmen viikon korkeanpaikan harjoittelu huippu-uimareilla (34 naista ja 27 miestä) 2320 m korkeudessa Sierra Nevadassa

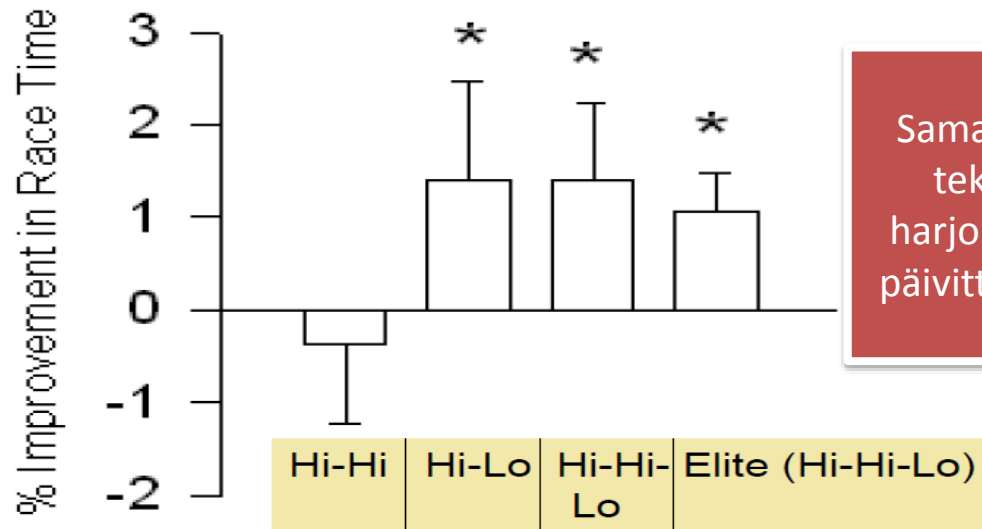
Suorituskyky parani HiHiLo –ryhmällä (4-6 %) meren pinnan tason ryhmään verrattuna (2-4 %)

Rodriguez et al. 2015 MSSE



Kuinka korkealla harjoitella?

Change in Race Time with Different Models of Altitude Training



Sama harjoitusvaikutus saadaan tekemällä vain kovatehoiset harjoitukset matalalla verrattuna päivittäiseen Hi-Lo -harjoitteluun.

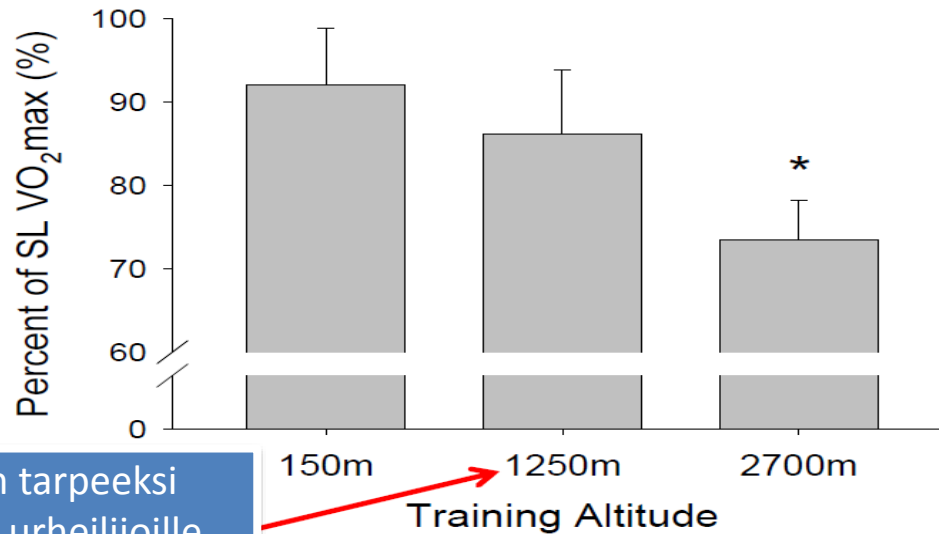
Levine and Stray-Gundersen. JAP 1997

Stray-Gundersen, Chapman, and Levine. JAP 2001



Kuinka korkealla harjoitella?

Training VO_2 at Sea Level and Altitude



Levine and Stray-Gundersen. JAP 1997

Onko 1250 m tarpeeksi matala kaikille urheilijoille harjoitustehojen ylläpitämiseksi?



Kaasujen vaihto keuhkoissa

Sisäänhengitysilma

PO_2 159 mmHg

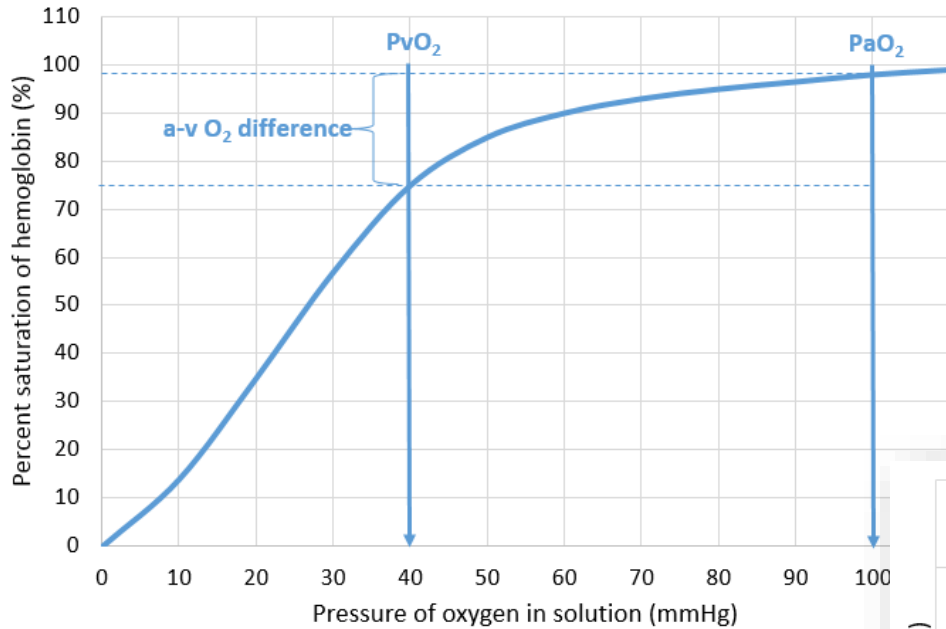
PCO_2 2 mmHg



Henryn laki: kaasujen liukeneminen nesteeseen riippuu sen paineesta ja liukoisuudesta



