

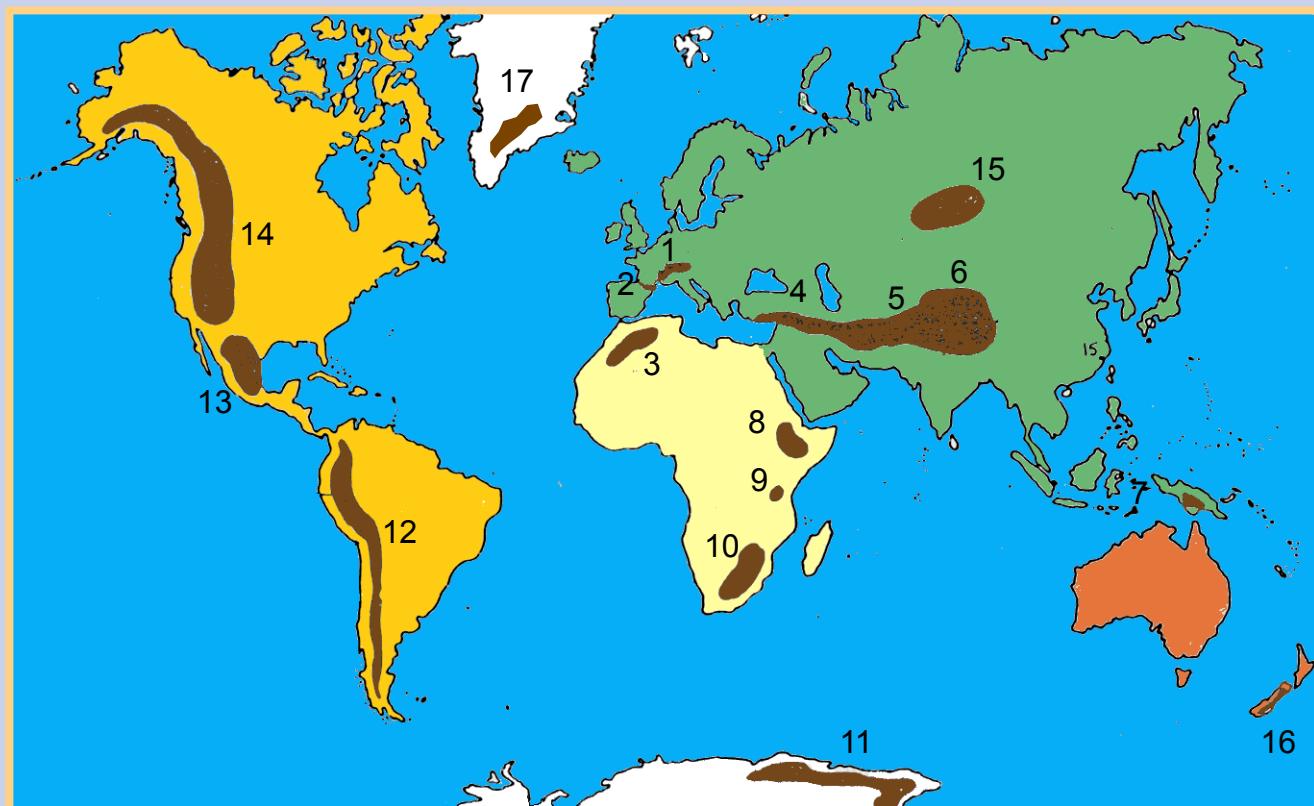
Efectos de la Altura sobre el transporte de oxigeno al esfuerzo maximo, en los hombres y mujeres nativos del nivel del mar

La Paz

17-18 Nov 2011

Prof. Jean-Paul Richalet
**Laboratoire “Réponses cellulaires
et fonctionnelles à l’hypoxie”,**
Hôpital Avicenne, Bobigny
Université Paris 13 - FRANCE

