

Adaptación a la altura, resultados y experiencias en el CAR



Mauricio Serrato Roa

Coldeportes

Profesor Asociado U.N

High Altitude and Hypoxia Training

- No hay posibilidad de obtener beneficios adaptativos en alturas grandes, incluso por encima de 2800 msn; exepcto:
- “Atletas nativos de altura que LH.TH podrian obtener algun beneficio viviendo o entrenando mas alto”



Index

- Datos normales
- Adaptación a LH-TH
- Adaptación LH-TL y LH-TL&H
 - Cambios fisiológicos
 - Variabilidad de la FC
- Adaptación a la altura en mujeres



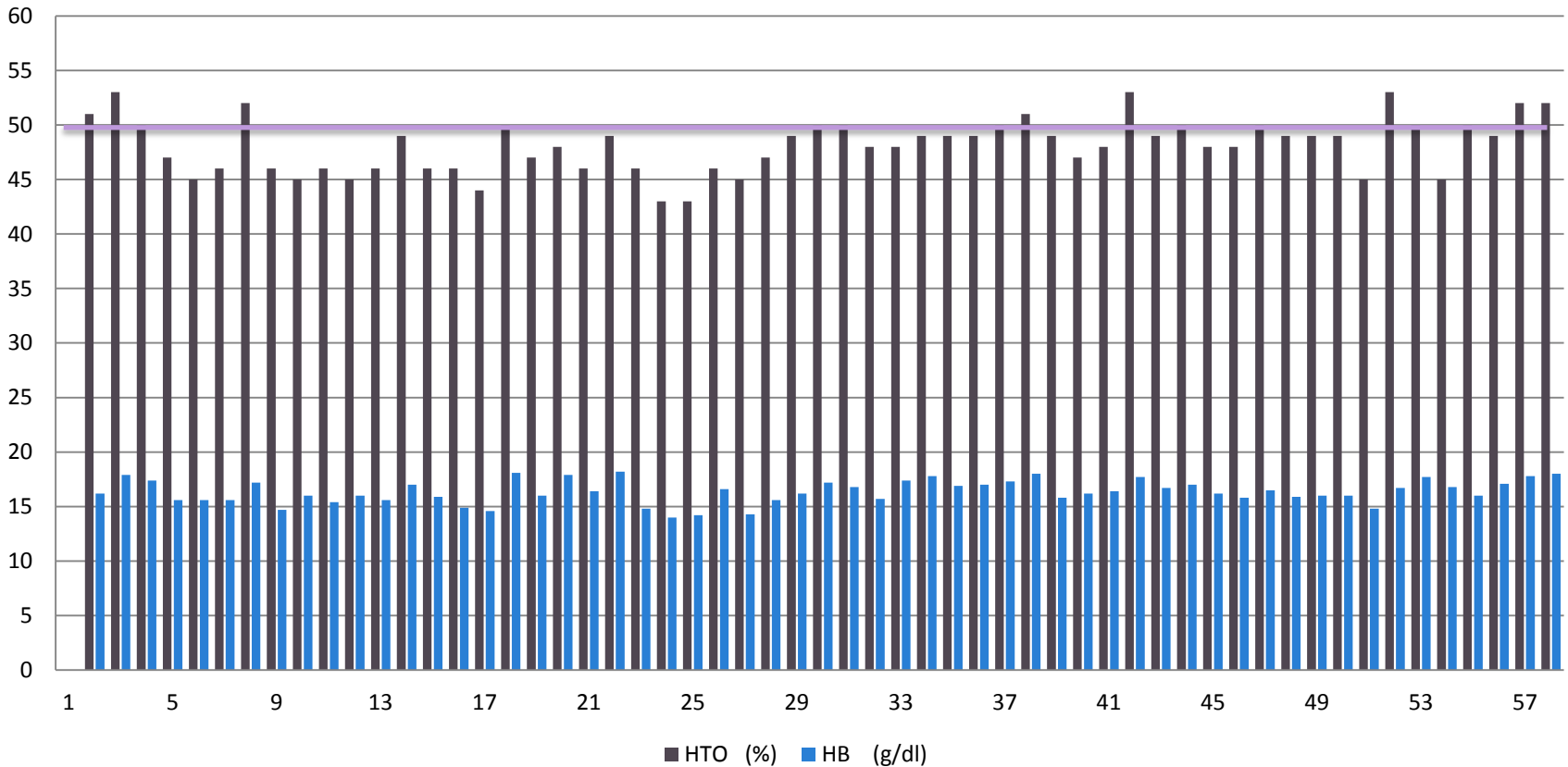
Index

- Datos Normales
- Adaptación a LH-TH
- Adaptación LH-TL y LH-TL&H
 - Cambios fisiológicos
 - Variabilidad de la FC
- Adaptación a la altura en mujeres



Valores Normales en Deportistas

Valores de Hb y Hto en ciclistas y patinadores juveniles



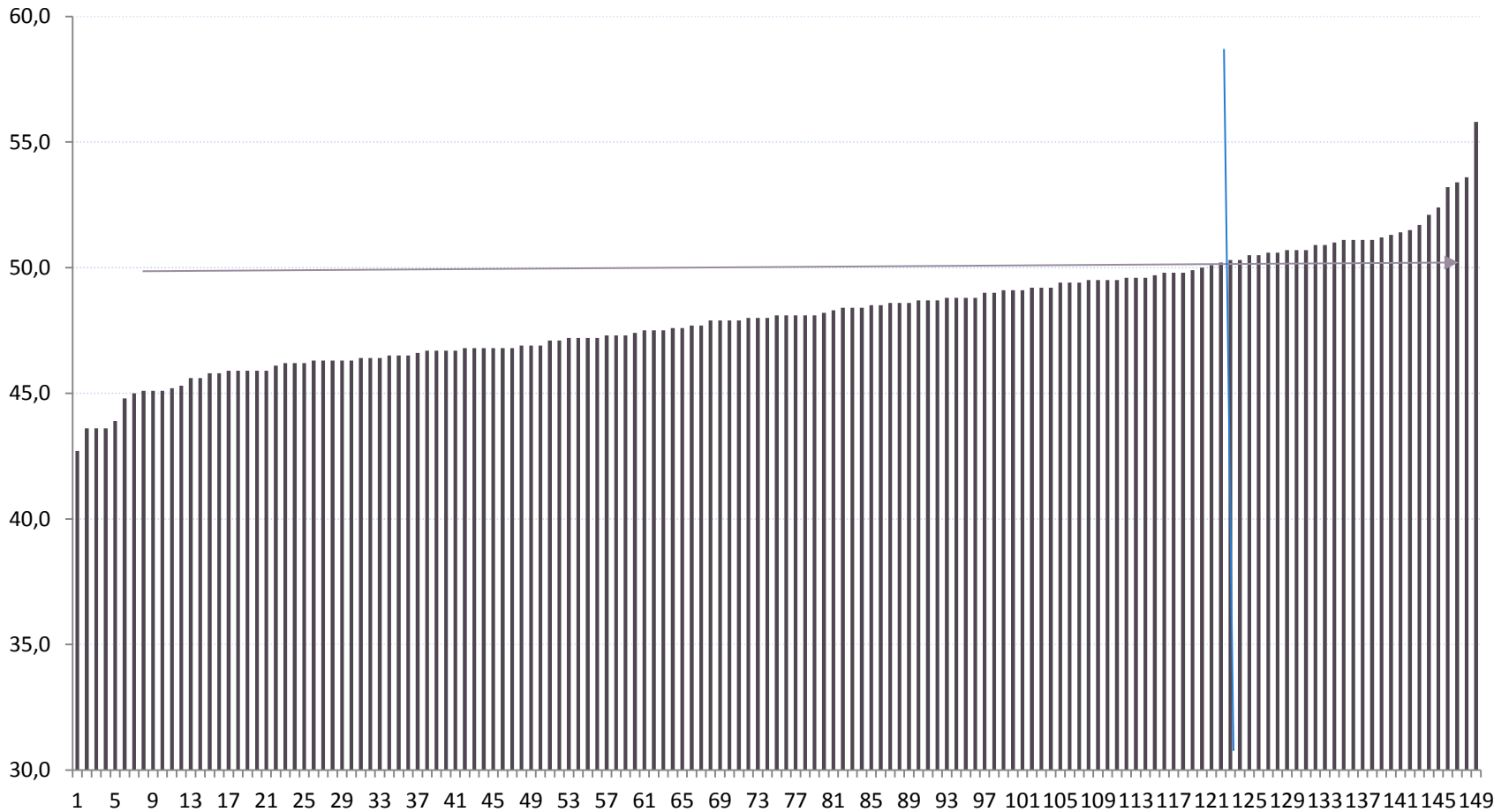
Valores de 149 ciclistas profesionales Vuela a Colombia 2009

	HCT (1)	HGB (1)	RETI (1)
AVG	48,18	16,42	1,25
SD	2,18	0,82	0,45

Parametros

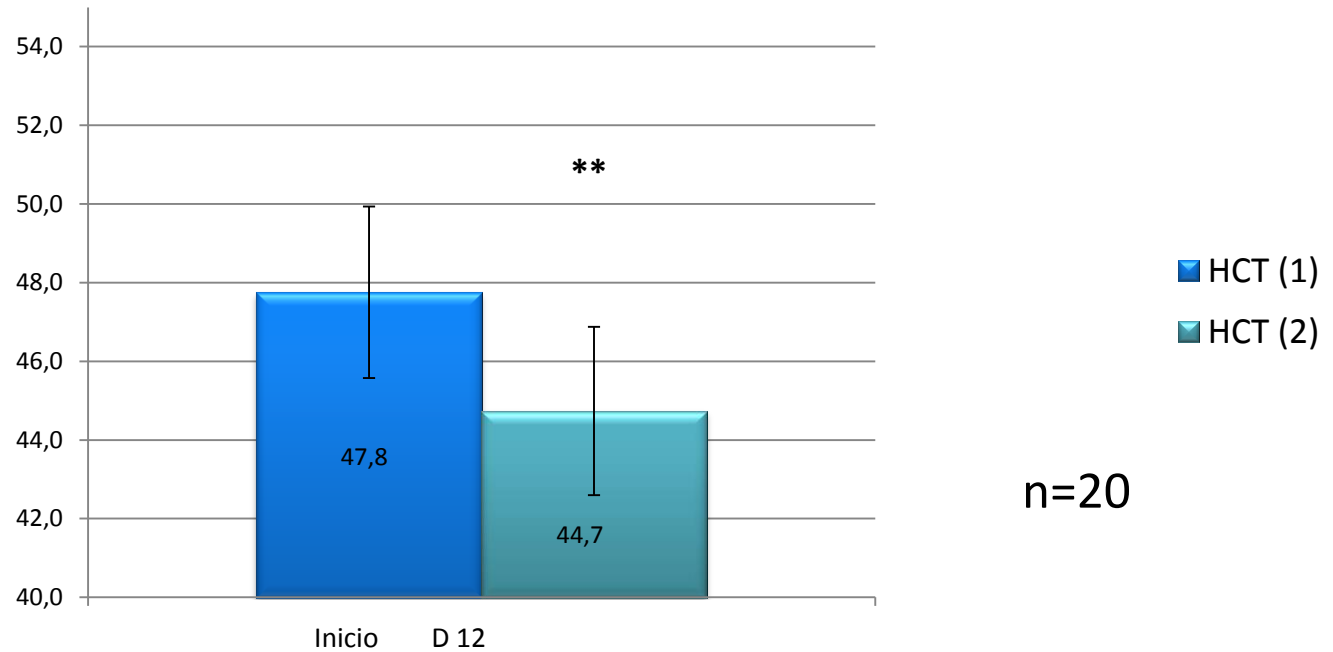
- Hematocrito >50%
- Reticulocitos >2.4%
- Índice de estimulación >133 hombres 128 mujeres
- Índice estimulación $Hb \text{ (g/L)} - (60 \times \sqrt{\text{reticulocitos}})$
- 2 de 3 criterios = exclusión

Hto 149 Ciclistas Vuelta a Colombia



Cambios esperados con la Competencia

Cambio en el Hto al inicio de la vuelta a Colombia y al día 12



Masa de Hb

- Medición ideal de las adaptaciones hematológicas.
- Peso total de la Hb en gr y gr/kg
- Se marca con CO
- Permite medir el VP, VGR y VSanguíneo



Masa de Hb

	Hb-tot g/kg	EV ml/kg	PV ml/kg	BV ml/kg
UT ALT	14,0	42,5	52,2	94,6
UT NM	10,7	30,0	51,1	81,1
TR ALT	14,37	41,00	58,62	99,62

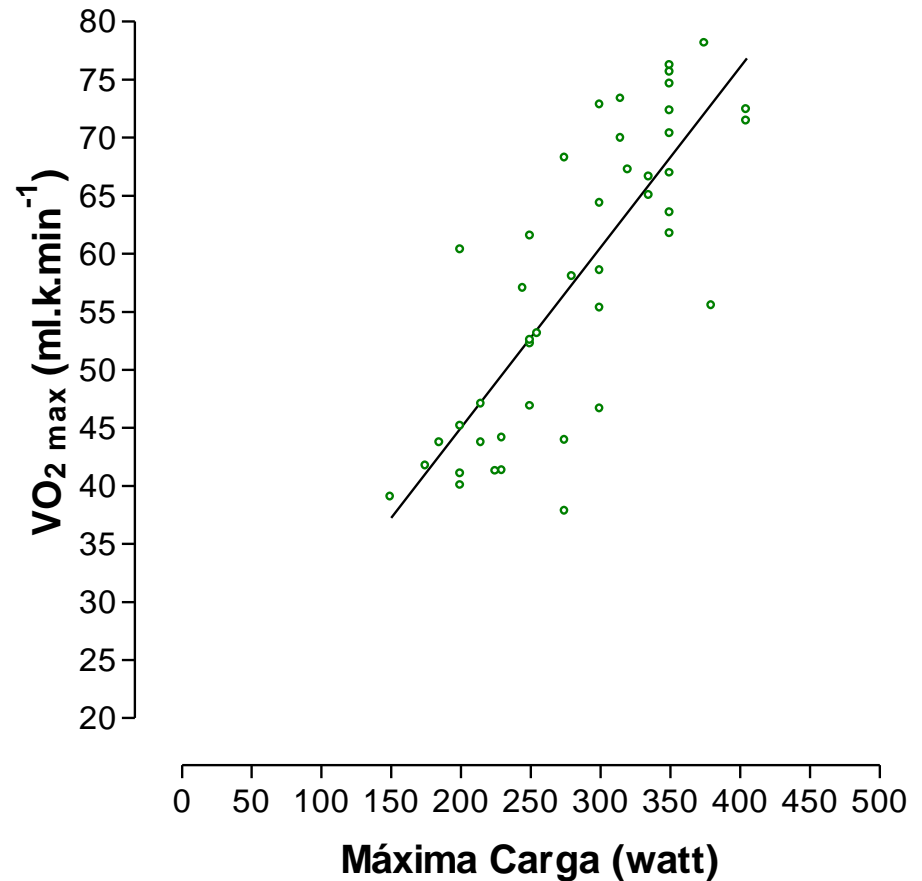
EV = Volumen Eritrocitario

PV = Volumen Plasmático

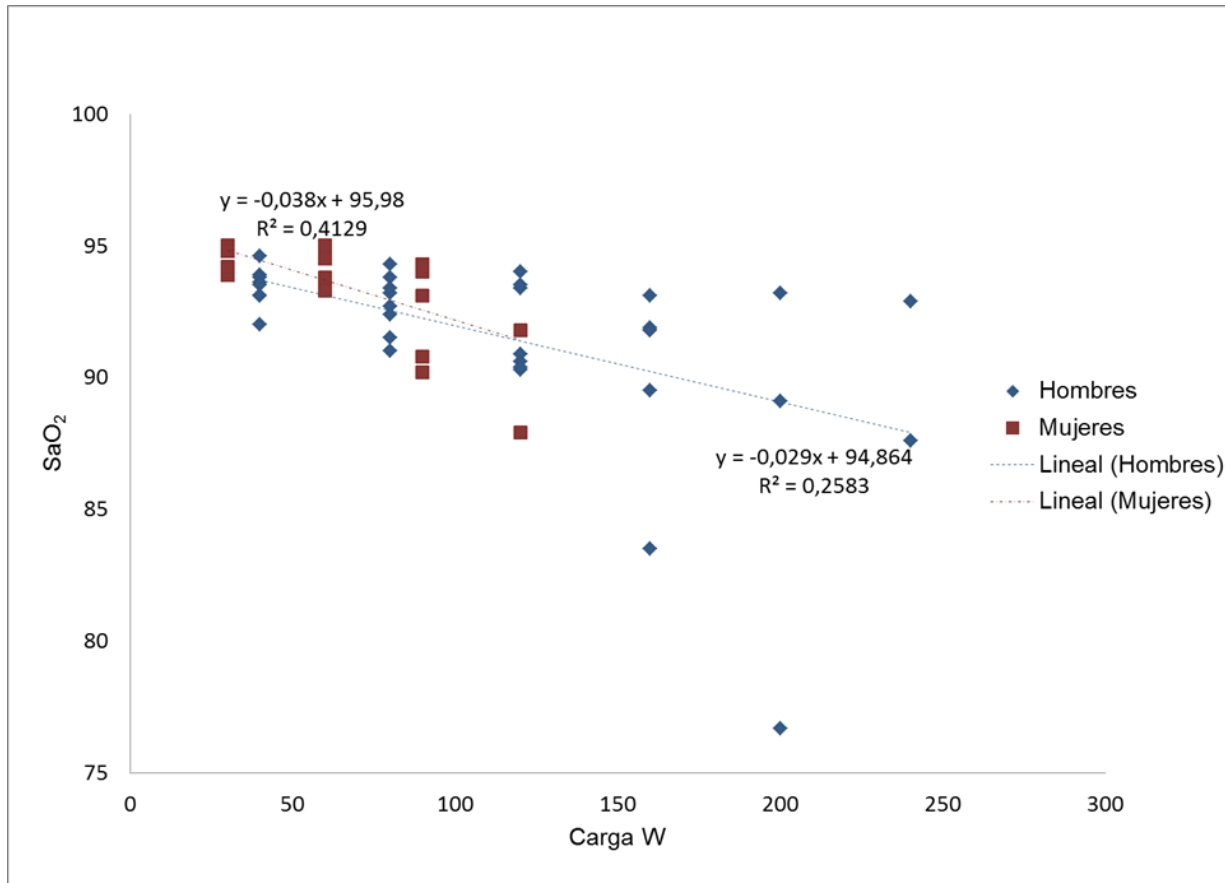
BV = Volumen Sanquíneo

Pendiente VO2-carga

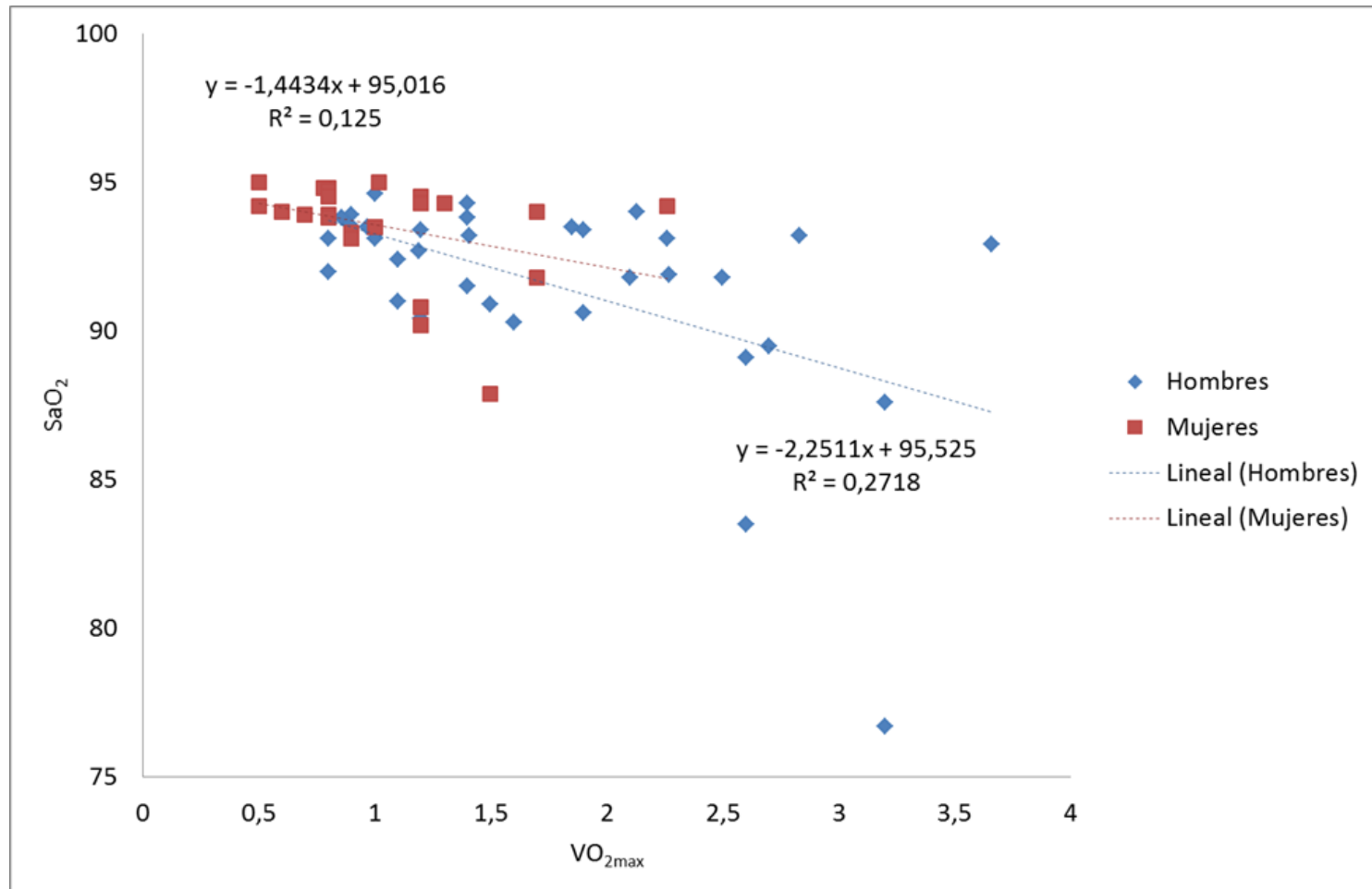
- En 350 pruebas se encontró que la pendiente de la relación entre VO2 y carga era de
- 10ml/watt



