



Tuoretta tietoa vuoristoharjoittelusta

PAJULAHDEN KESTÄVYYSWEBINAARI
24.11.2020

Ari Nummela, LitT, dosentti
KIHU - Kilpa- ja huippu-urheilun
tutkimuskeskus

Juha Peltonen, LitT, dosentti
HULA – Helsingin urheilulääkäriasema;
Liikuntalääketieteen yksikkö, Clincium
Helsingin yliopisto



La Loma, San Luis Potosi, Meksiko (1864 m)

www.kihu.fi www.hula.fi

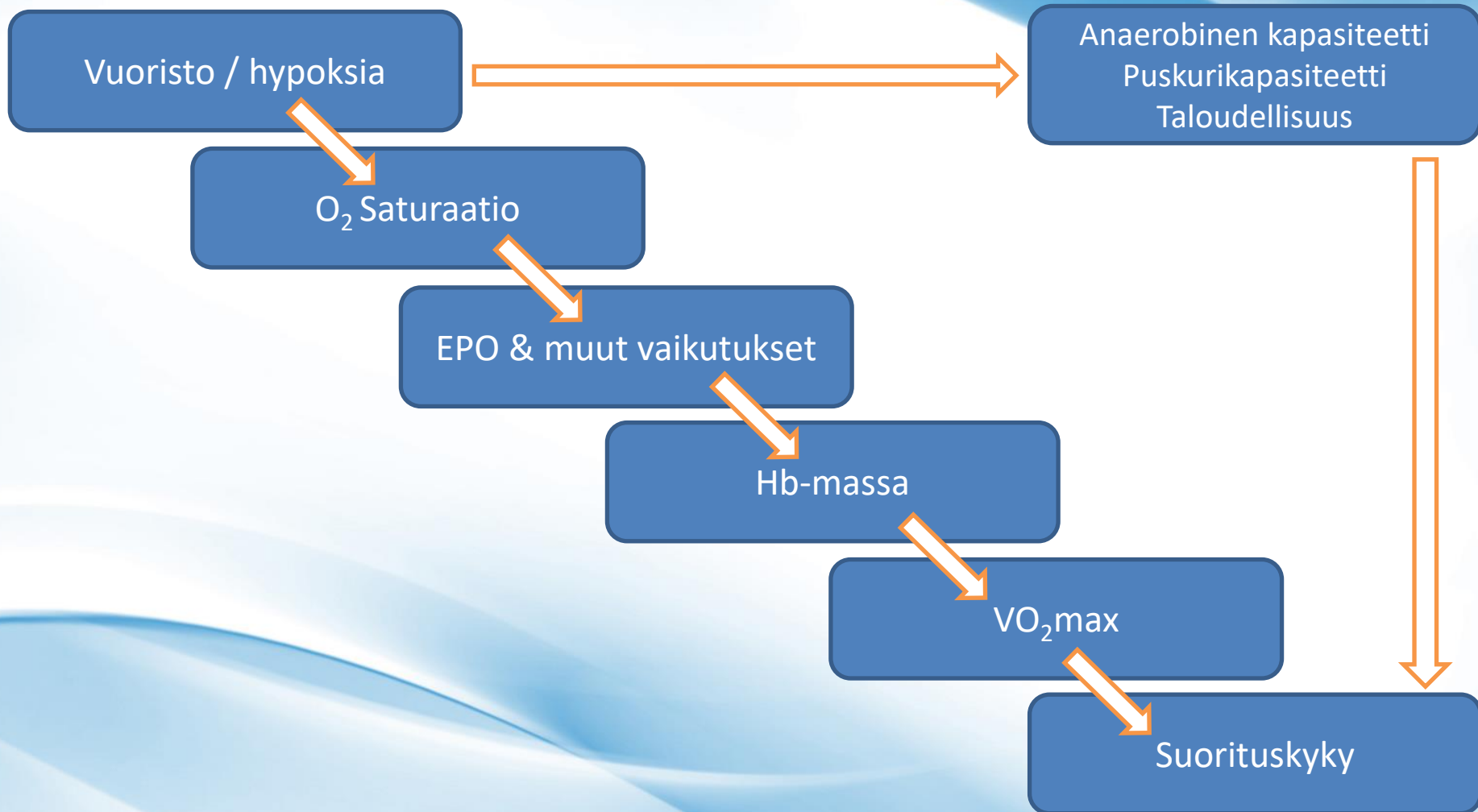


Tuoretta tietoa vuoristoharjoittelusta

- Yksilöllinen vaste vuoristoharjoitteluun tai muuhun hypoksia-altistuksen
- Hypoksiajakson onnistumiseen vaikuttavia tekijöitä
- Seuranta
- Paluu hypoksiasta merenpinnan tasolle - ajatuksia
- Huomioita viimeisen vuoden ajalta Suomessa



Vuoristoharjoittelun fysiologiset vaikutukset





Yksilöllinen vaste Hb-massan muutokseen

- Pyöräilijöitä, LHTL, n=10; Placebo, n=6.
- 4 vk LHTL > 16 h/pv @ 3,000 m; harjoittelu @ 1200 m
- Harjoittelun intensiteetti ja määrä mahdollisimman vakiona 8 vk

