

Desempeño deportivo y modulación autonómica en altura

Camilo E. Povea C. MD PhD

Medicina del deporte Universidad el Bosque

Profesor Asociado Universidad Nacional de Colombia

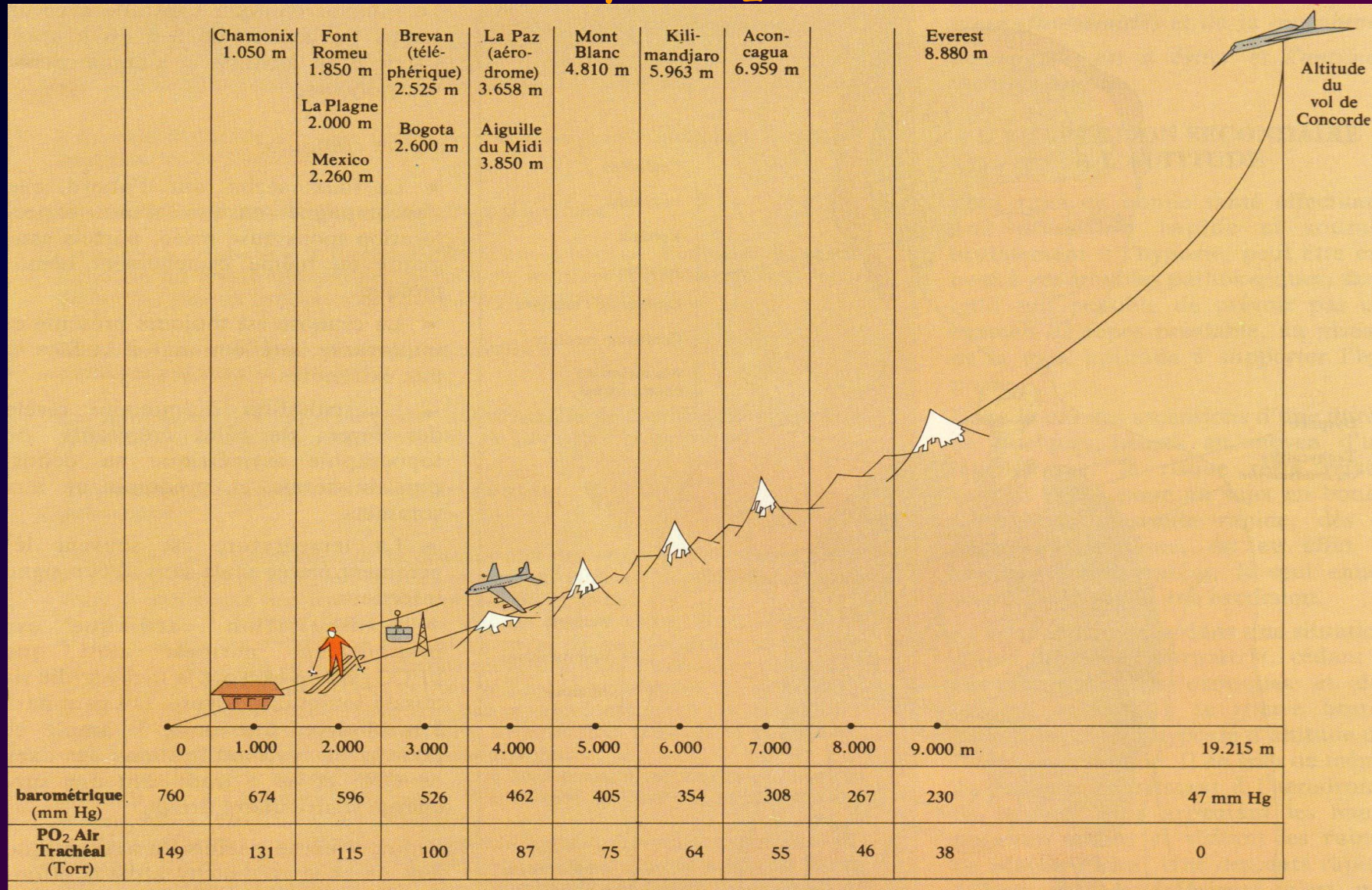
Fundación CardioInfantil



Plan

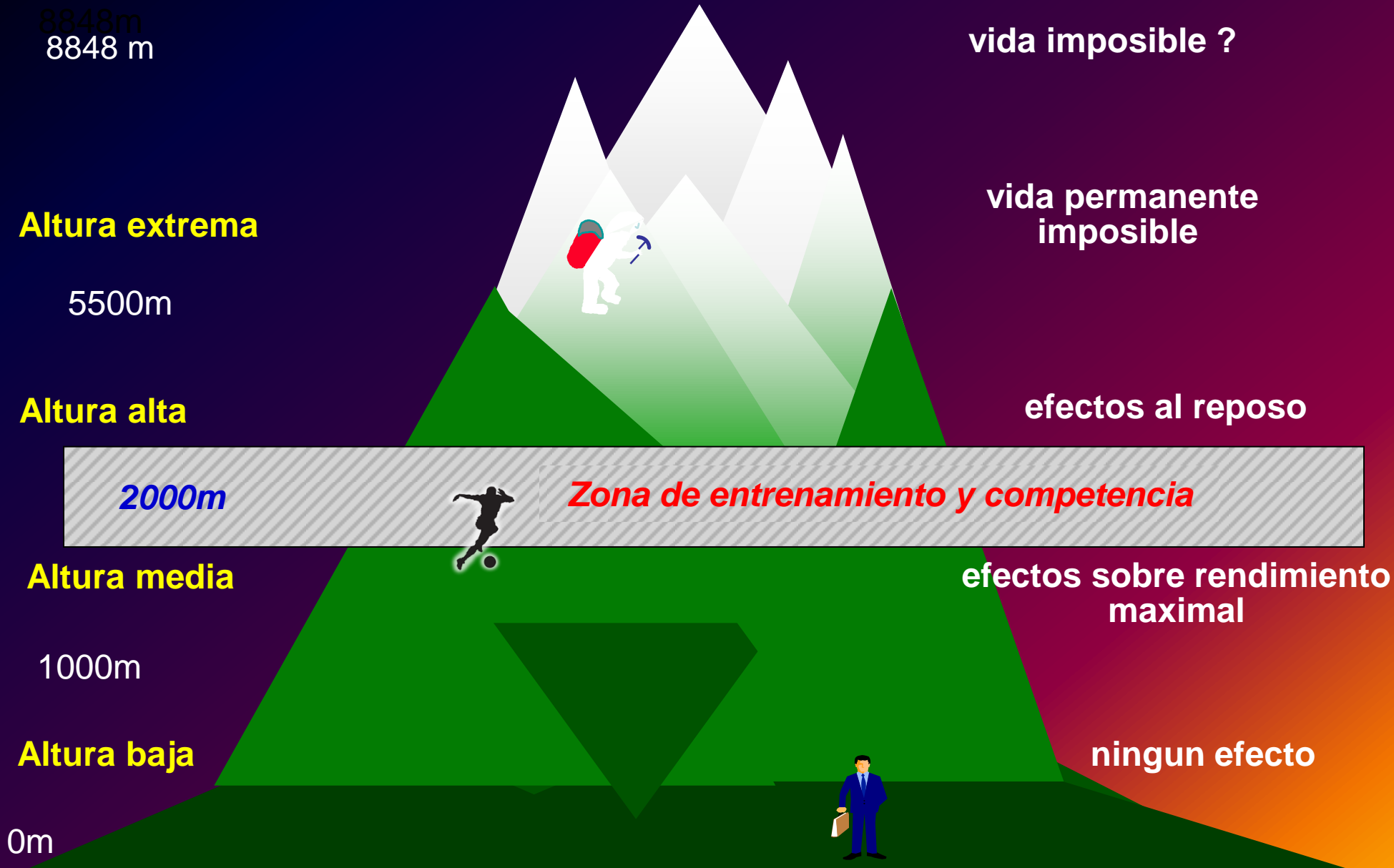
- Fisiología
- Patología
- Rendimiento en altura
- Entrenamiento en Altura
- Respuesta Individual
- Experiencia en Fútbol (seguimiento)
- Conclusiones

Presión Barométrica y PO₂ a diferentes alturas



$$P_{A}O_{2} = [(P_{B} - P_{H_{2}O}) * F_{i}O_{2} - P_{a}CO_{2} / R + (0.003 * P_{a}O_{2})]$$

DEFINICION BIOLOGICA DE ALTURA

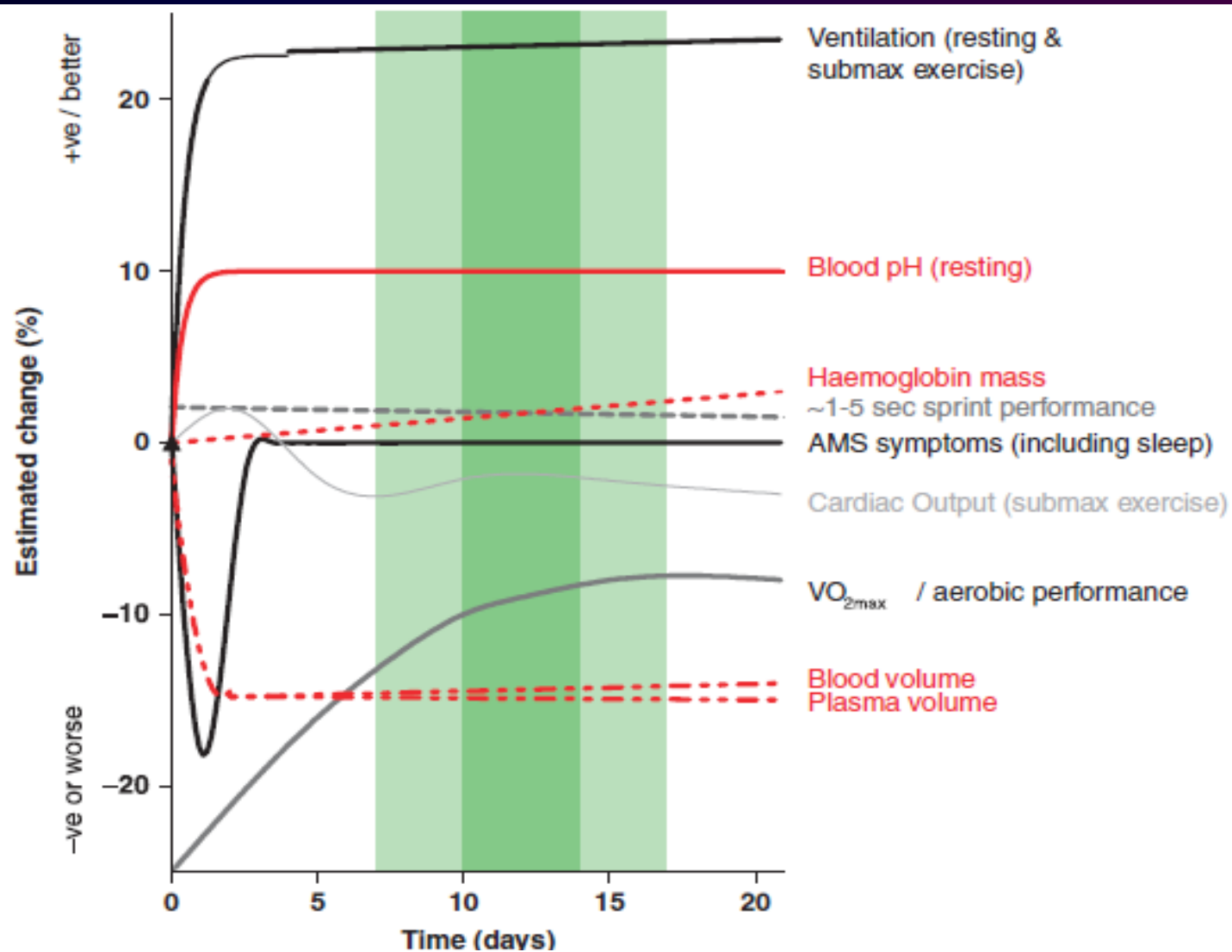


Efectos fisiológicos de la Hipoxia de altura

- Respuesta Ventilatoria
- Respuesta Cardíaca
- Respuesta Hematológica
- Respuesta Muscular
- Rendimiento físico y capacidad aeróbica

Richalet JP et al 1999

Leissner K, Mahmoo F (2009). Physiology and pathophysiology at high Altitude: considerations for the anesthesiologist. *Journal of Anesthesia*, 23:543–553.



Preparation for football competition at moderate to high altitude

C. J. Gore^{1,2}, P. E. McSharry³, A. J. Hewitt⁴, P. U Saunders¹

Scand J Med Sci Sports 2008; 18(Suppl.1): 85-95

Aspectos Patológicos de la exposición a la altura

- Mal agudo de montaña MAM “soroche”
- Edema cerebral de las alturas (HACE)
- Edema Pulmonar de las alturas (HAPE)
- Riesgo de morir bajo
- Factores de riesgo (velocidad de ascenso, altura alcanzada, susceptibilidad individual) (Barry PW et Pollard AJ, 2003)

ΔSaO_{2e} , HCR_e , HVR_e predictores independientes

(Richalet 2012)

Mal Agudo del Montaña (MAM)

Epidemiología

- Maggiorini et al. 1990: alpes suizos 2850-3050m:9-13%
3650m:34% ; 4559m: 52% (11 con HAPE o HACE)
- Houston. 1985 and Hackett et al. 2001: Esquiadores en Colorado
1850-2800m:12% - 22%

Lake Louise Consensus 1993:

- Cefalea en no aclimatados recién llegados > 2500m **mas uno o mas:**

n/v, anorexia, insomnio, mareo o fatiga.

- 1-10h después del ascenso, revierte en 4-8 días.
- No signos clínicos excepto baja SaO₂.

(Hackett & Roach, 2001, Forwand et al. 1968)



MAM

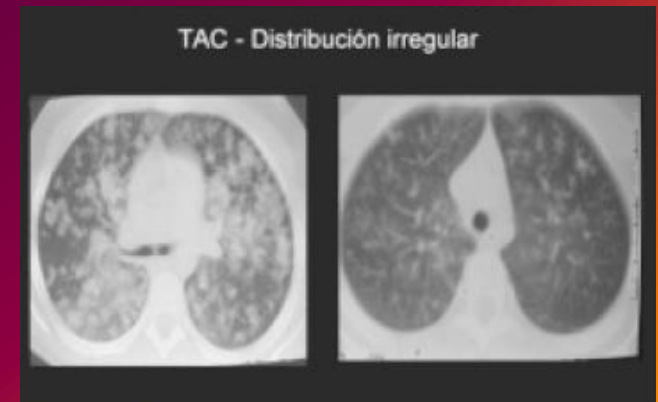
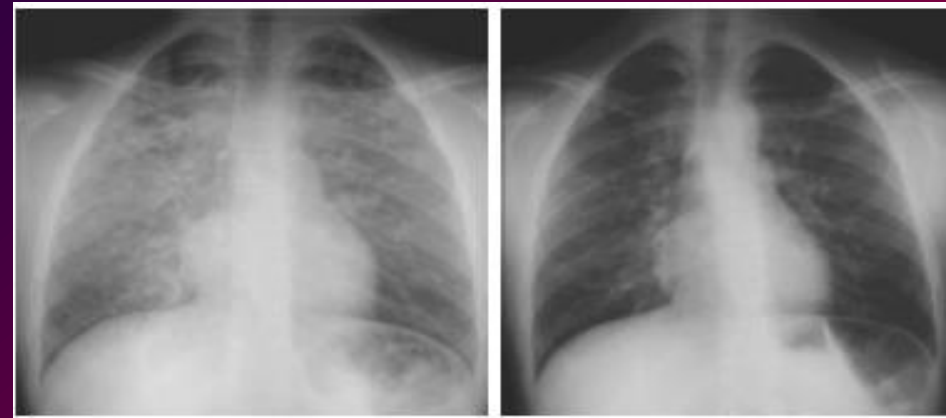
Factores de riesgo

- Antecedentes previos
- Ejercicio (Roach et al 2000)
- Vivir a menos de 900 m
- Enfermedad Pulmonar previa
- Individuos jóvenes
- Deshidratación
- Obesos o Elevado % Grasa corporal (Ri-Li et al 2003)

(Hackett & Roach, 2001, Basnyat, 1999)

Edema pulmonar de las alturas

- 1- 2% en individuos sanos que suben al 4000 m (Bärtsch et al. 1991)
- 9 años de seguimiento 52 casos (disnea, polipnea, tos, jóvenes) 2303 m HAPE (Gabry AL et al 2003)
- Bogotá , 7 años 38 casos (17-44 años, síntomas entre 2-36 horas) (Borda A 2008)
- (Maldonado D.1978) Serie de Casos en Bogotá



Edema cerebral de las alturas

- MAM puede progresar a HACE en 12 horas
- Se desarrolla en 1 a 9 días después del ascenso (Hackett & Roach, 2001)
- Nueva clasificación de la cefalea
- International Headache Society (IHS) 3000 m

Table 3 Proposed new diagnostic criteria for high-altitude headache

10.1.1 High-altitude headache

Diagnostic criteria

All of the following A–E are required:

- A. Onset within 24 h after either of:
 1. Ascent to altitude above 2,500 m
 2. Ascent to an altitude to which the person is unacclimatized
- B. Exacerbations last <24 h.
- C. Pain has any one of the following features:
 1. Bilateral
 2. Dull or pressure-like
- D. Headache is aggravated by one or more of coughing, bending, movement, straining, and exertion.
- E. Other causes of headache are excluded (by history, examination, and appropriate diagnostic tests).