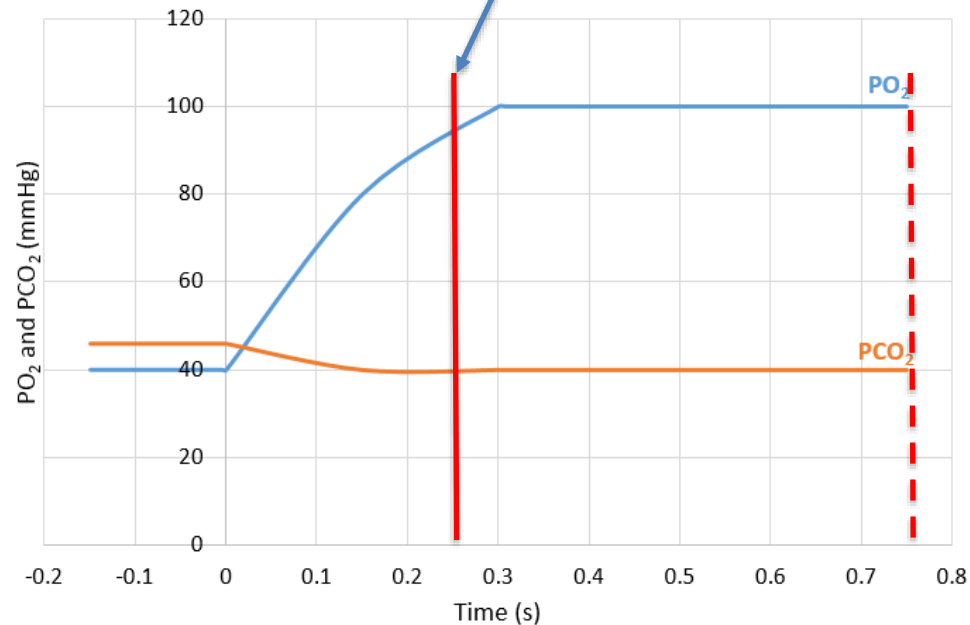
Kaasujen vaihto keuhkoissa



Kaasujenvaihto keuhkoissa on nopeaa

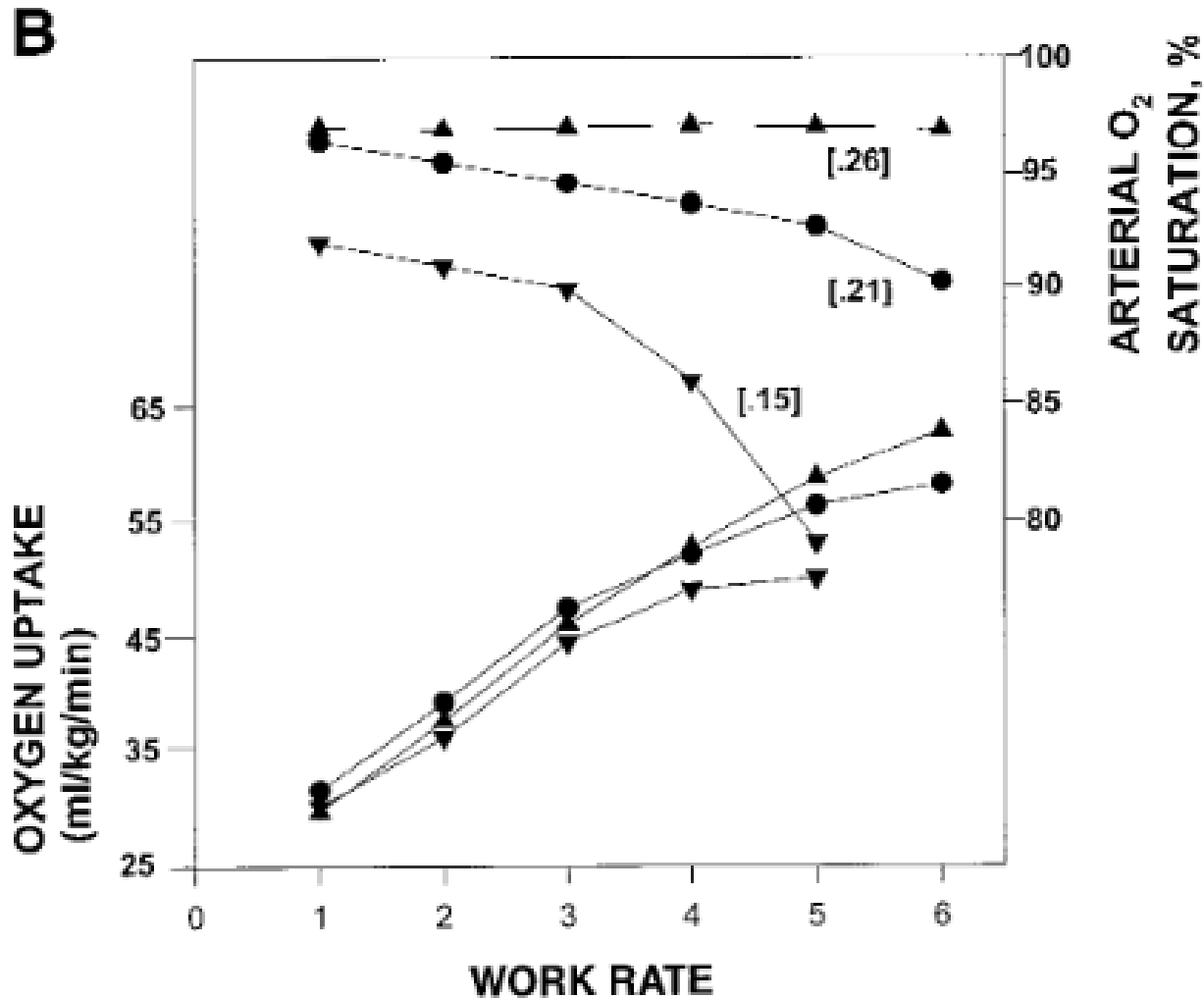
Koska CO_2 liukoisuus on 25-kertainen O_2 verrattuna, niin CO_2 liikkuu kehon nesteissä nopeammin ja pienemmällä paine-erolla

Lyhentynyt läpikulkuaika suuren minuuttivolyymin omaavilla urheilijoilla





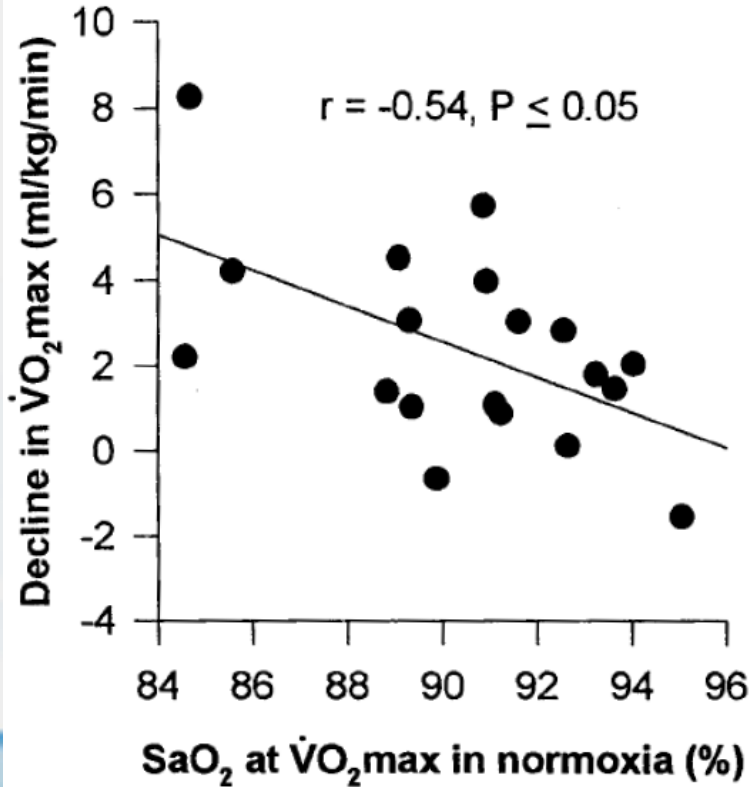
EIAH, Exercise Induced Arterial Hypoxemia



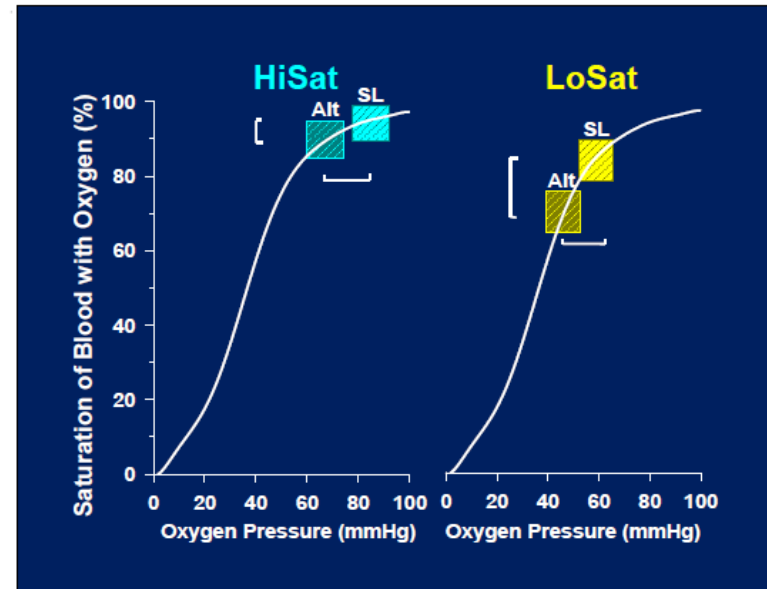


Kuinka korkealla harjoitella?

Decline in $\dot{V}O_{2\max}$ at 1000m as a Function of SaO_2



Chapman et al. MSSE 1998

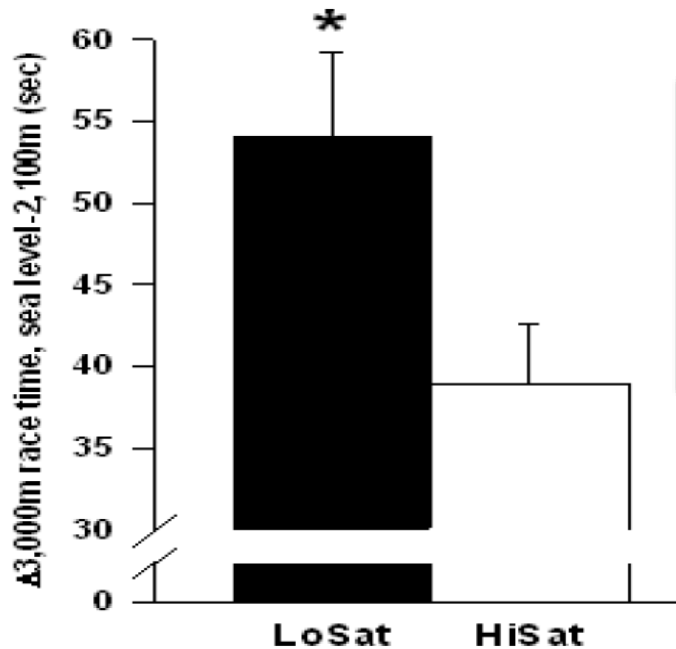


$\dot{V}O_{2\max}$ pienenee enemmän korkealla (1000 m) urheilijoilla, jotka desaturoituvat jo meren pinnan tasolla.