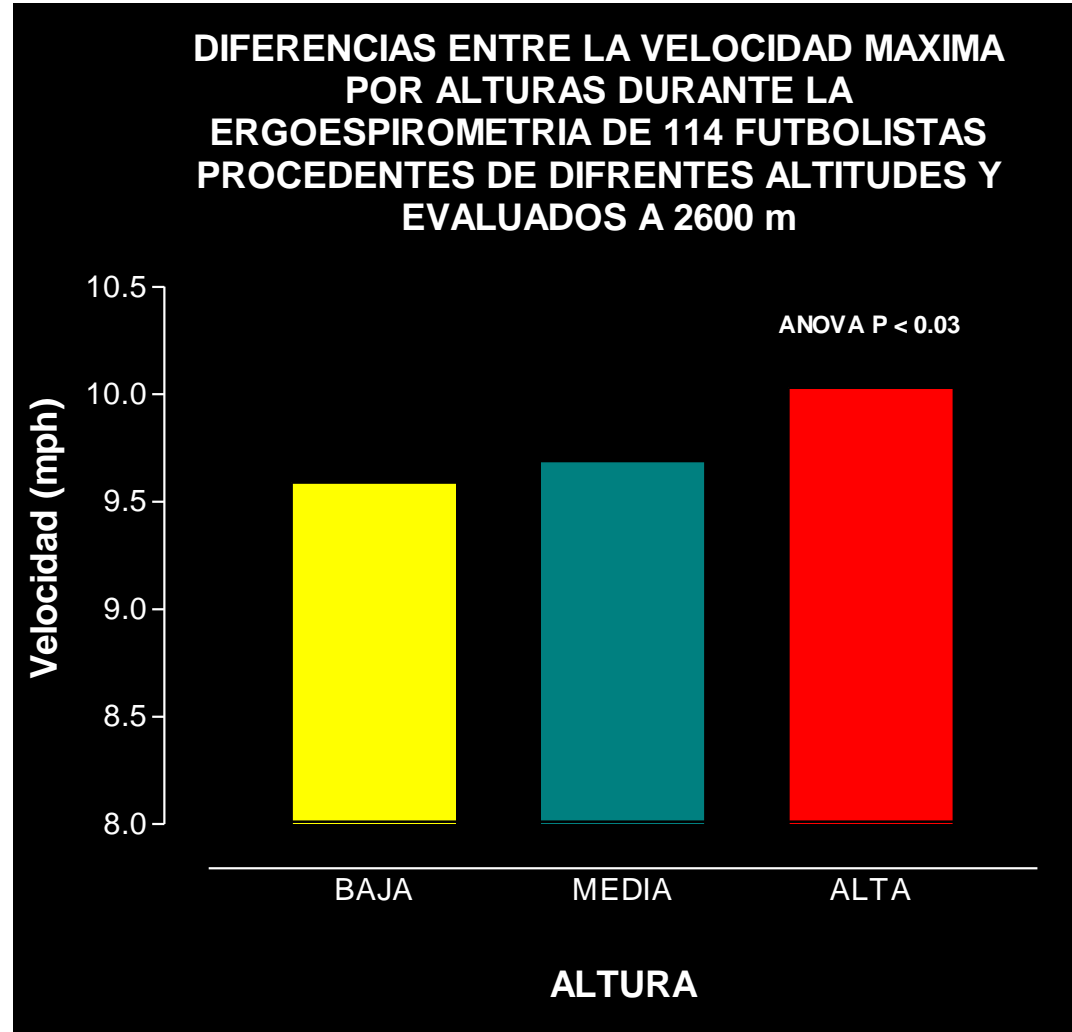
SaO₂ Vs Carga



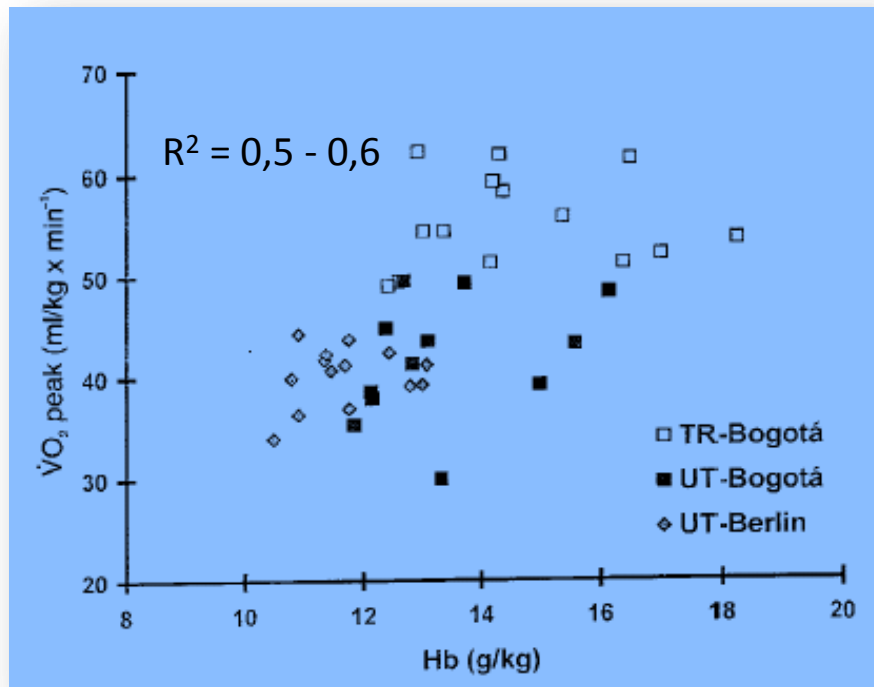
SaO₂ Vos VO₂pico



Economía del Movimiento



There is a strong correlation between hemoglobin mass and $\dot{V}O_2$ max

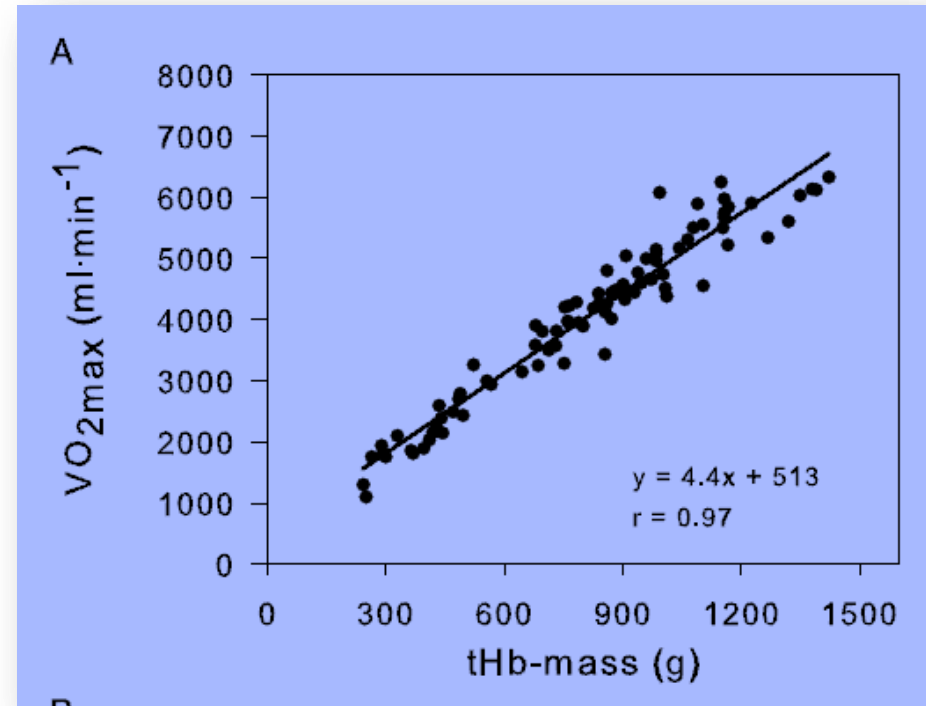


- Cerca del 50-60% del valor del $\dot{V}O_2$ podría ser atribuido a la masa total de hemoglobina.

D. Böning¹, J. Rojas², M. Serrato³, C. Ulloa³, L. Coy², M. Mora², J. Gomez², M. Hütler¹ Hemoglobin Mass and Peak Oxygen Uptake in Untrained and Trained Residents of Moderate Altitude *Int J Sports Med* 2001; 22: 572±578

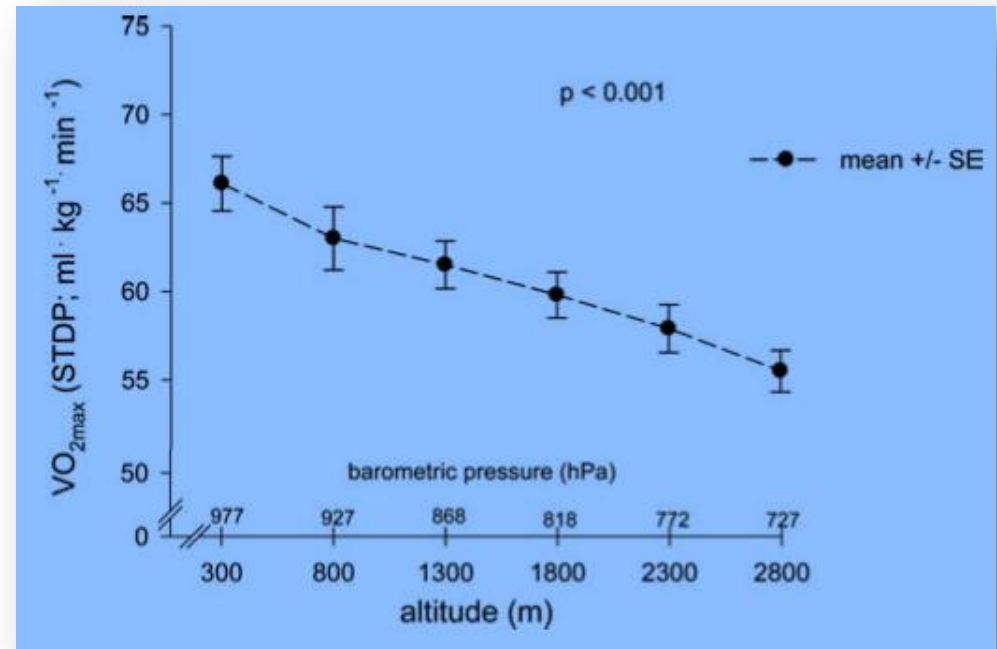
Hb Mass and VO_{2max}

- Un alto volumen sanguíneo y su cantidad elevada de masa de hemoglobina puede afectar el retorno venoso y aumentar las presiones de llenado cardiaco, resultando en un aumento del gasto cardiaco
- Como los atletas de resistencia de élite poseen 40-50% mas de tHb-mass, se asume que el entrenamiento estimula la eritropoiesis

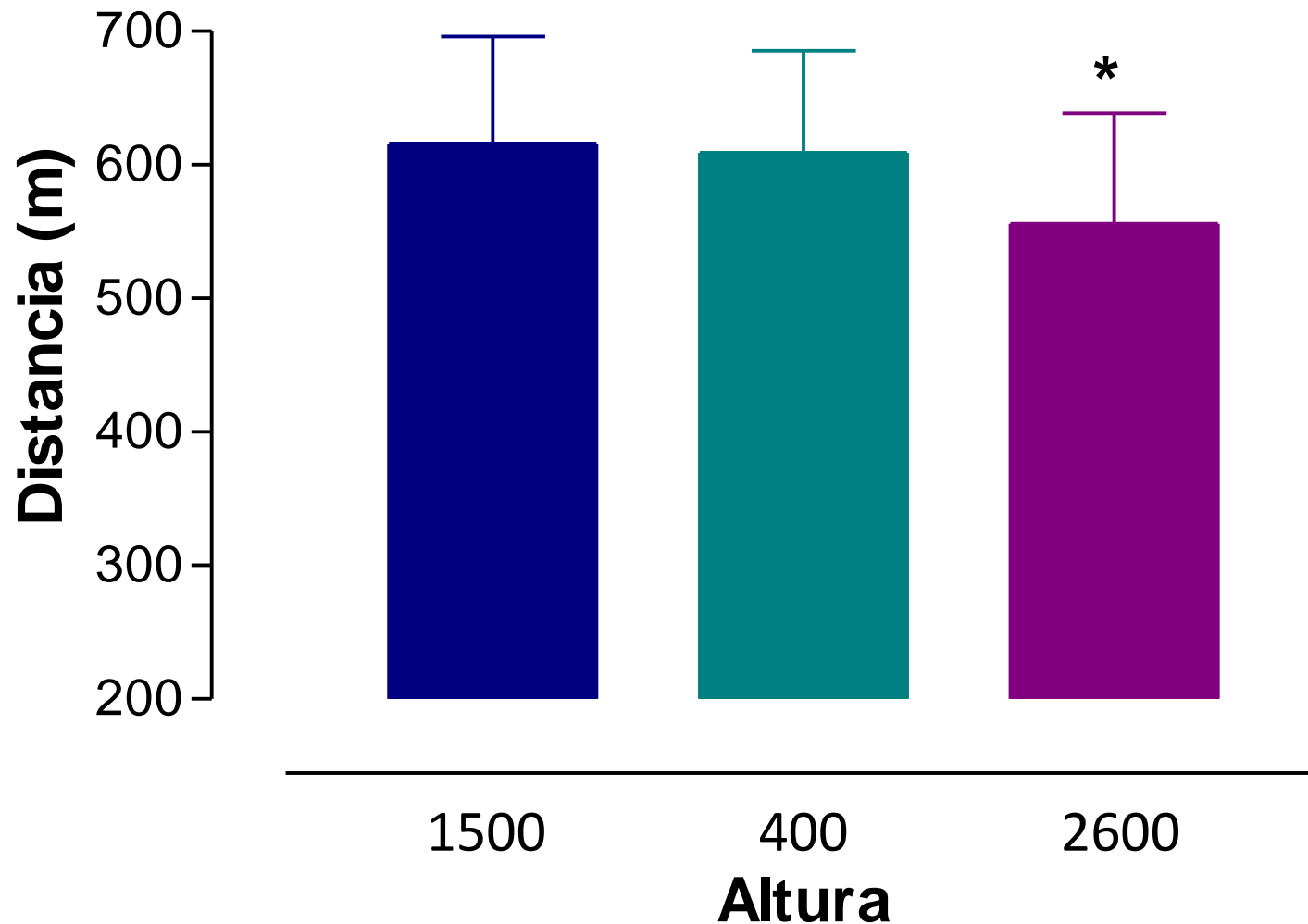


VO₂ max decreases with altitude

- Tan solo 800 msnm causan una reducción significativa en el valor del VO₂ max en atletas entrenados en resistencia.
- EL VO₂ max continua decreciendo linealmente hasta los 2.800m



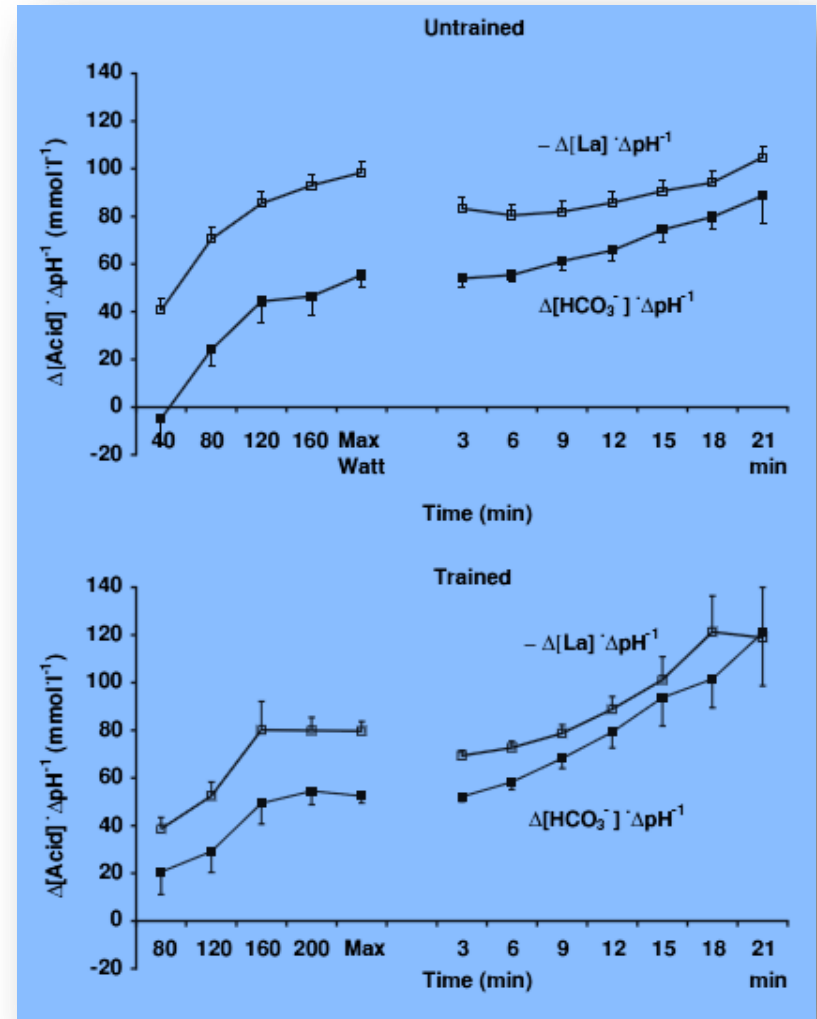
DISTANCIA EN EL TEST EN TRES ALTURAS DIRERENTES



* Bartlett's test $P = 0.08$

Extracellular pH defense against lactic acid in untrained and trained altitude residents

- Nuestros resultados muestran que la defensa del pH no se reduce a pesar de la caída en el HCO_3^- en los nativos de altura.
- La capacidad buffer de la sangre en altura se modifica por la Hb-mass



NBB in TR and UTR altitude residents

- Esto es debido a un aumento de la t-Hb-mass y reducción del volumen extracelular, así como un movimiento de líquidos al músculo, por osmosis
- La reducción concomitante del La- max y el gran efecto de la hiperventilación hace que el pH en bajas PCO₂ produzca menos acidosis en ejercicio en los nativos de altura

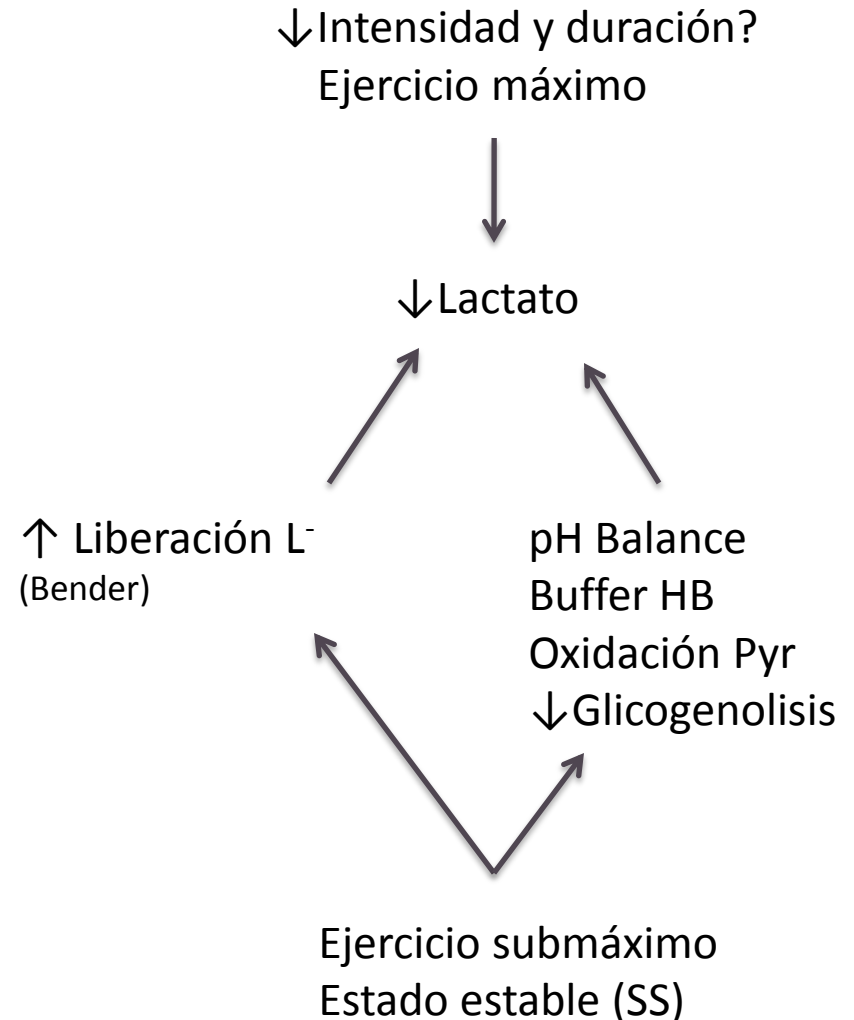
Table 3 Influence of altitude acclimatization on pH defense during exercise