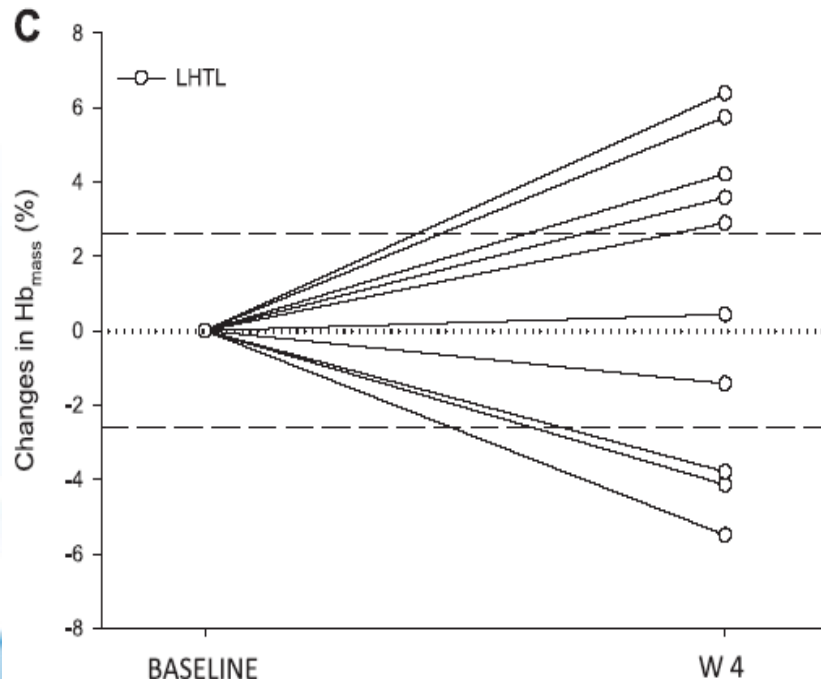


Fig. 3. Hb_{mass} . A and B: individual values for Hb_{mass} in the LHTL and placebo groups, respectively. Values at BASELINE and W 4 are average values of duplicate measurements. Group average values are represented by the triangles. Individual changes in Hb_{mass} from BASELINE to W 4 (i.e., the end of the intervention period) are depicted in C for the LHTL group and D for the placebo group. The dashed lines represent the typical error of the carbon monoxide rebreathing procedure in the present study (2.6%).

Tutkijoiden johtopäätös

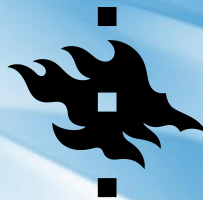
- Hypoksia-altistuksesta ei ole hyötyä.

Mutta - näinkin voi tuloksia tulkita

- Ei pelkästään "respondereita" ja "nonrespondereita".
- Vaikutus oli joko hyödyllinen (5/10), yhdentekevä (2/10) tai haitallinen (3/10).

Miksi yhdentekevä tai haitallinen?

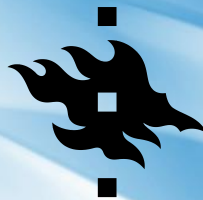
- **3000 m** voi olla liian korkea asuinkorkeus useimmille (uni ja palautuminen voivat häiriintyä).
- **Minimaalinen harjoittelun yksilöllistäminen.**
- **Ei kunnollista palautumisen seuranta.**



Vuoristoharjoittelun onnistumiseen vaikuttavia tekijöitä

- Kuinka korkealla asutaan ja harjoitellaan
- Kuinka kauan korkealla
- Leiriä edeltävä Hb-massa
- Rautavarastot
- Tulehdukset
- Sukupuoli
- Nestetasapaino
- Harjoittelu

Ks. <https://pajulahti.com/korkean-paikan-harjoittelu/>



Tuore tutkimus Suomesta

Received: 21 November 2019

Revised: 17 July 2020

Accepted: 5 August 2020

DOI: 10.1111/sms.13804

ORIGINAL ARTICLE

WILEY

Variability in hemoglobin mass response to altitude training camps

Ari Nummela^{1,2} | Timo Eronen^{2,3} | Anne Koponen^{3,4} | Heikki Tikkanen^{2,3} |

Juha E. Peltonen^{3,4}

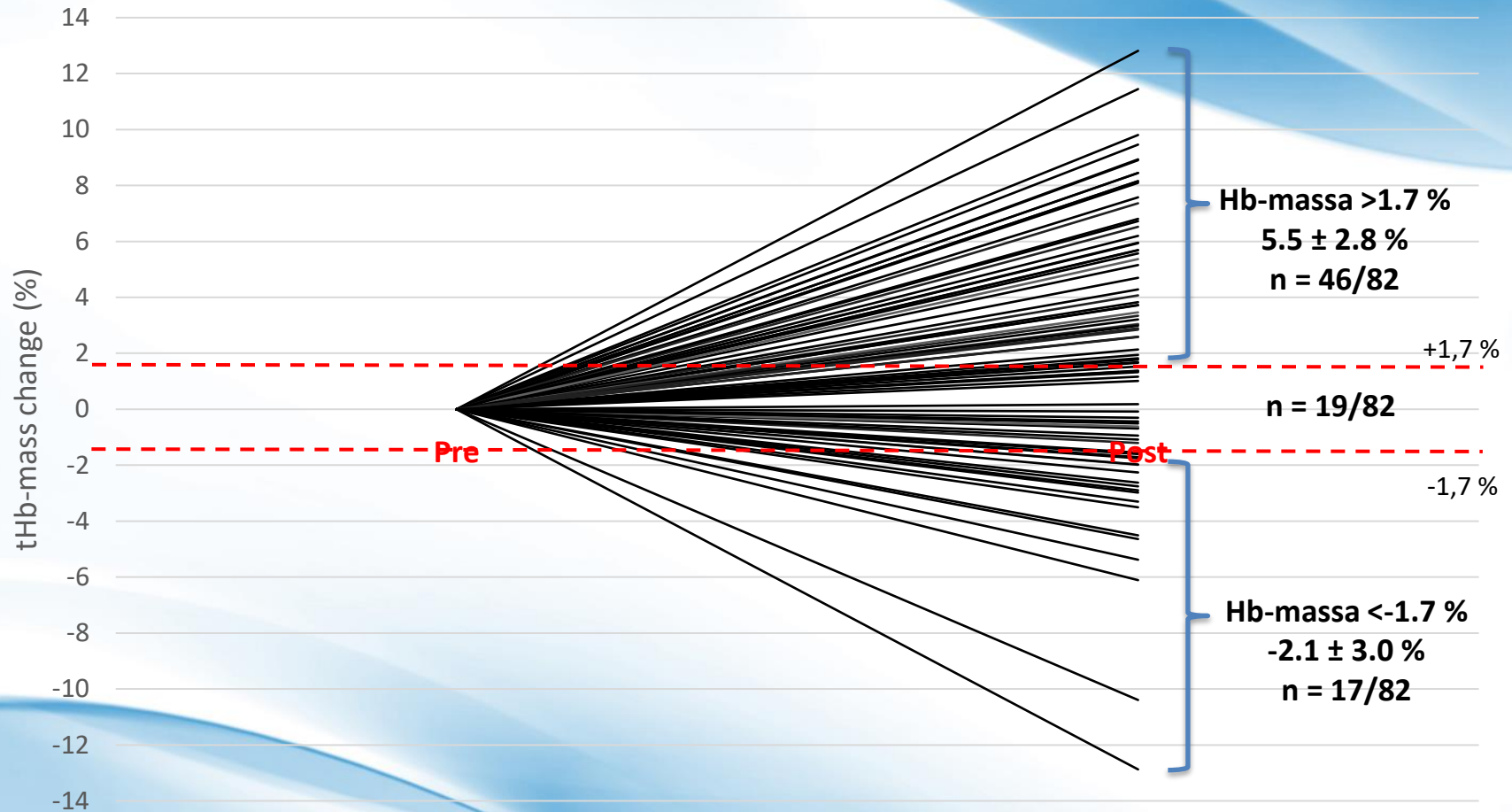
Scand J Med Sci Sports. 2020, Aug 12 00:1–8.