Regiones de altura



En marrón : regiones del mundo con altura sobre 3,000 m

Actividad física en altura



Alpinismo: Mont-Blanc, Alpes, 4807 m

Everest cara norte



High altitude climbing

Arista sudoeste del Everest

Annapurnas Tour, Nepal, 5400 m



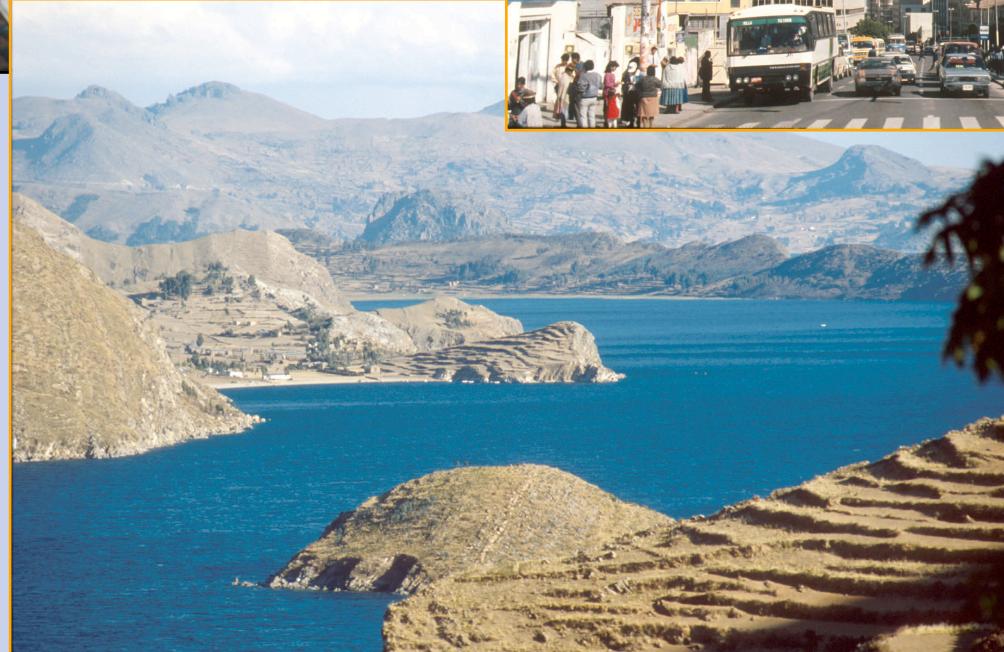
Trekking

Multi-sport raid en altura



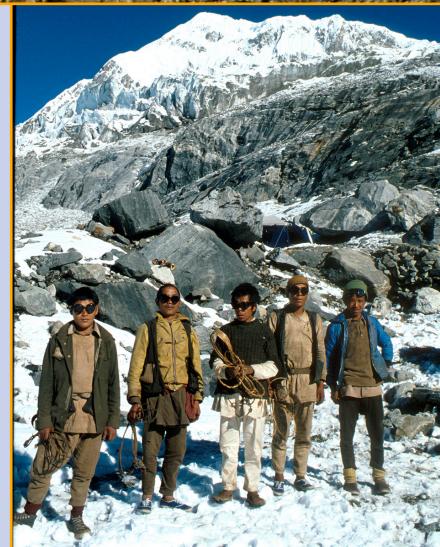
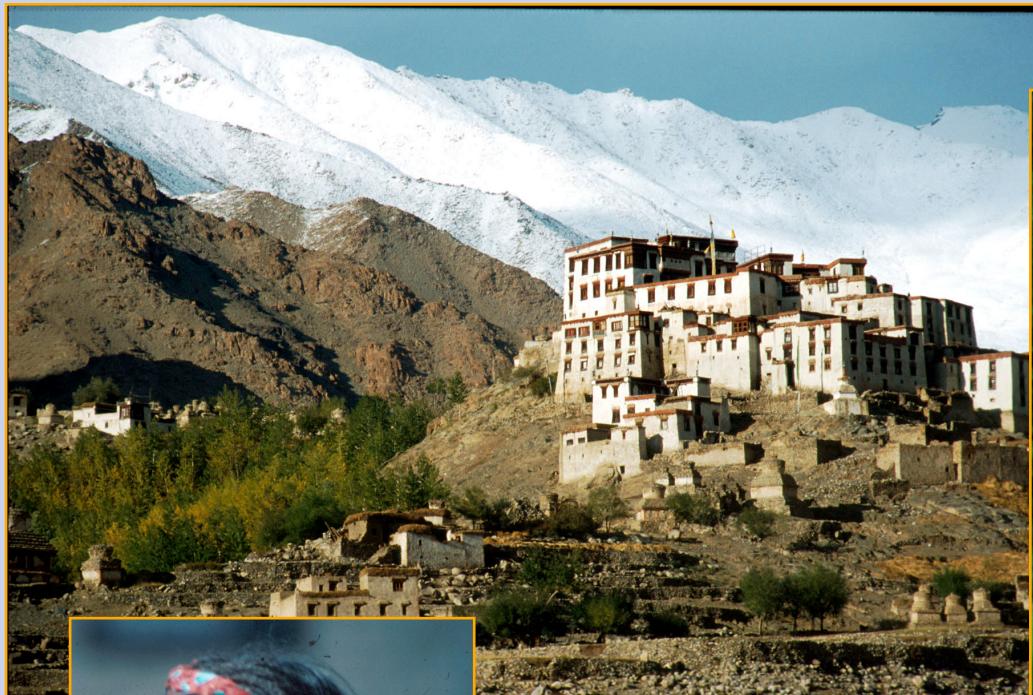
Cotopaxi, 5895 m, Ecuador