Silber E et al 2003

Clasificación de la cefalea de altura

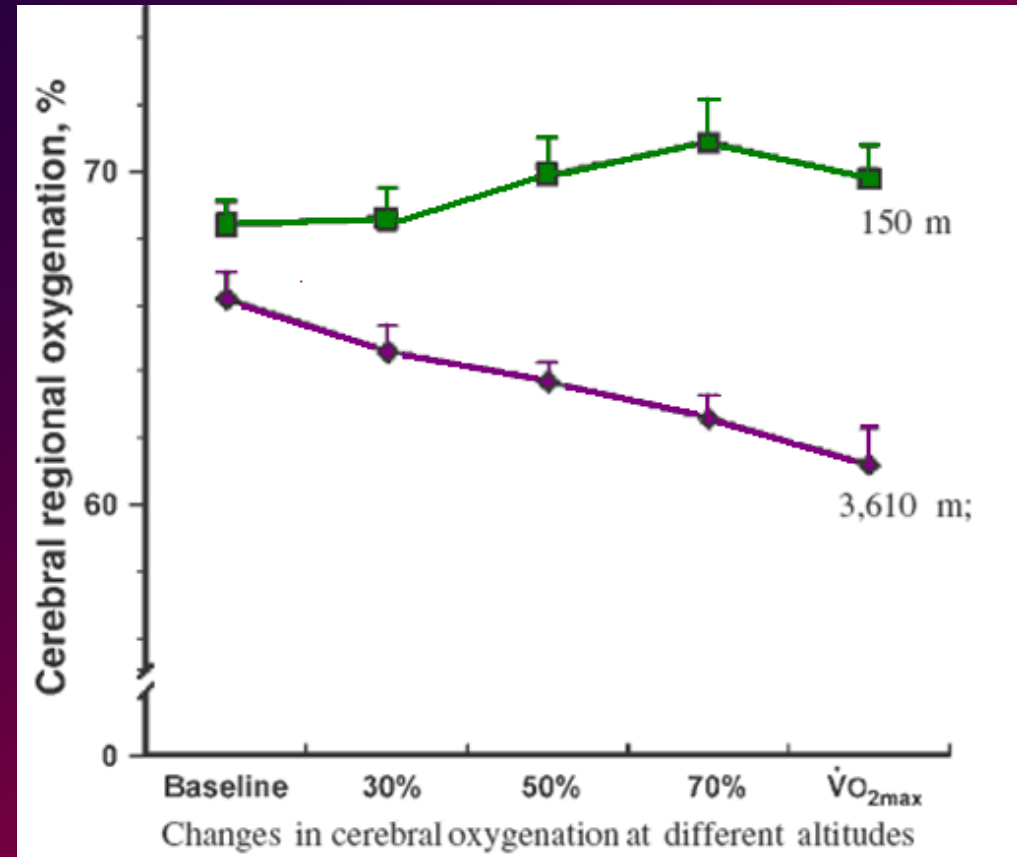
Criterios de diagnóstico:

- A. Dolor de cabeza con por lo menos dos de las siguientes características además de los criterios C y D:
1. bilateral
 2. frontal o frontotemporal
 3. Sordo o persistente
 4. Intensidad suave o moderada
 5. agravado por el esfuerzo, el movimiento, cambios de postura o tos
- B. Ascenso a altura sobre 2500 m
- C. El dolor de cabeza se desarrolla 24 horas después del ascenso
- D. Resuelve 8 horas después del descenso



Flujo cerebral y ejercicio en altura

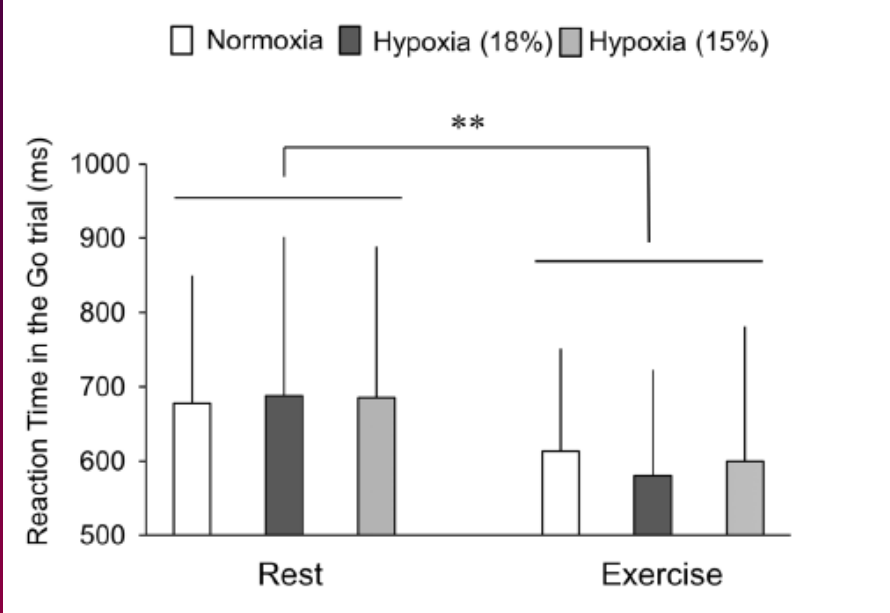
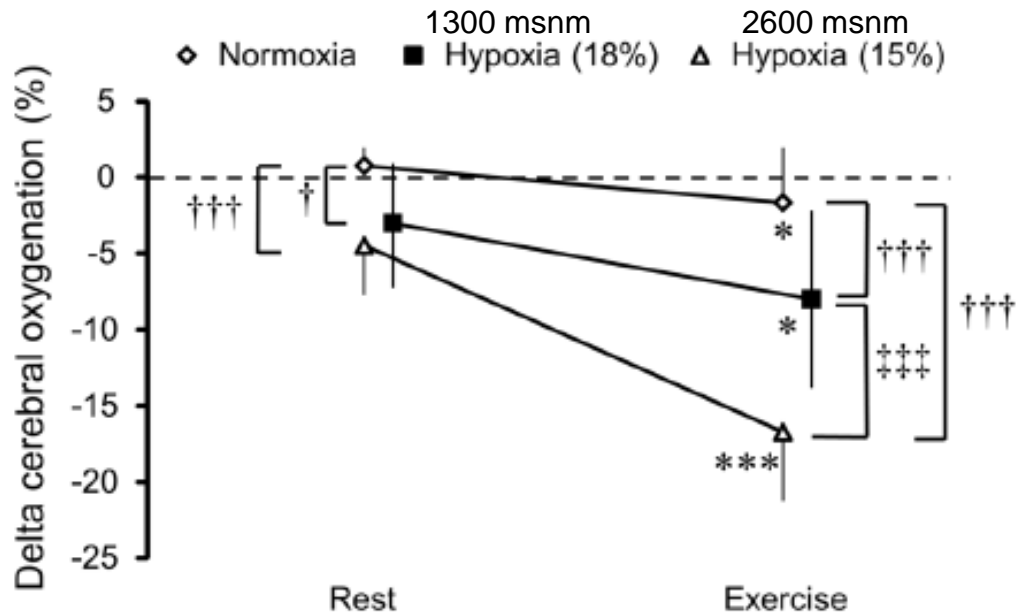
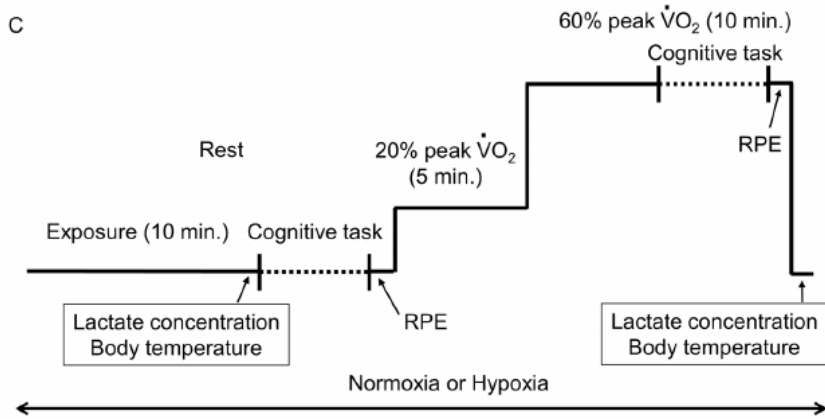
- n = 9 no aclimatados
- Reducción de la oxigenación cerebral durante el ejercicio máximo y el ejercicio submáximo en altura
- Fútbol , 10 -12 Km; 80- 90 % FC max (Stole T et al 2005)



The Effects of Exercise Under Hypoxia on Cognitive Function

Soichi Ando^{1*}, Yoichi Hatamoto², Mizuki Sudo³, Akira Kiyonaga^{1,3}, Hiroaki Tanaka^{1,3}, Yasuki Higaki^{1,3}

PLOS ONE | www.plosone.org May 2013 | Volume 8 | Issue 5



EFFECT OF ALTITUDE ON FOOTBALL PERFORMANCE: ANALYSIS OF THE 2010 FIFA WORLD CUP DATA

GEORGE P. NASSIS

Department of Sport Medicine and Biology of Exercise, Faculty of Physical Education and Sport Science, National and Kapodistrian University of Athens, Athens, Greece

VOLUME 27 | NUMBER 3 | MARCH 2013 |

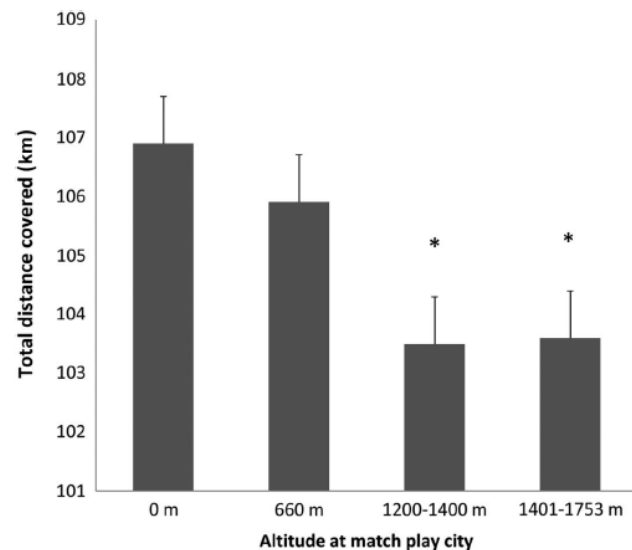




































Figure 1. Team's total distance covered at different altitudes in the 2010 World Cup matches (sea level, $n = 39$ teams; altitude of 660 m, $n = 8$ teams; 1200–1400 m, $n = 25$ teams; 1401–1753 m, $n = 33$ teams). * $p < 0.05$ vs. sea level.

TABLE 3. Total distance covered with and without ball possession, top running speed, and technical skill performance at different altitudes during the 2010 World Cup matches.*

Altitude	Distance covered in ball possession (km)	Distance covered without ball possession (km)	Top running speed ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	Goals scored per game (n)	Errors by goalkeeper (n)
Sea level (0 m)	42.9 ± 5.5	43.4 ± 7.7	27.74 ± 2.12	2.4 ± 2.0	0.4 ± 0.6
660 m	41.6 ± 9.8	43.1 ± 1.1	28.26 ± 1.61	2.3 ± 0.9	0.3 ± 0.5
1200–1400 m	40.0 ± 6.3	40.1 ± 6.4	27.91 ± 2.41	1.7 ± 1.4	0.2 ± 0.4
1401–1753 m	40.0 ± 6.3	41.7 ± 7.2	28.40 ± 2.21	2.6 ± 1.4	0.2 ± 0.3

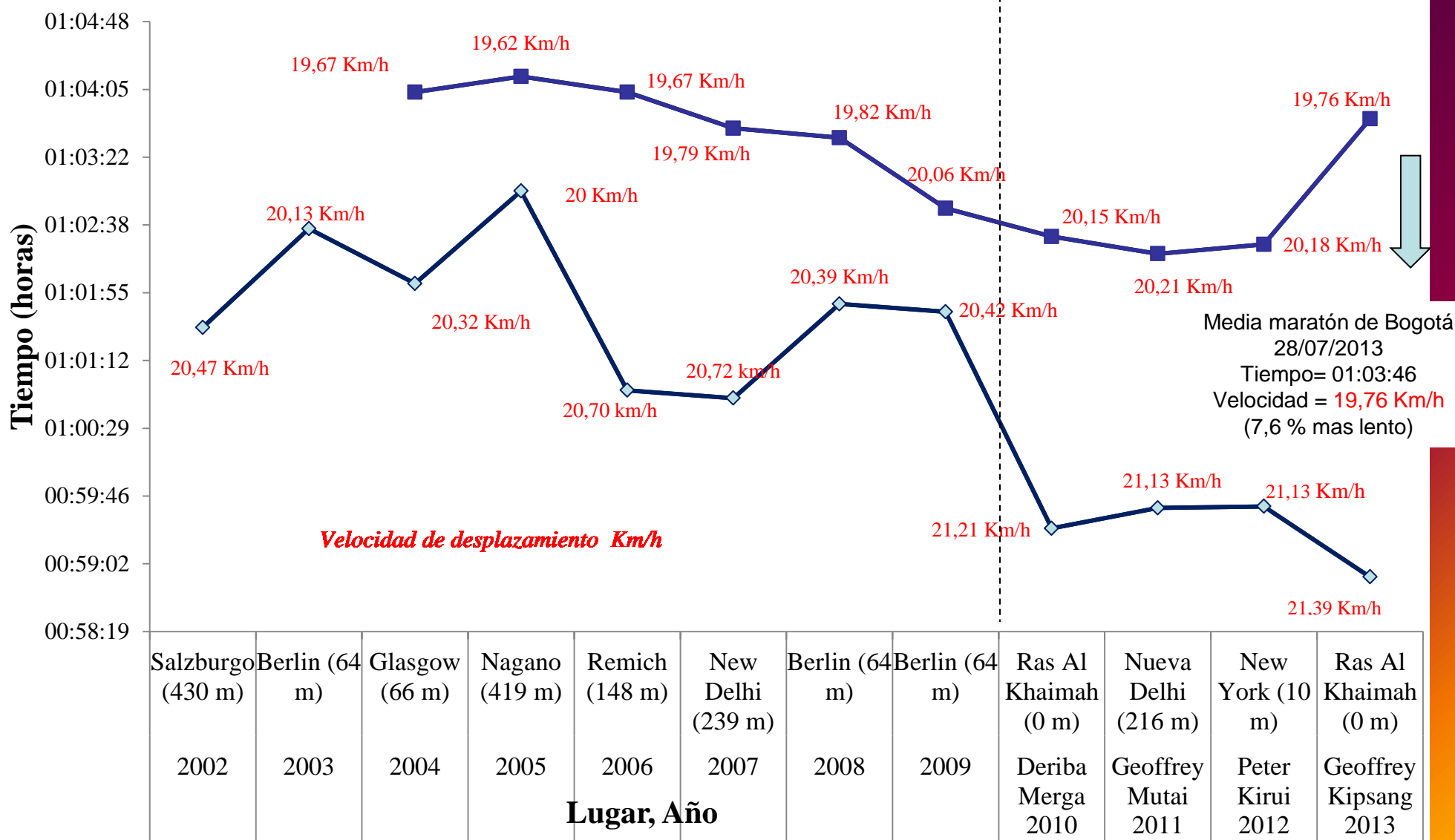
*Values are mean \pm SD.