	UT-Berlin	TR-Berlin	UT-Bogotá	TR-Bogotá	Mountaineers before expedition	Mountaineers after expedition
Bicarbonate buffers (β_{bi})	46 ± 1	48 ± 1	41 ± 1**	38 ± 1***	48 ± 1	44 ± 1 [#]
Non-bicarbonate buffers (β_{nbi})	32 ± 2	20 ± 2 ^{†††}	40 ± 2*	28 ± 2**, ^{†††}	25 ± 3	61 ± 16 [#]
Respiratory compensation	22 ± 3	23 ± 3	27 ± 4	21 ± 3	19 ± 4	23 ± 5
Total pH defense	100 ± 4	91 ± 3	108 ± 5	87 ± 3 ^{†††}	92 ± 6	128 ± 12 ^{##}

Mean and SEM (unit mmol l⁻¹ per pH unit) for untrained (UT) and trained (TR) subjects. Comparison Berlin (32 m above sea level, Böning et al. 2007b) versus Bogotá: * $P < 0,05$, ** $P < 0,02$, *** $P < 0,01$; [†] for corresponding comparisons untrained versus trained; [#] Comparisons before and after the expedition. Mountaineers (data from Böning et al. 2001a): measurements performed in Ulm/Germany (700 m above sea level), six subjects who had stayed 37 days in the Himalaya 7–8 days after descent below 2,800 m

Adaptaciones del Metabolismo en Hipoxia

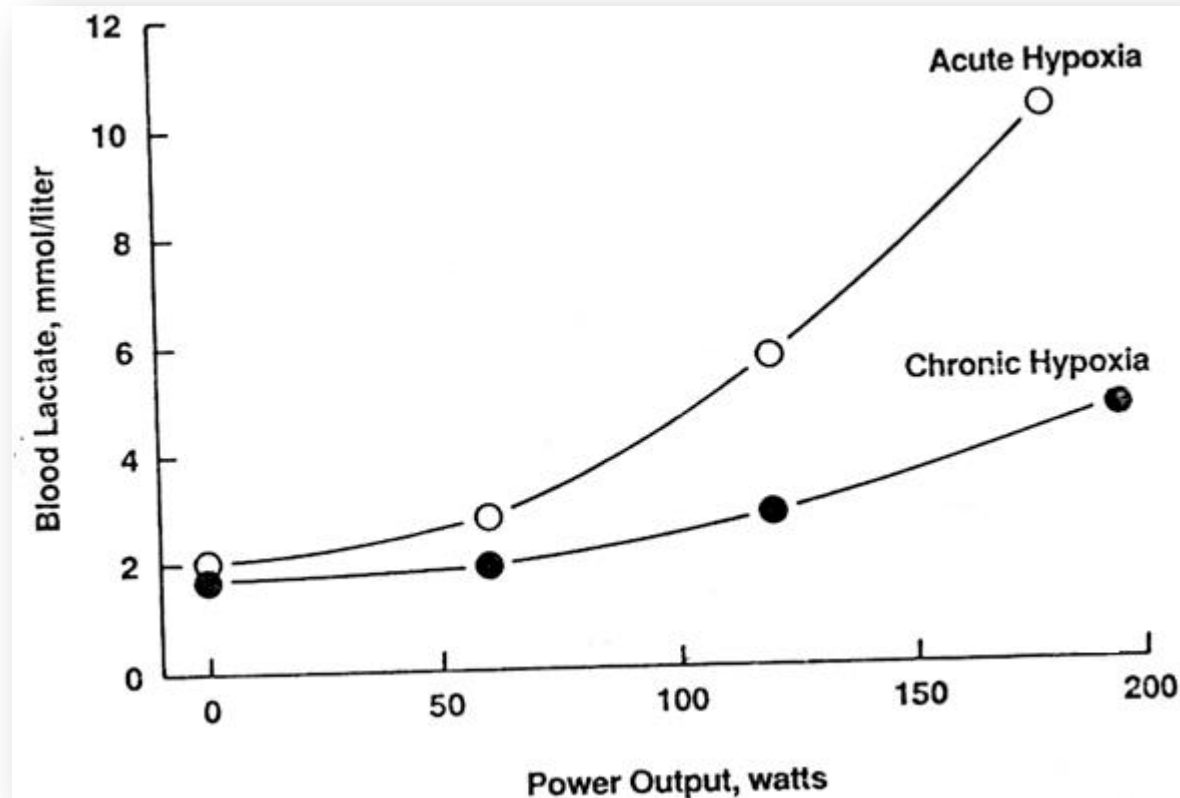
- Cambios en el lactato son el primer indicio de aclimatación. (Edwards)
- Pero aun así el tiempo de fatiga es menor



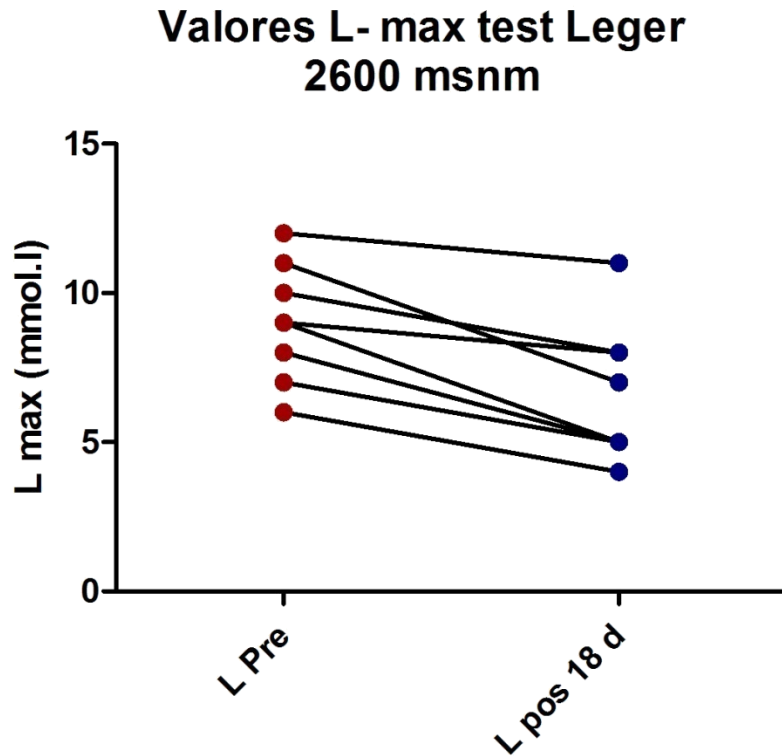
Bender PR. Et al. J Appl Physiol 67: 1456-1462, 1989

Edwards HT. Am J Physiol 116;367-375, 1986

Adaptación metabólica



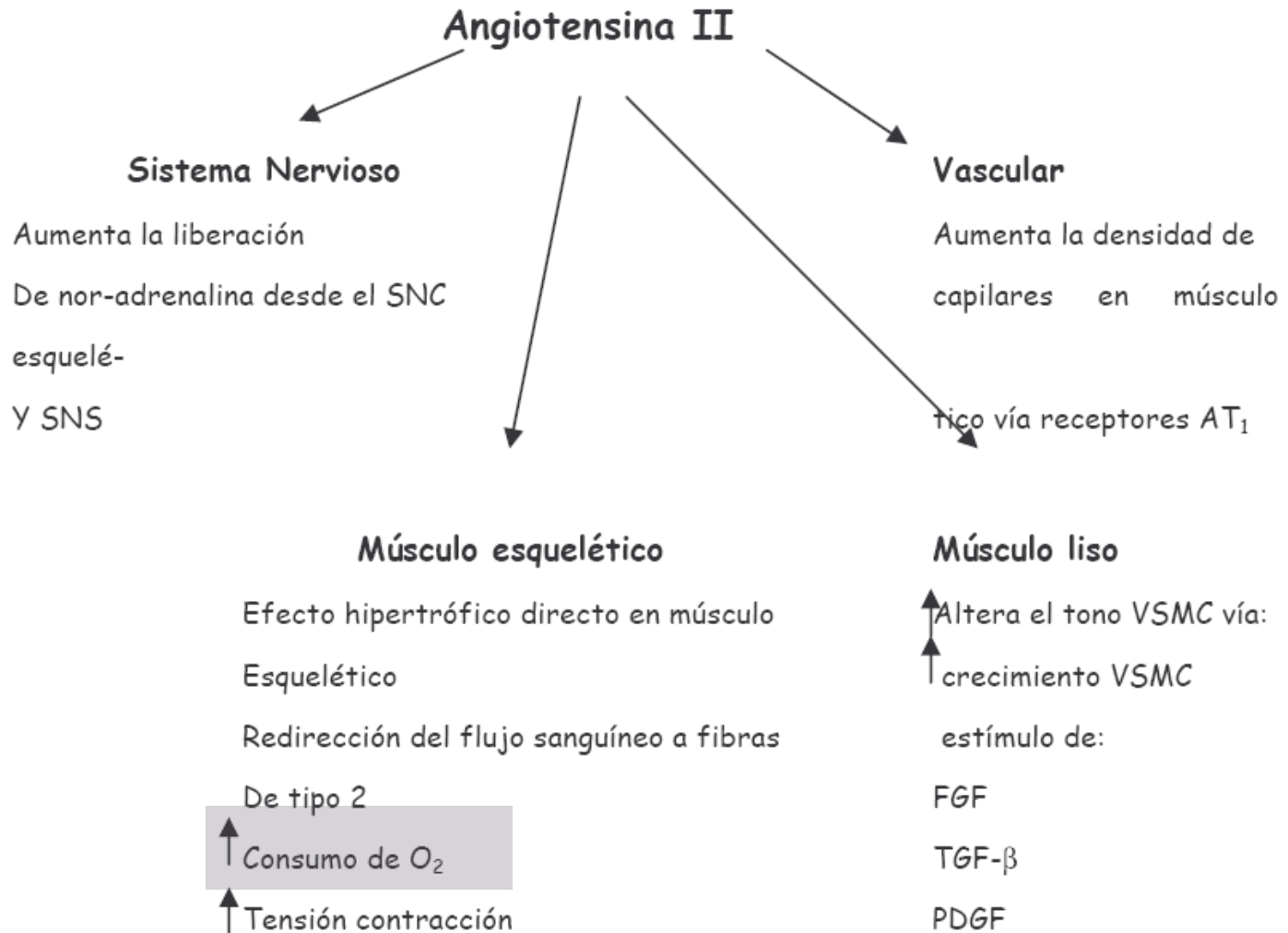
Lactato en carga estándar pre y post



Influencia Genética

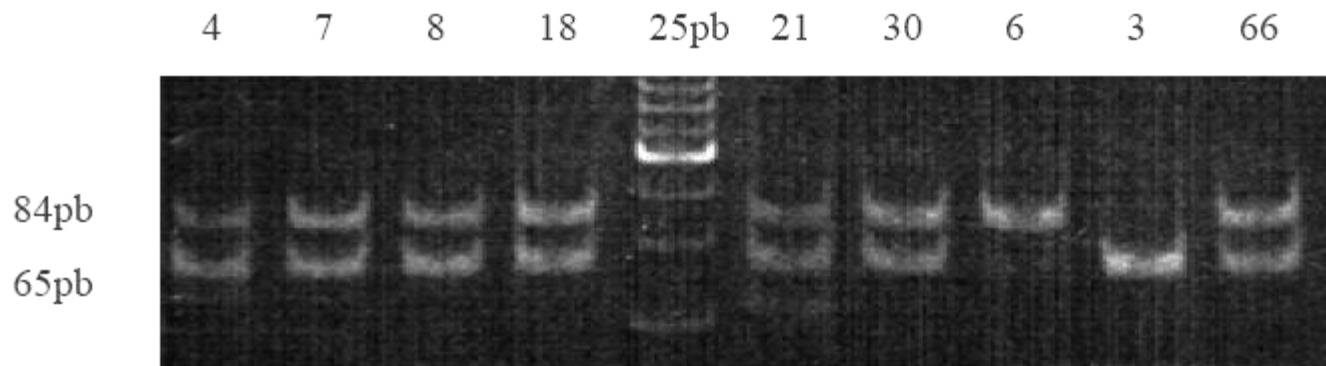
- El $\text{VO}_{2\text{max}}$ tiene un fuerte componente genético (heredabilidad y entrenabilidad)
- Puede marcar las respuestas individuales
- Además de tener marcadores genéticos
- Se realizó un estudio para ver la correlación del VO_2 max con los polimorfismos de los genes que codifican para ACE, PPAR- α , LPL y receptor β -3 adrenérgico en individuos sedentarios y entrenados residentes en altura intermedia

Rol del sistema ACE en el VO₂



Influencia Genética

- 56 individuos adaptados a la altura intermedia, 29 sedentarios y 27 deportistas de alto rendimiento especializados en pruebas de resistencia.
- Las diferencias en el VO2 pico fueron muy significativas, sin embargo no se encontraron correlaciones con los polimorfismos de los genes estudiados



Index

- Valores Normales
- Adaptación a LH-TH
- Adaptación LH-TL y LH-TL&H
 - Cambios fisiológicos
 - Variabilidad de la FC
- Adaptación a la altura en mujeres



LH-TH

- Los nativos tienen la posibilidad de aumentar aún más la t-Hbmass con el entrenamiento más la hipoxia
- Cuando ellos LH & TH, pueden realizar entrenamiento específico con hipoxia

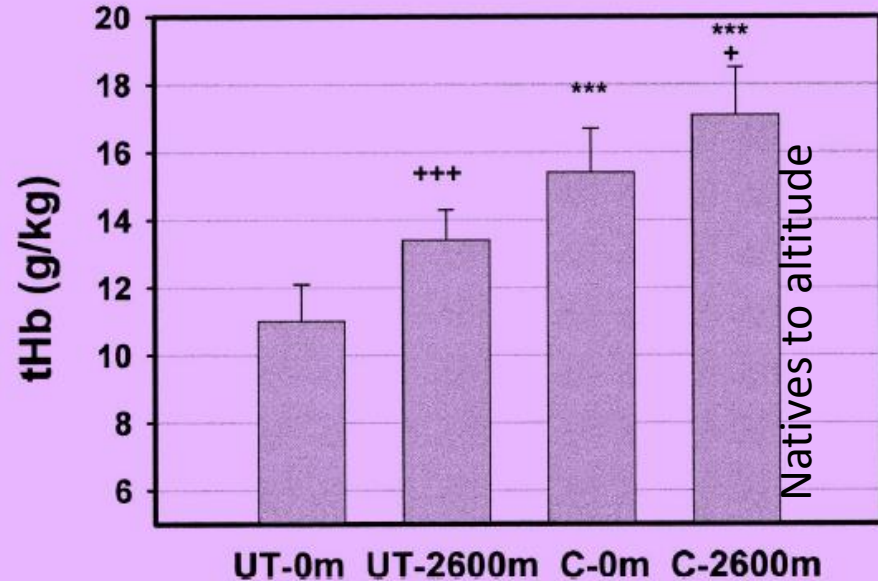
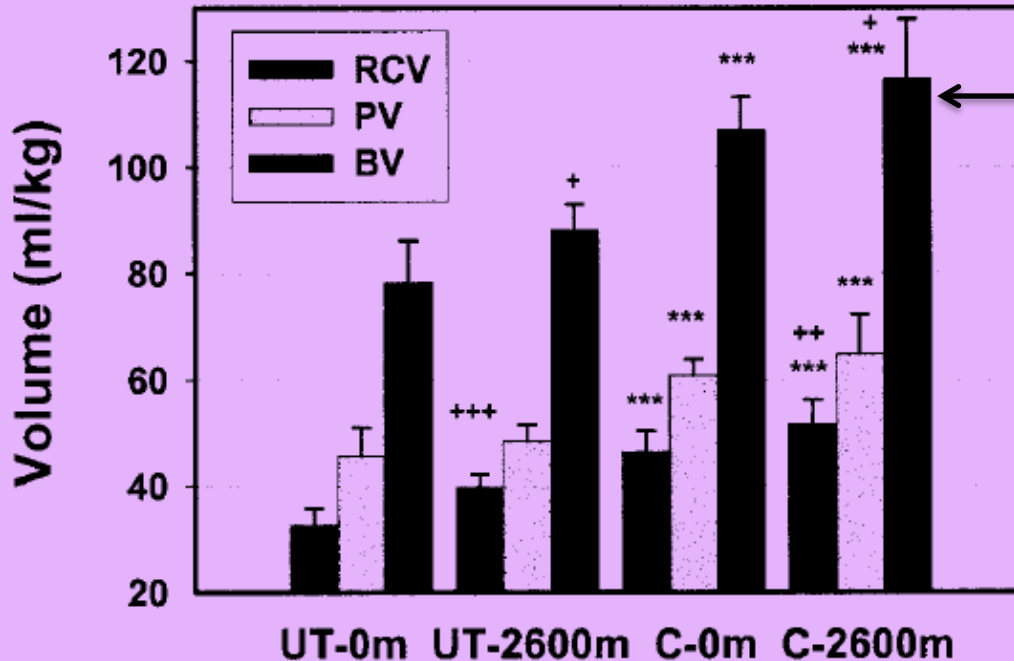


FIGURE 1—Total hemoglobin mass (tHb) calculated for kg body mass in highly trained cyclists from 2600 m and from sea level (0 m) and in their corresponding control groups. UT, untrained subjects; C, cyclists; + indicates altitude affects; * indicates training effects; +,* = $P < 0.05$, ++,** = $P < 0.01$, +++,** = $P < 0.001$.

Schmidt, W. Heinicke, K. Serrato, M. Rojas, J. et al. Blood volume and hemoglobin mass in endurance athletes from moderate altitude. *Med Sci Sports Exerc. Medicine & Science in Sports & Exercise* 2002; 34(12):1934-1940

LH-TH

Red blood cell volume (RVC), Plasma volume (PV) and total blood volume (BV)

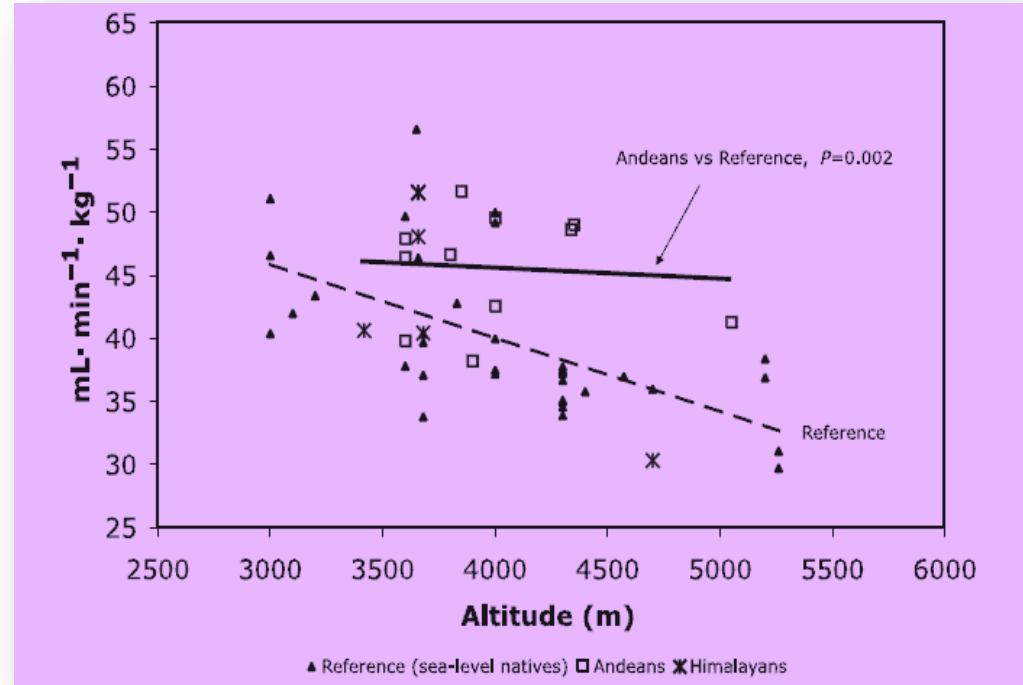


Natives
To altitude

FIGURE 2—Red cell volume (RCV), plasma volume (PV) and total blood volume (BV) in trained and untrained subjects from different altitudes. For further information see Figure 1.

Natives have Other adaptations

- Los valores de $\text{VO}_2 \text{ max}$ en altura de los nativos de los Andes Vs los Himalayas revelan que hay diferentes adaptaciones en poblaciones de reciente asentamiento en altura



- (Brutsaert et al. 1999b, 2004a; Curran et al. 1998; Frisancho et al. 1973, 1995; Ge et al. 1994, 1995; Greksa et al. 1984; Kollias et al. 1968; Marconi et al. 2004; Mazess 1969a, 1969b; Niu et al. 1995; Schoene et al. 1990; Vogel et al. 1974).