Residentes da altura - Altiplano - Andes



3000 a 5500 m

Residentes de altura- Himalaya Karakoram



Maratón de altura - Cerro de Pasco - Peru: 4300 m !!



Mejor tiempo: 2 h 30 min

$\text{VO}_2\text{max} = 62 \text{ ml/min/kg}$

Juegos olímpicos en altura media : MEXICO, 1968



Bob Beamon, long jump: 8.90 m,
world record for 22 years



Ron Clarke, 10000m:
exhaustion at the end
of the race

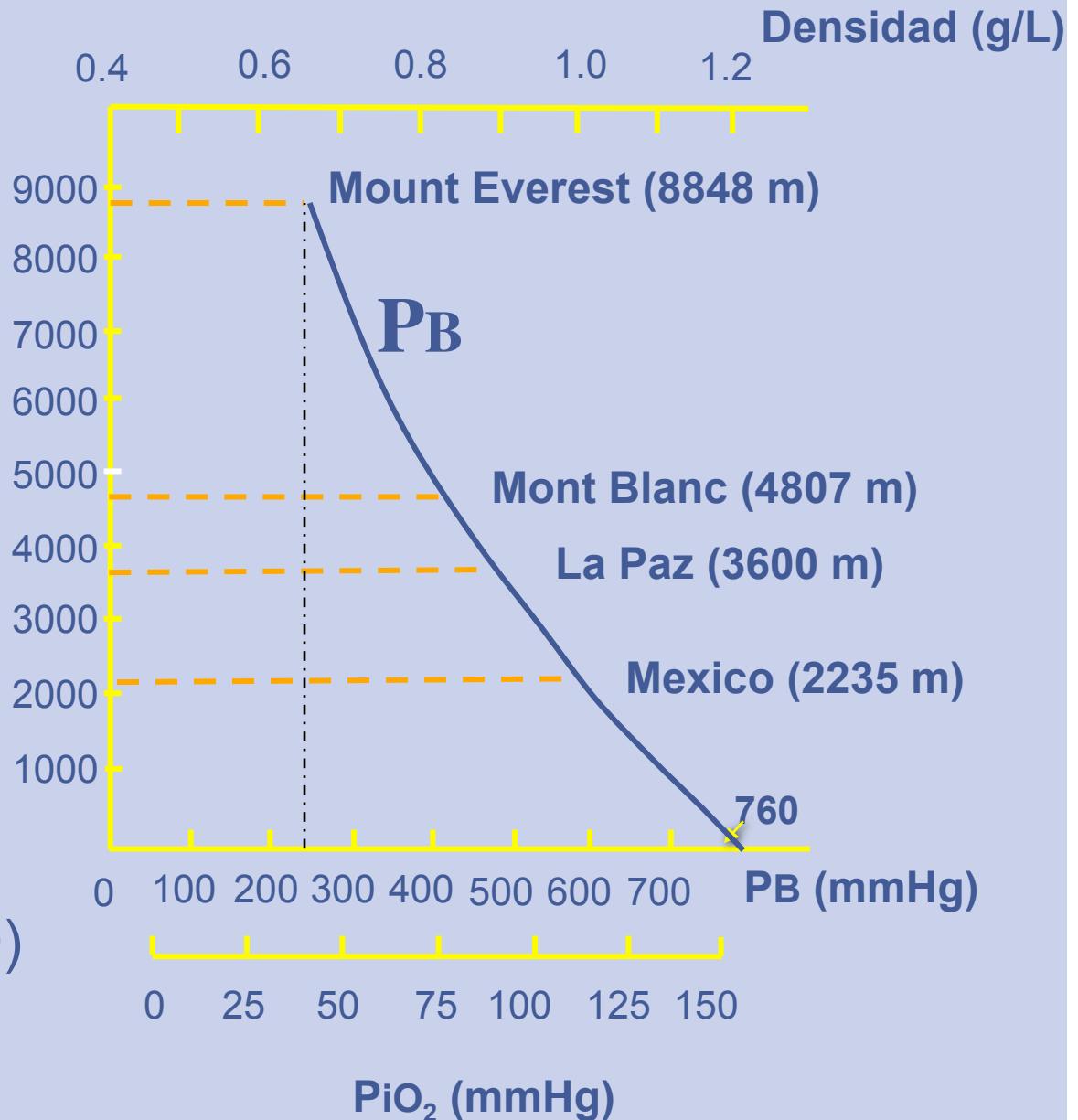
DEFINICION BIOLOGICA DE ALTURA

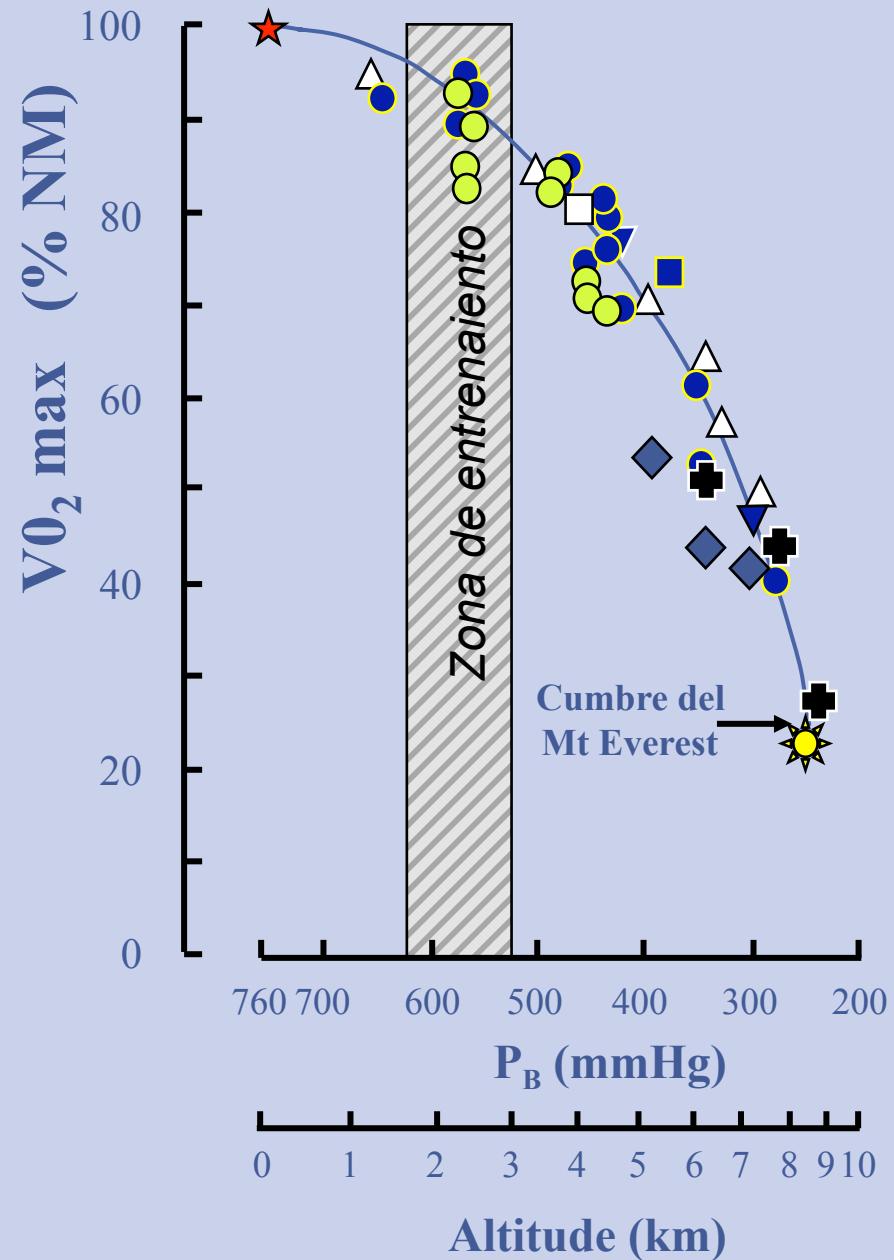


Bajada de la presión barométrica y de la densidad del aire en función de la altura