<https://doi.org/10.1111/sms.13804>.

- 59 suomalaista kestävyysurheilijaa
 - 27 miestä, 32 naista
- 82 vuoristoleiriä
 - 2009 – 2015
 - 1350 – 2500 m
 - 44 urheilijaa: 1 leiri
 - 15 urheilijaa: ≥ 2 leiriä
- Leirien toteutusta varten annettiin sen aikaiset parhaat mahdolliset suositukset.
- Leirien toteutus oli urheilijoiden ja valmentajien vastuulla.



Yksilöllinen Hb-massan vaste



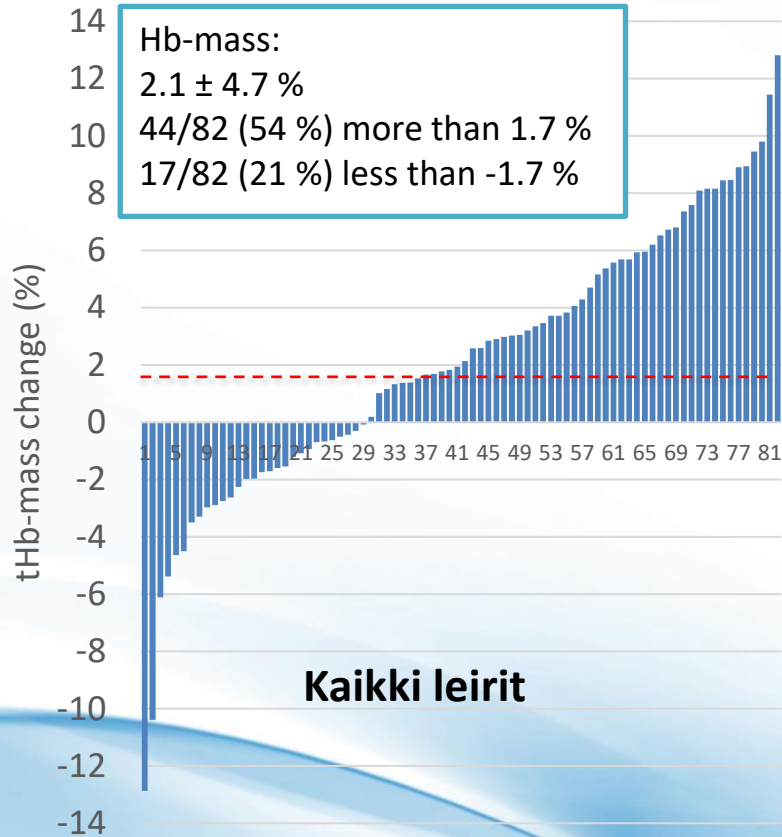
Δ Hb-massa > + 1.7 % 46/82 tai 56%

Δ Hb-massa < + 1.7 % 36/82 tai 44%



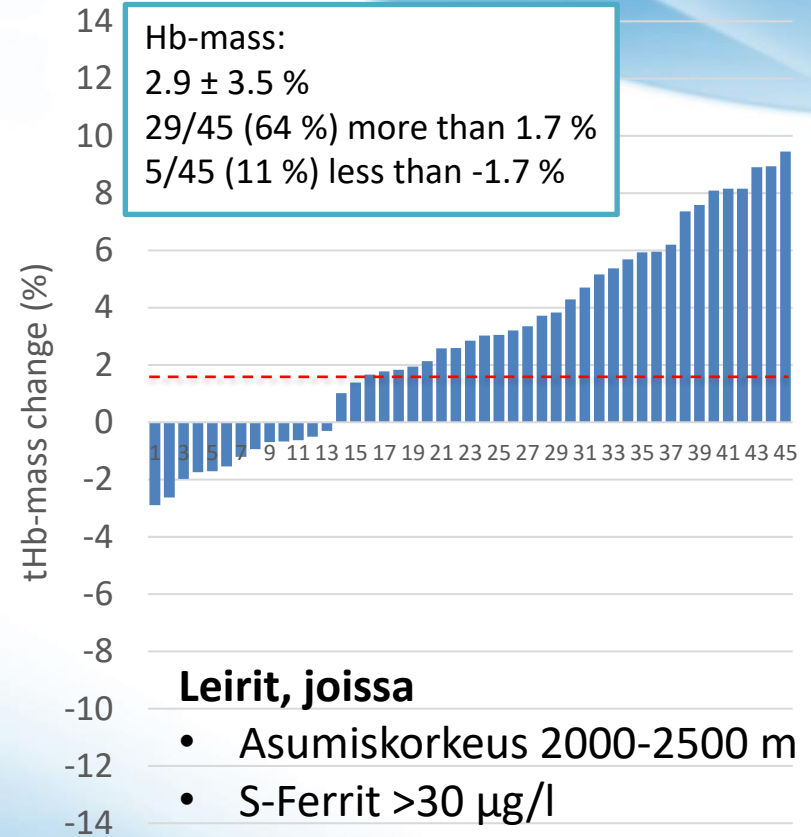
Suosittelusten noudattaminen ja Hb-massan muutos