Conclusion

- EL método de LH-TH mostró aumento de la adaptación hematológica
- EN individuos previamente adaptados
- Se requiere un ajuste de la intensidad de entrenamiento

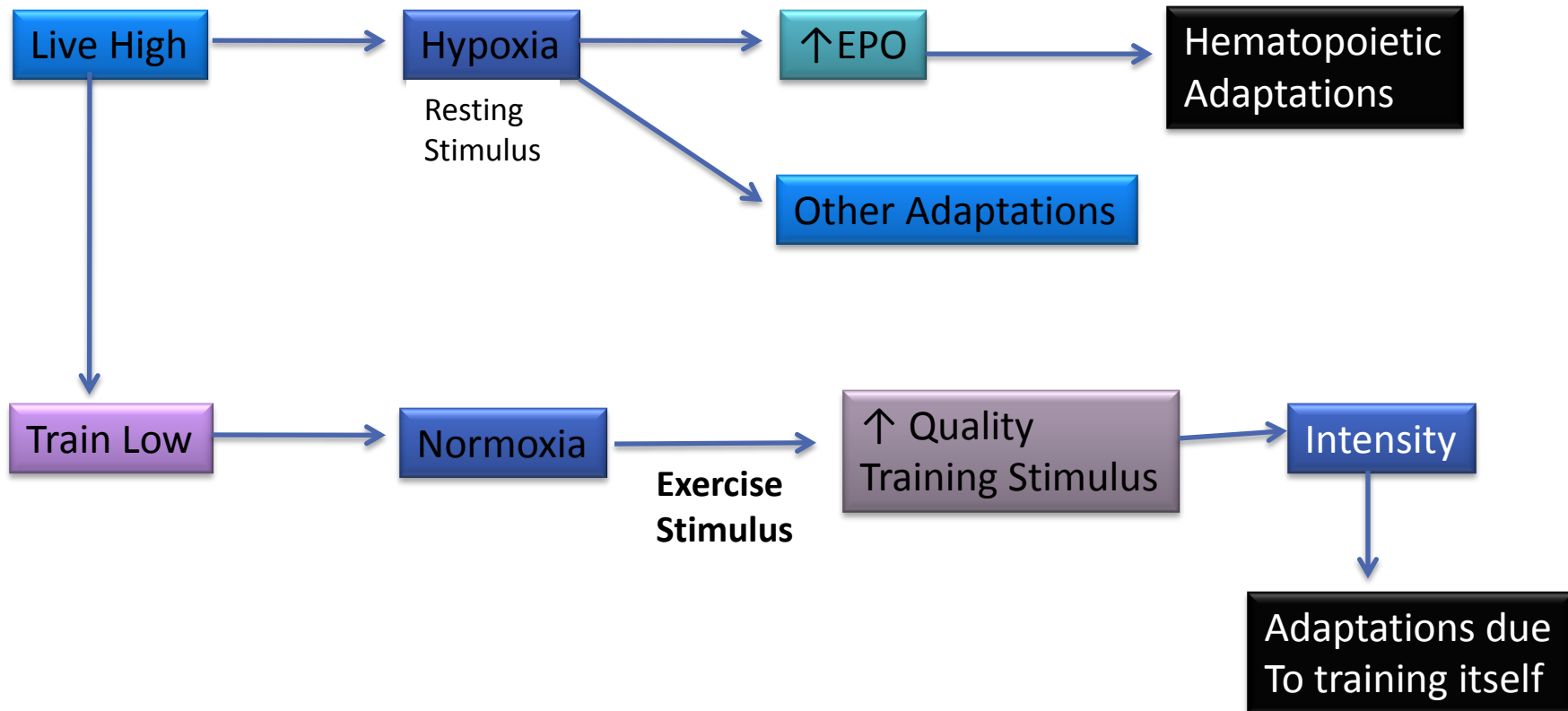


Index

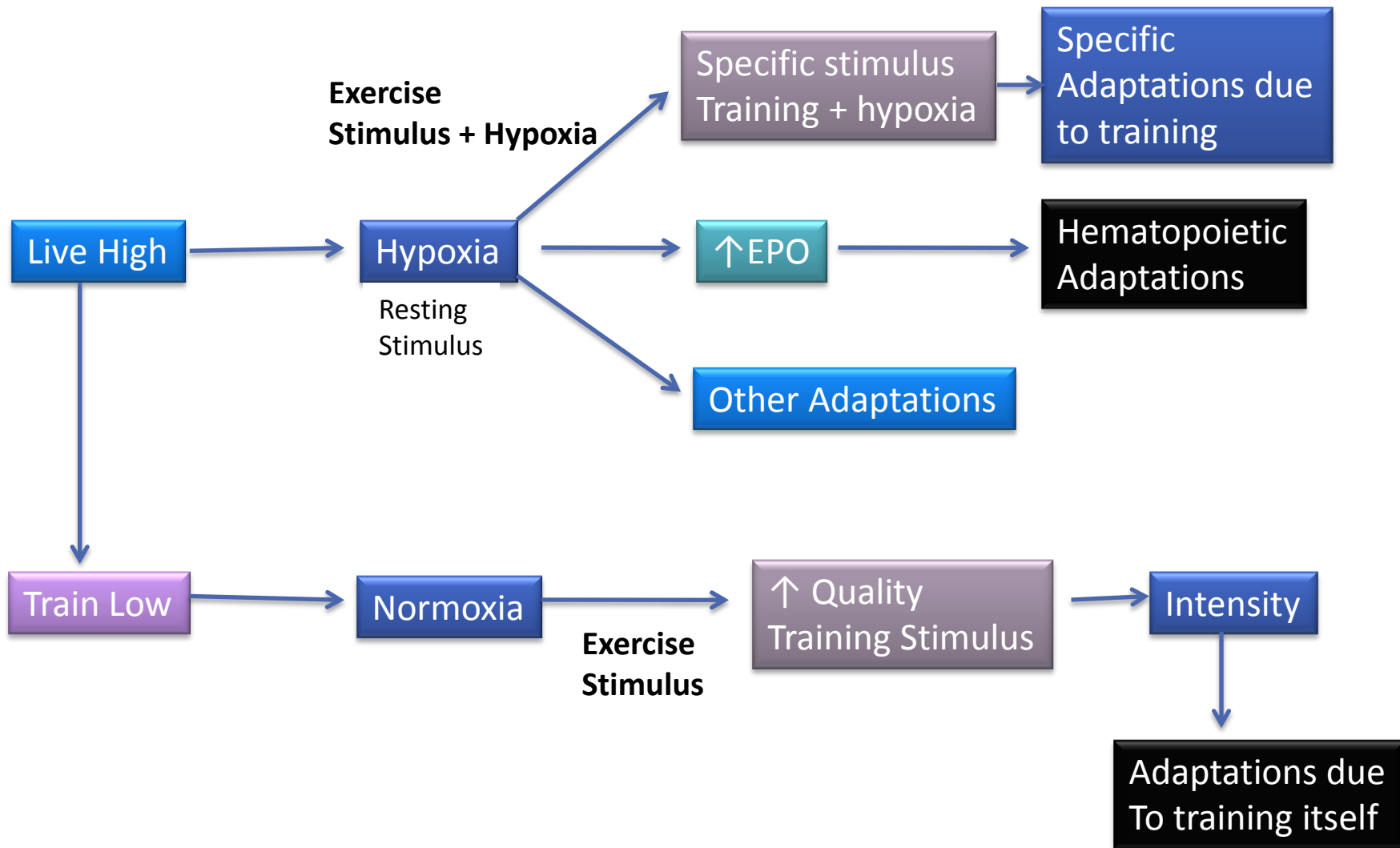
- Fisiología de la altitud
- Adaptación a LH-TH
- **Adaptación LH-TL y LH-TL&H**
 - Cambios fisiológicos
 - Variabilidad de la FC
- Adaptación a la altura en mujeres



Conceptual Model



Conceptual Model



Combinar los Métodos es Mejor?

REVIEW ARTICLE

Sports Med 2010; 40 (1): 1-25
0112-1642/10/0001-0001/\$49.95/0

© 2010 Adis Data Information BV. All rights reserved

Combining Hypoxic Methods for Peak Performance

Gregoire P. Millet,¹ B. Roels,² L. Schmitt,³ X. Woorons⁴ and J.P. Richalet⁴

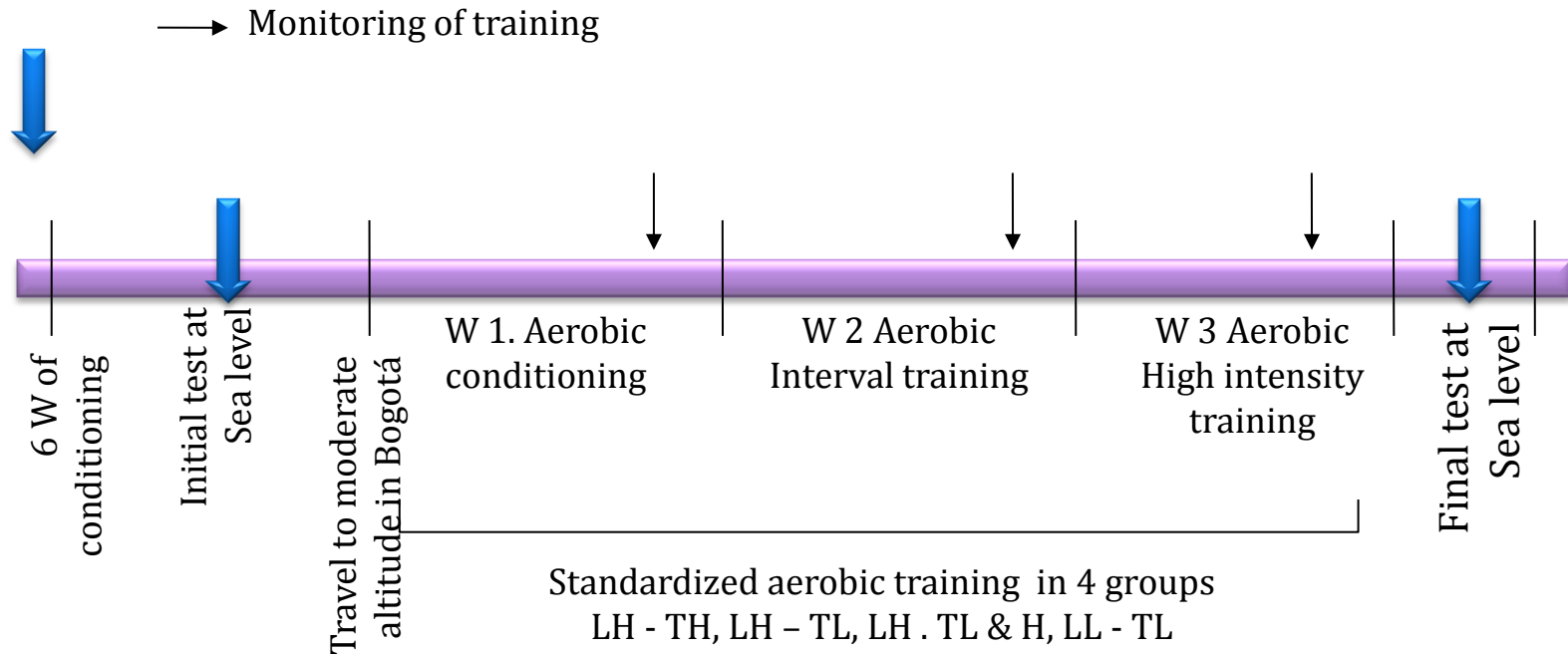
1 ISSUL, Institute of Sport Science, University of Lausanne, Lausanne, Switzerland

2 ORION, Clinical Services Ltd, London, UK

3 National Nordic Ski Centre, Prémanon, France

4 Université Paris 13, Laboratoire `Réponses cellulaires et fonctionnelles à l'hypoxie', EA2363 ARPE, Bobigny, France

Protocol to test different models of moderate altitude training



TEST

Aerobic 3000 m test

Peak VO_2

HR variability

Hemoglobin mass and other hematological

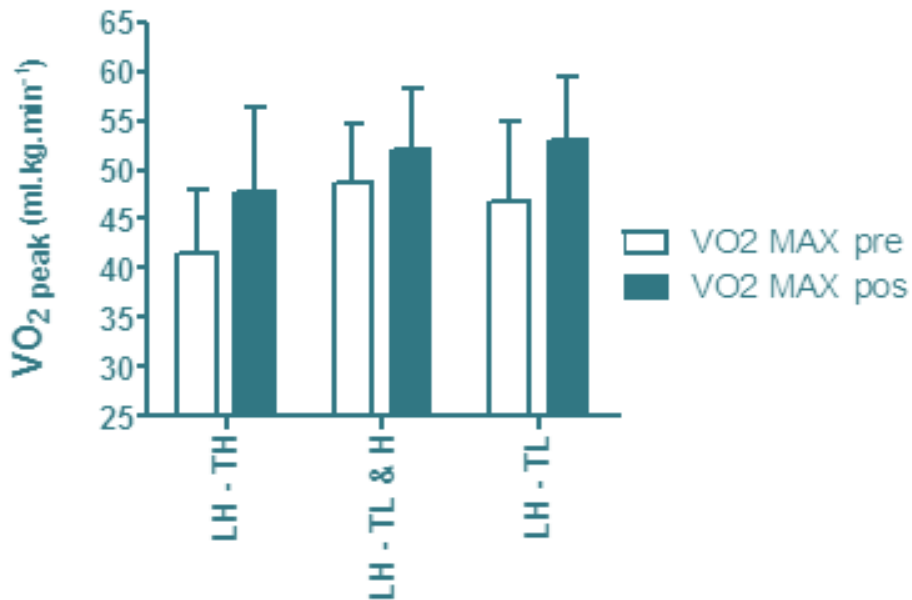
Medical examination

Nutritional and anthropometric evaluation

Unidad Central del Valle UCEVA
Coldeportes
National Colombian University

VO₂ peak

VO₂ peak before and after 3 W of standardized aerobic training with different models

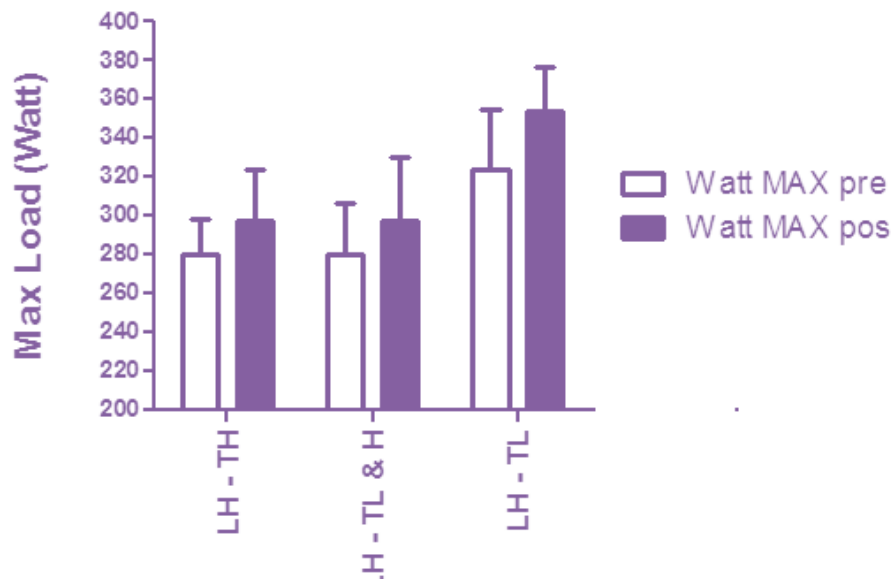


- Los individuos del nivel del mar no se pudieron adaptar porque mantuvieron la misma intensidad en los tres grupos
- Lo que significa una intensidad relativa mayor para los individuos que entrenaron alto

► Serrato M. Rojas, J. Cristancho, E. Galeano, E. Böening D. Effects three models of altitude training on hematological, physiological and heart rate variability adaptations. In progress. 2008

Maximal workload

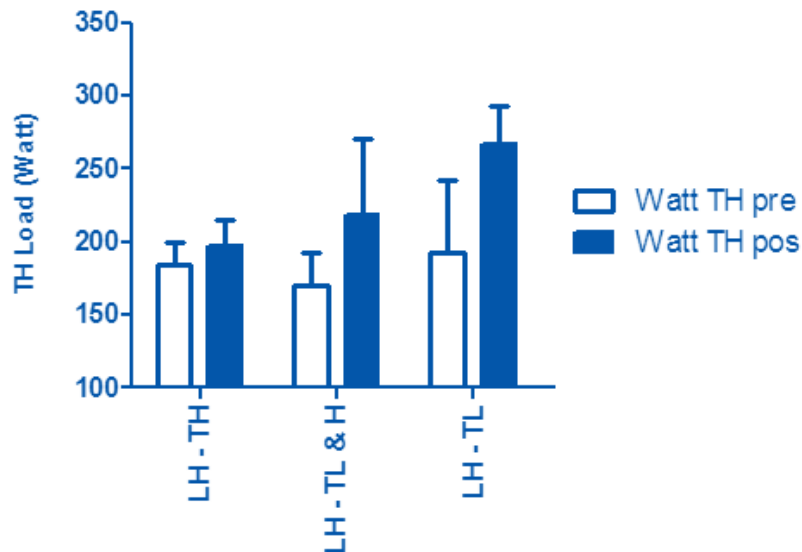
Maximal work load before and after 3 W of standardized aerobic training with different models



- Le grupo LH-TL tuvo una intensidad óptima de entrenamiento
- Esto lleva a los individuos a incrementar su eficiencia mecánica

Workload at Ventilatory threshold

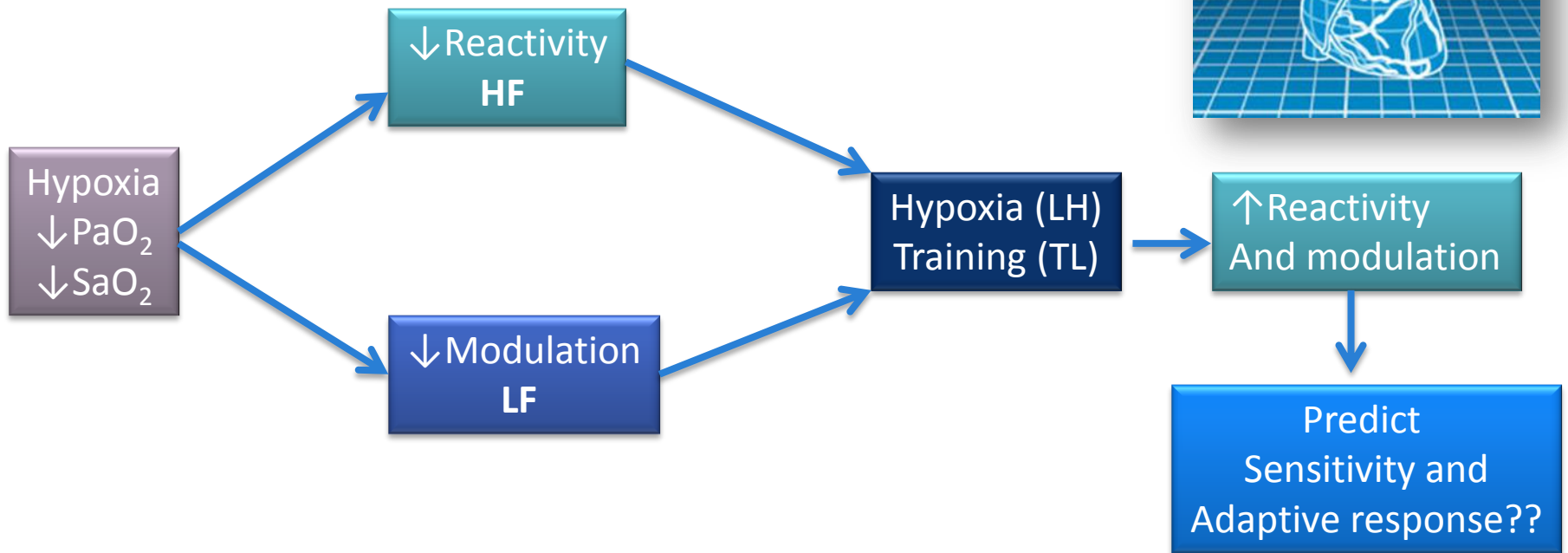
Work load at ventilatory threshold before and after 3 W of standardized aerobic training with different models