Kuinka korkealla harjoitella?

Change in 3000m Race Time at 2100m as a Function of SaO₂



Suorituskyky (3000 m) heikkenee enemmän korkealla (2100 m) urheilijoilla, jotka desaturoituvat jo meren pinnan tasolla.

Chapman et al. MSSE 2011



Kuinka korkealla harjoitella?

- Kovatehoiset ja pitkäkestoiset (yli 90 s) suoritukset kannattaa tehdä matalalla tai lisähapella
- < 1250 m on tarpeeksi matala useammille urheilijoille
- Kuitenkin urheilijat, joiden suorituskyky heikkenee paljon korkealla, pitäisi mennä alle 1250 m kovatehoisia harjoituksia tekemään ("mene niin matalalle kuin voit")

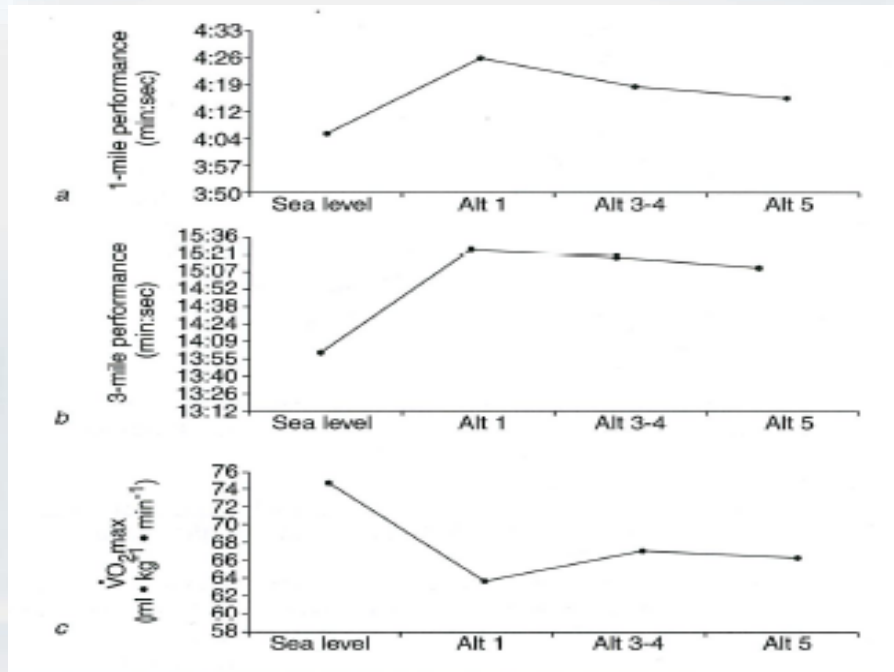


Lisähappiharjoittelu

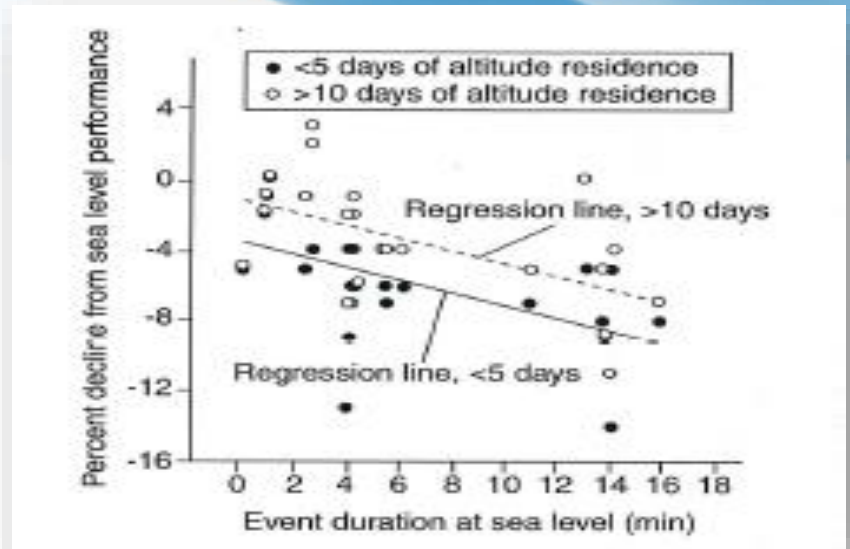




Sopeutumisajan vaikutus VO₂max:iin ja suorituskykyyn



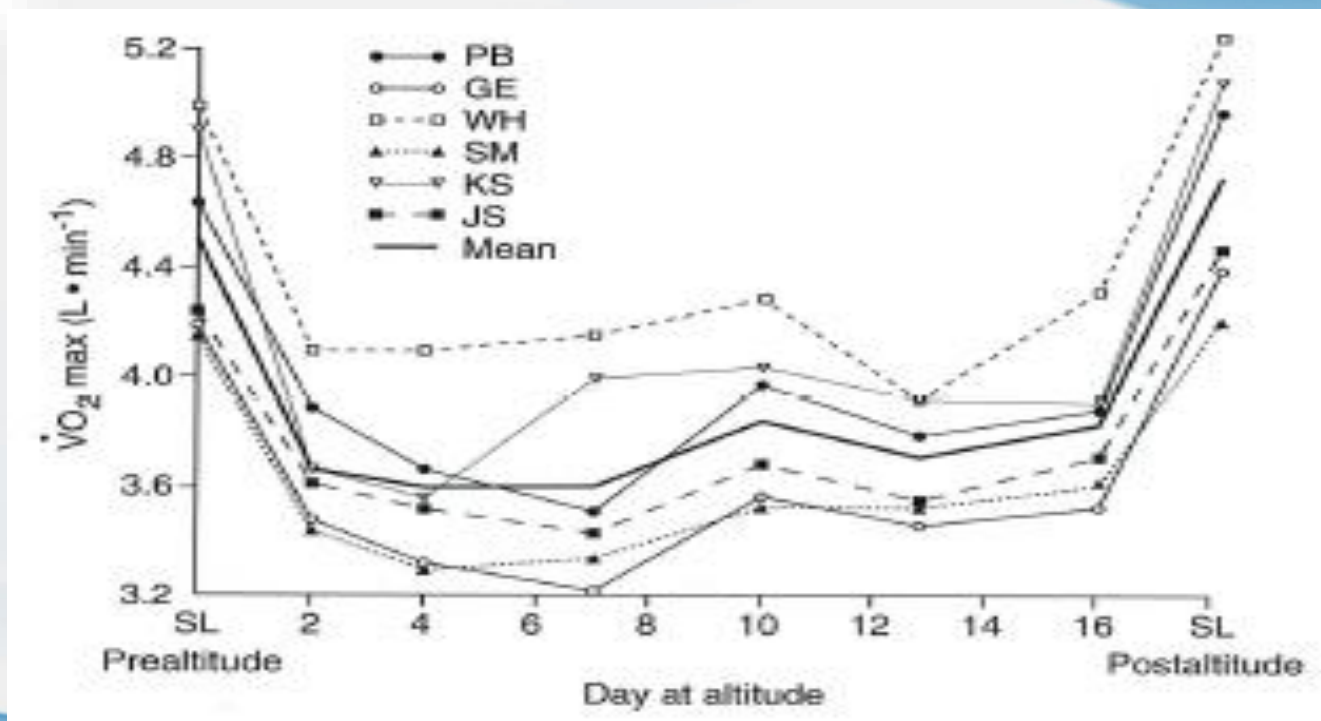
Juoksusuorituskyvyn ja VO₂max:n muutos 2300 m:n korkeudella (Daniels & Oldridge 1970)



Viiden ja 10 päivän sopeutumisaajan vaikutus eri kestosiin suorituksiin 2240 – 2800 m:n korkeudella (Fulco et al. 2000)