All



Nummela et al. 2020, SJMSS

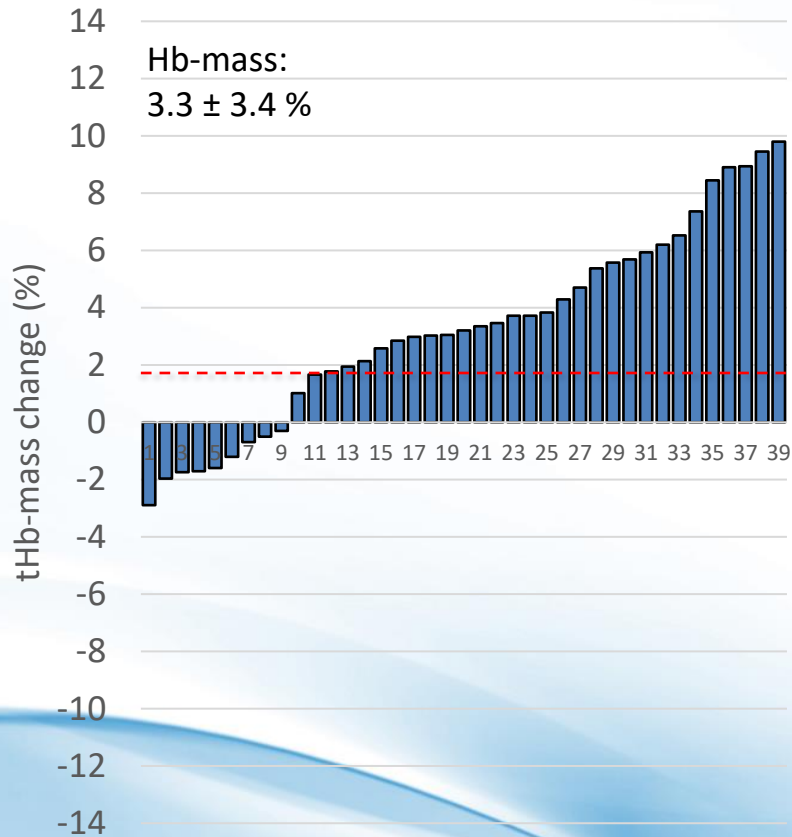
All-(Alt+Ferrit+CRP)



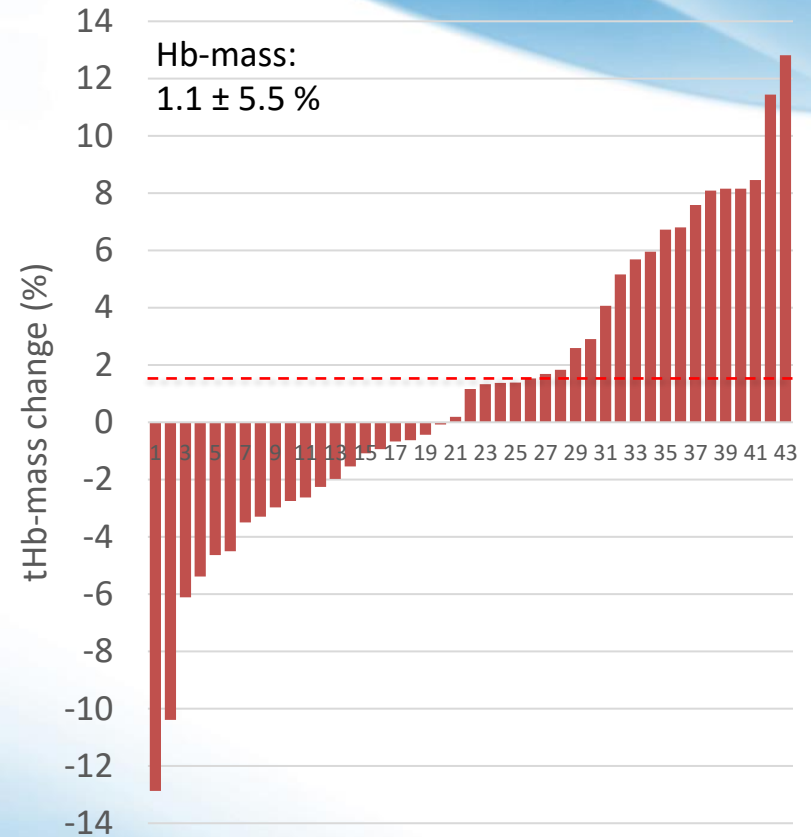


Naisten ja miesten välinen ero Hb-massan muutoksessa vuoristoleirin jälkeen (p < 0.032)