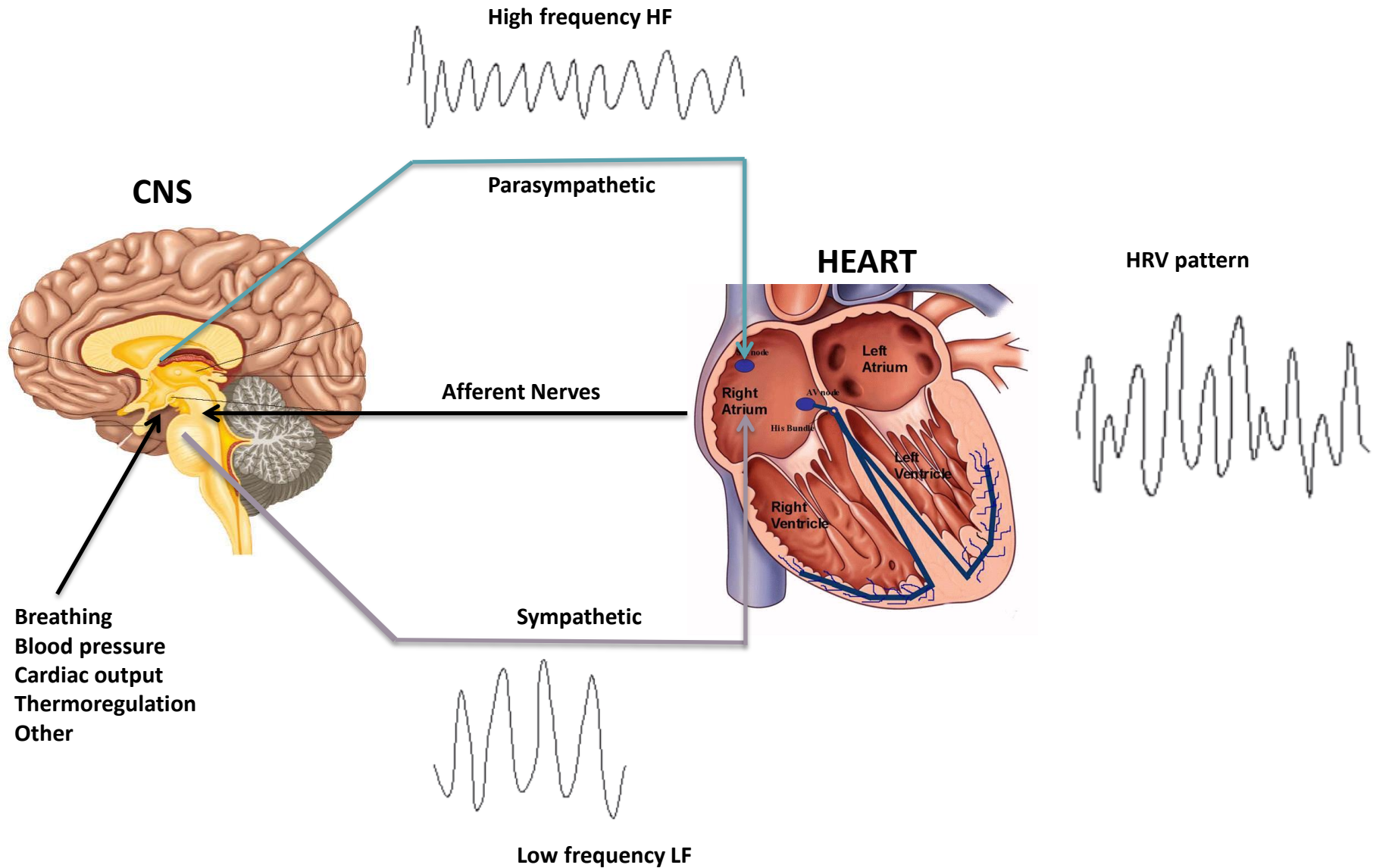
- Capacidad aeróbica
(La mayor intensidad en un %VO₂max que puede ser sostenida en condiciones estables)
- Mejores resultados con la intensidad óptima lograda por el grupo LH-TL

Heart Rate Variability and Hypoxia Adaptation in conditioned young males

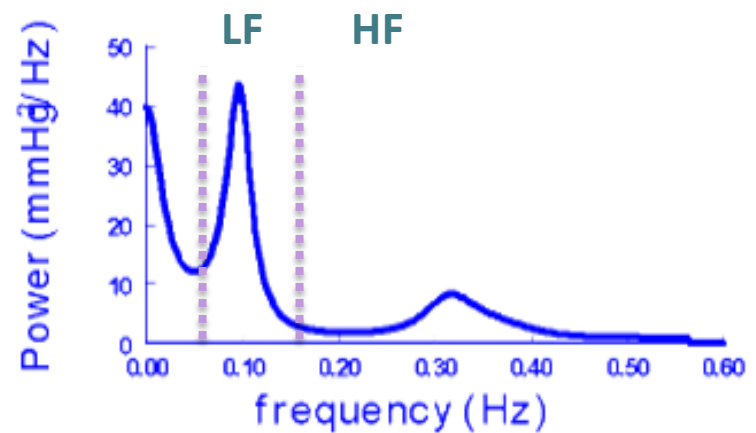
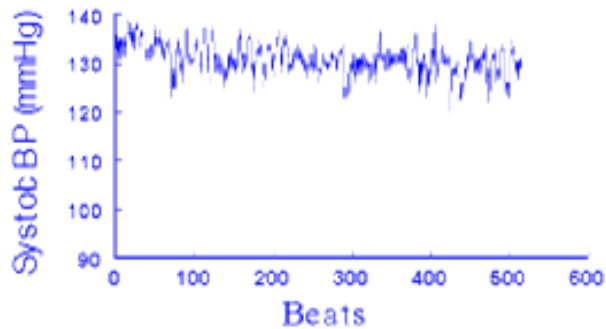
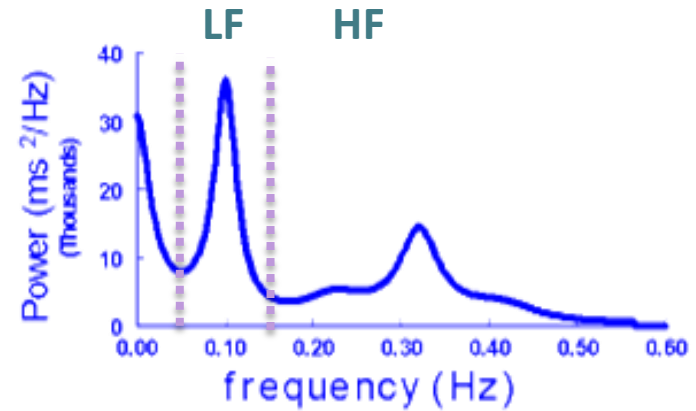
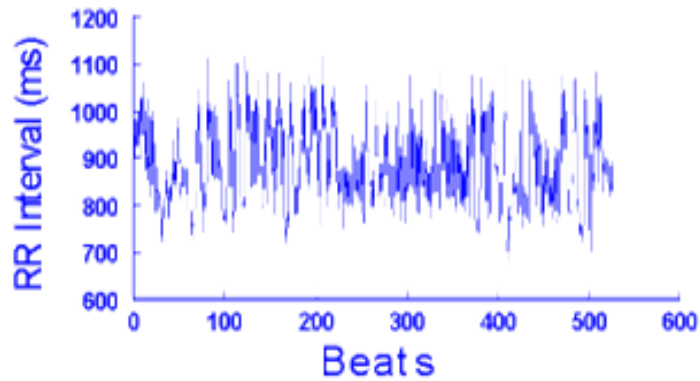
Autonomic
Regulation SP/PS Activity



Heart Rate Variability and autonomic regulation

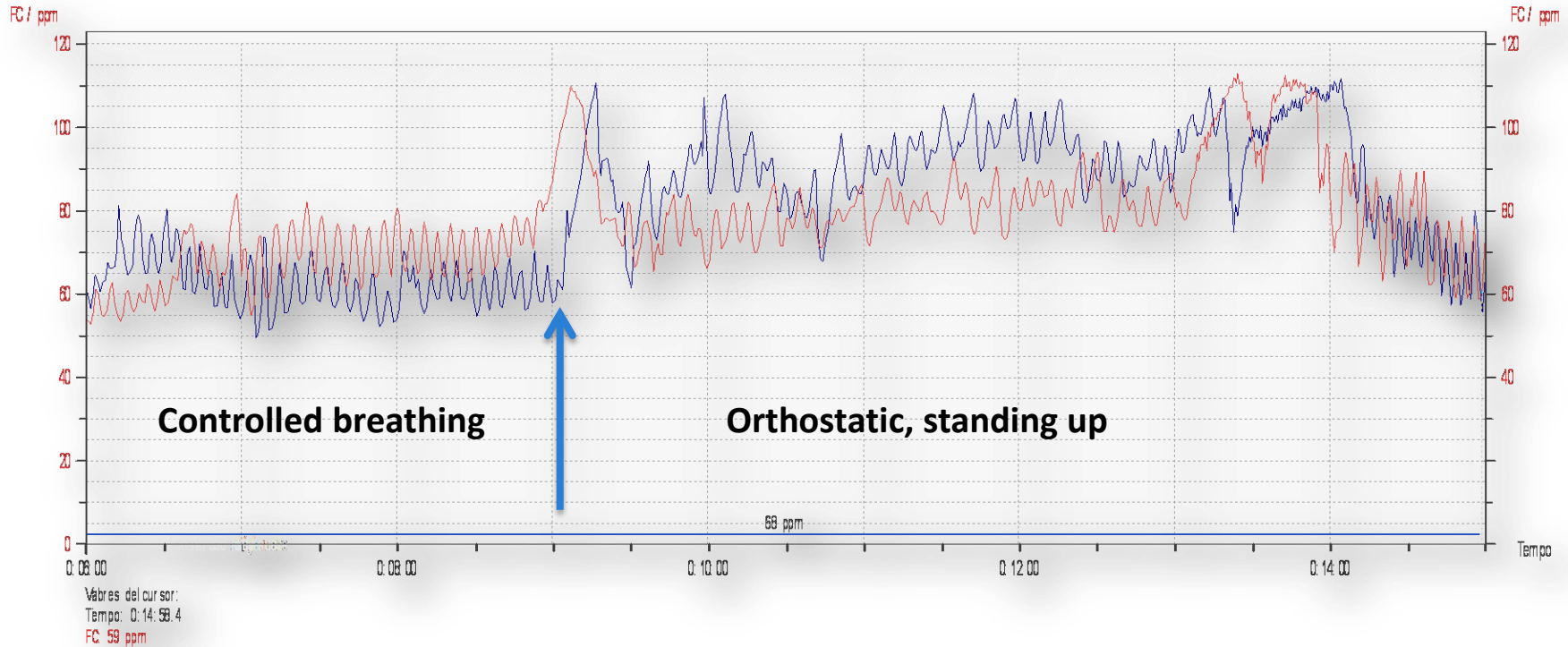


HRV spectral analysis



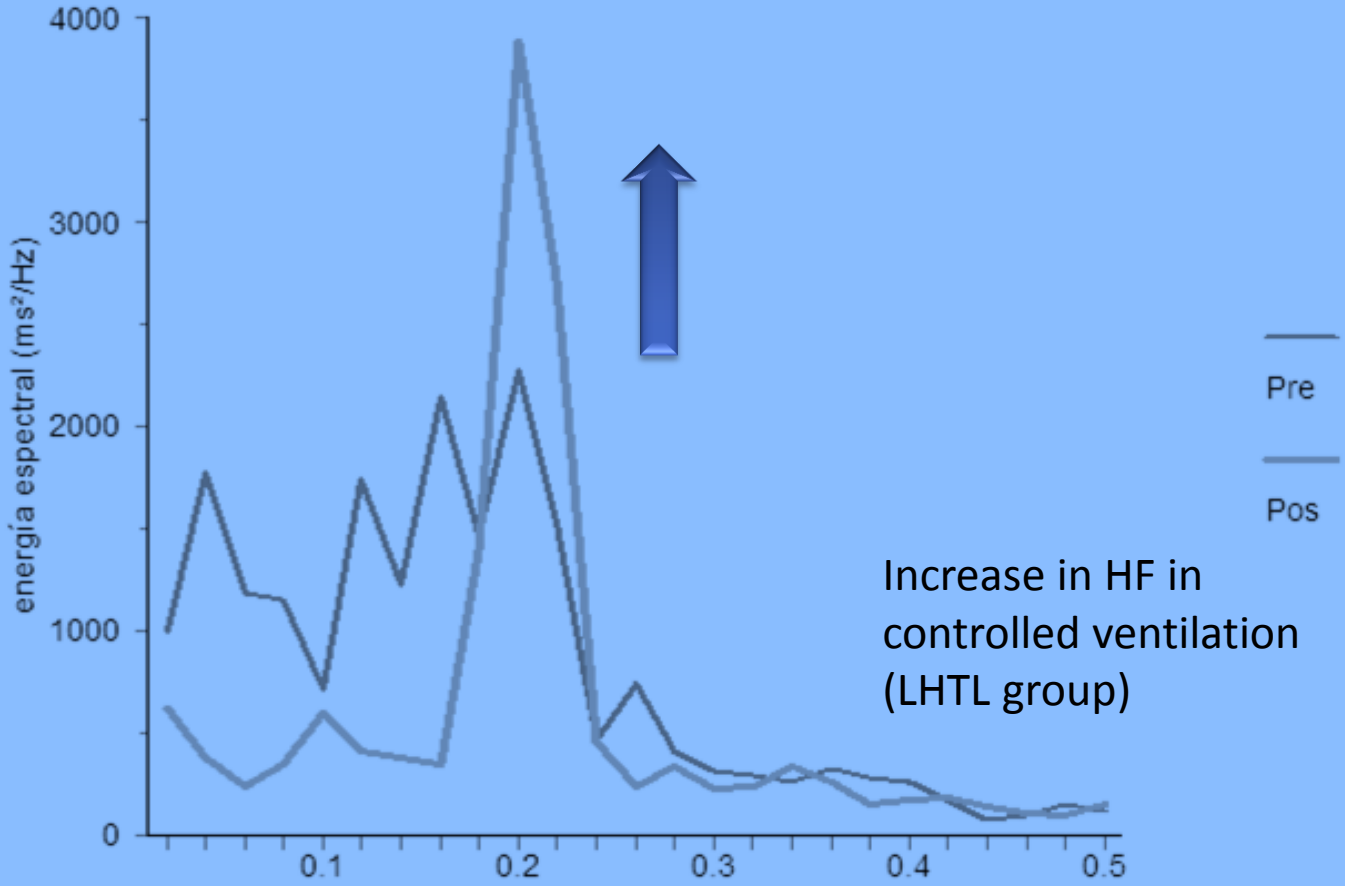
LH-TL

Example HRV adaptation after 21 days

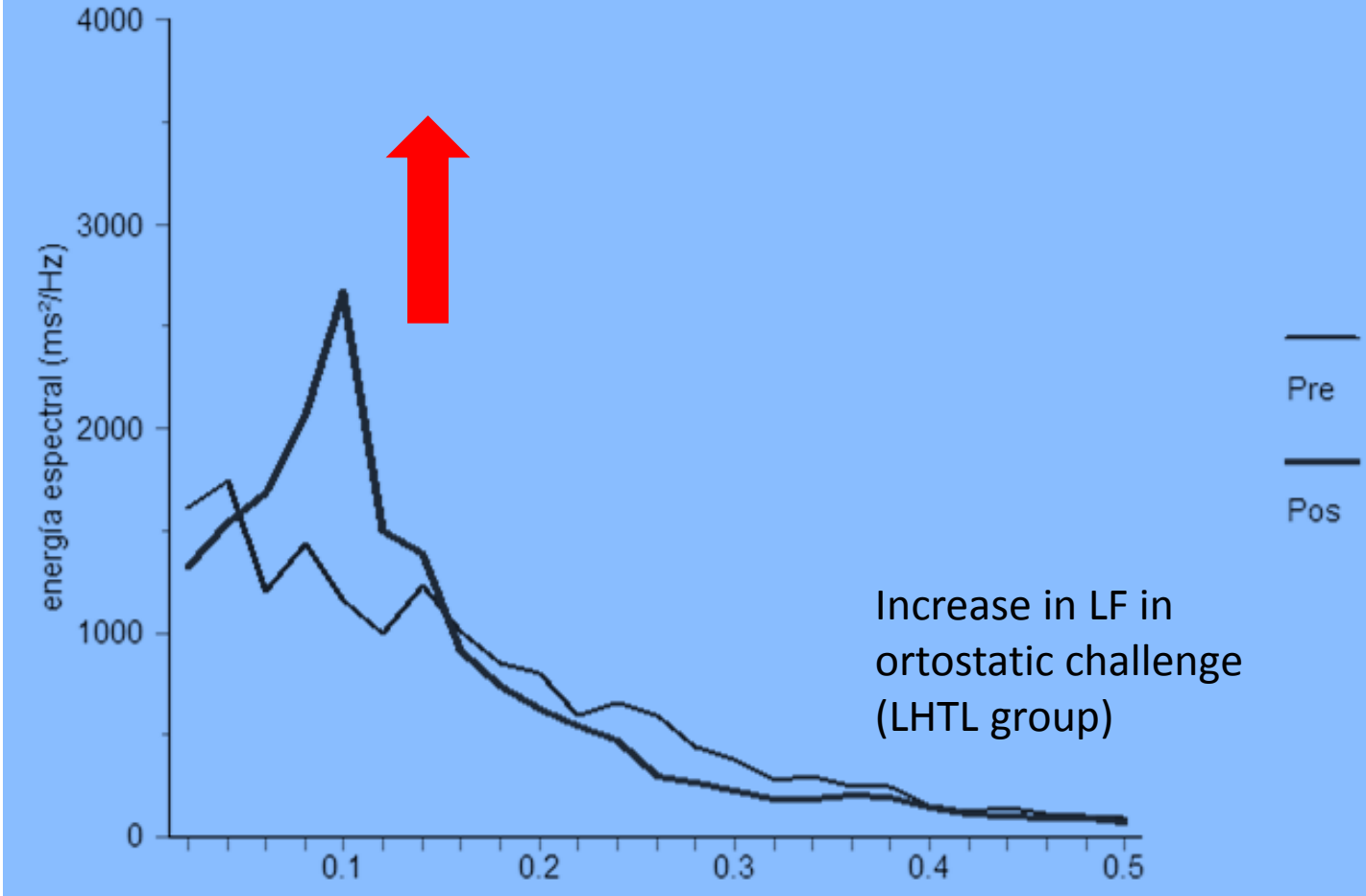


Nb	Ejercicio	Fecha	FC de cursor	Frecuencia cardiaca	Duración	Nota
1.	avgrne1	11/07/2008	59	68 / 113	0:20:02.7	IV
2.	AVGPO.S2	08/01/2008	68	68 / 112	0:20:05.0	Giovanni Ala TDF2
3.						
4.						
5.						

Espectro de energía del ritmo cardiaco S1, LHTL, Ventilacion controlada 12 cpm

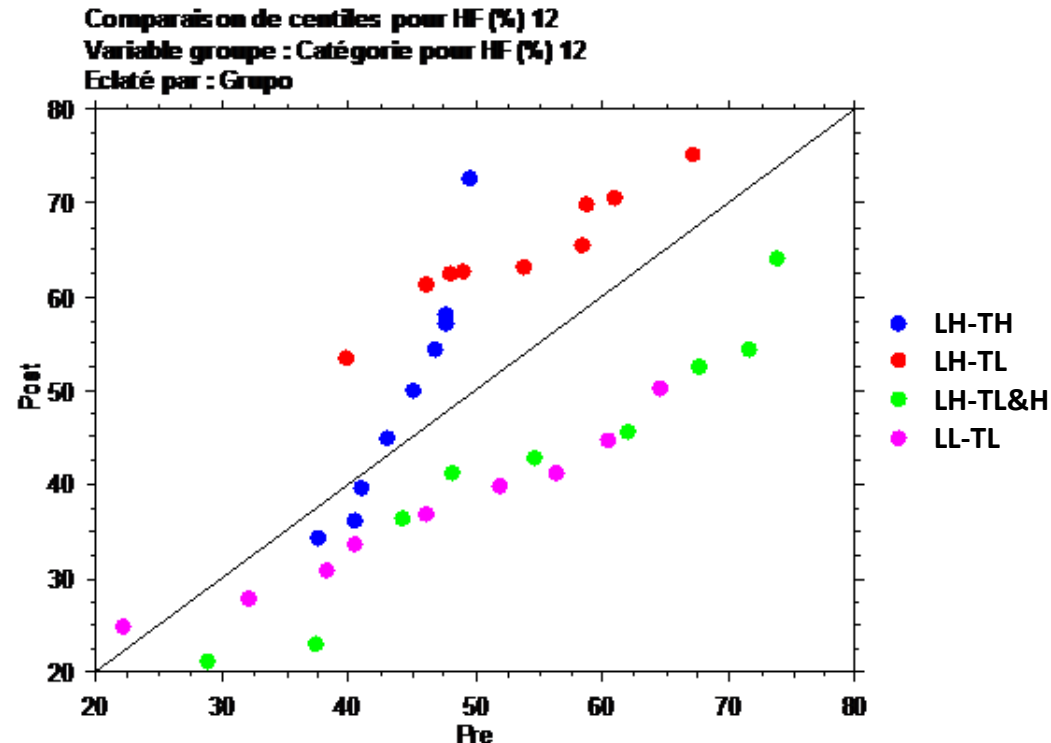


Espectro de energía del ritmo cardiaco S1, LHTL, Ortostatismo



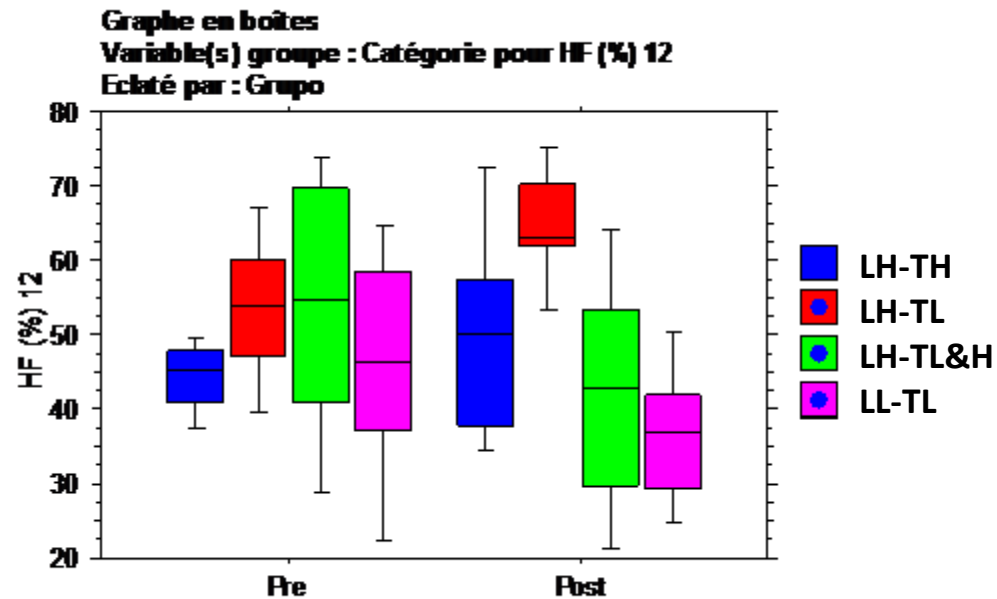
Increase in HF after 21 days training program

- Aumento en la HF (puntos rojos) fue muy significativa
- Puede ser una mejor respuesta adaptativa, ya que tienen mejor reactividad
- La HF esta relacionada con la ventilación
- Puede esto afectar la respuesta ventilatoria en ejercicio?