Carreras a nivel mundial "sello dorado"

ENERO			JULIO		
Xiamen International Marathon	Xiamen CHN		Bogota Intl. Half Marathon	Bogota D.E. COL	
Standard Chartered Mumbai Marathon	Mumbai IND		SEPTIEMBRE		
Dubai Marathon	Dubai UAE		BUPA Great North Run	Newcastle Upon Tyne GBR	
FEBRERO			Giro Podistico Internazionale di Castelbuono	Castelbuono ITA	
RAK Half Marathon	Ras Al Khaimah UAE		Airtel Delhi Half Marathon	Delhi IND	
Tokyo Marathon	Tokyo JPN		BMW Berlin Marathon	Berlin GER	
World's Best 10k Race	San Juan PUR		Rock "N" Roll Portugal Half Marathon	Lisboa POR	
MARZO			OCTUBRE		
Lake Biwa Mainichi Marathon	Otsu-City JPN		Bank of America Chicago Marathon	Chicago, IL USA	
Maratona di Roma	Roma ITA		BMW Frankfurt Marathon	Frankfurt am Main GER	
Seoul International Marathon	Seoul KOR		BUPA Great South Run	Portsmouth GBR	
EDP Half Marathon of Lisbon	Lisboa POR		Chosunilbo Chuncheon Intl. Marathon	Chuncheon KOR	
Hervis Prague Half Marathon	Prague CZE		NOVIEMBRE		
ABRIL			ING New York City Marathon	New York City, NY USA	
Marathon de Paris	Paris FRA		34th Intercontinental Istanbul Eurasia Marathon	Istanbul TUR	
Vienna City Marathon	Vienna AUT		Turin Marathon	Torino ITA	
BAA Boston Marathon	Boston, MA USA		Beijing Marathon	Beijing CHN	
Virgin London Marathon	London GBR		DICIEMBRE		
MAYO			66th Fukuoka International Marathon	Fukuoka JPN	
Volkswagen Prague Marathon	Prague CZE		Standard Chartered Singapore Marathon	Singapore SIN	
BUPA Great Manchester Run	Manchester GBR				
TCS World 10K Bangalore	Bangalore IND				

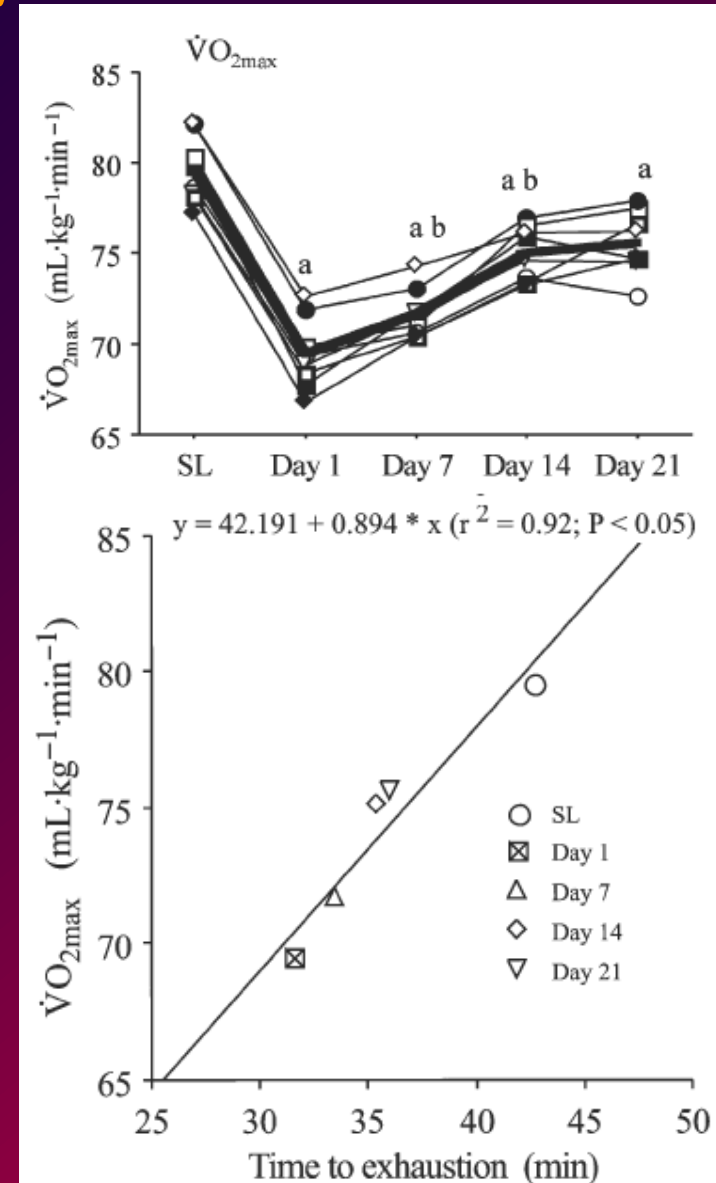


Comparación mejores tiempos de media maratón del I. Macharia y últimos cuatro ganadores (2002-2013) vs tiempo empleado en BOGOTÁ



Rendimiento en altura y aclimatación

- El $\dot{V}O_2$ max disminuye desde la llegada a la altura y luego de 14 días se logra aumentar sin diferencias con respecto a 21 días y sin alcanzar nunca los valores del nivel del mar
- El tiempo de agotamiento va aumentando sin diferencias entre los 14 y 21 días



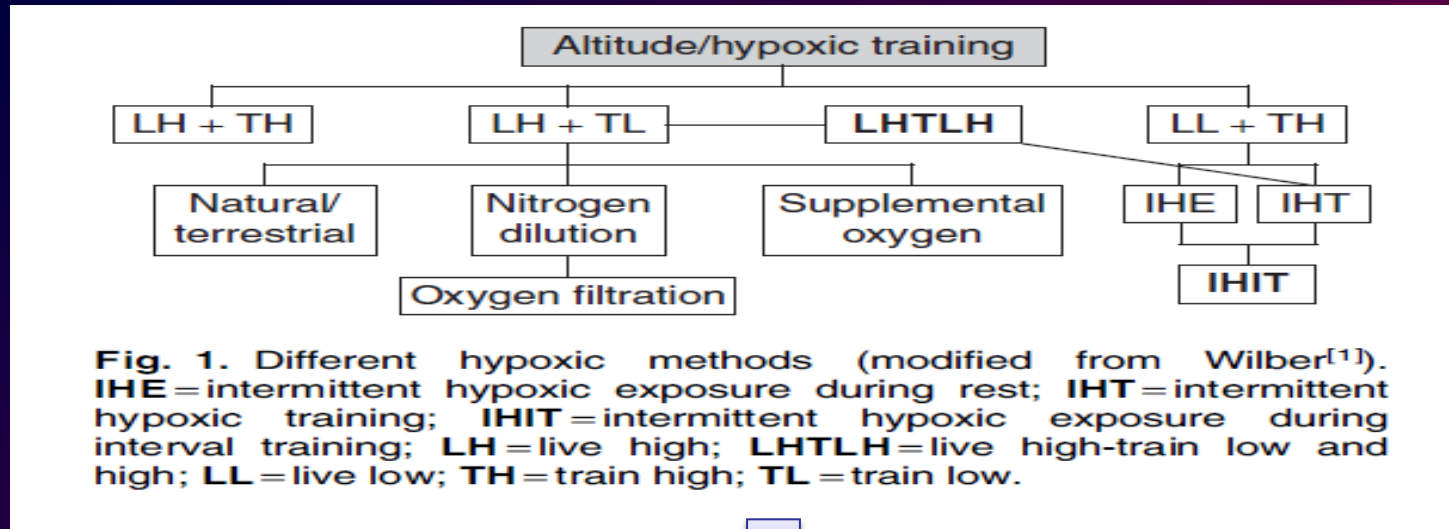
Entrenamiento en altura

- Entrenamiento en altura
 - Juegos Olímpicos de México (1968).
 - En Francia, EEUU Colorado
- Mejoría del rendimiento de ciertos atletas después de entrenamiento en altura
 - Estimulación de la eritropoyesis
 - Adaptaciones metabólicas musculares (Terrados et al. 1990, Hoppeler et Vogt 2001)

Los métodos de entrenamiento en hipoxia

- Estadía y entrenamiento en altitud media
- Entrenamiento en hipoxia intermitente
 - Dos métodos
 - Entrenamiento en hipoxia y estadía en normoxia
 - Entr. en normoxia y estadía en hipoxia (Levine et al. 1992)
 - Medios
 - Hipoxia hipobárica : Estadía o entrenamiento en altura
 - Hipoxia normobárica : «cámara hipoxica », «tienda hipoxica »
 - A Petición del C.O.I. et M.J.S, grupo de trabajo entrenamiento en hipoxia
 - Se mejora el rendimiento con respecto al grupo control?
 - Se modifican los parámetros fisiológicos del transporte de oxígeno ?
 - método « Living high training low » representa un riesgo de patología ?

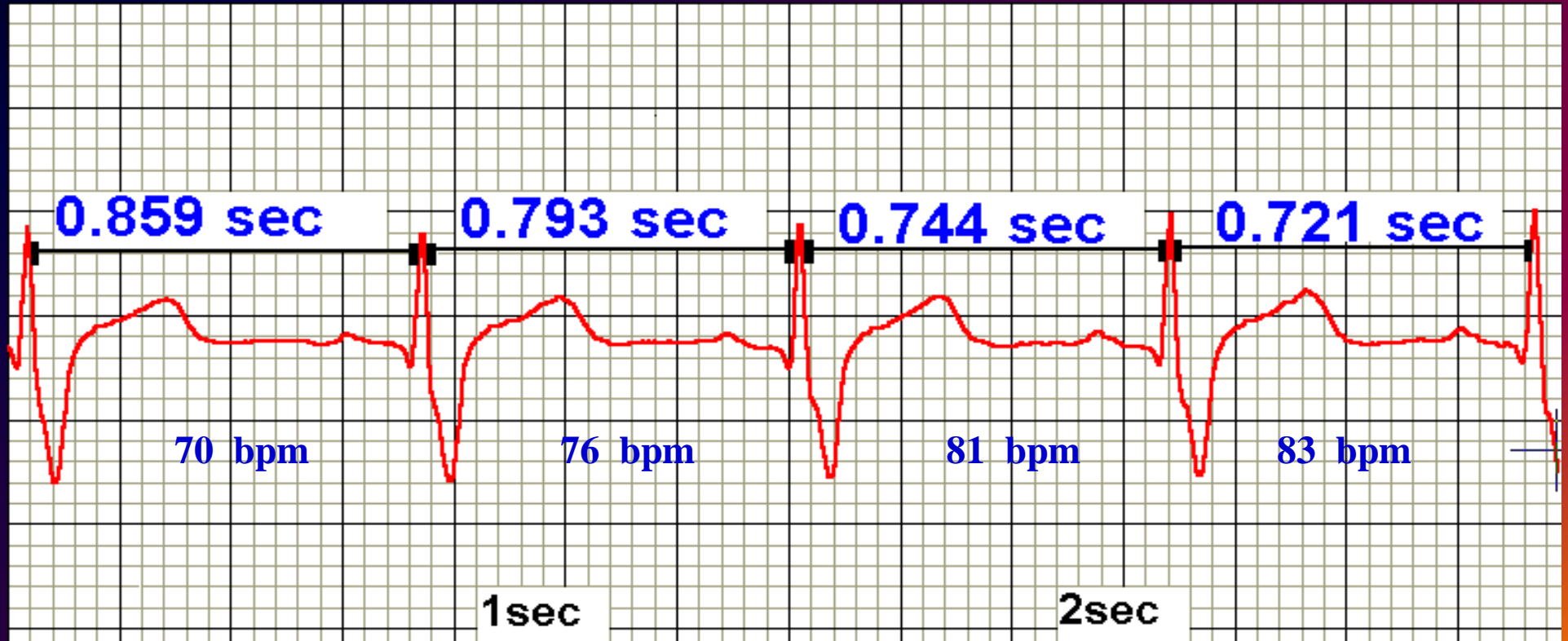
ENTRENAMIENTO HIPOXICO EN ALTITUD



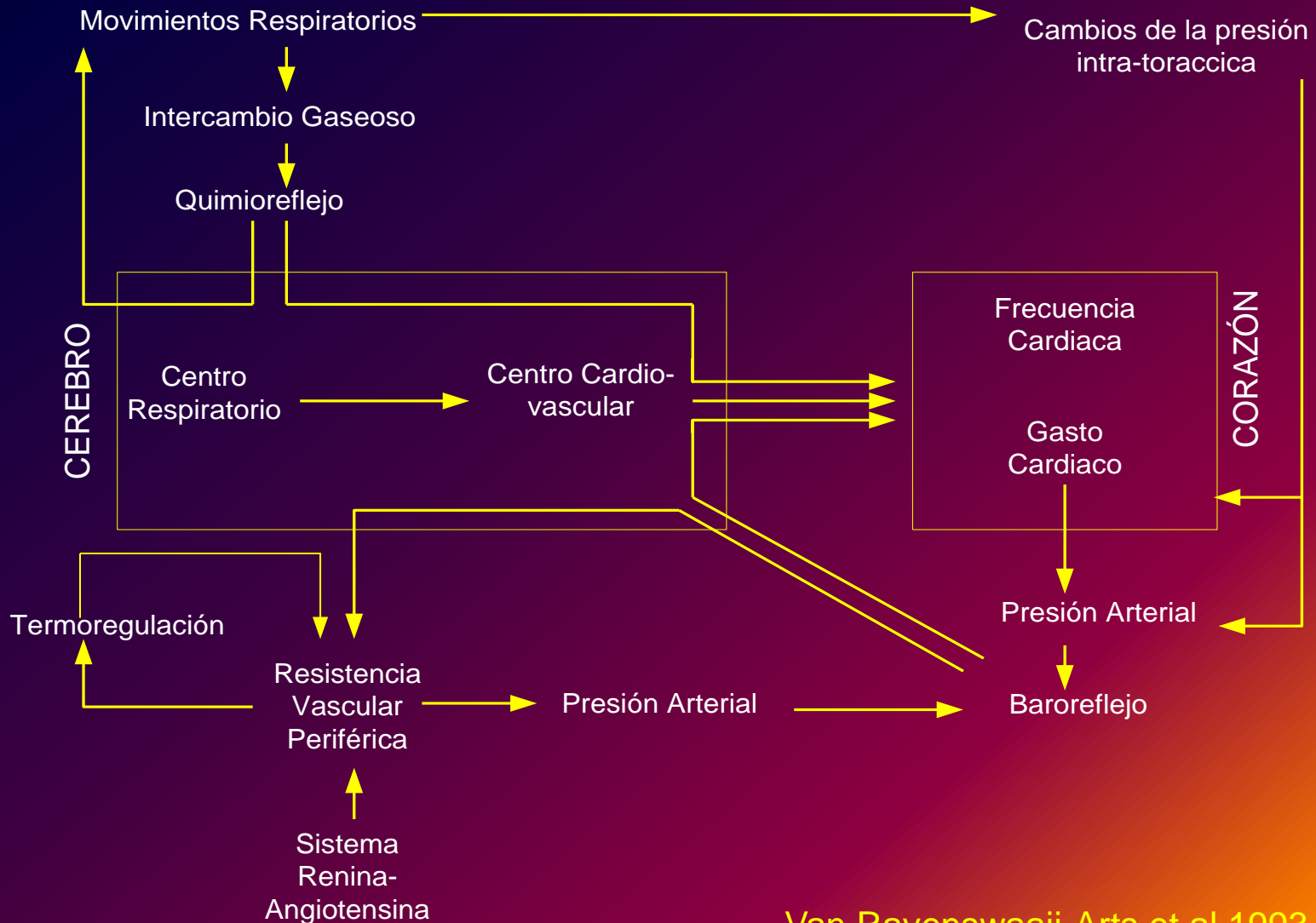
Objetivo: inducir una mejoría en el rendimiento deportivo a nivel del mar