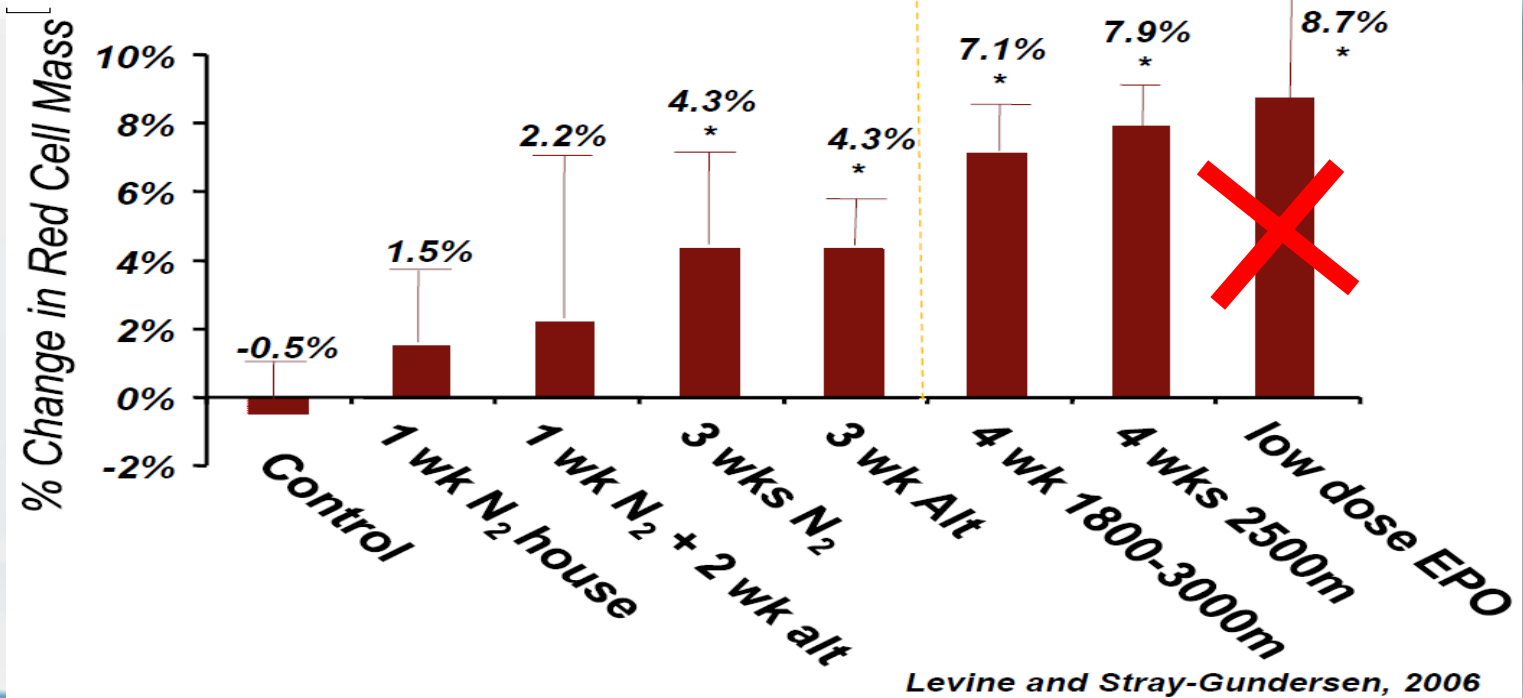
Sopeutumisajan vaikutuksen yksilöllinen vaihtelu $\dot{V}O_2\text{max}$:iin



Dill & Adams JAP 1971



Kuinka kauan korkealla?





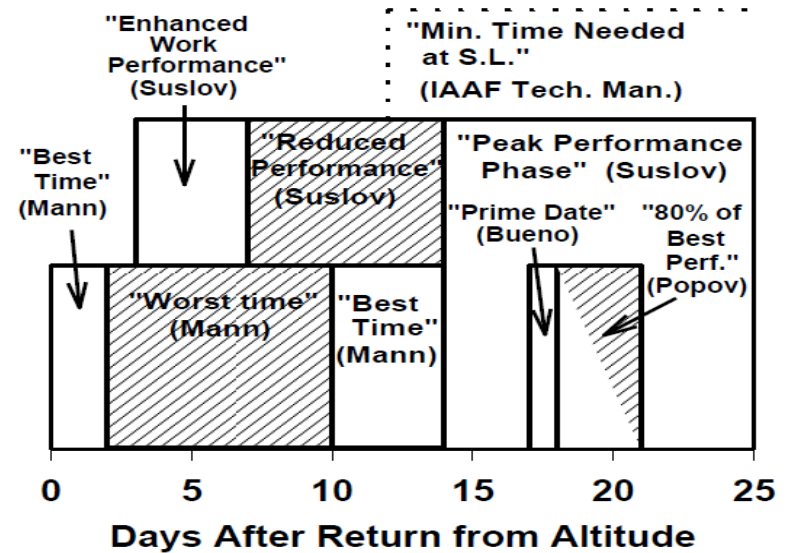
Kuinka kauan korkealla?

- Kolme viikkoa on tarpeeksi kauan merkittävän punasolumassamuutoksen aikaansaamiseksi – tarpeeksi suuri suorituskyvyn parantamiseksi
- Kuitenkin punasolumassa lähes kaksinkertaistuu päivien 21 – 28 välillä
- → Suositellaan yli 4 viikon korkean paikan leirejä



Milloin palata merenpinnan tasolle?

Urheilijoilla ja valmentajilla on erilaisia näkemyksiä optimaalisesta paluun ajankohdasta merenpinnan tasolle ennen kauden pääkilpailua.



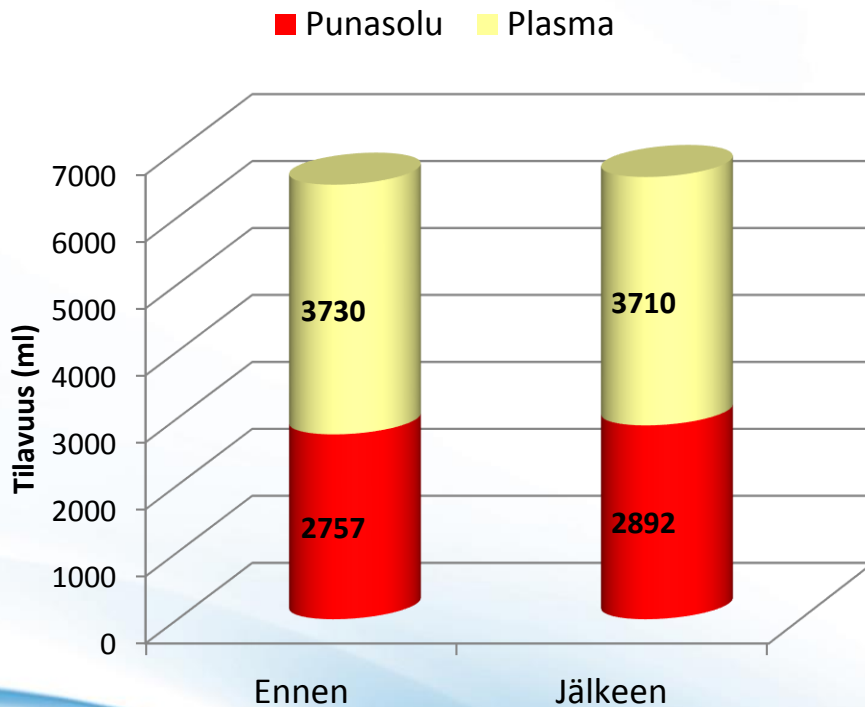


Milloin palata meren pinnan tasolle?