Increase in LF after 21 days training program

- Como se encontró previamente, también la LF fue más alta en el grupo LH-TL
- Representa una mejor modulación simpática (después de pararse en el test)
- La LF está relacionada con la modulación simpática el volumen sistólico
- Por lo tanto una mejor adaptación al estímulo hipóxico



Conclusion

- El método LH-TL aumento la reactividad simpática y la modulación autonómica después de 21 días de exposición a altura moderada
- Esto puede ser otro argumento en favor del efecto benéfico de entrenar en altura



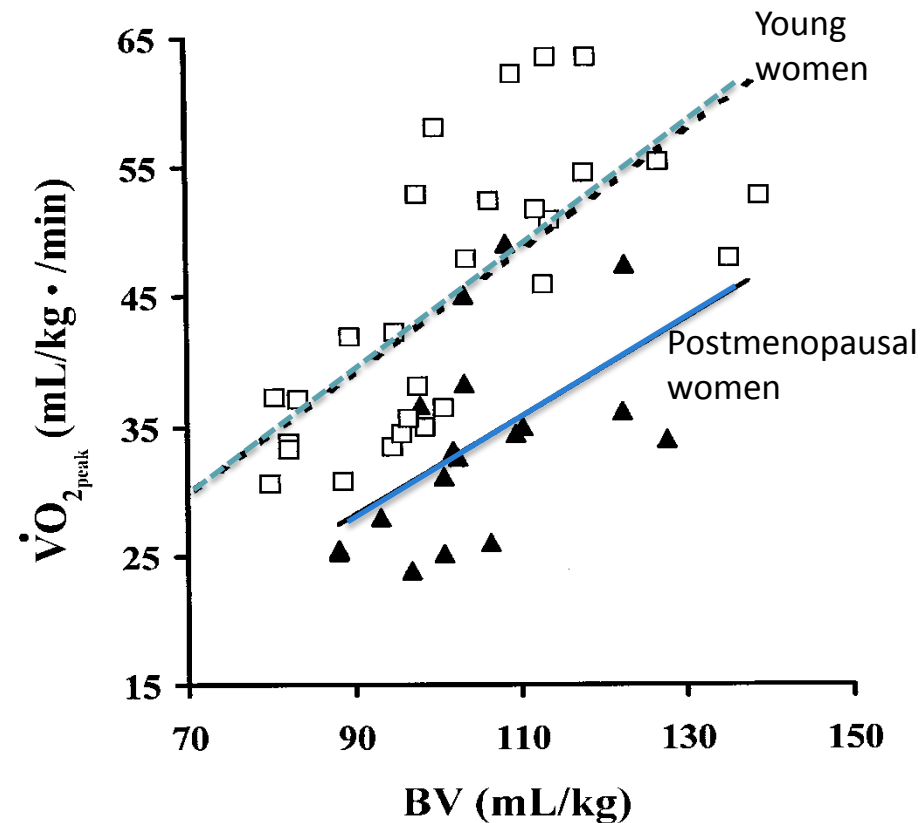
Index

- Fisiología de la altitud
- Adaptación a LH-TH
- Adaptación LH-TL y LH-TL&H
 - Cambios fisiológicos
 - Variabilidad de la FC
- Adaptación a la altura en mujeres



Women have different responses to altitude

- Encontramos una diferencia del 7% en la t-Hb-mass en las mujeres de altura moderada Vs mujeres de nivel del mar
- Estas diferencias fueron menores que las que se encuentran en mujeres
- Las diferentes respuestas hematológicas en las mujeres puede ser por el efecto hormonal sobre la ventilación lo que reduce el efecto eritropoietico, ya que las mujeres posmenopausicas si tuvieron mas t-Hb-mass



Hemoglobin mass in Women

- Las mujeres posmenopausicas tuvieron una SaO₂ 4% menor
- Esto puede ser por la pérdida el efecto estimulante de las hormonas femeninas
- A pesar de estas diferencias las [EPO] entre los grupos fueron similares.



Differences in blood volume between trained and untrained women

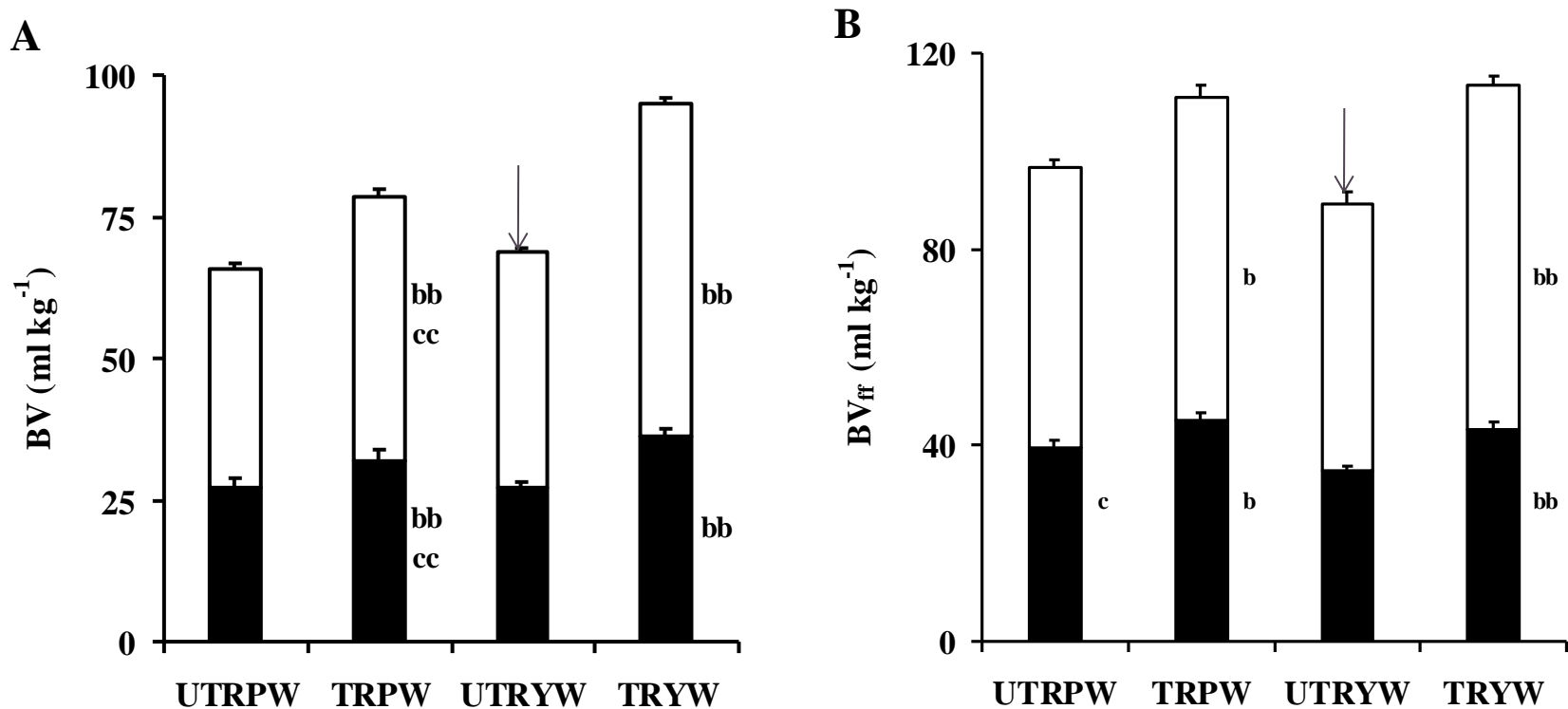
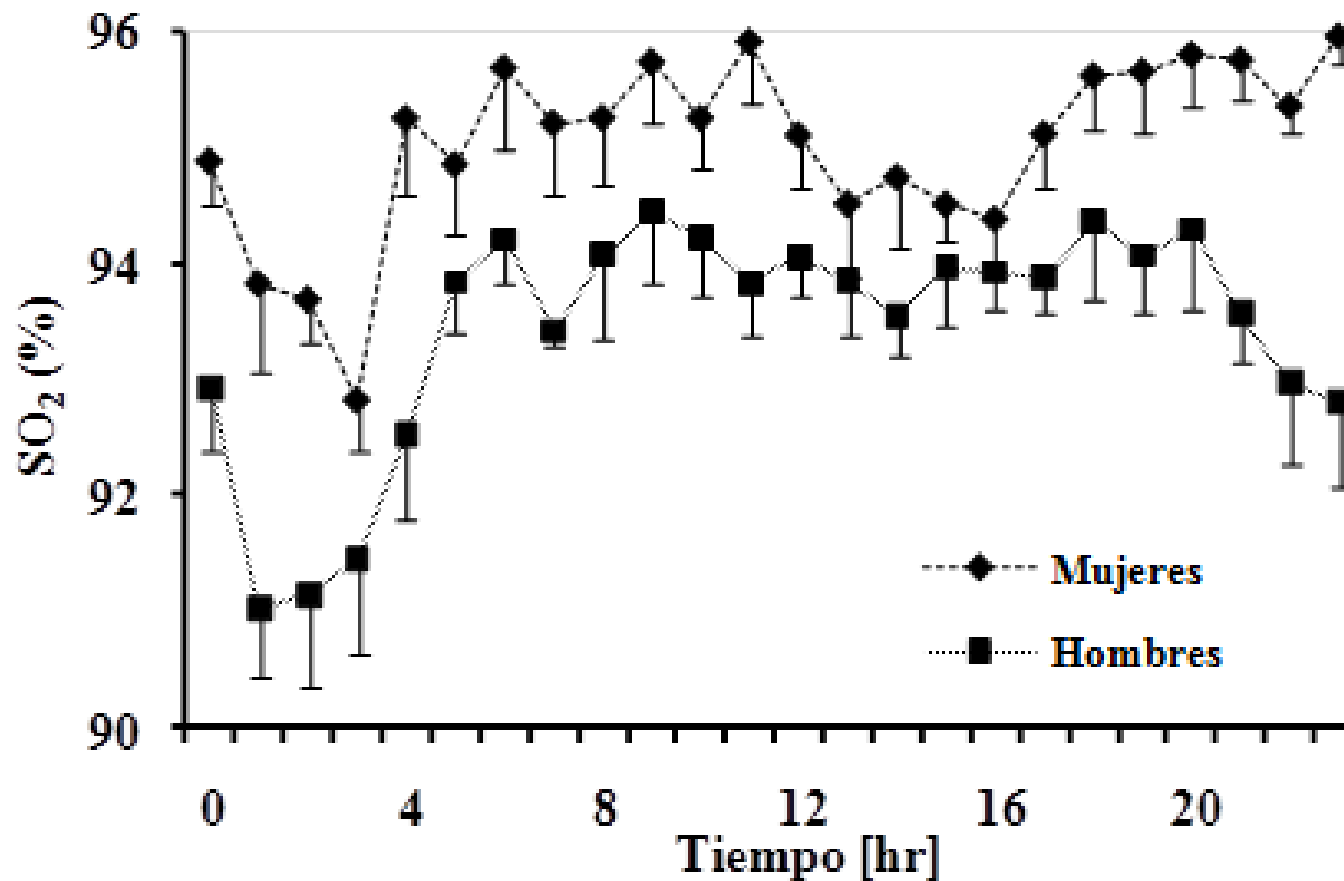
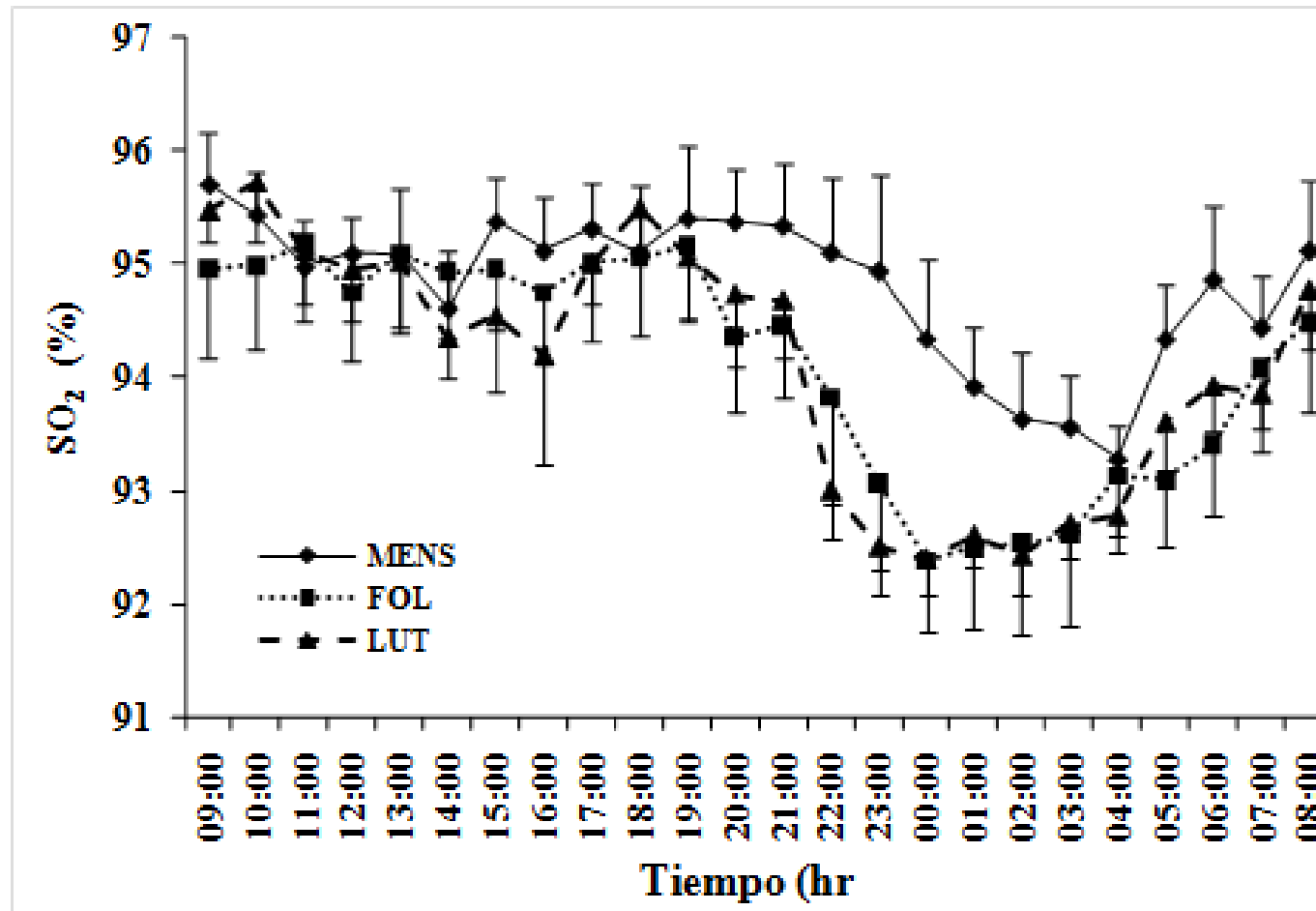


Figure 1. Erythrocyte volume (black bars), plasma volume (white bars) and blood volume (black + white bars) in untrained (UTRPW) and trained postmenopausal women (TRPW) and untrained (UTRYW) and trained young women (TRYW). Values (mean \pm SE) expressed per kilogram of body weight (**A**) and per kilogram of fat free body weight (**B**). Differences between training states $p < 0.05$ (b) and $p < 0.01$ or better (bb). Aging effects $p < 0.05$ (c) and $p < 0.01$ or better (cc).

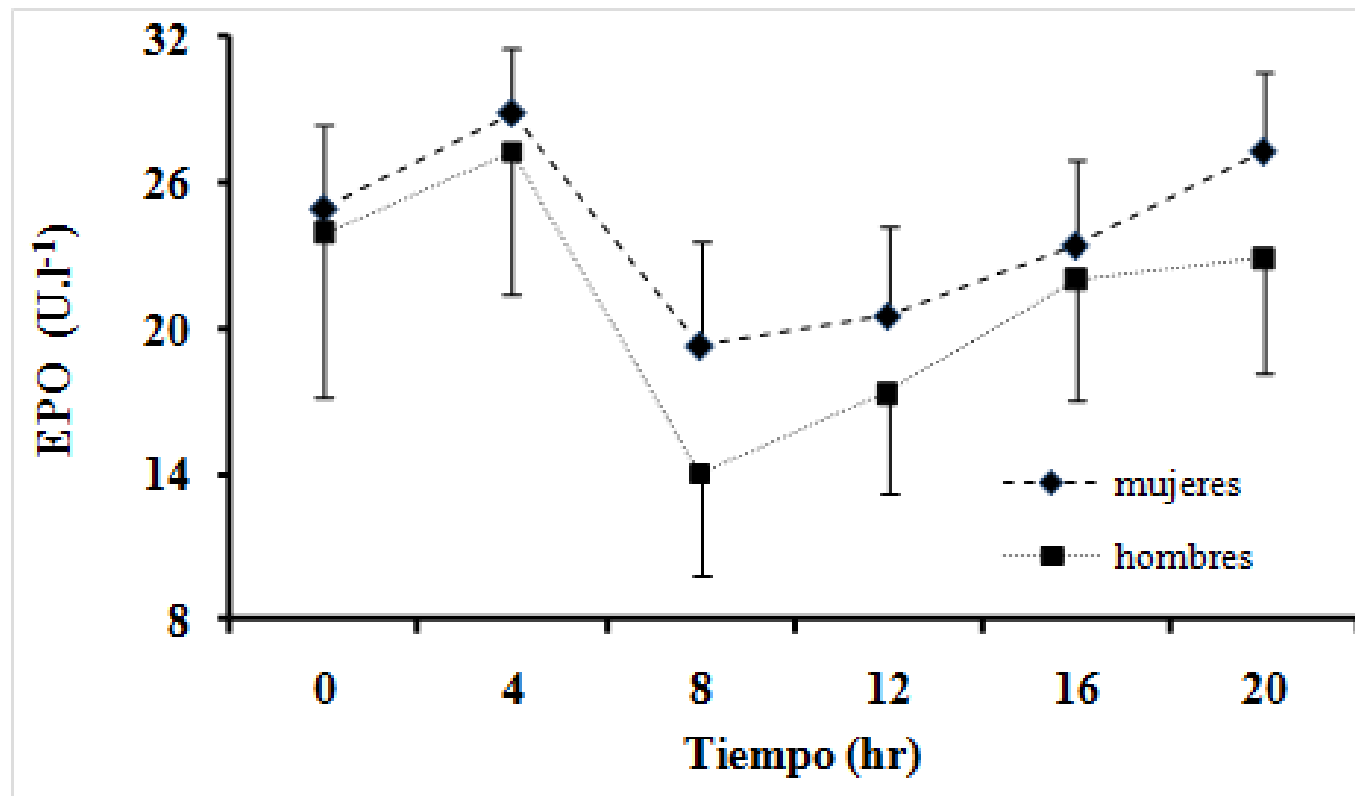
Saturación O₂ por Sexo. Ciclo circadiano



Efecto de la Fase Menstrual



Ciclo circadiano de EPO



Conclusión

- Hay respuestas adaptativas entre las mujeres pre y pos menopáusicas
- Esto puede ser relacionado con las hormonas femeninas
- Con esta mejor respuesta ventilatoria, la SaO₂ es mejor que los hombres
- Son las mujeres mas resistentes a la hipoxia?
- Probablemente si
- Se requiere mas investigación.



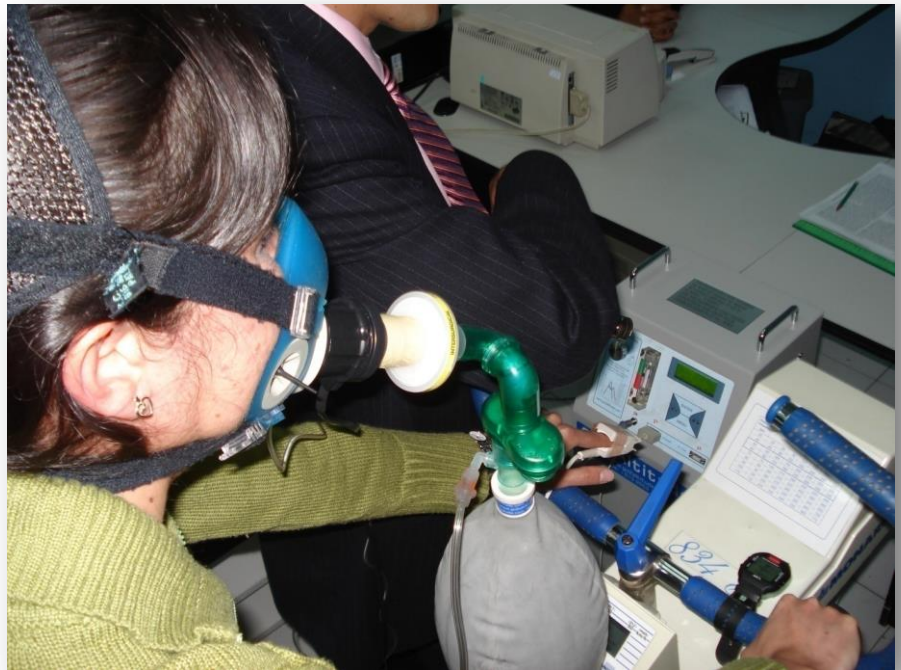
Final Remarks

- En resumen, con el fin de obtener una respuesta adaptativa mejor el estímulo de entrenar en hipoxia es específico, sin embargo es necesario ajustar la intensidad de entrenamiento.
- Esto se lograría combinando los métodos (LH-TL & H)
- Los sujetos deben ser de élite o sub-élite
- Haciendo un test de sensibilidad a la hipoxia se pueden individualizar las intervenciones.