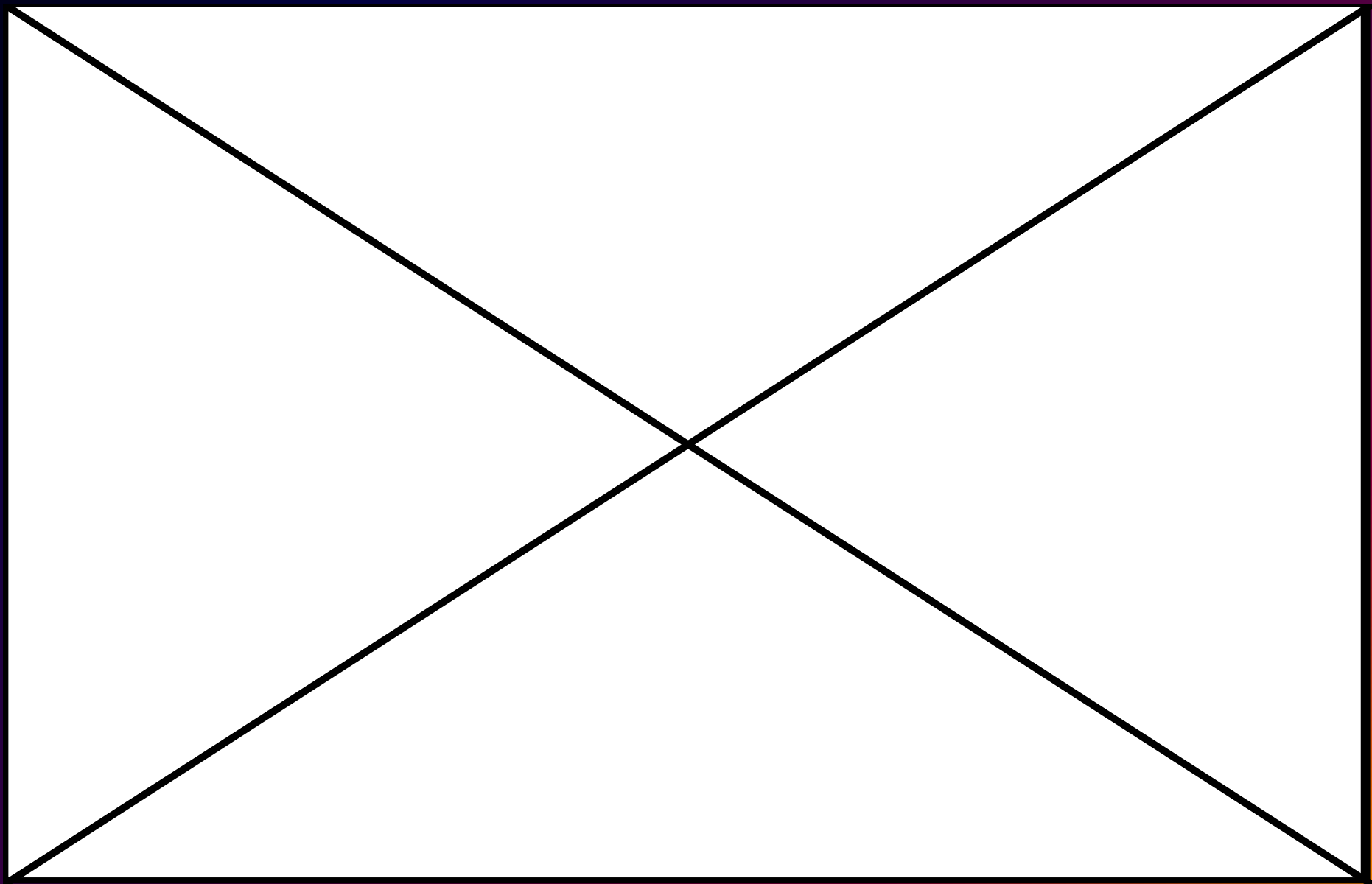
Respuesta neurovegetativa en hipoxia

La variabilidad del ritmo cardiaco



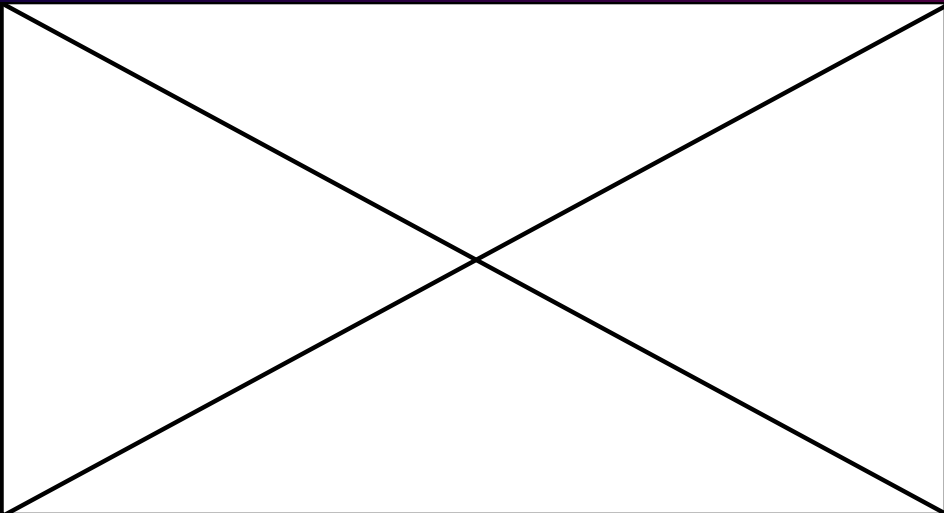
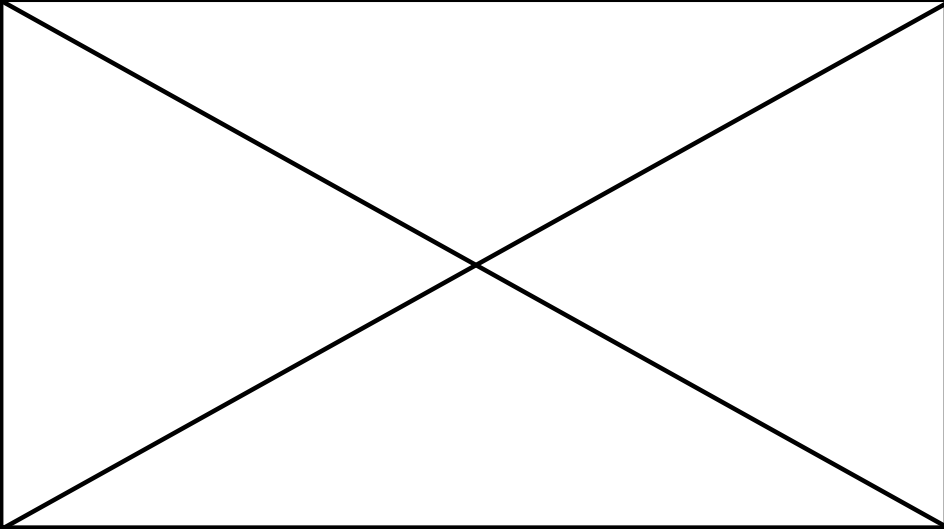
Orígenes de la fluctuación periódica de frecuencia cardiaca



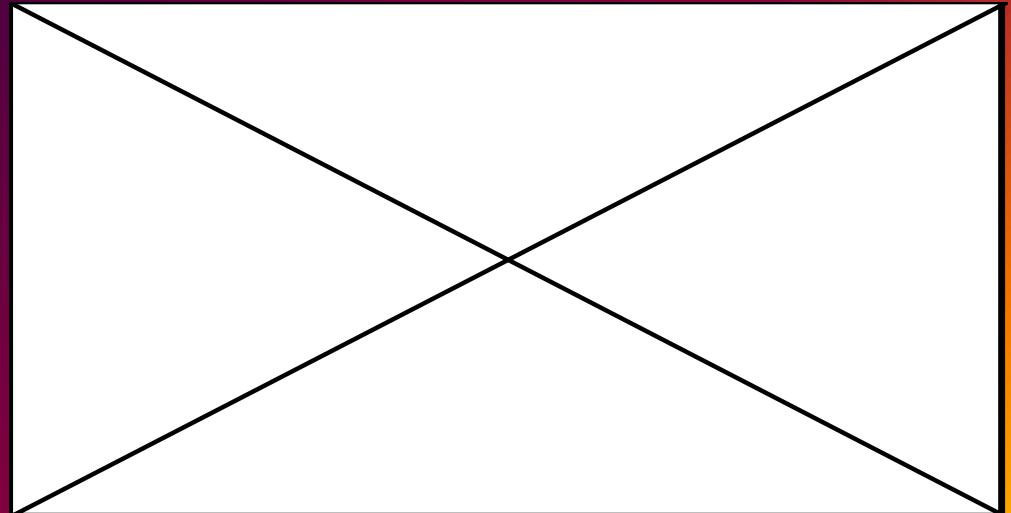
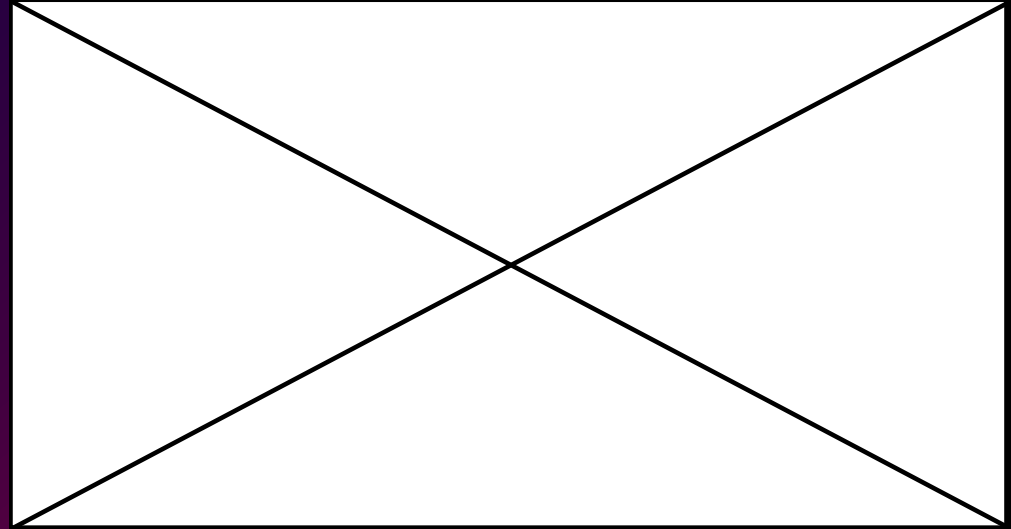


J.B. 31 años, 2550 msnm., 04/09/2006

Decúbito

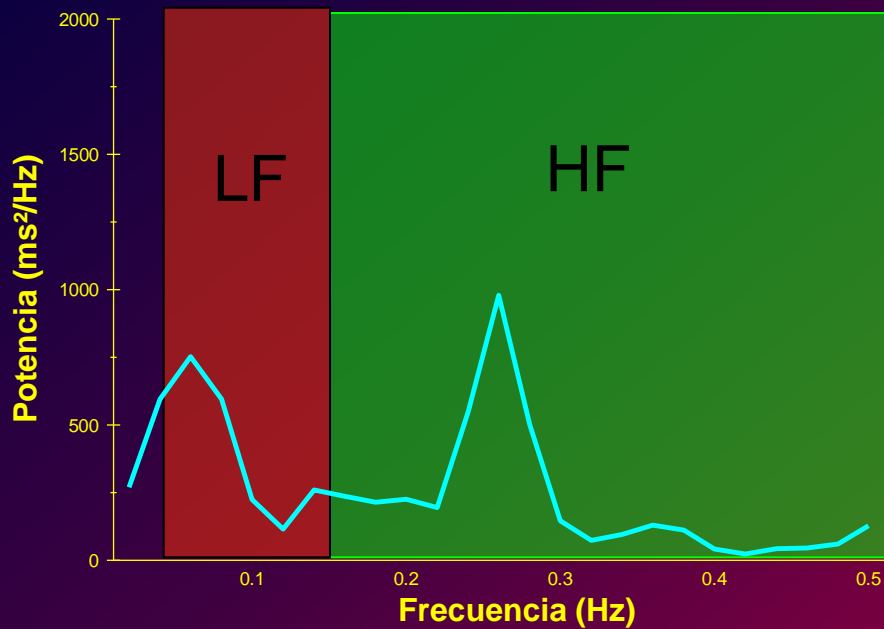
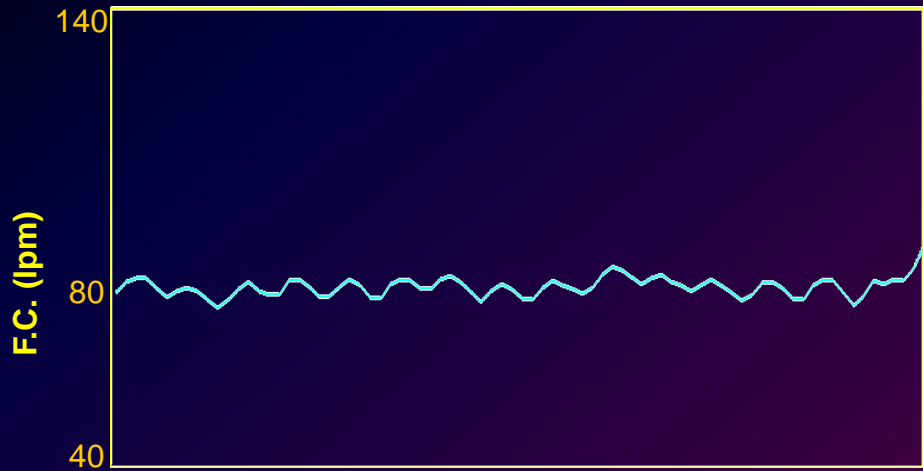


Ortostatismo

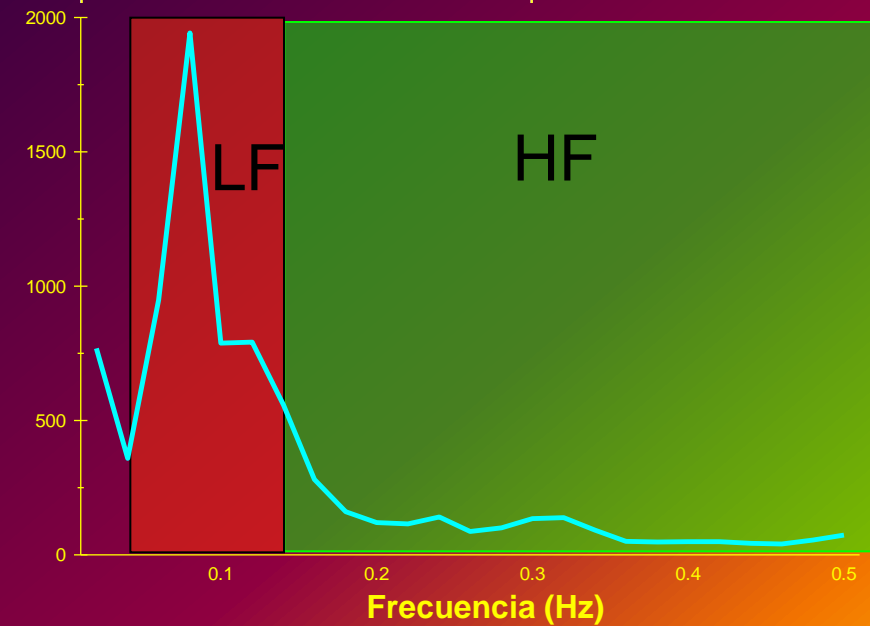
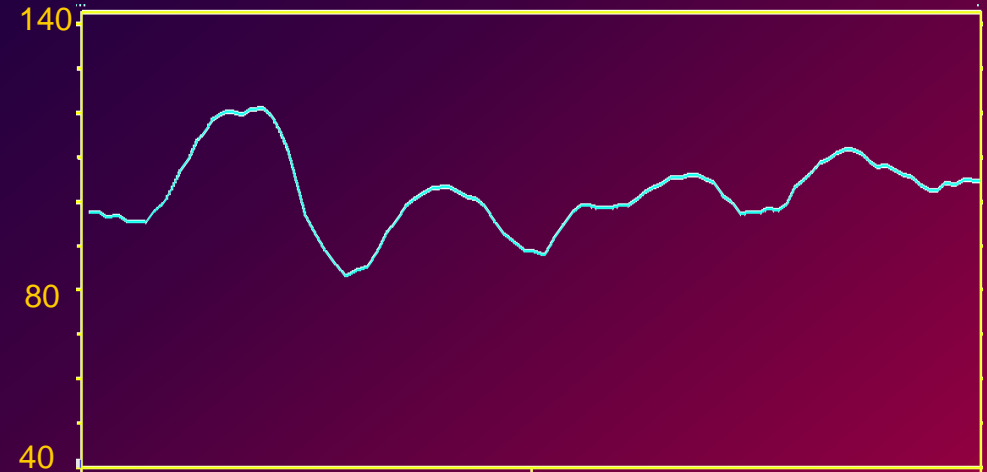