Men

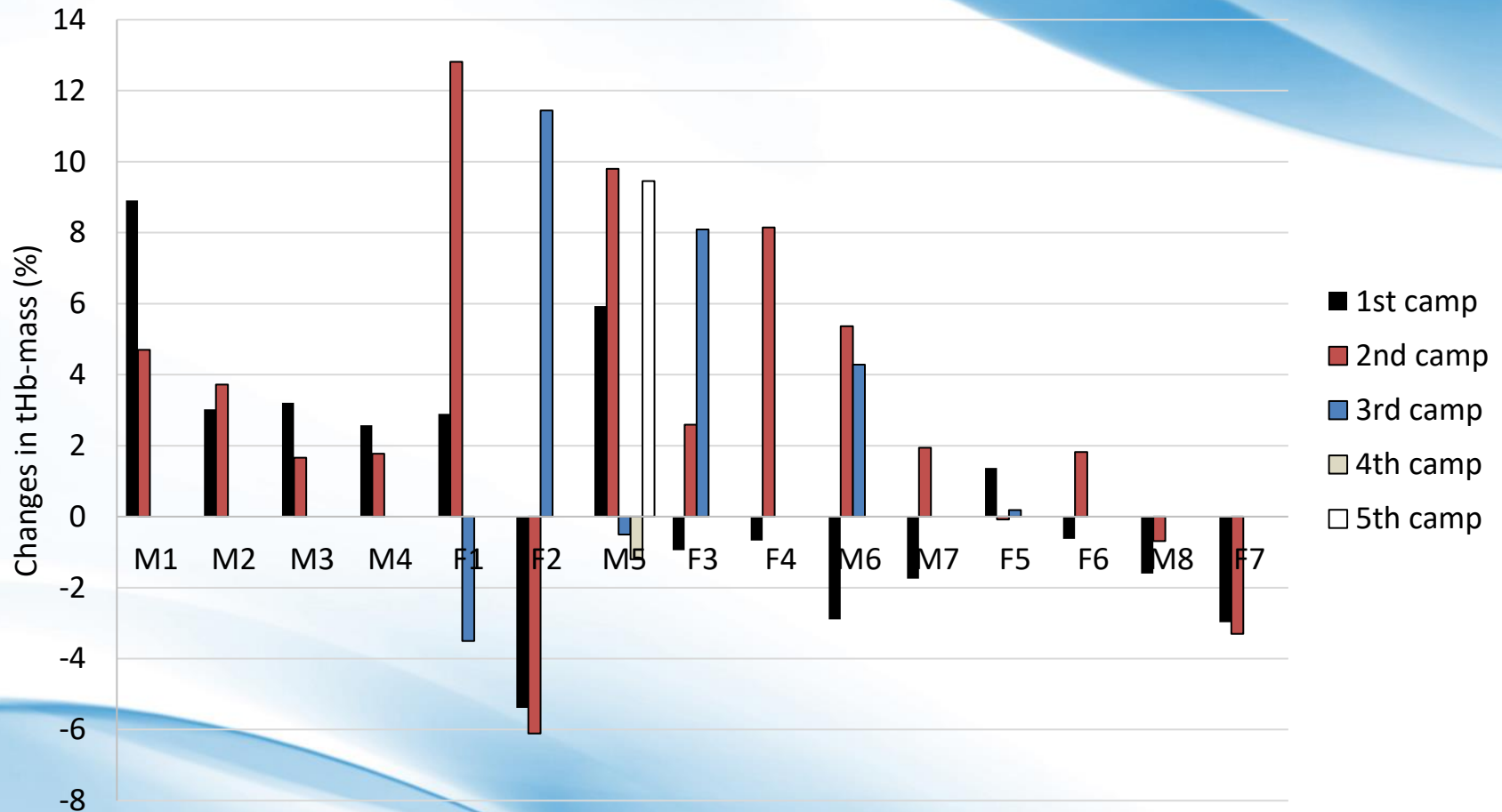


Women





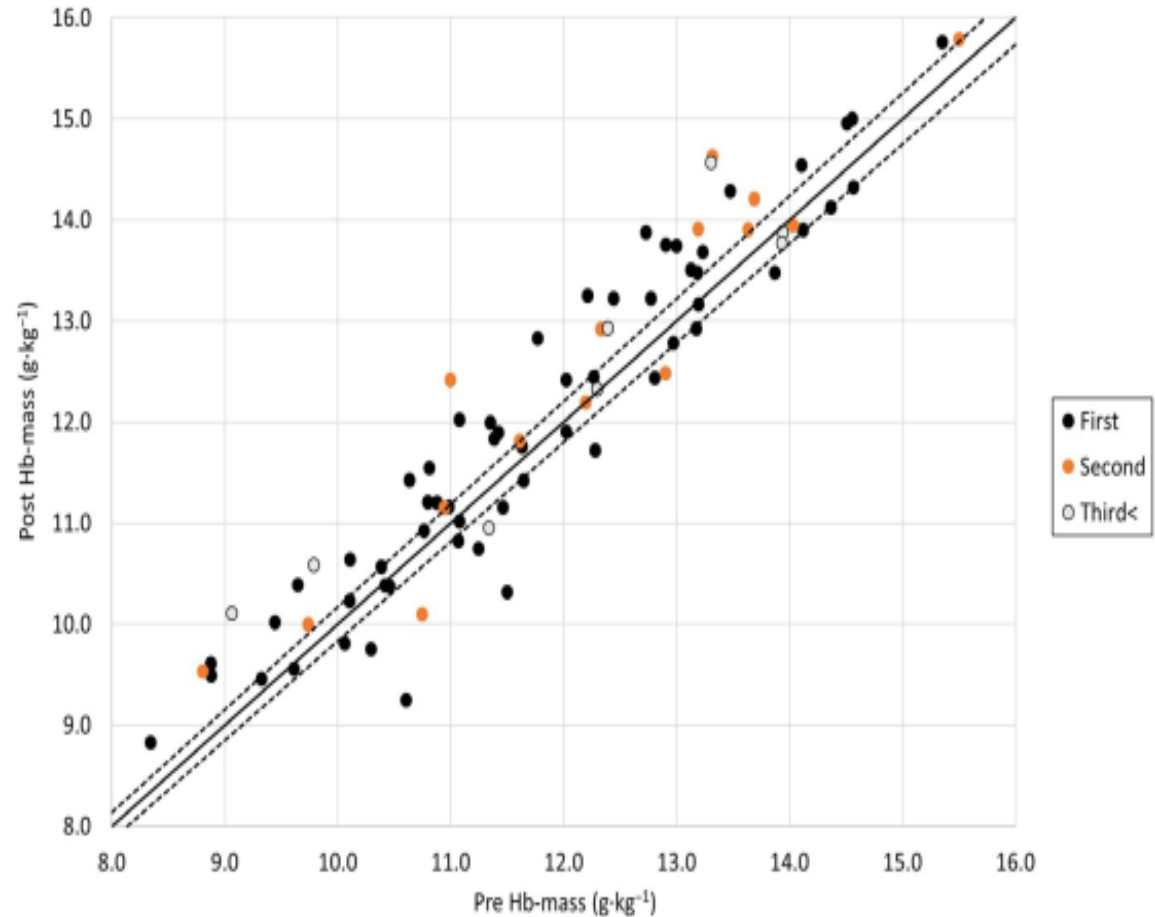
Yksilölliset Hb-massan vasteet eri leirikerroilla





Ennen leiriä mitatulla Hb-massalla ei ollut vaikutusta Hb-massan muutokseen leirin aikana

FIGURE 1 The pre- and post-tHb-mass values ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) of all training camps ($n = 82$). The first training camp is marked as black circle, the second as orange circle and 3rd-5th as gray circle. Solid line represents the line of unity and dashed lines the typical error of Hb-mass measurement ($\pm 1.7\%$)





Esimerkki harjoituskuorman säädöstä LHTL leirin aikana

- 24 eliitti maastohiihtäjää
- 15-d LHTL
 - H-HRV, n=9, asuminen normobarinen hypoksia 15% (~ 3000 m)
 - H, n=9, asuminen normobarinen hypoksia 15% (~ 3000 m)
 - N, n=6, normoksia
- Harjoittelu @ 1200 m
- 15-min HRV-keräys **aamulla**: 8 min makuulla + 7 min seisten.
- Post 1d VO_{2max}
 - H-HRV $+3.8 \pm 3.1\%$, $P=0.02$
 - H $+3.0 \pm 4.4\%$, $P=0.08$
 - N $+0.9 \pm 5.1\%$, $P=0.7$
- Post 21 d rullasuksikilpailu
 - H-HRV $-2.7 \pm 3.6\%$, $P=0.05$
 - H $-2.5 \pm 3.5\%$, $P=0.07$
 - N $-1.1 \pm 2.3\%$, n.s.