Prohibition of artificial hypoxic environments in sports: health risks rather than ethics

- Recientemente la WADA esta monitoreando le luso de los dispositivos de hipoxia artificial por sus probables riesgos para la salud
- Este método artificial podría ser una manipulación intencional con potencial riesgo de complicaciones
- Los métodos hipoxicos artificiales están prohibidos en Italia.



WILBER, R. L. Application of Altitude/Hypoxic Training by Elite Athletes. *Med. Sci. Sports Exerc.*, Vol. 39, No. 9, pp. 1610–1624, 2007.

Giuseppe Lippi, Massimo Franchini, and Gian Cesare Guidi. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 32: 1206–1207 (2007)

Gracias



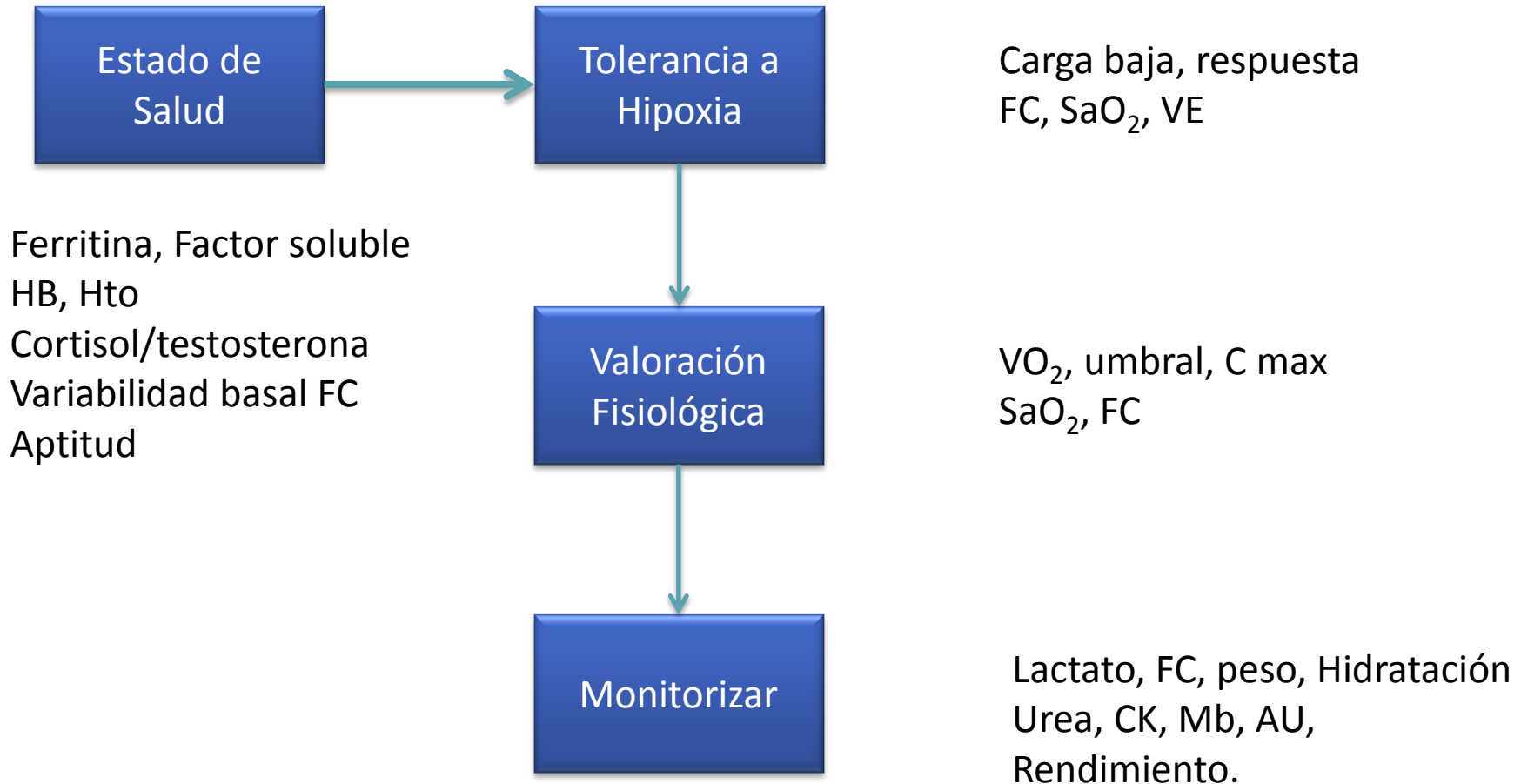
@MSerratoR serratomau@hotmail.com

Thank You

mserrator@unal.edu.co



Esquema de control



Test de sensibilidad a la hipoxia (TSH)

- Tomar valores de VE, VO_2 y SaO_2 en condiciones del Nivel del mar
- Exponer a 4200msnm y evaluar respuesta VE y SaO_2
- Realizar ejercicio intensidad ligera 50 a 100W y evaluar la respuesta de VE y SaO_2
- Si se desatura (<70%) y Aumenta la VE desproporcionadamente con el ejercicio, es test (+)

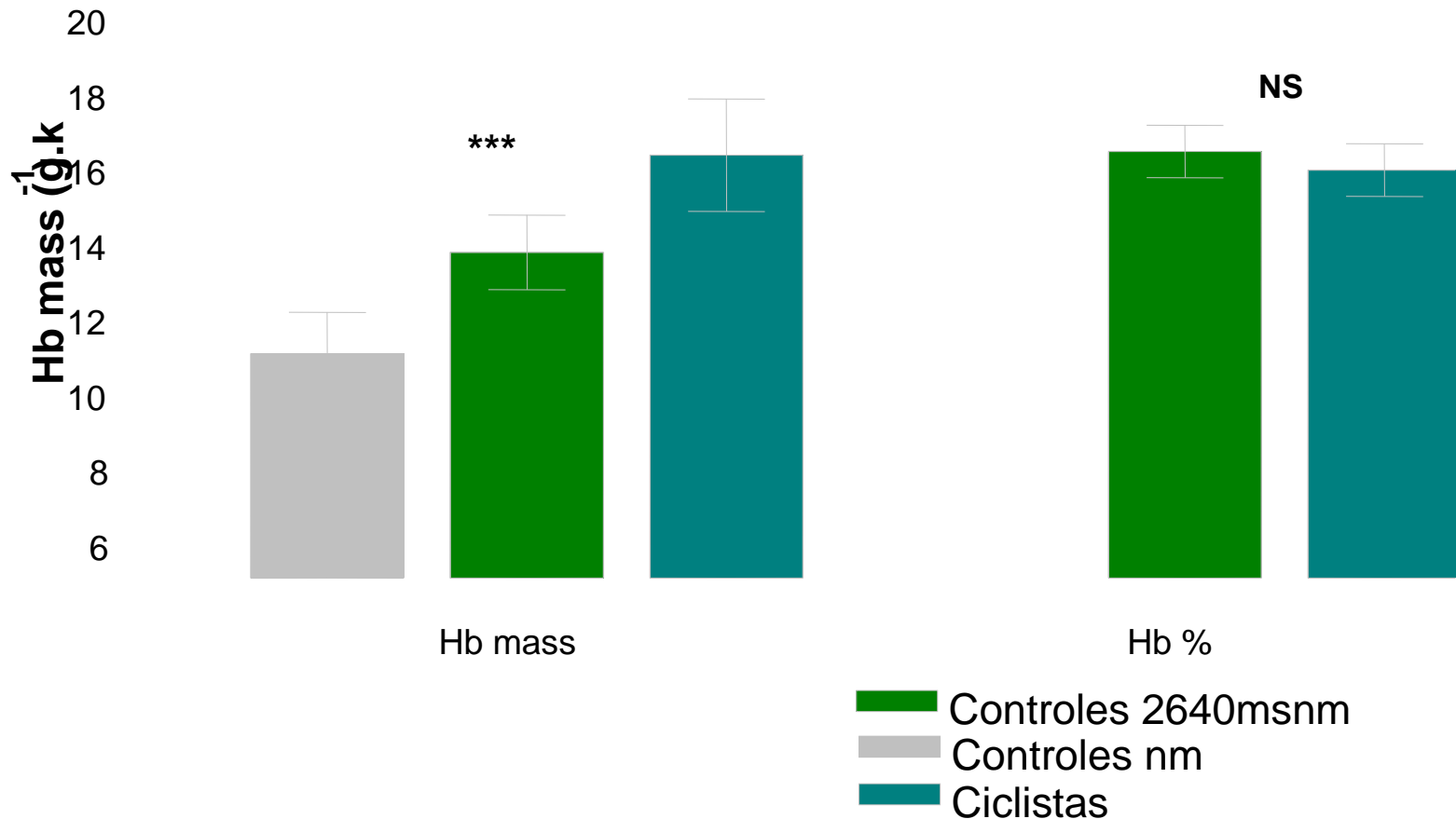
Altitrainer



- Mecanismo de hipoxia hipóxica (dilución N)
- Se desarrolla un nivel equivalente de hipoxia hipobárica
- La altura estándar usada es 4200msn
- Mecanismo de feedback
- Permite realizar TSH

LH-TH

Comparación de la masa total de hemoglobina en ciclistas nativos de la altura y controles acondicionados. 2600msnm



Schmidt, W. Heinicke, K. Serrato, M. Rojas, J. et al. Blood volume and hemoglobin mass in endurance athletes from moderate altitude. *Med Sci Sports Exerc. Medicine & Science in Sports & Exercise* 2002; 34(12):1934-1940

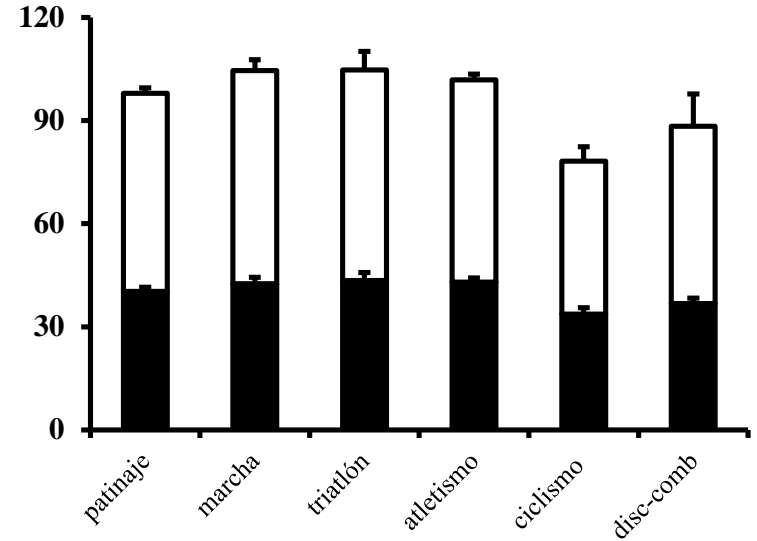
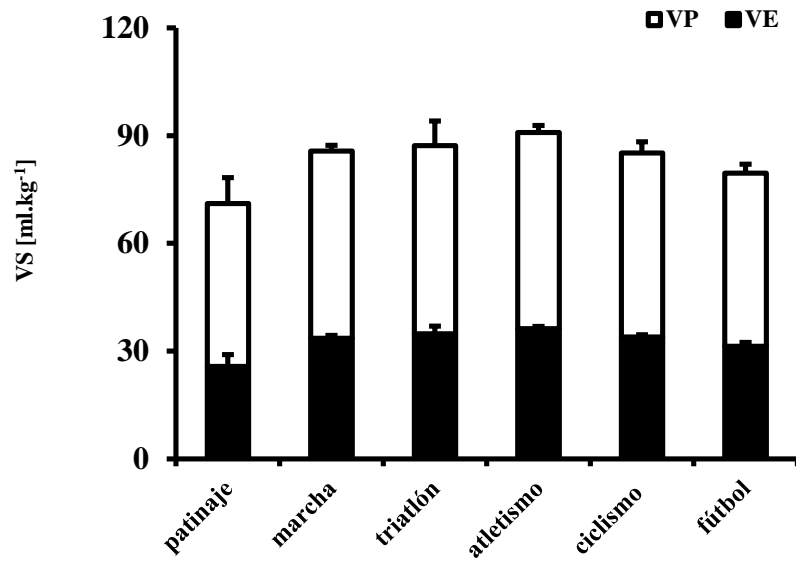
Cuanta altitud es suficiente? Dosis respuesta

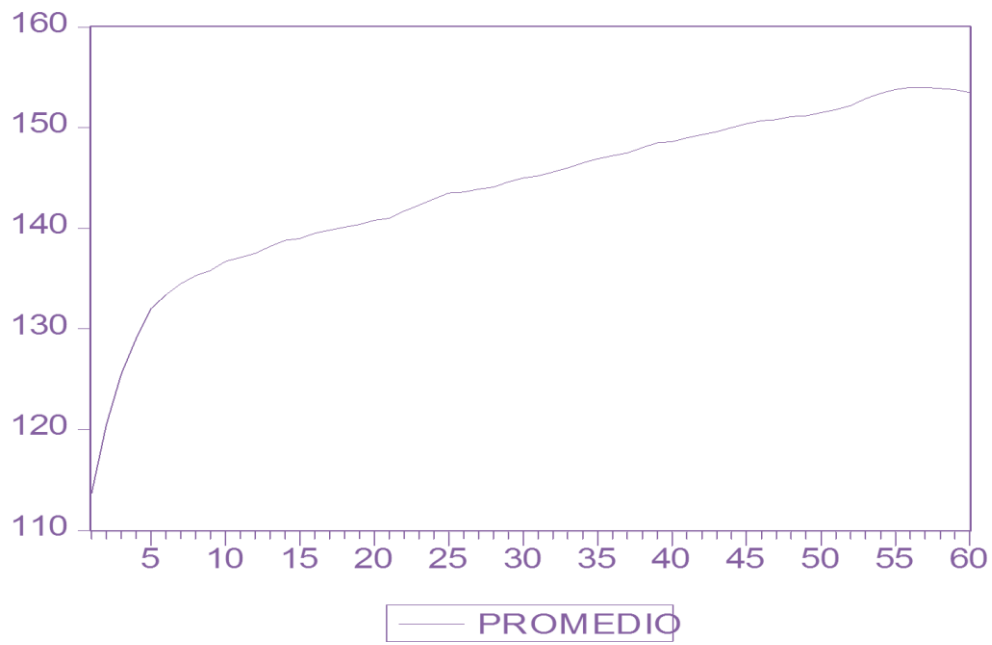
- Se necesita vivir en suficiente altitud, un numero de horas por día por un largo periodo de tiempo para iniciar el efecto eritropoietico
- Entrenar lo suficientemente bajo para permitir la máxima calidad de las sesiones de alta intensidad
- La nueva estrategia es “traer la montaña al atleta” para vivir o entrenar en hipoxia normobarica por periodos cortos de tiempo (<4hr)
- No se ha comprobado esta estrategia porque la variabilidad individual predomina y no se conoce la relación dosis respuesta.

CONCLUSIONES

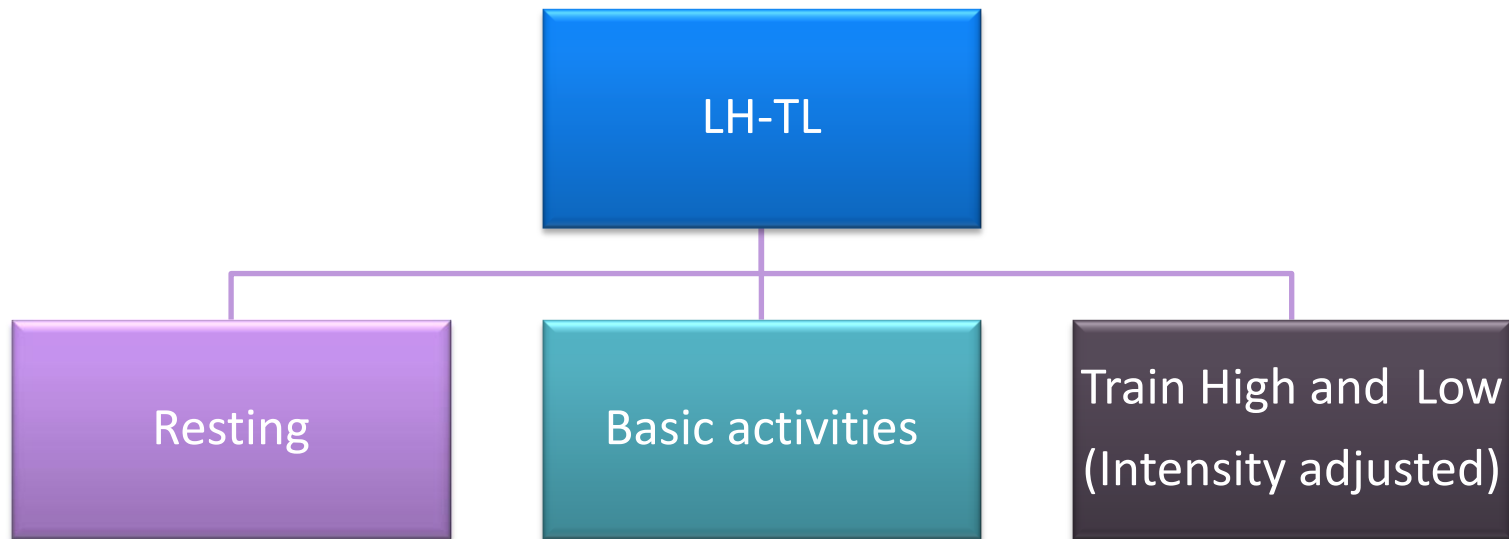
- El método estándar es el natural terrestre
- La hipoxia intermitente al ser en reposo da resultados contradictorios, no se sabe aun cual dosis
- El entrenamiento en hipoxia intermitente esta en estudio.
- La altura no solo causa efectos sobre el transporte de O₂ se deben tener en cuenta otros efectos.
- La economía de movimiento es un efecto muy llamativo
- Se deben investigar otros modelos. (combinación de métodos)

Volumen plasmático por disciplinas



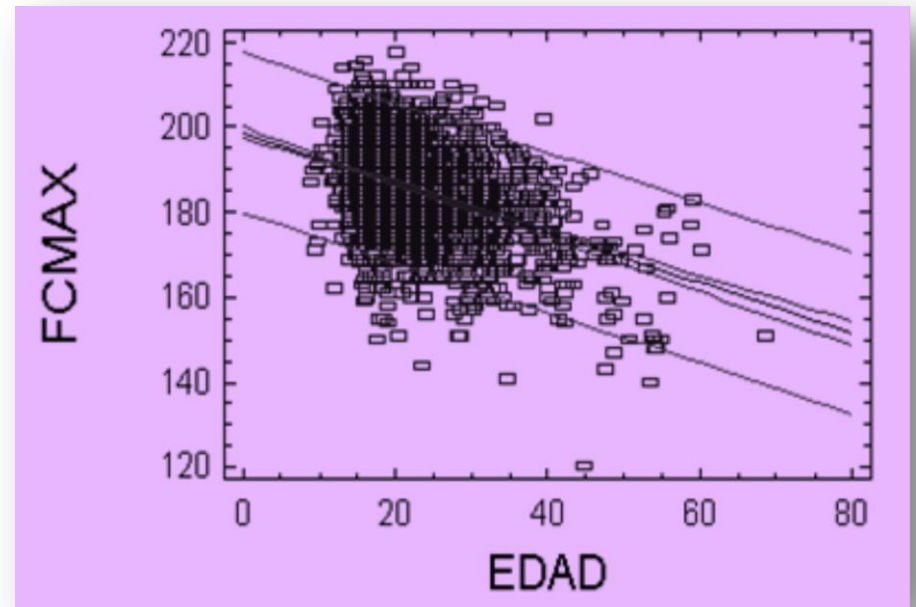


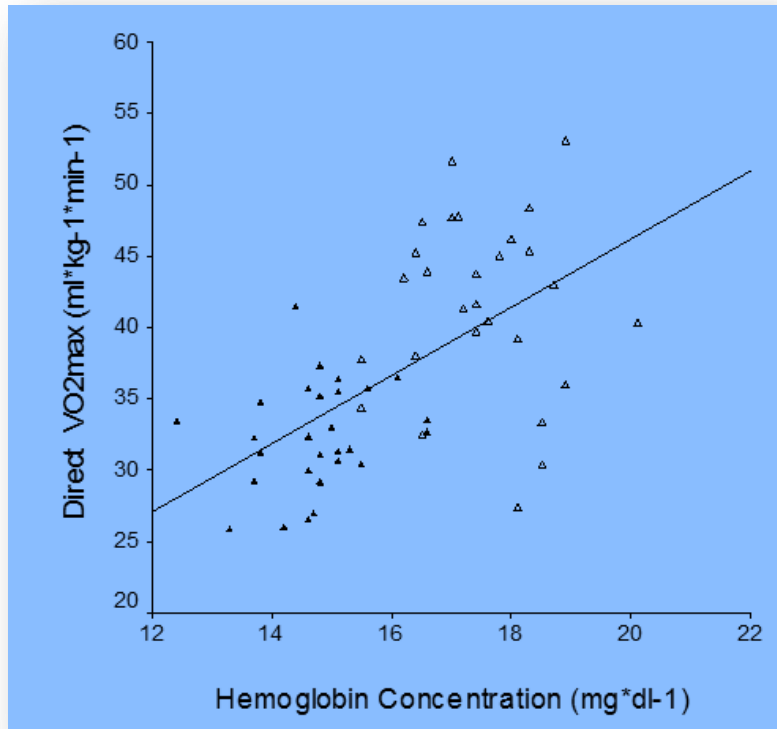
Live Train Low



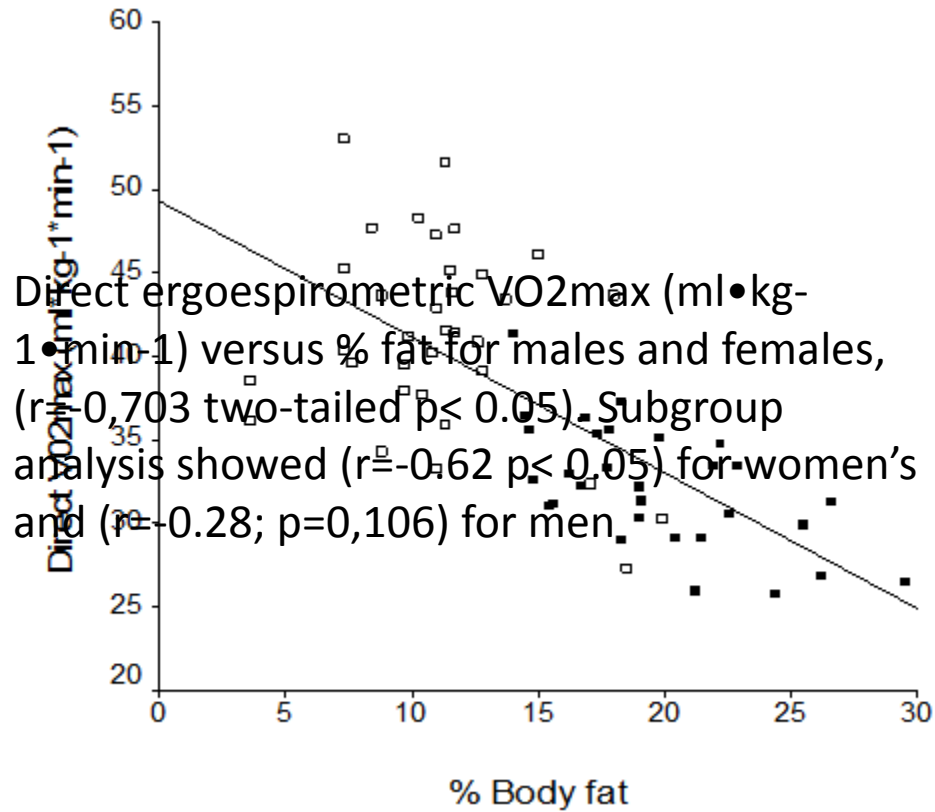
CHAPMAN, R. F., J. STRAY-GUNDERSEN, and B. D. LEVINE. Individual variation in response to altitude training. *J. Appl. Physiol.* 85: 1448–1456, 1998.