J.B. 31 años, 2550 msnm., 04/09/2006

Decúbito



Ortostatismo



Ojos:
Dilatación de la pupila




Salivación:
poca, espesa

SNC:
Atención
Estimulación




Corazón:
Frecuencia ↑
Fuerza ↑
Presión ↑




Bronquios:
Dilatación



Tejido adiposo:
Descomp. trigl.
Liberación de ácidos grasos



Higado:
Descomp. glucógeno
Liberación glucosa




Vejiga:
Tono esfínter ↑
Tono músculo de la pared ↓



Estóm.-int.:
Peristaltismo ↓
Tono esfínter ↑
Circulación ↓



Músc. esquel.:
Circulación ↑
Descomp. glucógeno




SISTEMA SIMPATICO



Ojos:
Adaptación de cerca
Contracción
de la pupila




Bronquios:
Contracción
Secreción ↑




Salivación:
Abundante, líquida


Estóm.-int.:
Secreción ↑
Peristaltismo ↑
Tono esfinter ↓



Corazón:
Frecuencia ↓
Presión
sanguínea ↓



Vejiga urinaria:
Tono esfinter ↓
Tono músculo
de la pared ↑

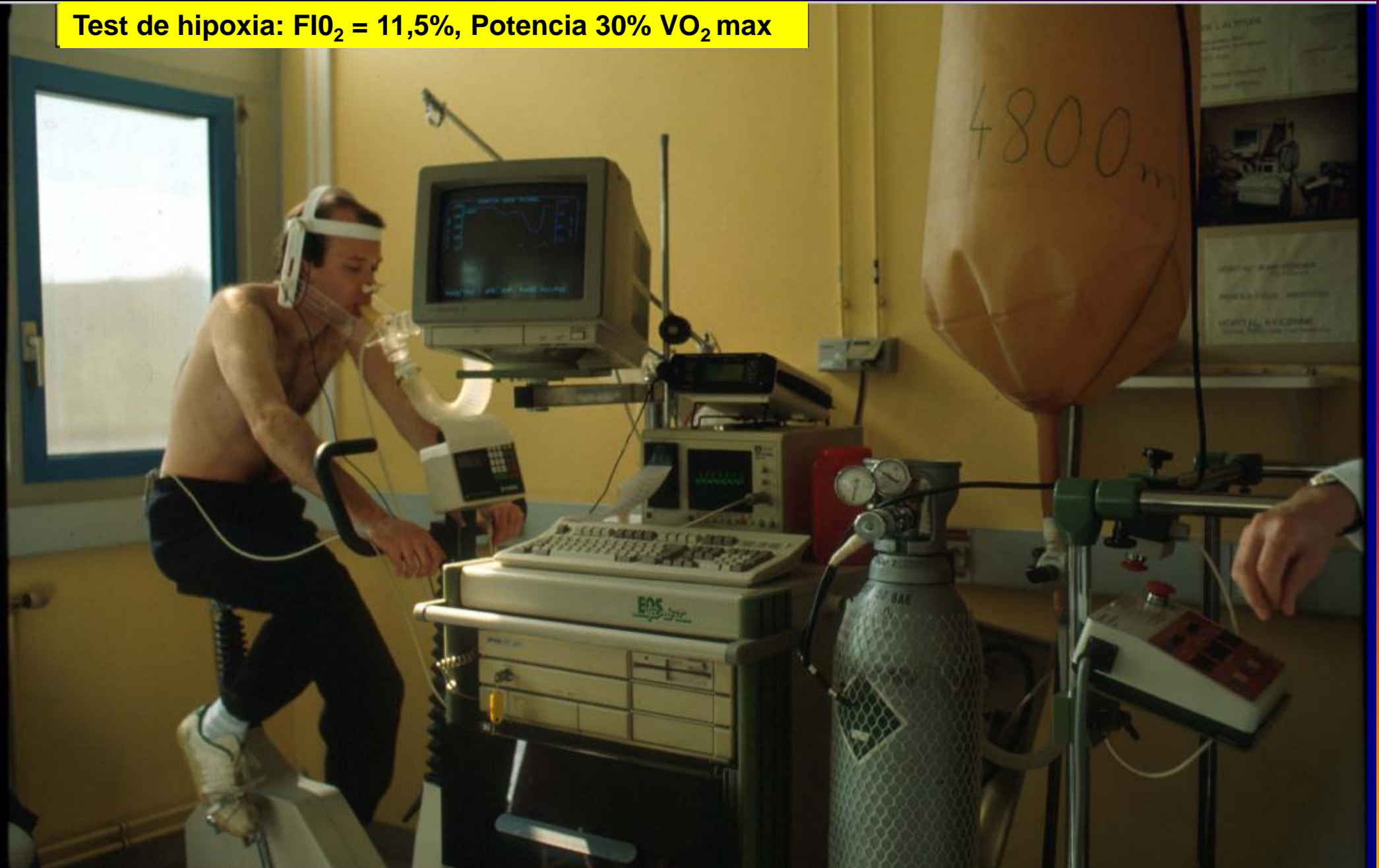


SISTEMA PARASIMPATICO

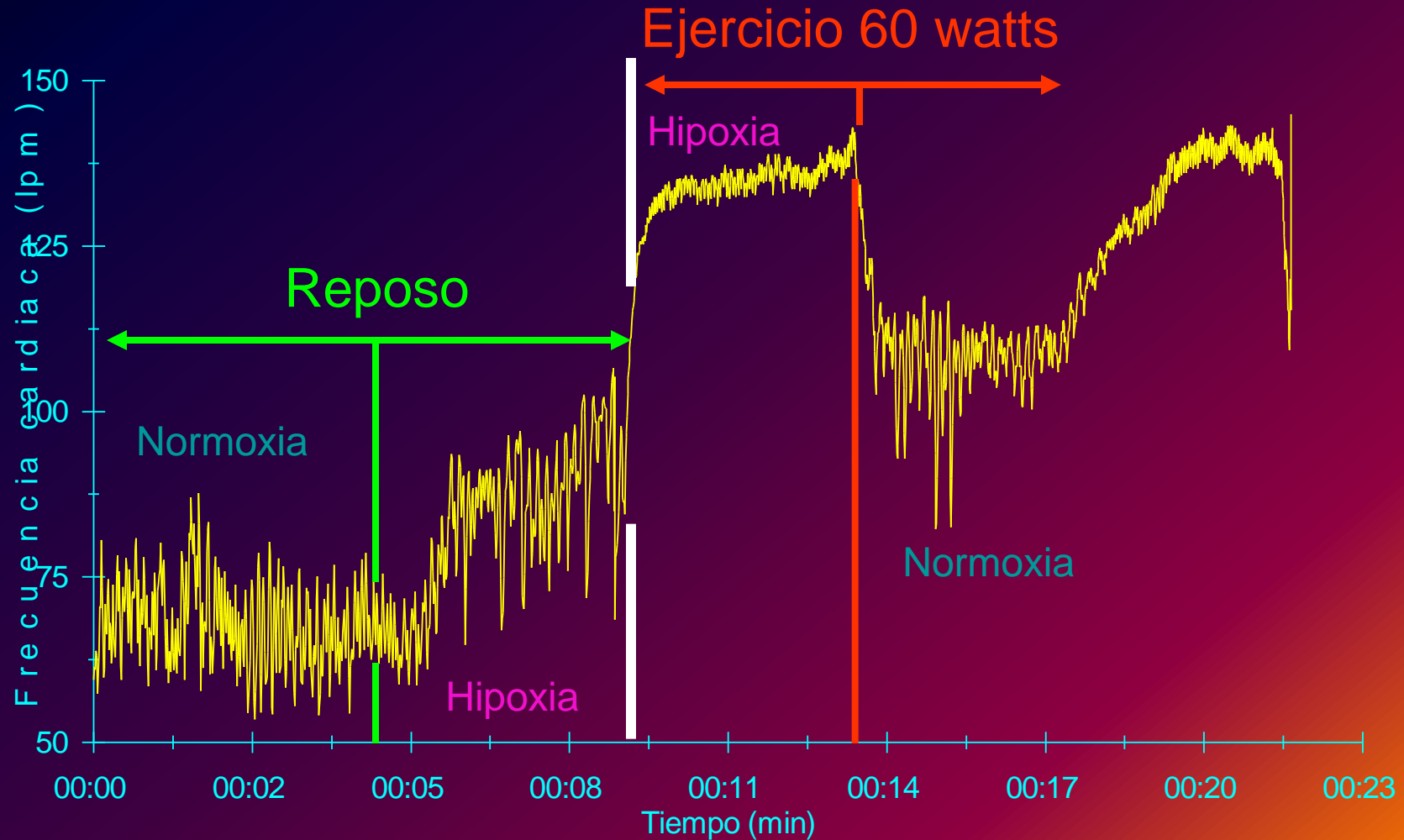
BALANZA AUTONOMICA



Test de hipoxia: $FI_{O_2} = 11,5\%$, Potencia $30\% VO_2 \text{ max}$

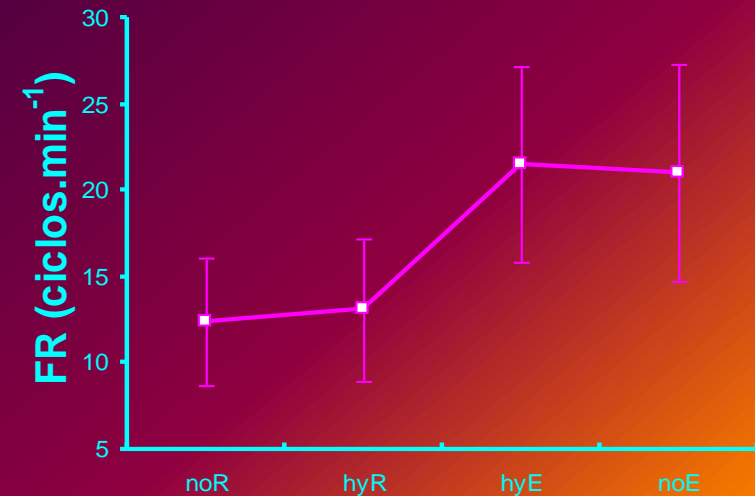
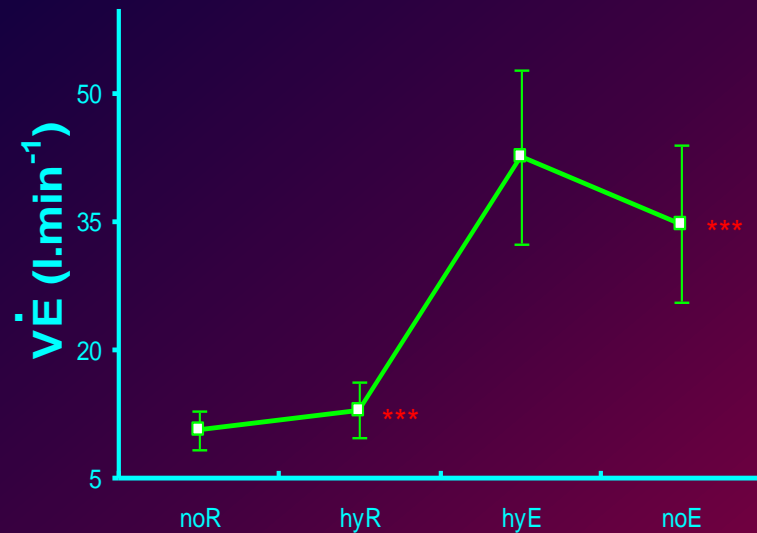
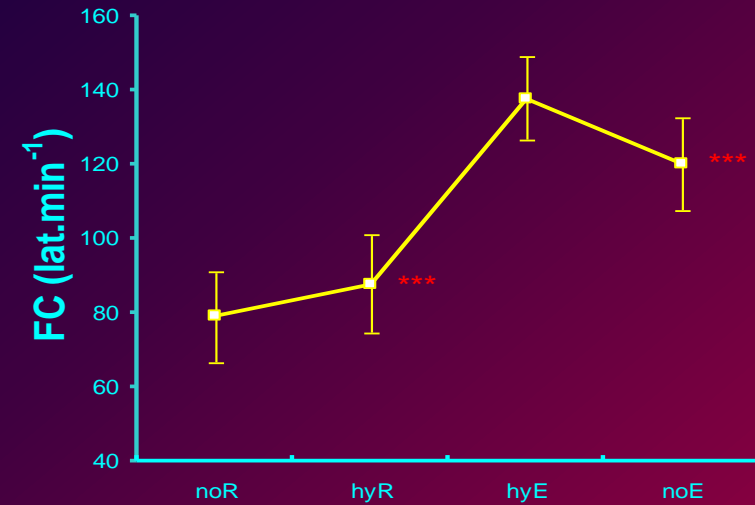
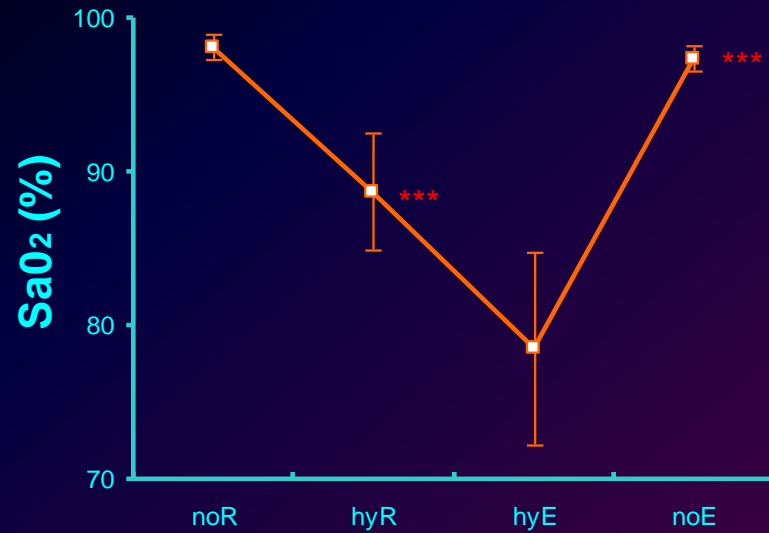