HIPOXIA = falta of oxigeno

$$PiO_2 = FiO_2 \times (PB - PH_2O)$$



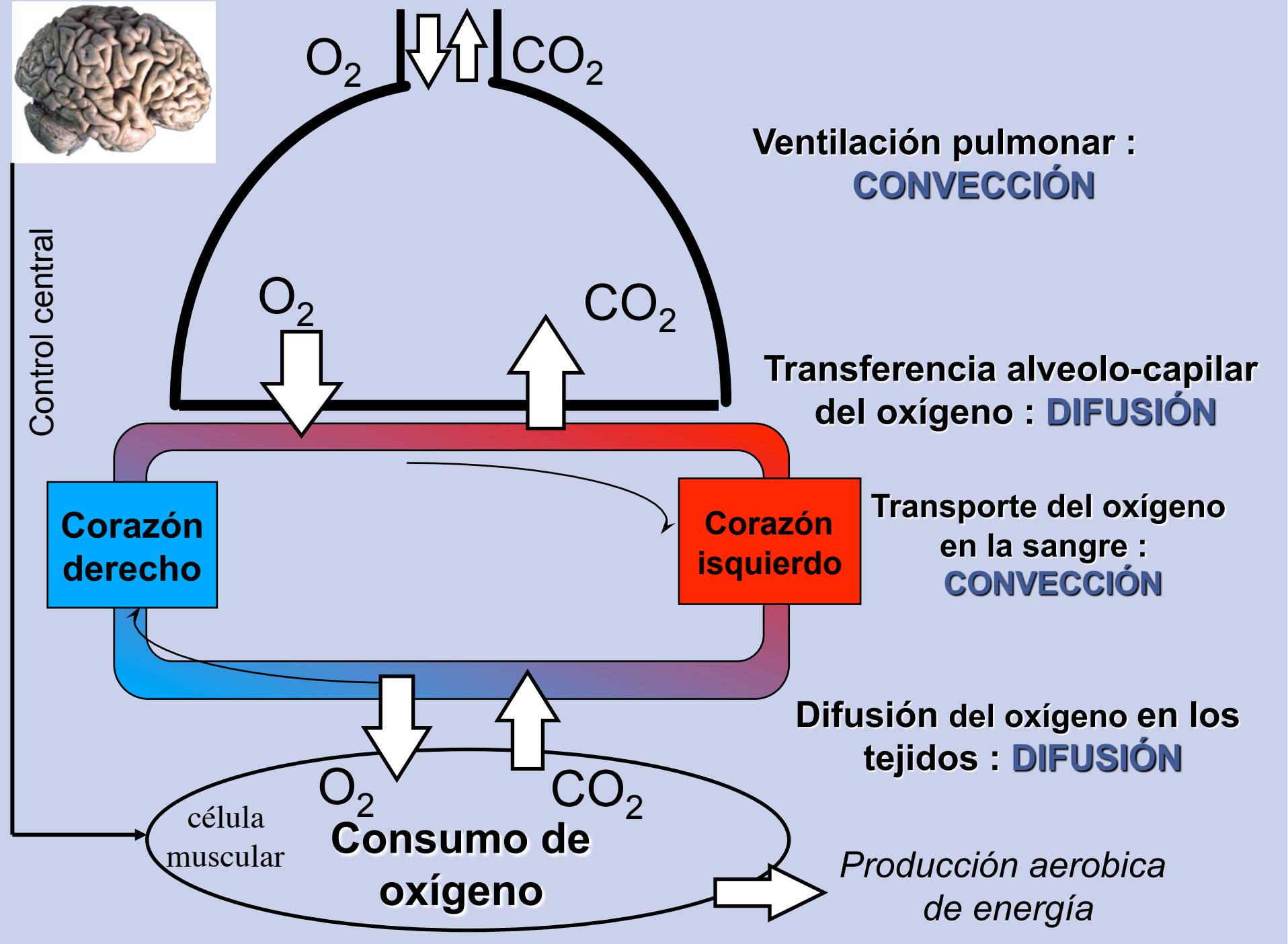


**La potencia máxima