- **Hematologiset tekijät:** Aikajänne punasolumassan pienenemiselle meren pinnan tasolle paluun jälkeen
- **Biomekaaniset / neuromuskulaariset tekijät:** Aikajänne hermo-lihasjärjestelmän herkkyyden palautumiseen meren pinnan tasolle paluun jälkeen
- **Hengitys:** Aikajänne hengityksen sopeutumiseen meren pinnan tasolle



Hkr ja Hb vs. punasolu- / Hb-massa korkeanpaikan harjoitteluleirin jälkeen

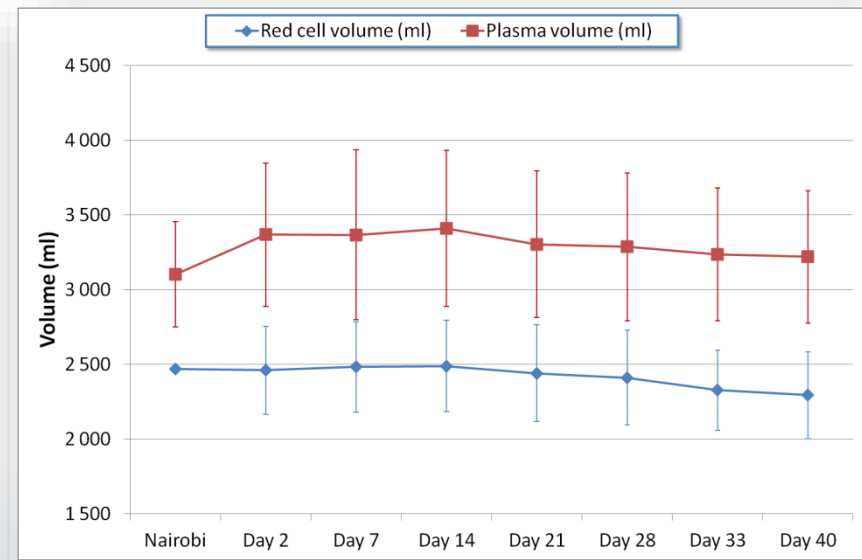
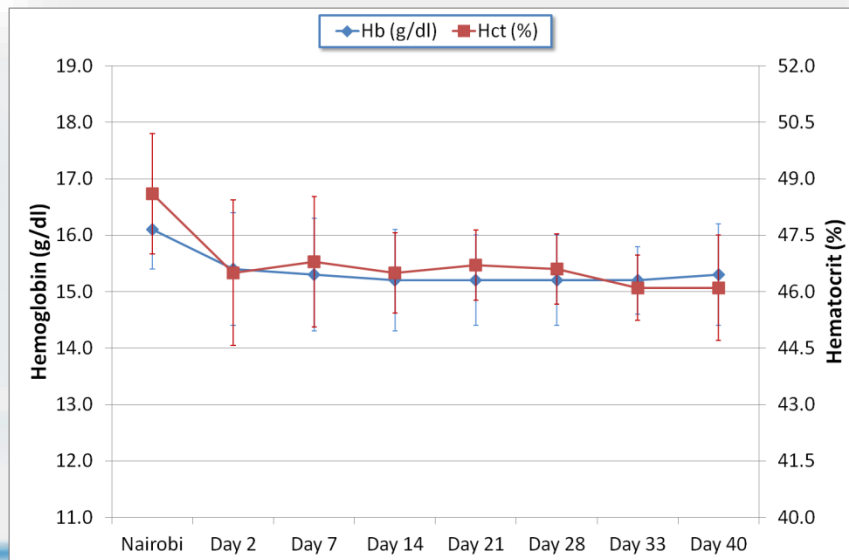


- 11 kestävyysurheilijaa
- Kokonaisveritilavuus
 - Ennen: 6,49 l
 - Jälkeen: 6,61 l
- Hematokriitti
 - Ennen: 42,5 %
 - Jälkeen: 43,8 %
- Hemoglobiini
 - Ennen: 144 g/l
 - Jälkeen: 150 g/l
- Hb-massa
 - Ennen: 934 g
 - Jälkeen: 989 g



Hematologiset tekijät

Kenian kestävyysjuoksijoiden siirtyminen Nairobista Euroopan kiertueelle



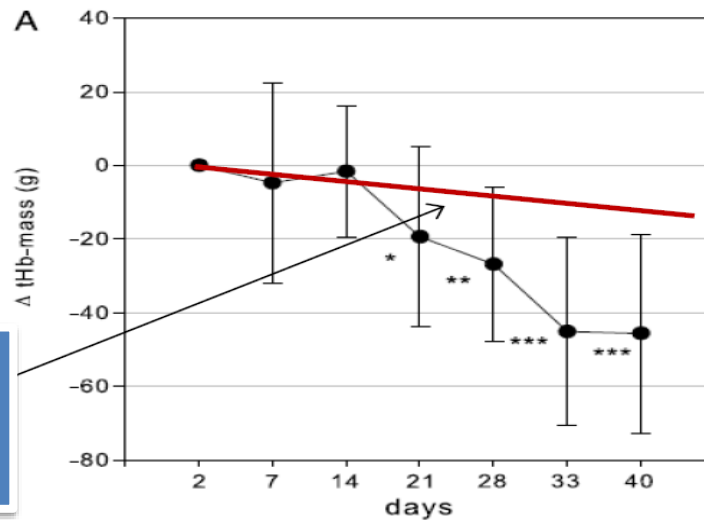


Hematologiset tekijät

Change in Hemoglobin Mass Over Time At Sea Level

Kenian kestävyysjuoksijoiden siirtyminen Nairobista Euroopan kiertueelle

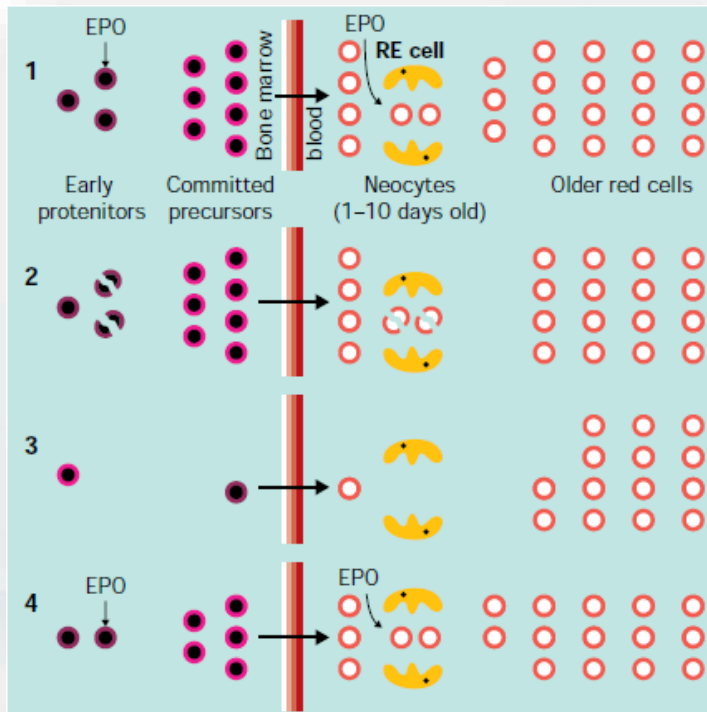
Odotettu punasolumassan pieneneminen ottaen huomioon punasolujen normaalin elinkaaren.



Prommer et al. MSSE 2010



Neosytolyysi



Merenpinnan tasolle palaamisen jälkeen samanaikaisesti EPO hormonipitoisuuden laskun kanssa verestä tuhoataan valikoiden nuoria punasoluja.



Hb-massan, Hb:n ja verivolyymin muutokset

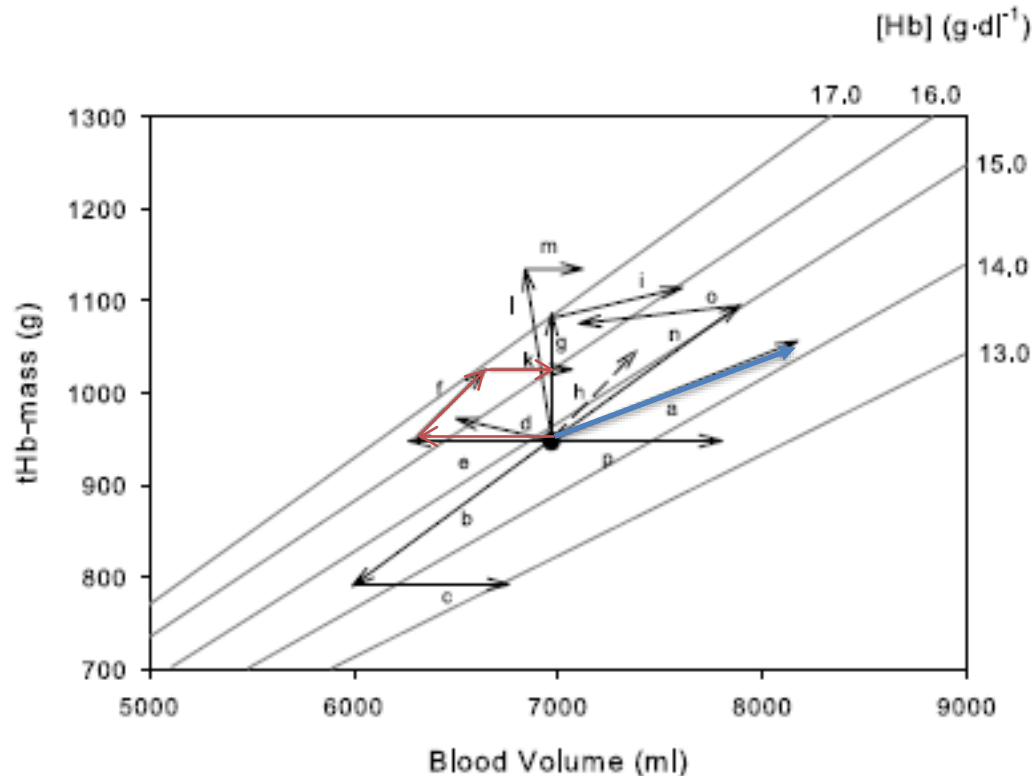


Figure 6. Schematic presentation of changes in total hemoglobin mass (tHb-mass), hemoglobin concentration ([Hb]), and blood volume under various conditions: **a** = adaptation to endurance training at sea level, **b** = acute blood loss, **c** = acute compensation of blood loss, **d** = acute exercise including red blood cell release from the spleen, **e** = acute altitude exposure, **f** = several weeks of altitude adaptation, **g** = native to altitude (Andes), **h** = possible adaptation of Tibetans and East Africans, **i** = endurance athlete native to altitude, **k** = return from altitude, **l** = manipulation with EPO, **m** = combined effect of EPO administration and training, **n** = acute effect of blood transfusion, **o** = effect of blood transfusion after several days, and **p** = plasma volume expansion during stage races.