Respuesta neurovegetativa al test de sensibilidad a la hipoxia



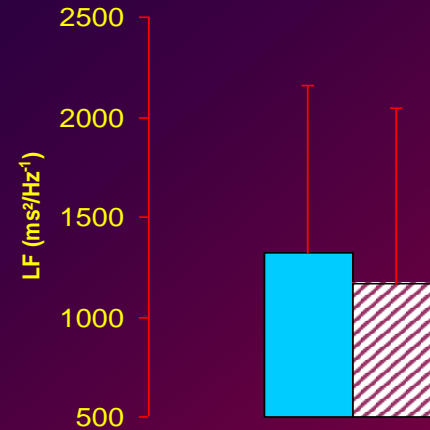
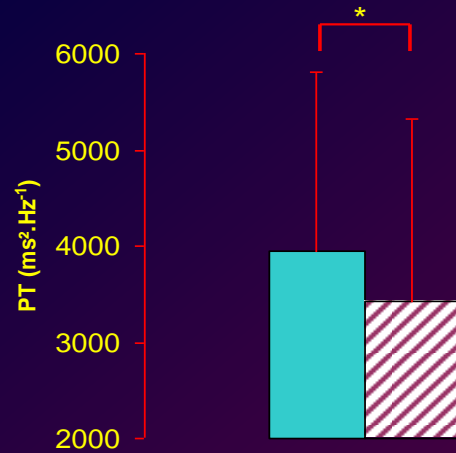
Hipoxia: 11,5 % O_2 , equivalente a 4800 m de altura

Respuesta a la hipoxia aguda durante el Test de sensibilidad a la hipoxia



Componentes espectrales en reposo del total de la población

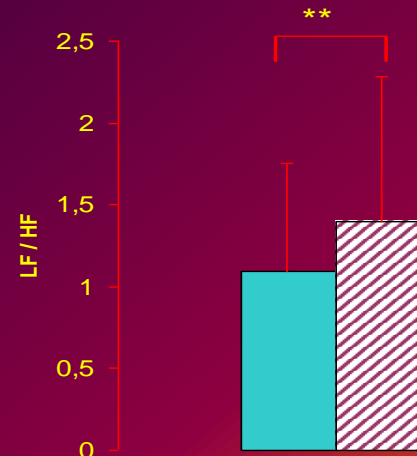
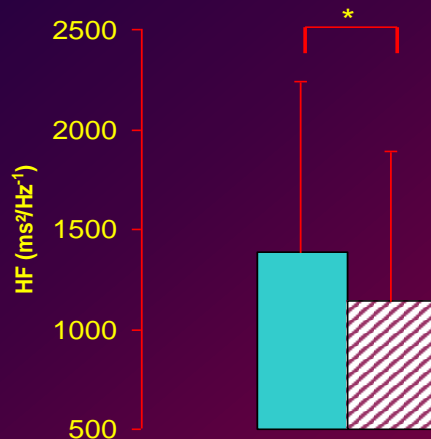
Potencia total



Low Frequency

■ NORMOXIA
▨ HIPOXIA

High Frequency



Indice LF/HF

n = 132

Índices de respuesta a la exposición aguda a la hipoxia

- $\downarrow P_aO_2$ 60mmHg quimiorreceptores \uparrow la respuesta ventilatoria (HVR)
- Baja respuesta ventilatoria a la hipoxia es un índice de susceptibilidad. (Krieger & Holz, 1999, Fagan & Weil, 2001)
- Respuesta Cardíaca $R = (FC_{HR} - FC_{NR} / SaO_{2HR} - SaO_{2NR})$
- Respuesta Cardíaca $E = (FC_{HE} - FC_{NE} / SaO_{2HE} - SaO_{2NE})$

Estudio de la respuestas cardiaca «adecuadas» e «inadecuadas» en hipoxia aguda

	Adecuados	Inadecuados
RC _R (batt.min ⁻¹ ·% ⁻¹) _{n=16}	0.25 ± 0.18	2.77 ± 0.78
Edad (años)	44.2 ± 10.5	41.7 ± 12.7
Pesos (Kg)	70.7 ± 11.5	66.9 ± 10.4
Tailla (cm)	172.6 ± 9.6	170.5 ± 7.3
VO ₂ max (ml/kg/min)	36.6 ± 9.5	35.8 ± 4.8
RC _E (batt.min ⁻¹ ·% ⁻¹) _{n=14}	0.32 ± 0.20	1.89 ± 0.42
Edad (años)	43.0 ± 11.8	44.8 ± 10.3
Peso (Kg)	68.3 ± 12.1	70.5 ± 7.3
Tailla (cm)	170 ± 8.5	176.1 ± 7.5
VO ₂ max (ml/kg/min)	34.4 ± 10.6	37.4 ± 8.1

Indices cardiacos: (Richalet 1992)

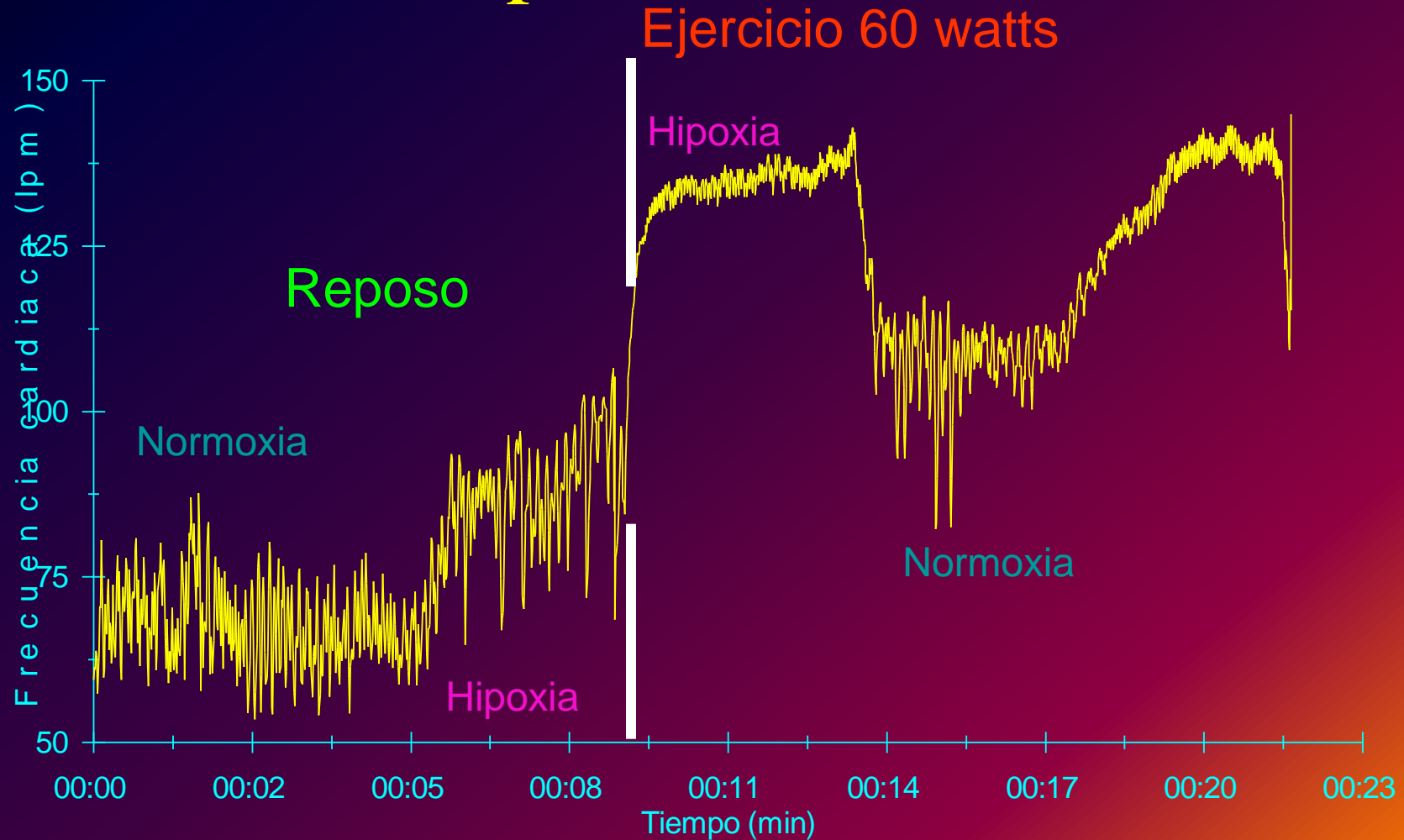
- Reposo; RC_R =
(FC_{HR}-FC_{NR}/SaO_{2HR}-SaO_{2NR})

Normal > 0.41 min⁻¹.%⁻¹

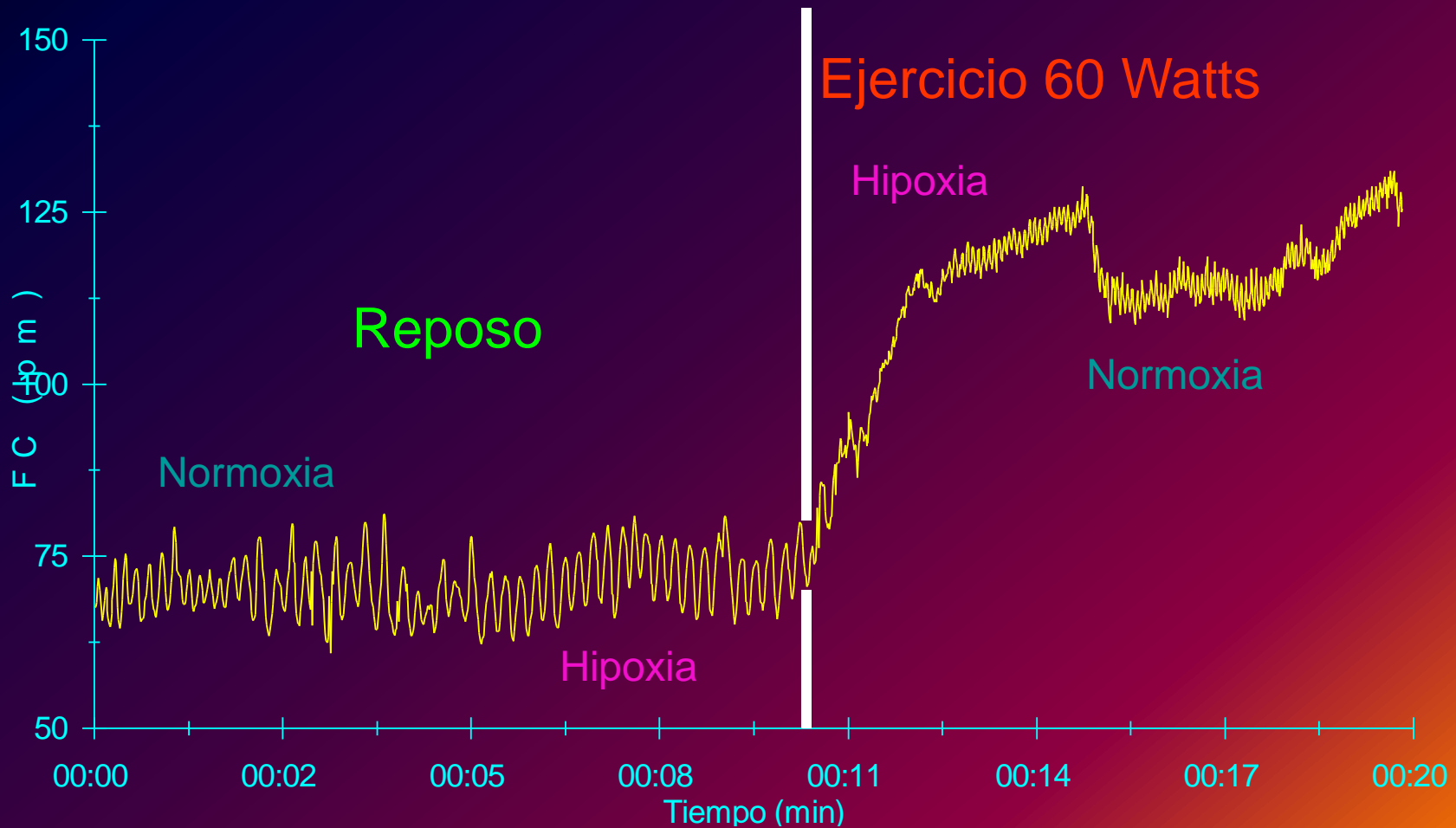
- Ejercicio; RC_E =
(FC_{HE}-FC_{NE}/SaO_{2HE}-SaO_{2NE})

Normal > 0.53 min⁻¹.%⁻¹

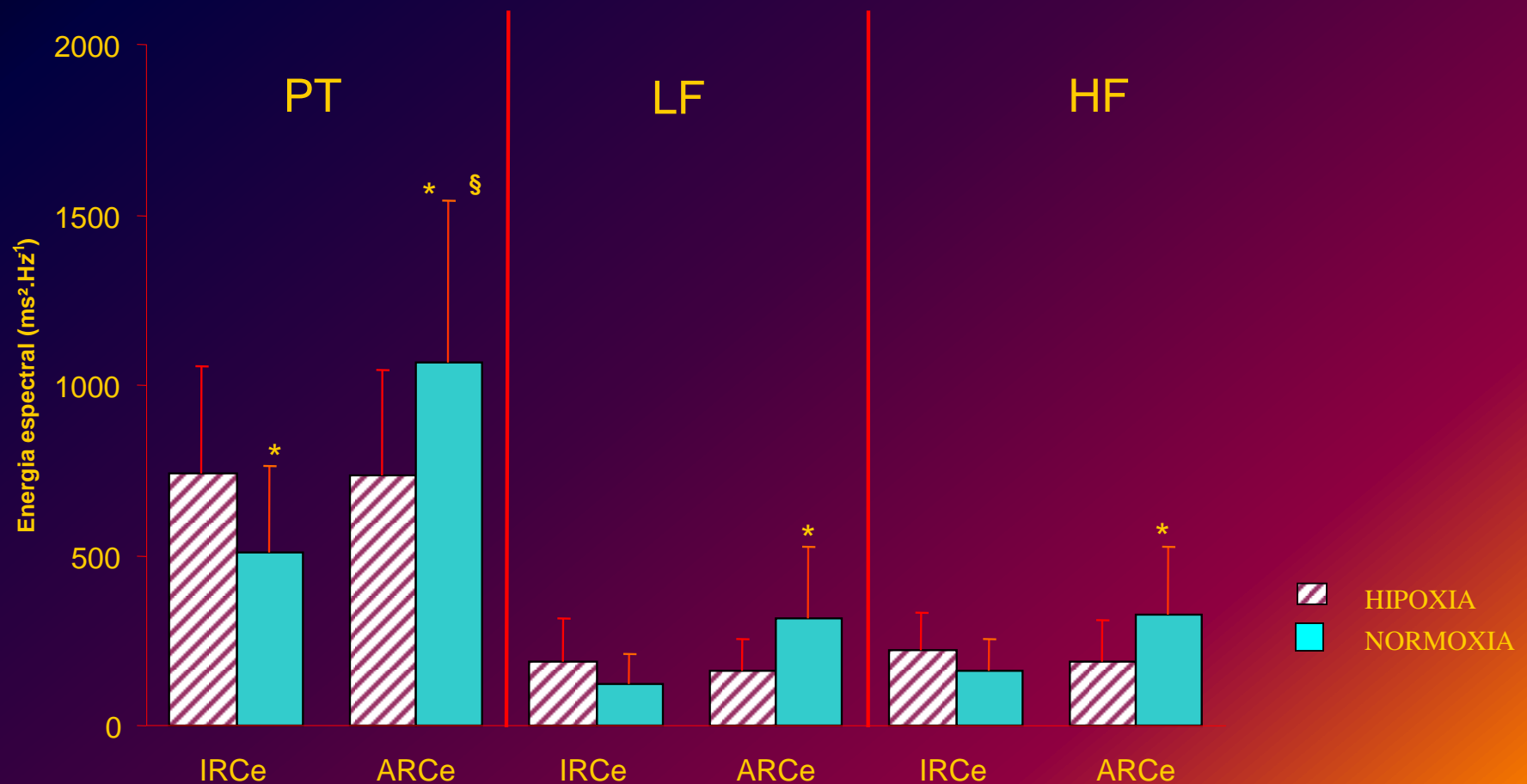
Evolución de la FC, durante el test de hipoxia, sujeto con una «respuesta cardiaca adecuada»



Evolución de la FC, durante el test de hipoxia, sujeto con una «respuesta cardiaca inadecuada»