Sykevariaatiota (HRV) käytettiin harjoituskuorman muokkaamiseen

- Samana säilynyt tai noussut korkeataajuuksinen (HF) vaihtelu johti edeltävää päivää suurempaan harjoituskuormitukseen.
- Harjoituskuormaa pienennettiin, jos HF laski $\geq 30\%$.
- Urheilija piti lepopäivän, jos HF laski kahtena peräkkäisenä päivänä.
- Lepopäivän jälkeen ohjelmoitiin matalan intensiteetin ja määrällisesti keskitasoinen päivä.
- 15 d LHTL jakson aikana harjoittelua muokattiin H-HRV- henkilöillä 3.3 ± 2.3 päivänä.



Vuoristoharjoittelun seuranta_ALTIMACH.xlsx

5			Equation			Equation			Equation		Equation				Equation		Equation
6			LIVING	Time at	LIVING	TRAINING	Time at	TRAINING	TOTAL	Time	Average SpO ₂	Hypoxic stimulus	Time	Average SpO ₂	Hypoxic stimulus	TOTAL	
7	Date	Days	ALTITUDE	living altitude	hypoxic dose	ALTITUDE	training altitude	hypoxic dose	hypoxic dose	at rest	at rest	at rest	spent exercising	during exercise	during exercise	HYPOXIC STIMULUS	
8	yyyy-mm-dd	Week	m	h	km x h	m	h	km x h	km x h	h	%	%h	h	%	%h	%h	
9																	
10		1			0			0	0			▲ #JAKO/0!			▲ #JAKO/0!	▲ #JAKO/0!	
11		2			0			0	0			▲ #JAKO/0!			▲ #JAKO/0!	▲ #JAKO/0!	

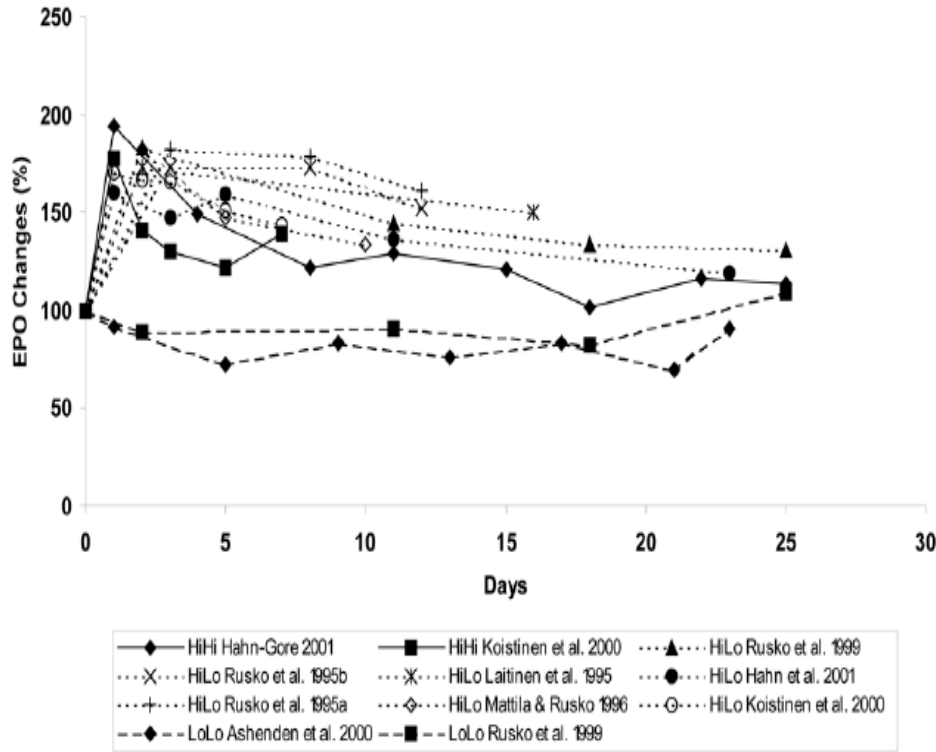


Näitä seurataan vuoristoharjoittelun yhteydessä

- **Mittaukset**
 - Verestä
 - Perusverenkuva, S-Ferrit, retikulosyytit, OFF-score, CRP
 - CO takaisinhengitys menetelmä
 - Hb-massa ja verivolyyymi
 - HRV analyysit öisin ja/tai ortostaattinen testi aamuisin
 - Sydämen autonomisen hermoston tila
- **Harjoituspäiväkirja**
 - Tunteukset: harjoituksen kuormittavuus, palautuminen
- **”ALTIMACH seuranta Excel” – mittauksia ja henkilökohtaisia tunteuksia**
 - SpO₂% aamulla, levossa ja harjoituksissa
 - Aamusyke
 - Aamupaino
 - Unen määrä ja laatu
 - Virtsan väri tai ominaispaino
 - Lake Louise –kysely
 - Harjoittelun kuormittavuus ja fiilikset
 - Tuntemus palautumisesta
 - Kontrolliharjoitukset ja testit
- **Suorituskyvyn seuranta**
 - Kilpailut
 - Suorituskykytestit



Hypoksia ja veren O₂-kuljetuskapasiteetti. Erythropoietiini (EPO)



Percentage changes in serum erythropoietin (EPO) concentration during HiHi, HiLo and LoLo. Rusko HK, Tikkanen HO, Peltonen JE. J Sports Sci 22: 928-945, 2004.

- [EPO] nousee hypoksian alussa nopeasti ja on korkeimmillaan 1-3 vrk hypoksian alkamisesta.
- Alun huipun jälkeen [EPO] pitoisuus alkaa laskea, mutta pysyy lähtötilannetta korkeammalla 1-3 vk.
- **EPO paradoksi** – EPO laskee vaikka hypoksinen stimulus säilyy.
- EPO:n erityksen kiihtyminen on edellytys punasolumuodostuksen kiihtymiselle.
- EPO:n mittaaminen ei kuitenkaan kerro mitään punasolujen ja hemoglobiinin (Hb) tuotannosta.
- Punasolumuodostuksen kiihtymisen alaraja on PaO₂ ~ 70 mmHg eli ~ 1600 m.
 - @ 1800 m [EPO] ↑ 30% 1. vrk aikana
 - @ 2400 m [EPO] ↑ 90% 1. vrk aikana
- **Merenpinnan tasolle paluun jälkeen** [EPO] palaa lähtötasolle viimeistään muutamassa päivässä.