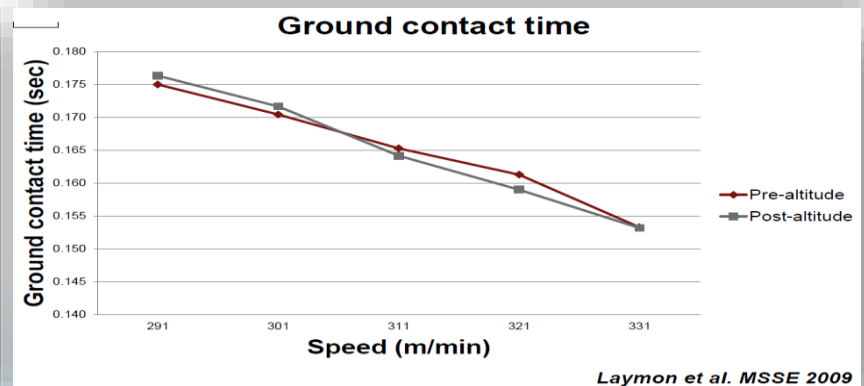
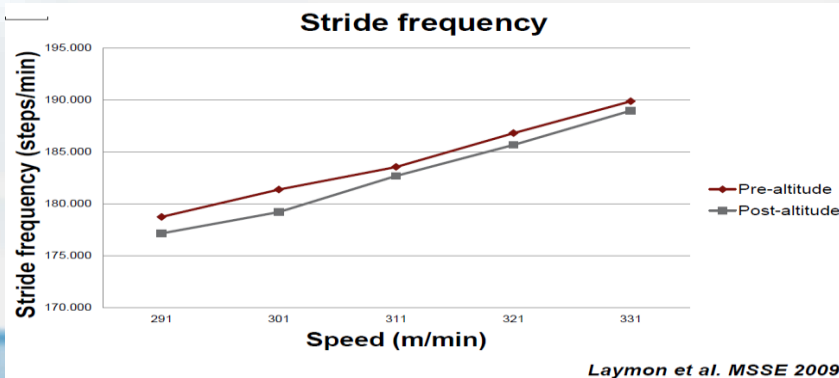
Hematologiset tekijät

- Ei merkittävää punasolumassan vähenemistä ensimmäisen 14 vrk aikana → Paras aika kilpailla ensimmäisen kahden viikon aikana?
- Parempaa harjoittelua ensimmäisen 30 vrk aikana, kun on luonnollisesti ”veritankattu” → Paras aika kilpailla vasta 30 vrk jälkeen?



Neuromuskulaariset tekijät

- 8 kestävyysjuoksijaa (7M ja 1N)
- Kaikki mukana Pekingin OK 2008
- 28 päivää Hi-Hi-Lo harjoittelua
 - Asuminen 2180 m
 - Kovat harjoitukset 410 – 1350 m





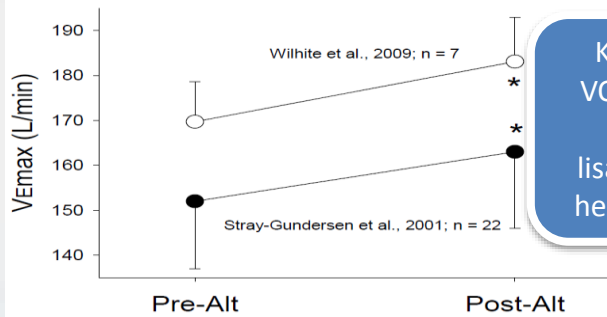
Neuromuskulaariset tekijät

- Kahdeksalla huippukestävyysjuoksijalla ei muutoksia juoksun mekaniikassa 28 Hi-Hi-Lo harjoittelujakson jälkeen
- Lisäharjoittelu aika merenpinnan tasolla ei näyttäisi olevan tarpeellista merenpinnan tasolle palaamisen jälkeen (edellyttäen, että kovat harjoitukset on tehty matalalla)



Hengitys

Increase in Maximal Exercise Ventilation After Hi-Lo Altitude Training



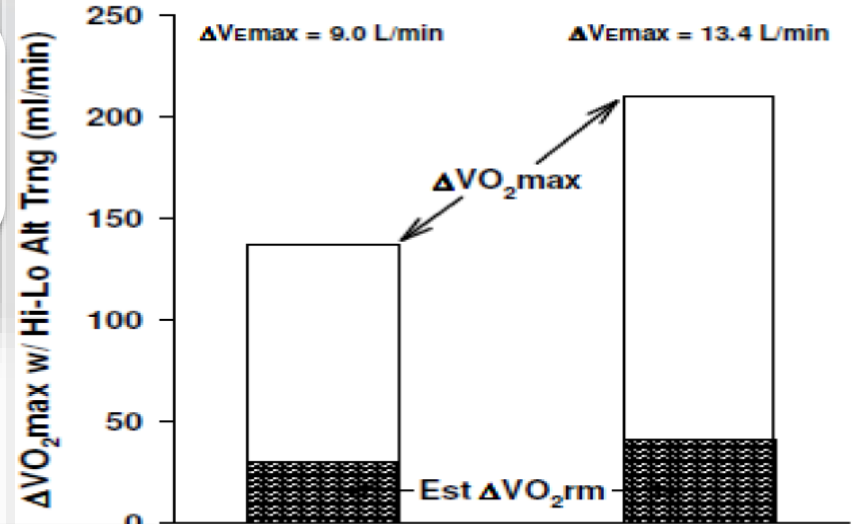
Kuinka paljon VO_{2max} kasvusta menee lisääntyneeseen hengitystyöhön?

Stray-Gundersen et al (2001)

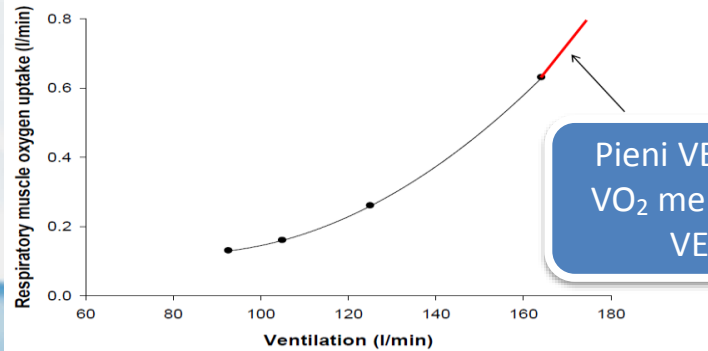
$\Delta VEmax = 9.0$ L/min

Wilhite et al (2009)