Componentes espectrales de ARCe y IRCe durante el ejercicio



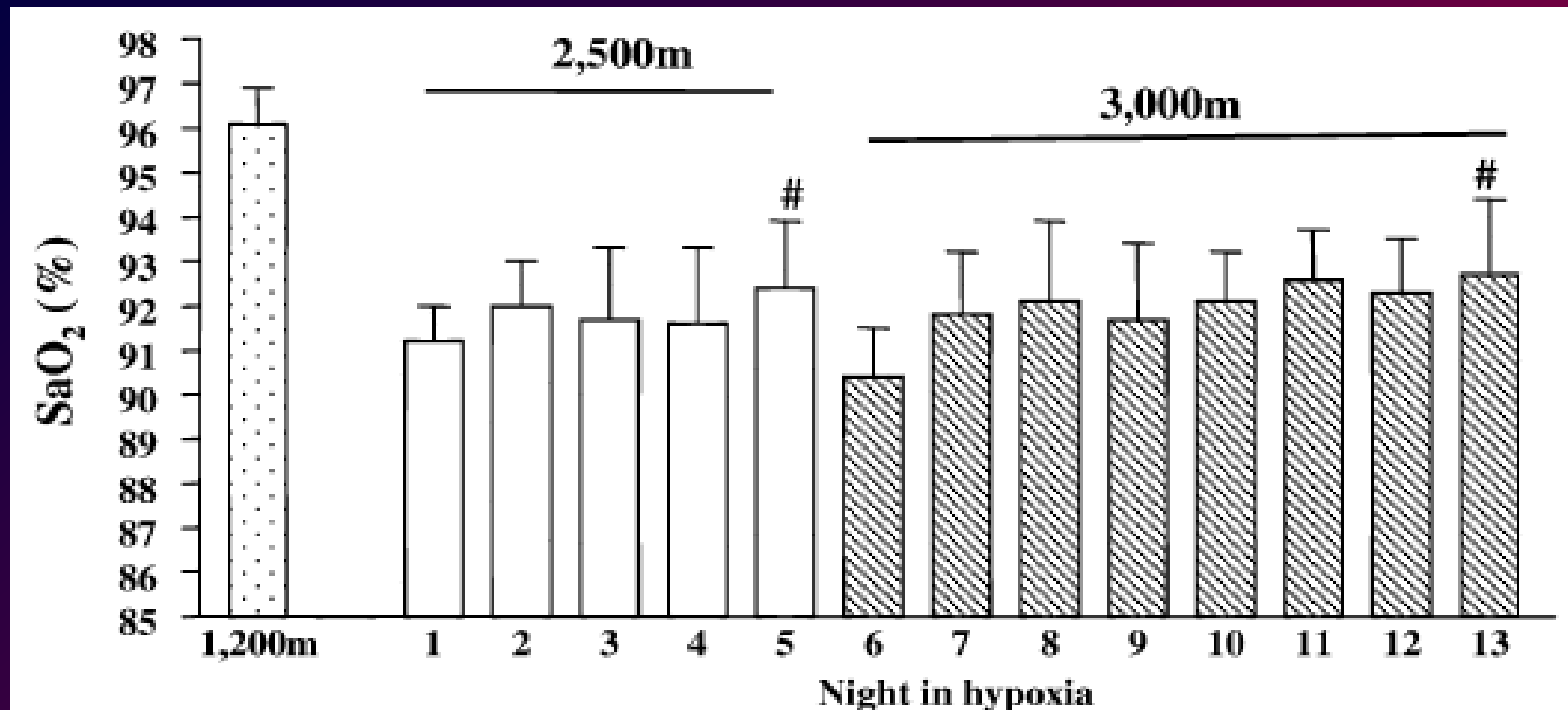
ARCe = Adecuados Respondedores cardiacos en ejercicio

IRCe = Inadecuados Respondedores cardiacos en ejercicio

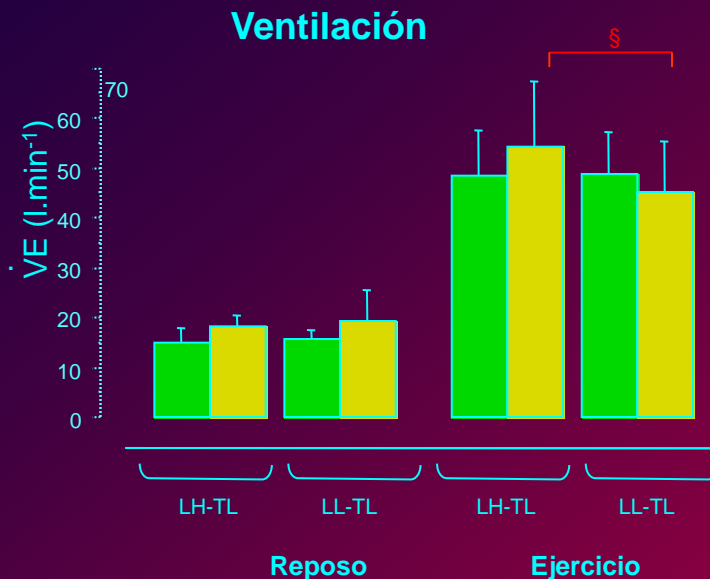
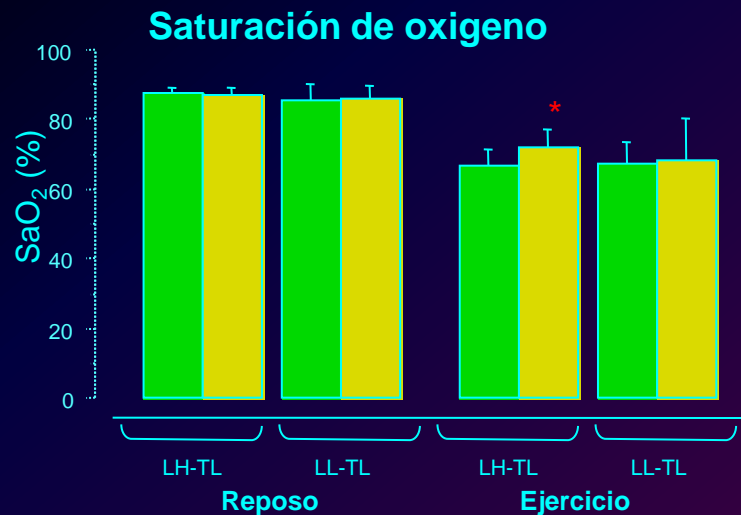
Estudio de la respuesta neurovegetativa LH-TL y LL-TL

- Campo de entrenamiento a 1200 m
- 28 atletas (natación, atletismo), dos sub-grupos, de VO_2 max promedio iguales
 - Grupo control (LL-TL) (n=8): noches a 1200m
 - Grupo hipoxia (LH-TL) (n=12) noches en cámara hipoxica a una altura equivalente de 2500m – 3000m
- Comparáramos las respuestas neurovegetativas, cardiaca y ventilatoria al test de sensibilidad a la hipoxia
 - antes y al final del campo de entrenamiento.

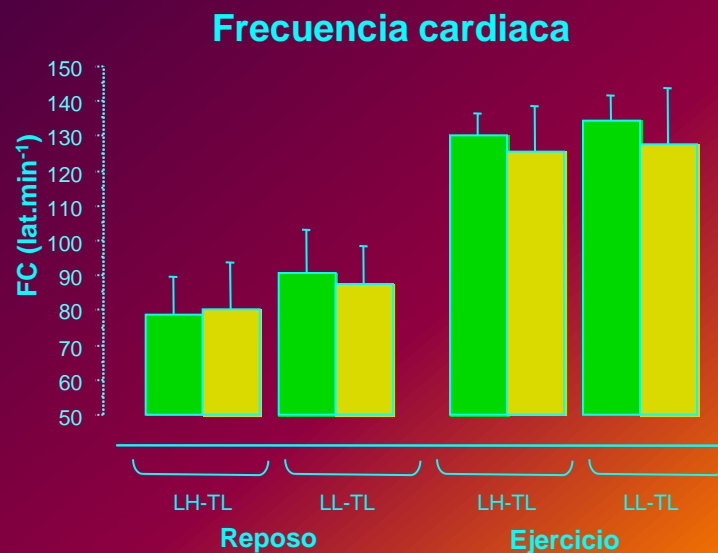
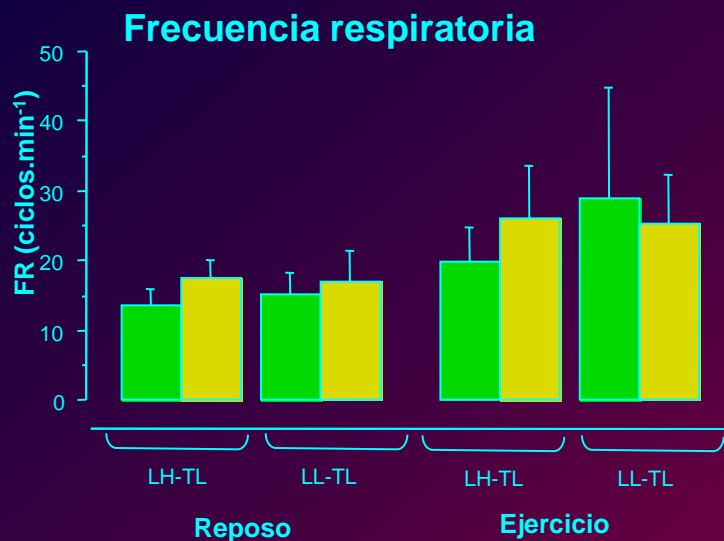
Saturación de oxígeno durante las noches del grupo LHTL



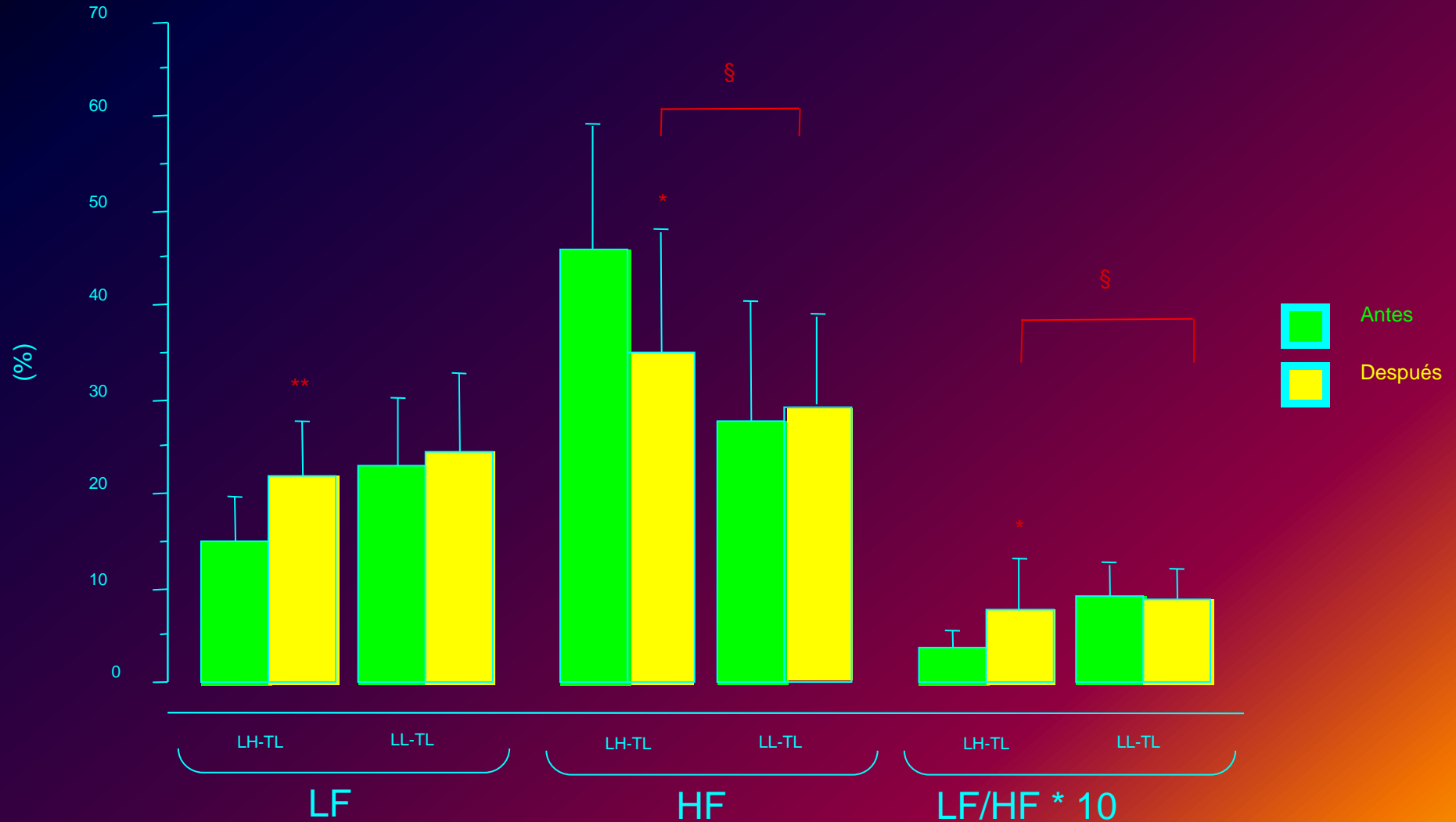
Test de sensibilidad a la hipoxia entre los dos grupos, antes y después del campo de entrenamiento