FC max in altitude

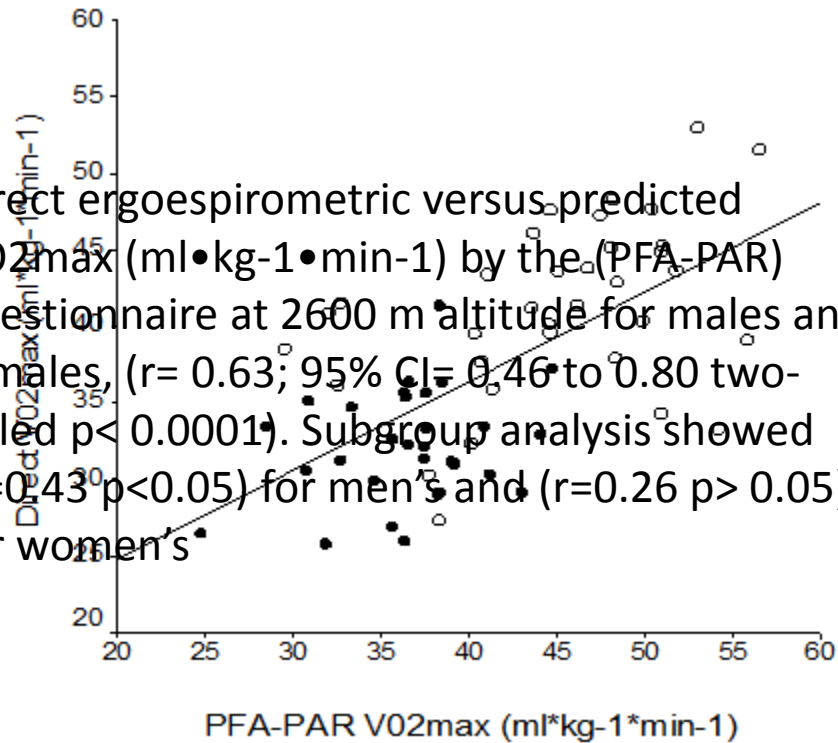


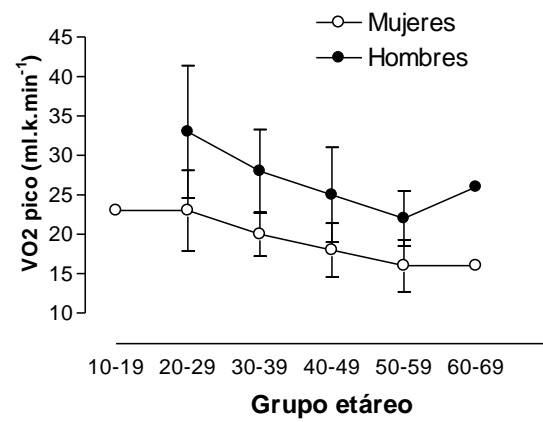


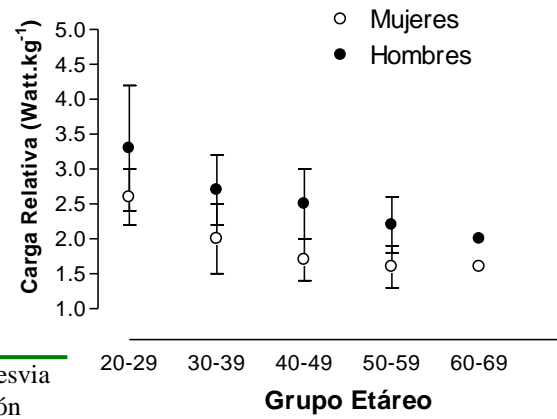
Direct ergoespirometric versus predicted VO₂max (ml•kg⁻¹•min⁻¹) by the 20-MST at 2600 m altitude for males and females, ($r=0.81$; 95% CI=0.70 to 0.88 two-tailed $p<0.0001$). Subgroup analysis showed ($r=0.70$ $p<0.05$) for men's and ($r=0.44$ $p<0.05$) for women's



Direct ergoespirometric versus predicted VO2max (ml•kg-1•min-1) by the (PFA-PAR) questionnaire at 2600 m altitude for males and females, (r= 0.63; 95% CI= 0.46 to 0.80 two-tailed p< 0.0001). Subgroup analysis showed (r=0.43 p<0.05) for men's and (r=0.26 p> 0.05) for women's

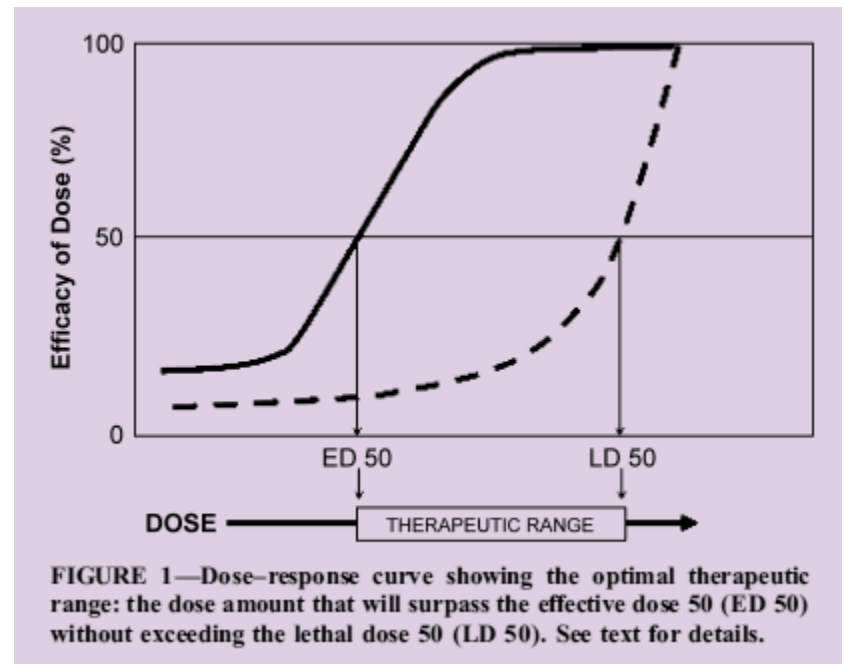






VO ₂ /Watt	Media	Desviación estándar
	12.830	2.395

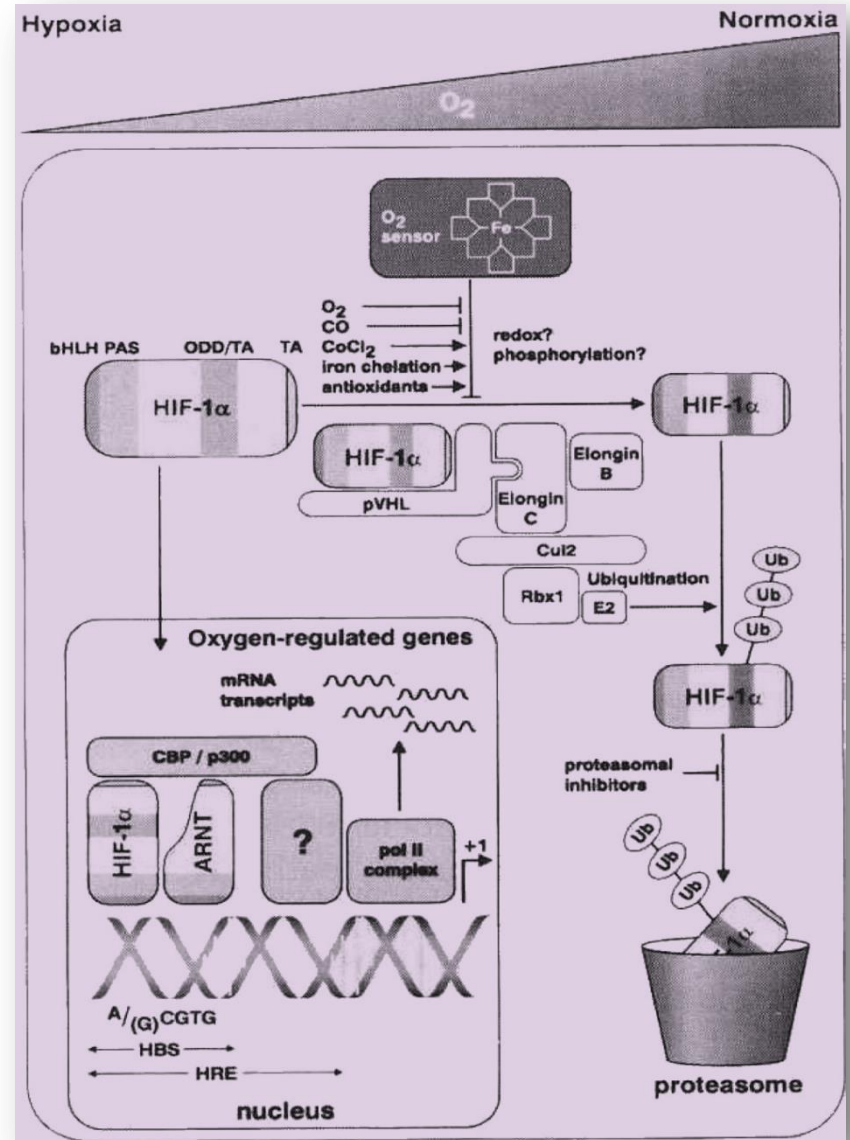
Edad	Mujeres		Hombres	
	FCmax	VO ₂ pico/FCmax*	FCmax	VO ₂ pico/FCmax*
20-29	180,5	8,72	185,6	14,8
30-39	163,7	8,4	172,8	15,05
40-49	160,7	8,93	164,5	14,25
50-59	152	7,55	152,6	14,4
60-69	133	8,04	145	10,9



WILBER, R. L., J. STRAY-GUNDERSEN, and B. D. LEVINE. Effect of Hypoxic “Dose” on physiological Responses and Sea-Level Performance. *Med. Sci. Sports Exerc.*, Vol. 39, No. 9, pp. 1590–1599, 2007.

Hipoxia Inducible Factor HIF 1 α

- Optimal dose needed to get benefits, is to live at a natural elevation of 2000–2500 m for 4 wk for 22 h/day.



WILBER, R. L., J. STRAY-GUNDERSEN, and B. D. LEVINE. Effect of Hypoxic “Dose” on physiological Responses and Sea-Level Performance. *Med. Sci. Sports Exerc.*, Vol. 39, No. 9, pp. 1590–1599, 2007.



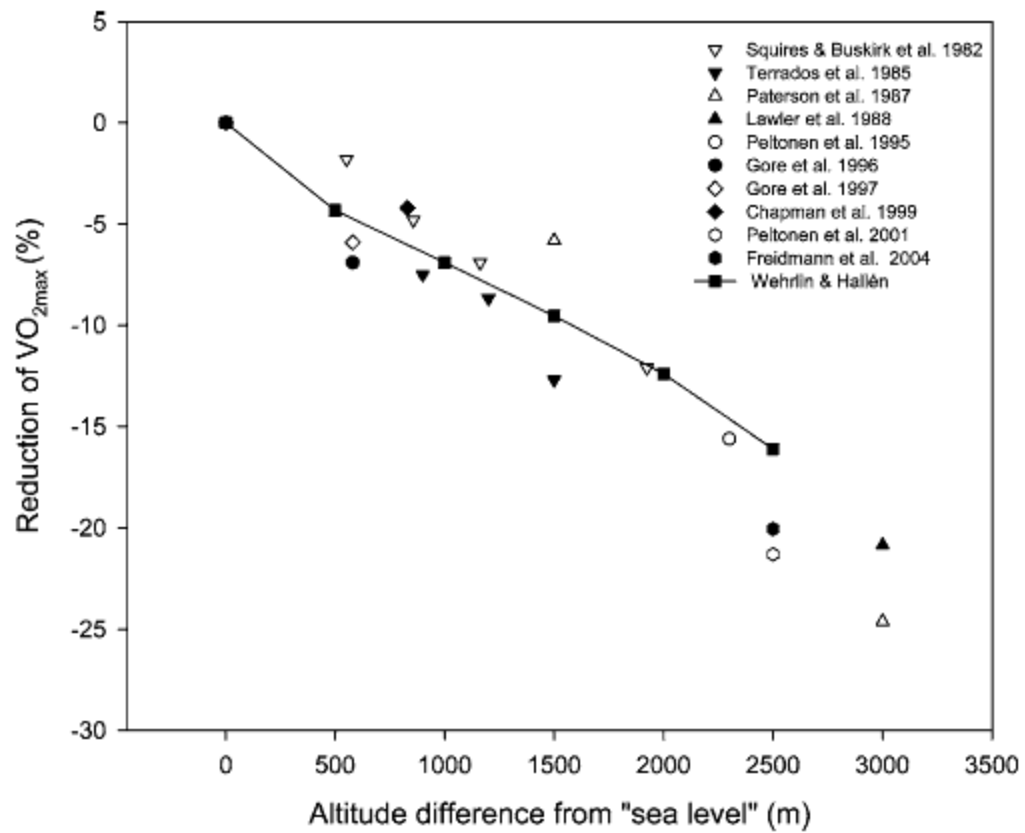
- Indigenous HA natives have higher mean maximal oxygen consumption (VO_2 max) in hypoxia and smaller VO_2 max decrement with increasing hypoxia.
- At present, there is insufficient information to conclude that HA natives have enhanced work economy or greater endurance capacity, although for the former a number of studies indicate that this may be the case for Tibetans.

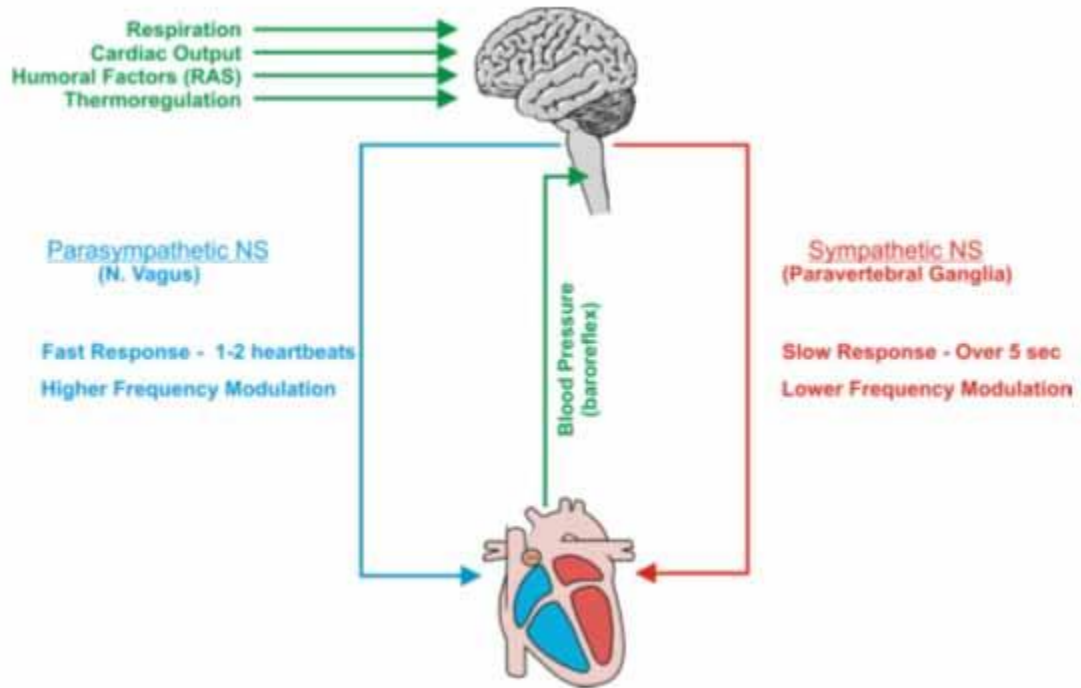
- At the physiological level, supporting the hypothesis of enhanced pulmonary gas exchange efficiency, HA natives have smaller alveolar–arterial oxygen partial pressure difference ((A–a)DO₂), lower pulmonary ventilation (VE), and likely higher arterial O₂ saturation (SaO₂) during exercise. At the muscle level, a handful of studies show no differences in fiber-type distributions, capillarity, oxidative enzymes, or the muscle response to training. At the metabolic level, a few studies suggest differences in lactate production/removal and (or) lactate buffering capacity

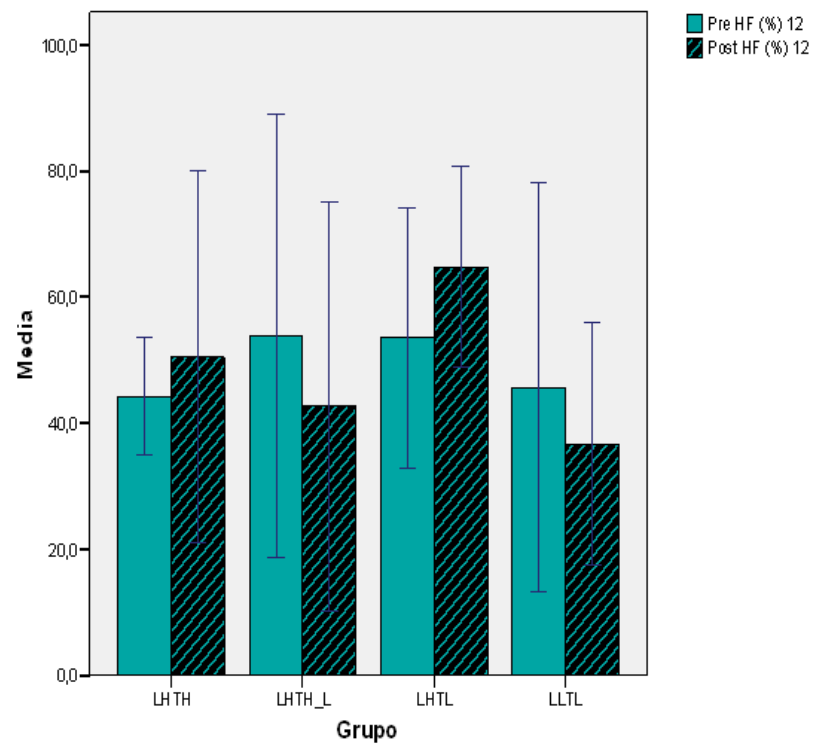
- The magnitude of blood volume and tHb-mass correlates well with anthropometric characteristics, that is, especially with lean body mass (LBM)

- Interestingly, altitude populations with a long adaptation history (i.e., at least 20,000 yr in Tibetans and East Africans in comparison to less than 5000 yr in the Andeans) are characterized by a similar [Hb] as populations from lowlands (1), indicating different adaptation processes

- those altitude training
- studies, which were performed for at least 3 wk at altitudes
- above 2100 m, but with less than 14 h of hypoxia per day,
- did not show any increases in tHb-mass







Barras de error: ± 2 DT