$\Delta VEmax = 13.4$ L/min



Oxygen cost of ventilation

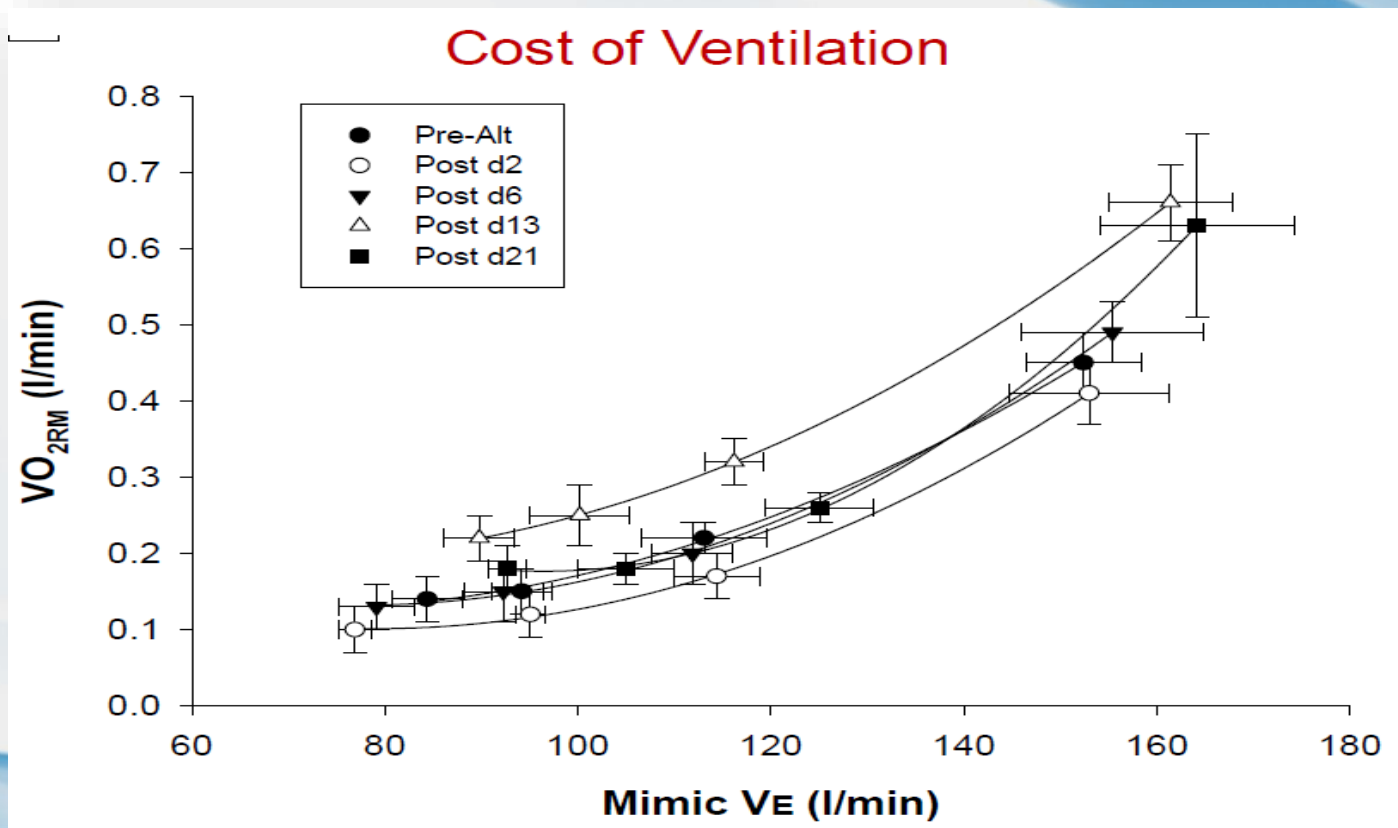


Pieni VE muutos lisää VO_2 merkittävästi, kun VE on suuri.

Lisääntynyt hengitys vastaa noin 20% VO_{2max} kasvusta korkean paikan harjoittelun jälkeen.



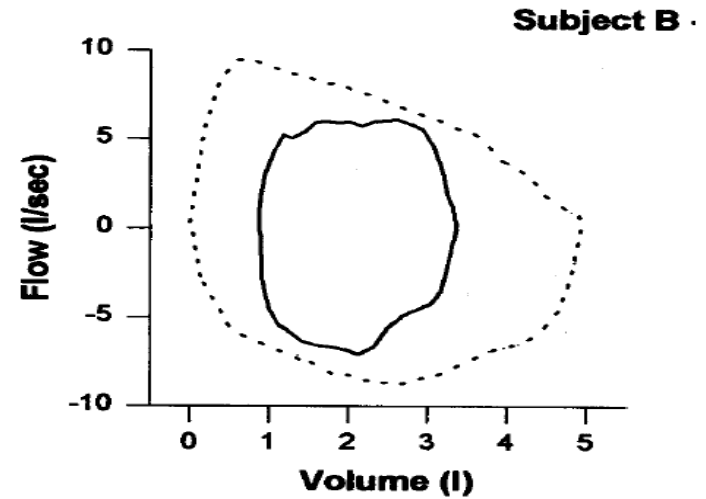
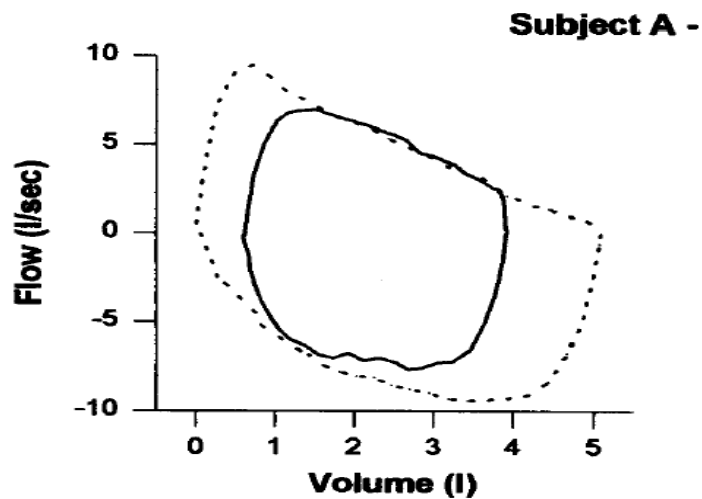
Hengitys





Uloshengitysvirtauksen rajoittuminen

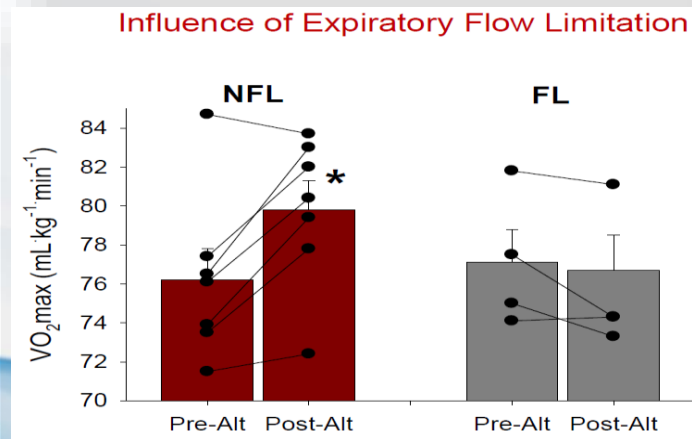
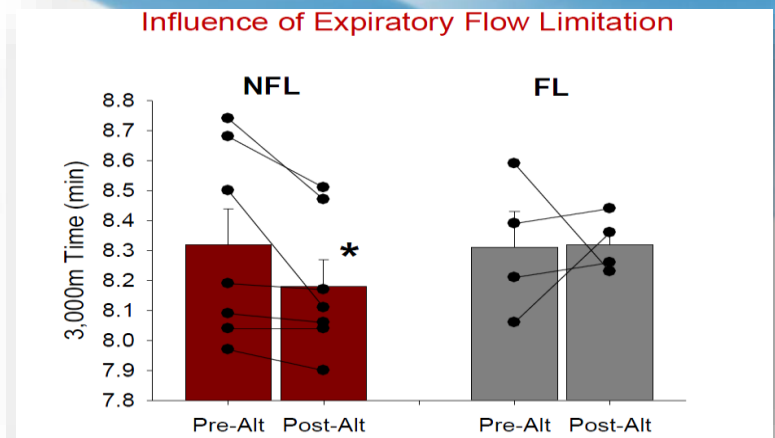
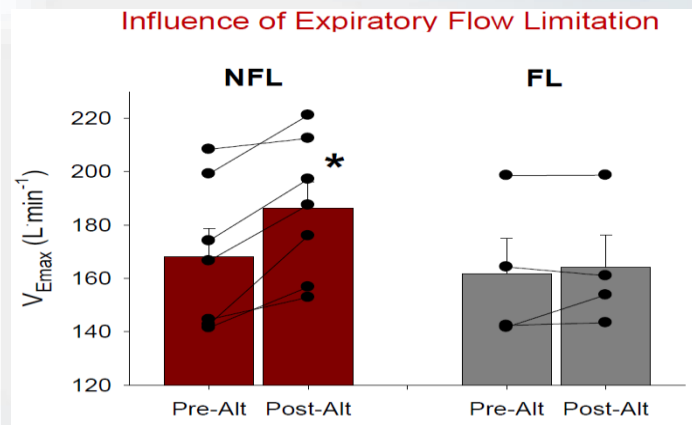
Influence of Expiratory Flow Limitation



Chapman et al. Respir Physiol 1998



Hengitys



Uloshengitysvirtauksen rajoittuminen heikentää korkeanpaikanharjoittelun vastetta maksimaaliseen ventilaatioon → hapenottokykyyn → kestävyysuorituskykyyn



Hengitys

- Hengityksen taloudellisuus paranee vuoristossa ja säilyy uudella tasolla < 6 päivää
- Hengityksen taloudellisuus heikkenee 6 – 21 päivien aikana alle ennen vuoristoleiriä mitatun arvon
- Urheilijat, joilla uloshengitysilman virtaus on rajoittunut, eivät saa vuoristoharjoittelusta samaa hyötyä kuin urheilijat, joilla uloshengitysilman virtaus ei ole rajoittunut



Milloin palata meren pinnan tasolle ennen pääkilpailua?