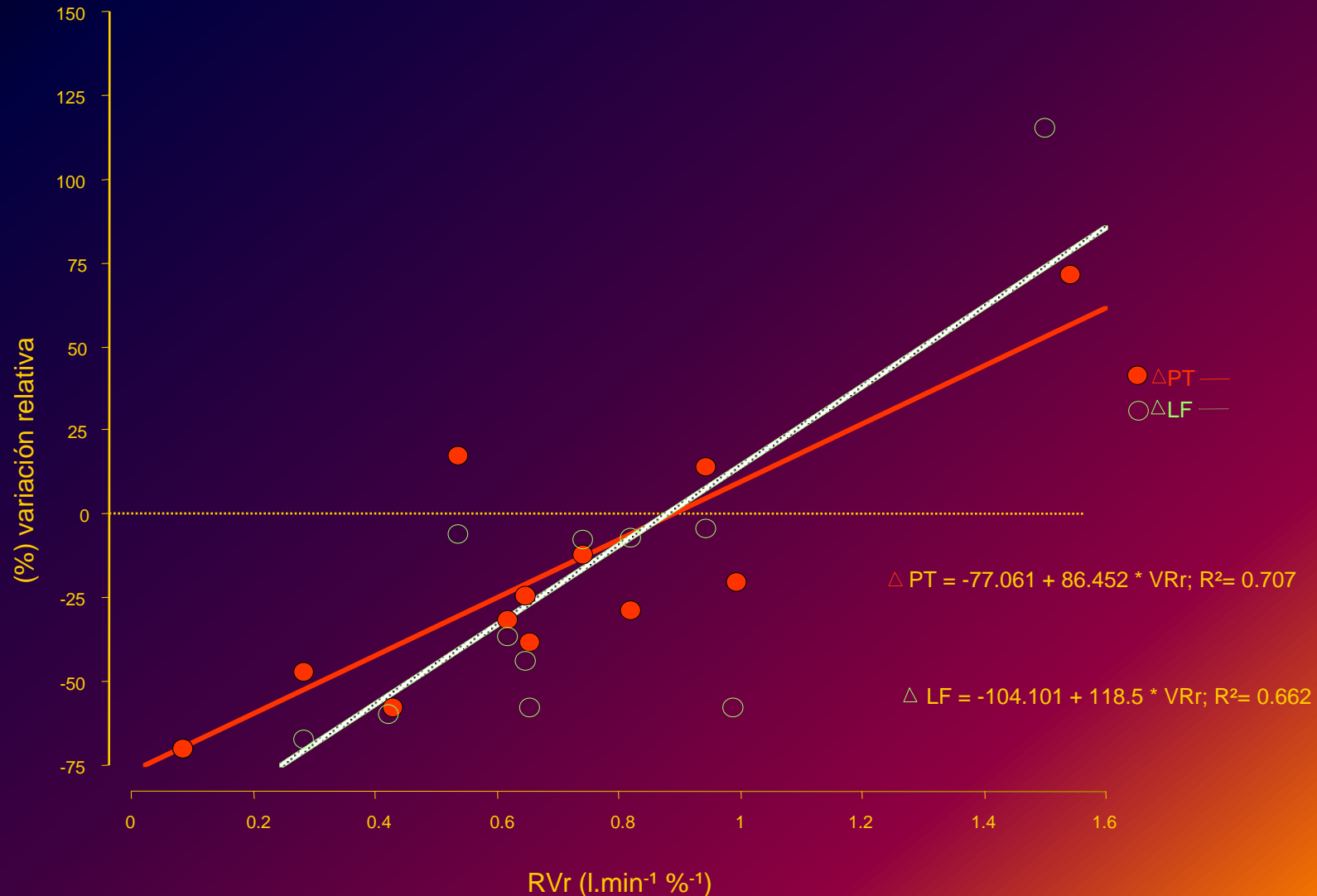
Antes
Después



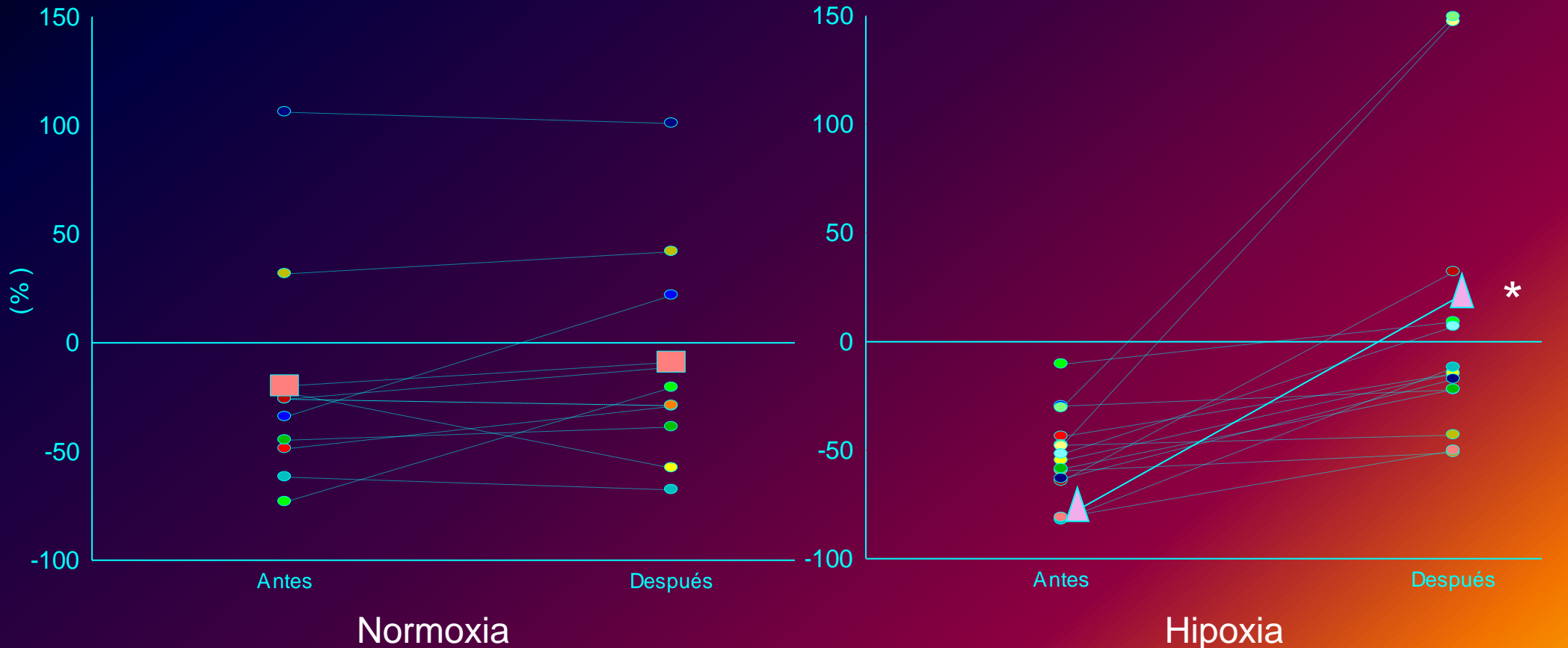
Comparación de la VRC durante el ejercicio en hipoxia entre los dos grupos, antes y después del campo de entrenamiento



Variabilidad del ritmo cardiaco y respuesta ventilatoria en reposo después de la aclimatación

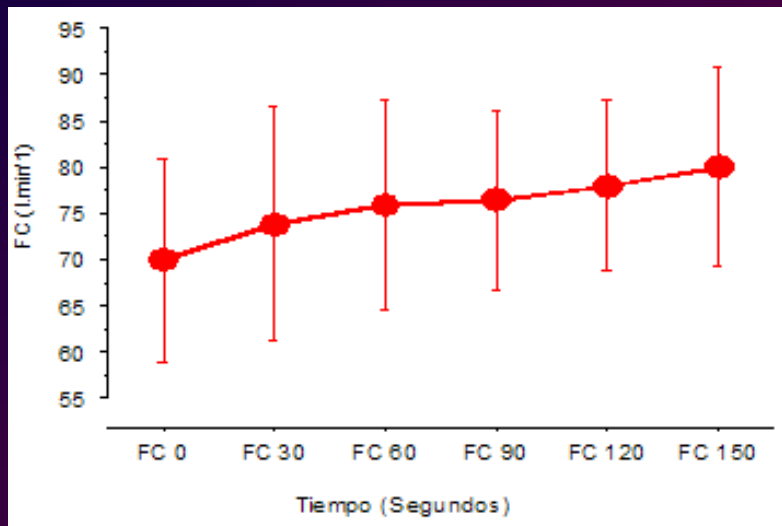
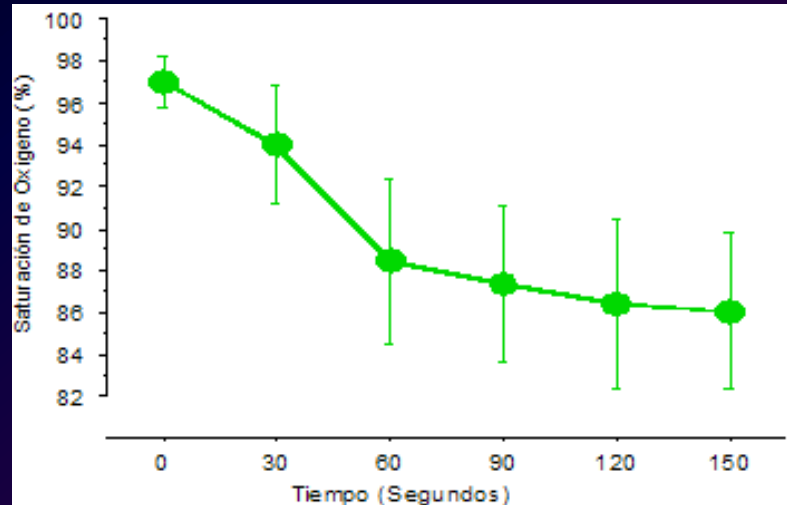


Porcentaje de variación individual del índice LF/HF entre la normoxia y la hipoxia en ejercicio

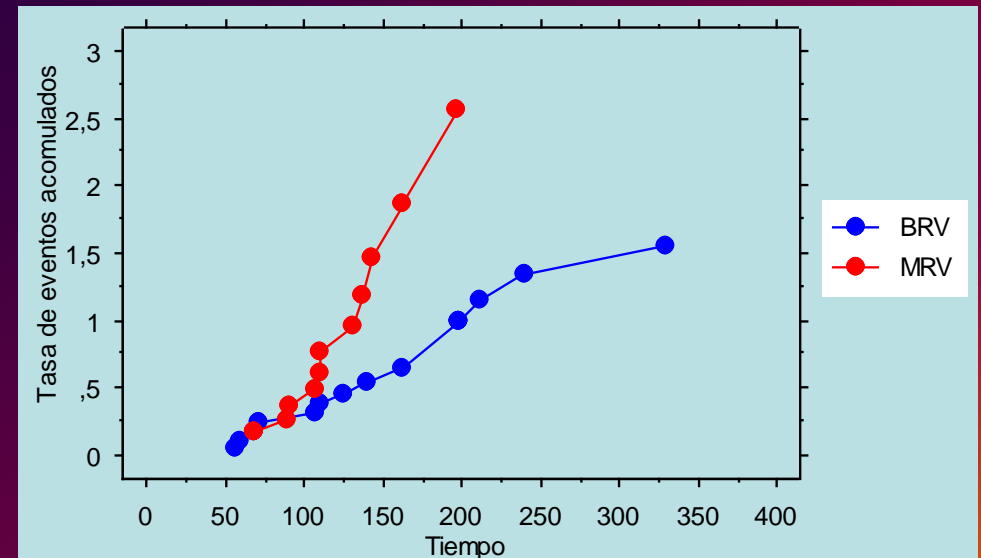
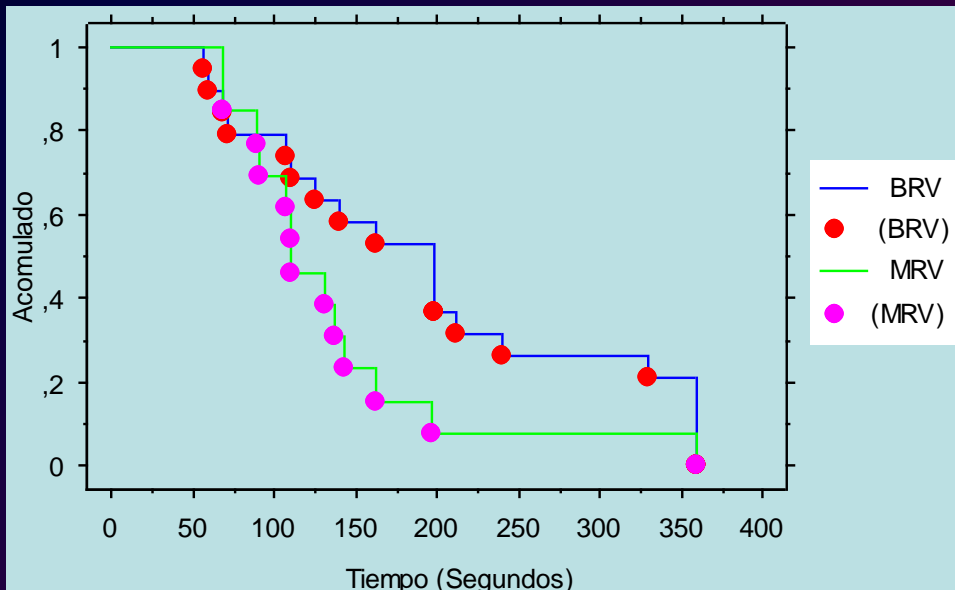


* $p < 0.05$

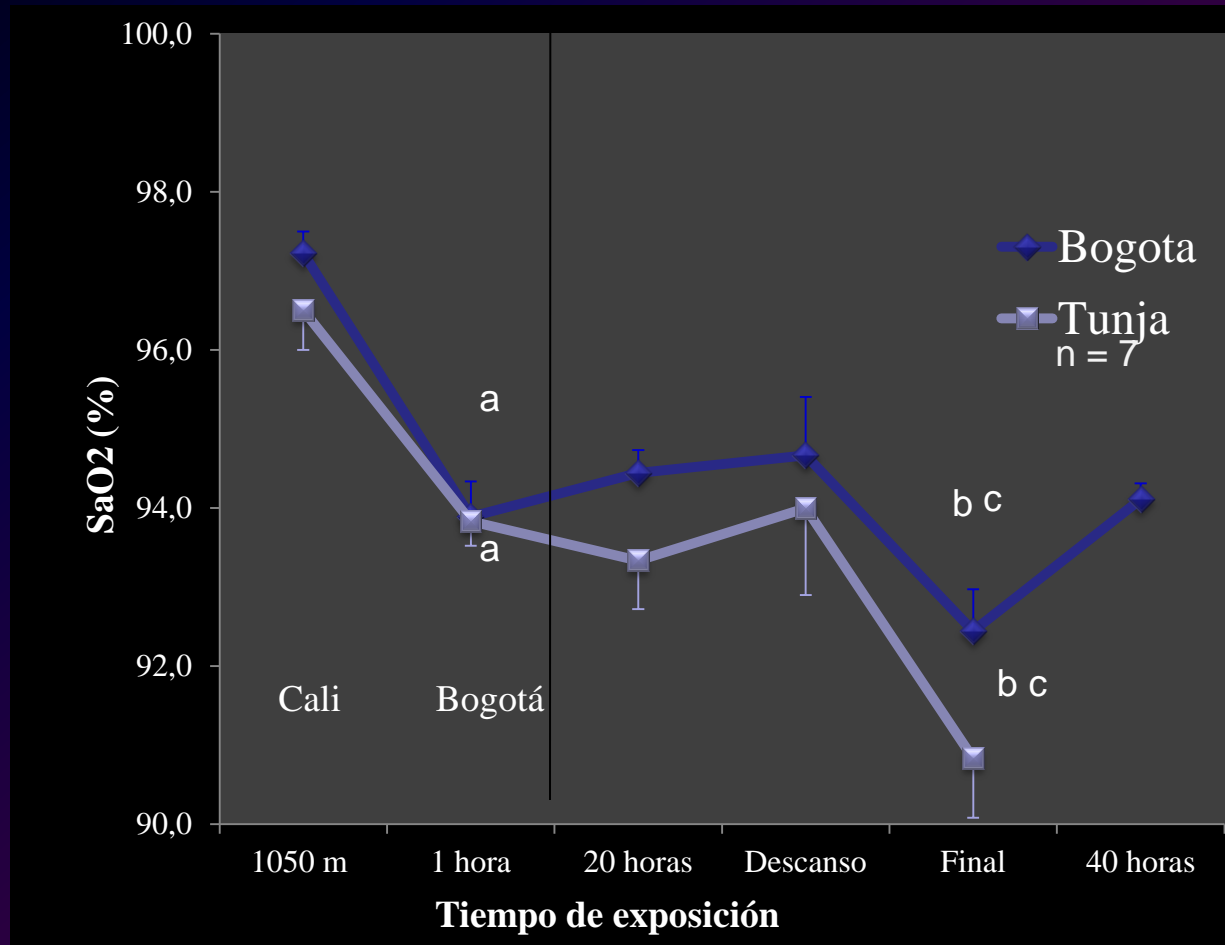
Evaluación de las respuestas ventilatorias y cardiacas en reposo de jugadores de futbol en altitud simulada



Análisis de la respuestas ventilatorias en reposo de 32 jugadores de fútbol profesional equipo de primera división de Colombia.



Estudio del comportamiento de la SaO₂ (%) seguimiento dos encuentros en alturas de 2550 m y 2750 m



a $p < 0,001$ con respecto a Cali
b $p < 0,05$ descanso vs final
c $p < 0,05$ 1 hora vs final del partido



Conclusiones

- VRC en hipoxia, podría constituirse en un criterio suplementario para la detección de sujetos que presentan una respuesta inadecuada a la hipoxia aguda y que como tal, son más sensibles al MAM.
- La respuesta ventilatoria a la hipoxia en reposo y al ejercicio aumentada, posterior a la aclimatación, luego de una exposición a hipoxia *intermitente* está correlacionada con un aumento de VRC
- Una respuesta simpática aumentada después del aclimatación, podría explicar una respuesta favorable al entrenamiento en hipoxia intermitente.

A wide-angle photograph of a volcanic landscape. In the foreground, a person wearing a blue jacket and light-colored pants is walking away from the camera on a dirt path. The ground is dark and rocky, with some scattered stones. In the middle ground, there are several small groups of people and a wooden signpost. The background features large, rugged mountains with significant snow cover under a bright blue sky with scattered white clouds. The word "GRACIAS" is overlaid in large, white, stylized letters across the center of the image.

GRACIAS