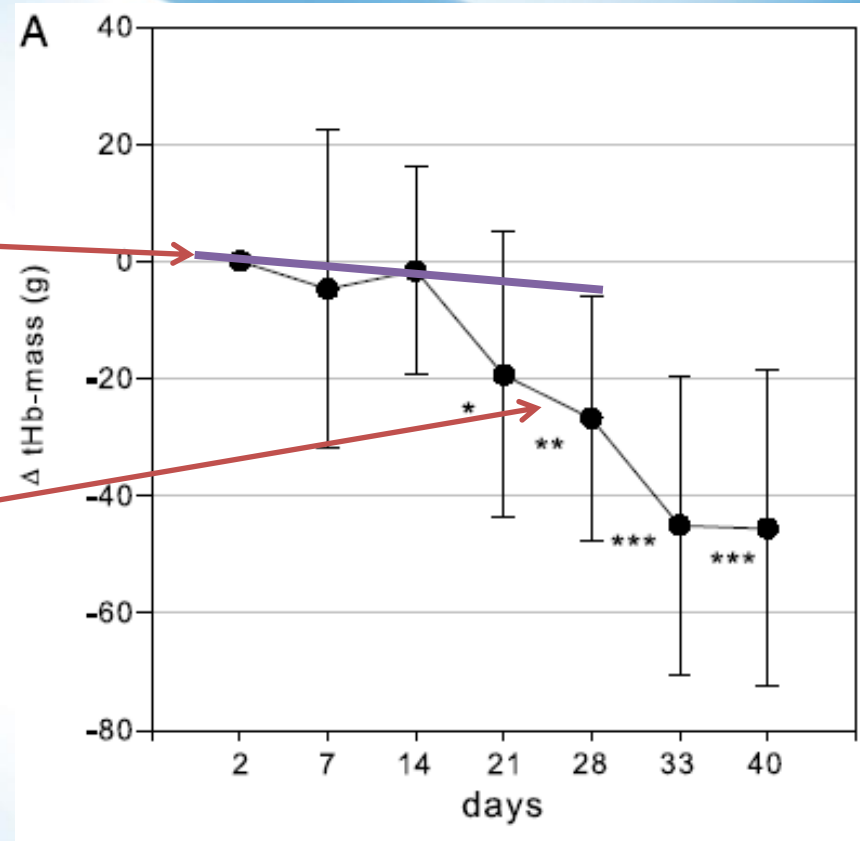
Paluu merenpinnan tasolle → Hb-massa laskee nopeasti

Kenialaiset kestävyysjuoksijat vuoristosta alas:
Eldoret 2090 m → Nairobi 1660 m → Bayreuth 340 m →
Euroopan kiertueelle.

Odotettu Hb-massan väheneminen punasolujen
normaalin elinkaaren perusteella.

Neosytolyysi (retikulosyyttien tuhoutuminen)
aiheuttaa nopean Hb-massan laskun.

Epo tarvitaan retikulosyyttien kypsymiseen.
Epoa vähän → retikulosyytit tuhoutuvat.

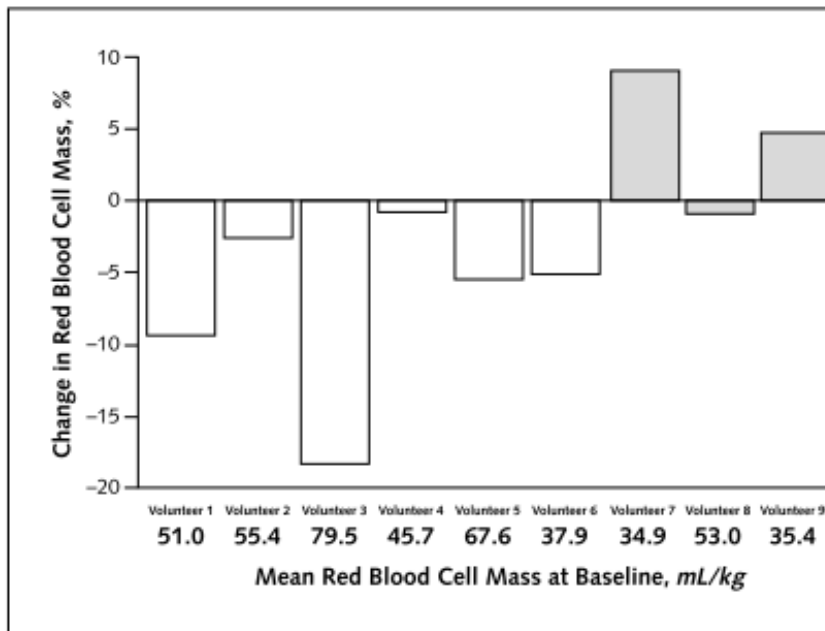


Voiko Hb-massan laskua hidastaa?



Vuoriston asukkaat merenpinnan tasolle

Figure 1. Change in red blood cell mass after descent from high altitude.



⁵¹Cr red cell mass at baseline and changes after 10 days at sea level are presented. White bars indicate participants who did not receive low-dose erythropoietin after descent; gray bars represent the volunteers who did receive low-dose erythropoietin. (Values for red cell mass determined by carbon monoxide rebreathing were almost identical.)

- 9 miestä, Cerro de Pasco, Peru, 4380 m
- Asunkorkeudelle tyypillinen polysytemia
- Siirtyminen merenpinnan tasolle.
- 3 miestä sai 1200 U Epoa subkutaanisesti päivittäin 9 pv ajan.
- Kuvassa punasolumassa (RCM) 10 pv alas tulon jälkeen
 - Harmaalla Epoa saaneet
 - Valkoisella ilman Epoa
- Epo esti RCM:n laskun
- Epoa saamattomilla suurta yksilöllistä vaihtelua RCM:ssa.
- Voidaanko Epon tuotantoa stimuloida luvallisin keinoin ja sillä tavoin pitkittää Hb-massan säilymistä korkealla?