Race Performance Outcomes

Name	Mt Sac Relays (d9-10)	Stanford (d26)
Ricardi	3000m SC 8:44.88 B PB	3000m SC 8:36.39 A PB
Dentamo	3000m SC 8:45.39 B PB	3000m SC 8:38.48 A PB
Haas	5000m 13:51 B	10,000m 28:24.53 A
Ghebray	5000m 13:50 B	5000m 13:45 B
Fife		3000m SC 8:41.35 B

A = USATF Championships "A" qualifying standard
B = USATF Championships "B" qualifying standard
PB = Personal best time



Milloin palata meren pinnan tasolle ennen pääkilpailua?

Hyvä ajoitus

- Hb massa suurimmillaan
- Pienentynyt hengityksen energiankulutus
- Suurentunut harjoituskapasiteetti

Huono ajoitus

- Hb massa edelleen korkealla
- Hengityksen energiankulutus kasvaa
- Palautuminen kovatehoisista harjoituksista?
- Hormonaaliset vasteet??

Hyvä ajoitus

- Pienentynyt Hb massa
- Hengityksen energiankulutus palaa vuoristoleiriä edeltävälle tasolle
- Kovatehoisten harjoitusten harjoitusvaikutus 1 – 7 päiviltä
- Hormonaaliset vasteet?

0

7

14

21

Aika korkean paikan leirin jälkeen (vrk)



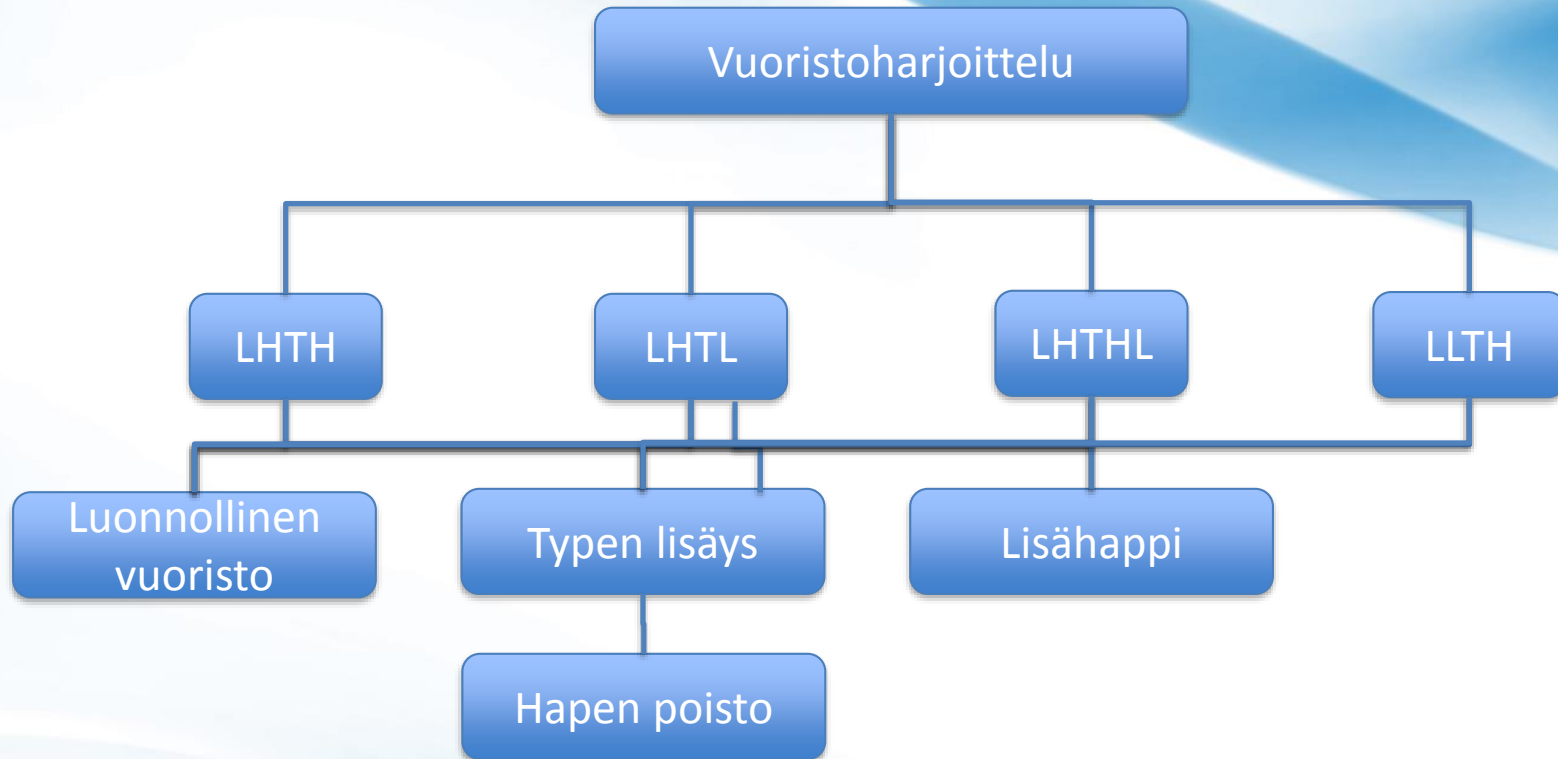
Mitä kannattaa seurata?

- **Jokaisen korkeanpaikan leirin yhteydessä**
 - Noin kolme viikkoa ennen leiriä
 - 1 – 2 päivää ennen leiriä
 - 1 – 2 päivää leirin jälkeen
 - Mittaukset aamu- tai iltapäivällä
- **Mittaukset**
 - Suoniverinäyte
 - PVK, S-Ferrit, fS-TfR, S-hs-CRP
 - CO menetelmä
 - Punasolumassan ja veritilavuuden määrittäminen
 - Yösykeanalyysi tai ortostaattinen koe
 - Autonomisen hermoston tila
 - Lepospirometria
 - Hengitysteiden ja keuhkojen toiminnan testaus



Mitä kannattaa seurata?

- **Harjoituspäiväkirja**
- **Kuormituksen seuranta**
 - Painon seuranta
 - Syke ja O₂Sat harjoituksissa ja levossa
 - Kontrolliharjoitukset
- **Suorituskyvyn seuranta**
 - Kilpailut
 - Testit
 - Kontrolliharjoitukset





USOC altitude training network and program

- Atlanta 1996: 0 mitallia kestävyysjuoksussa
 - Kukaan ei harjoitellut korkealla ennen olympialaisia
 - Keskimäärin USA kestävyysjuokijat tarvitsivat 0,5 % parannuksen saavuttaakseen mitallin → LHTL mahdollisuus saada ko. ero kiinni ja nousta palkintokorokkeelle
- Käynnistettiin Altitude Training Program
- Rio 2016: T&F 32 mitallia, joista kestävyysjuoksu 7; uinti 33 mitallia
- Korkean paikan harjoituspaikat
 - Colorado Springs 1860 m, USAFA 2000-2300 m, Woodland Park 2580 m
 - Colorado Springs: Simulated altitude 0-6100 m
 - Chula Vista 21 m; Oklahoma City 375 m: Simulated altitude
 - Mammoth Lake, Flagstaff, Park City: 2000-2500 m
 - Switzerland & Italy: Muottas Muragl 2500 m, St. Moritz 1829 m (+ nocturnal intensified hypoxia ~ 2500-2688 m) + Chiavanna 333 m
 - Tokio 2020: Hida Ontake 1200-2200 m
- Harjoittelun ja fysiologisten vasteiden seuranta tärkeä
- If you're gonna do it, let's do it right!





Kotiin vietäväksi

1. Optimikorkeus korkean paikan harjoittelulle on 2000 – 2500 m
2. **Punasolumassan kasvuun tarvitaan vähintään kolme mieluummin neljä viikkoa**
3. Parhaan hyödyn harjoittelusta ja korkeasta saa kun asuu ja tekee perusharjoittelun korkealla ja kovat harjoitukset alle 1200 m tai lisähapella
4. **Paras aika kilpailla korkean harjoittelun jälkeen on ensimmäinen viikko tai 2 – 3 viikon jälkeen**
5. Parhaan hyödyn harjoittelusta saat seuraamalla elimistön reaktioita ja suorituskykymuutoksia