Intermittent Hypoxic Exposure (IHE) → EPO ↑

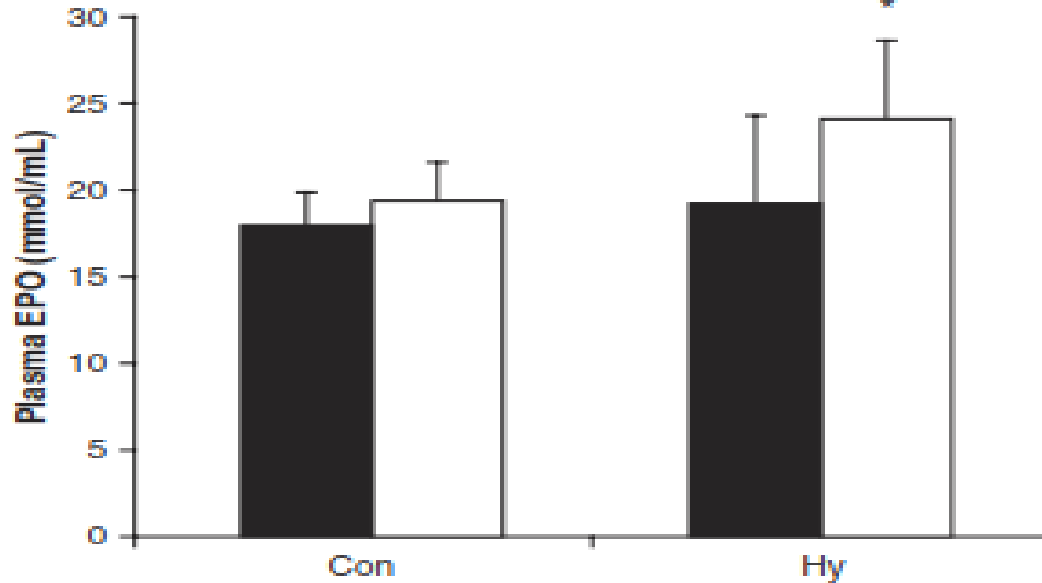


FIG. 2. Mean (SD) EPO response for baseline (closed bars) and postexperimental trial (open bars) for both control (Con) and hypoxic (Hy) groups. *Level of significance ($p = 0.04$)

- N = 17 harjoitellutta miestä.
- Con: 90 min lepo FIO_2 0.209 + 30 min harjoitus @ 50% VO_{2max} .
- Hy: 90 min **lepo** FIO_2 0.148 ~3100 m + 30 min **harjoitus** @ 50% VO_{2max} .
- Epo-näytteet ennen + 120 min harjoituksen jälkeen.



IHE → EPO ↑

Table 2. Changes in hydrogen peroxide (H₂O₂), nitric oxide (NO), vascular endothelial growth factor (VEGF), hematological variables and erythropoietin (EPO) level before and after the intermittent hypoxic exposure (IHE).

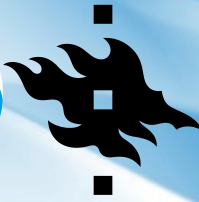
Variables	before IHE	after 6 d IHE	control vs. hypoxia	after 10 d IHE	control vs. hypoxia
<i>VEGF pg/ml</i>					
Control	213±71	183±70	<i>P</i> <0.05	222±49	<i>P</i> <0.01
Hypoxia	245±54	339±59**		350±68***	
<i>EPO mIU/ml</i>					
Control	2.5±0.7	3.6±0.7*	<i>P</i> <0.001	4.2±0.4***	<i>P</i> <0.001
Hypoxia	2.3±0.3	9.7±2.3***		6.6±0.7**	
<i>Hb g/dl</i>					
Control	15.6±0.2	15.6±0.6	<i>P</i> >0.05	14.3±0.7***	<i>P</i> >0.05
Hypoxia	15.1±0.8	14.4±1.0		14.3±0.6	

- 12 kreikkalais-roomalaisen painin maajoukkueurheilijaa
- Intermittent Hypoxic Exposure (IHE, n=6); Control, n=6.
 - D1-6 + D8-11
 - IHE 1 krt/pv, 1 h, illalla, > 2 h harjoituksen jälkeen.
 - FIO₂ 0.14 – 0.12. Artikkelin mukaan 2500 – 4500 m.
 - MUTTA: Model atmosphere equation'in mukaan 3600 – 5000 m



Hypoksian asteittainen vähentäminen: 5 v suunnittelu – nyt keskusteltu valmentajien kanssa

- Hypoksian asteittainen vähentäminen siirryttäessä merenpinnan tasolle.
 - Esim. Joka 3. yö + harjoitus hypoksiassa. Tai IHE 1-2 h + harjoitus.
- Ajatus käyttää alppimaja-, telta- tai vuoristojakson jälkeen → Pyrkimys stimuloida Epon tuotantoa niin paljon, että neosytolyysi hidastuisi → Hb-massa säilyisi pidempään → Suorituskyky hyvänä pidempään ja/tai korkeampi kuin hypoksian loppuessa yhtäkkisesti.
- Tällä hetkellä ei ole omaa tai kirjallisuusnäyttöä tämän toimimisesta. Kirjallisuudessa kuitenkin vihjataan tähän suuntaan, joten voi olla, että sitä joissain maissa on kokeiltu.
- Normaalisti hypoksian jälkeinen suorituskyky noudattaa muotoa hyvä-huono-hyvä.
- Ei ole tietoa, miten hypoksian asteittainen vähentäminen vaikuttaa suorituskykyhuipun ajoittumiseen.
- Jos halua kokeilla, niin Excelin täyttö ja kokemusten vaihto tärkeää.



Tehty ja opittu

- Seuranta: Excel-pohja, testit, Hb-massan mittaus
- Palaute valmentajille: Tapaamiset, skype- ja puhelinpalaverit, emailit
- Yhteistyö lajin sisällä ja lajien välillä
- Mitä opittu tai saatu vahvistusta
 - Suositusten noudattaminen parantaa onnistumisen mahdollisuuksia.
 - Vasteiden vaihtelu kerrasta toiseen → Urheilijan oma seuranta.
 - Harjoittele, älä vain asu hypoksiassa verivasteiden (ja suorituskyvyn parannuksen) aikaansaamiseksi.
 - Odota 30-60 min siirtyessäsi hypoksiasta normoksiaan/alemmaksi harjoittelemaan.
 - Kiinnitä huomiota energiansaantiin ja nesteytykseen erityisesti naisilla
 - Älä mene vuoristoon, jos olet jo mennessä ylikuormittunut.
 - Toimi ohjeiden mukaan välttyäksesi sairastumiselta.
 - Teltan kuumuus.
 - Lisätty retikulositytit ja OFF-score seurattaviin verimuuttujiin.



YHDESSÄ!

Kestavyys.fi KESTÄVYYSLAJIEN YHTEISTYÖHANKE