aérobica ($VO_2 \text{ max}$)
disminuye con altura**

**Cuales son los factores
limitantes del rendimiento
físico en altura ?**

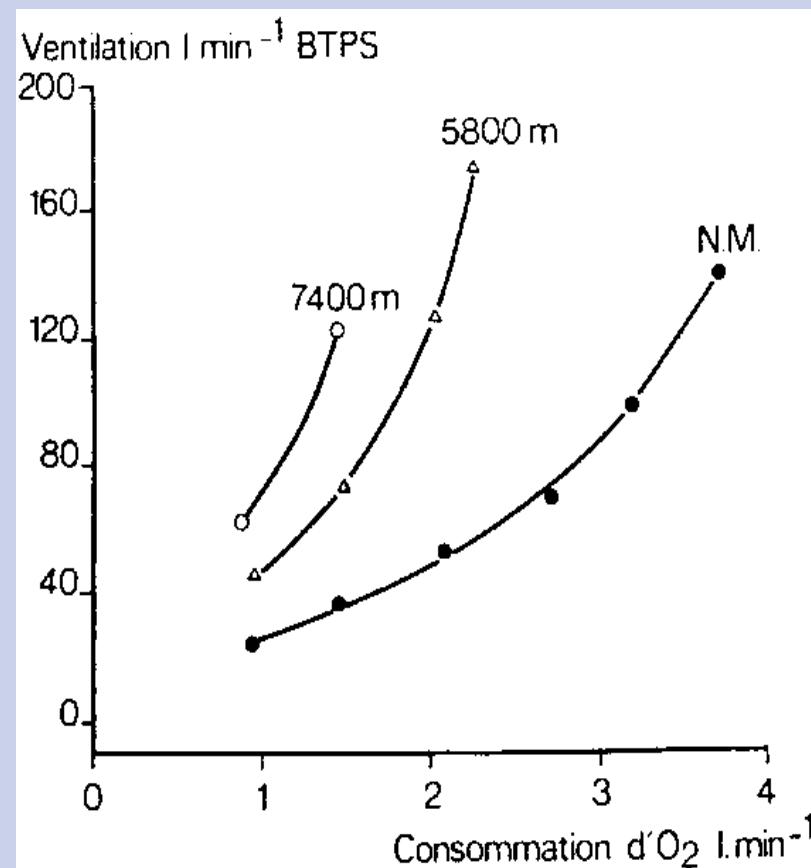


Control central

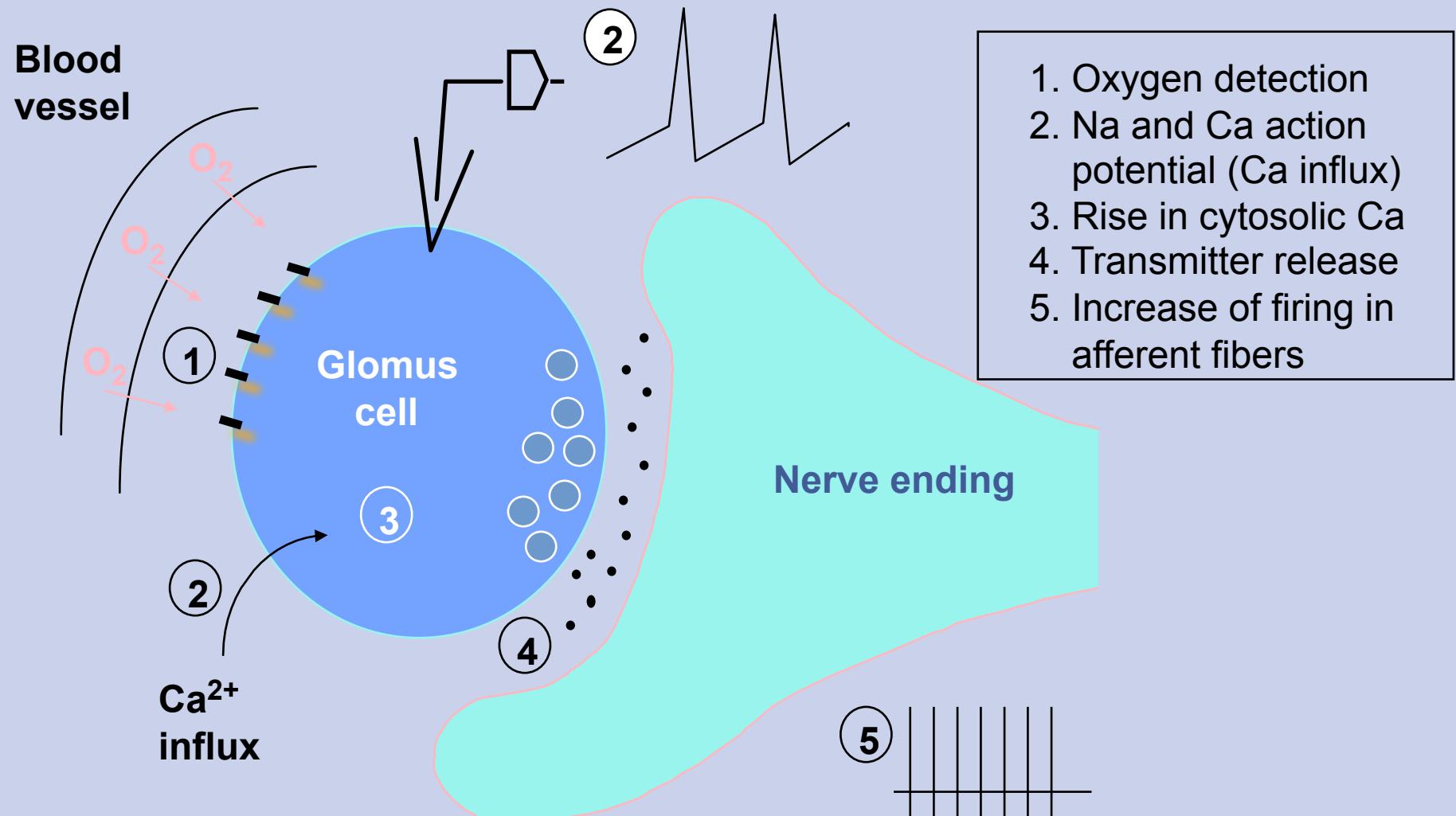


Quimiorreceptores y acclimatación:

Ventilación aumenta al reposo y a cada nivel de ejercicio



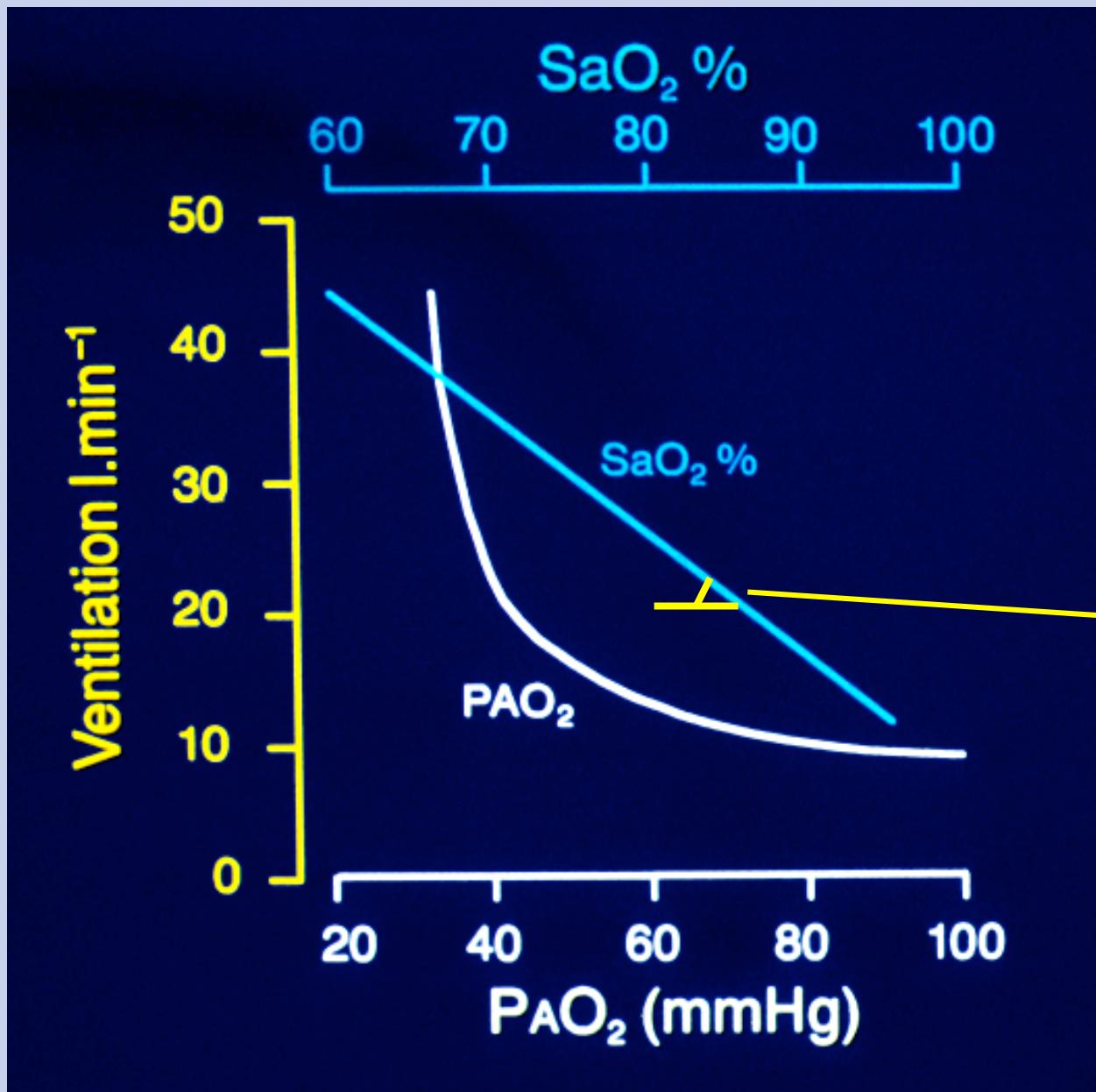
Quimiorreceptores carotídeos : sensores de hipoxia



From Lopez-Barneo et al., NIPS, 1993

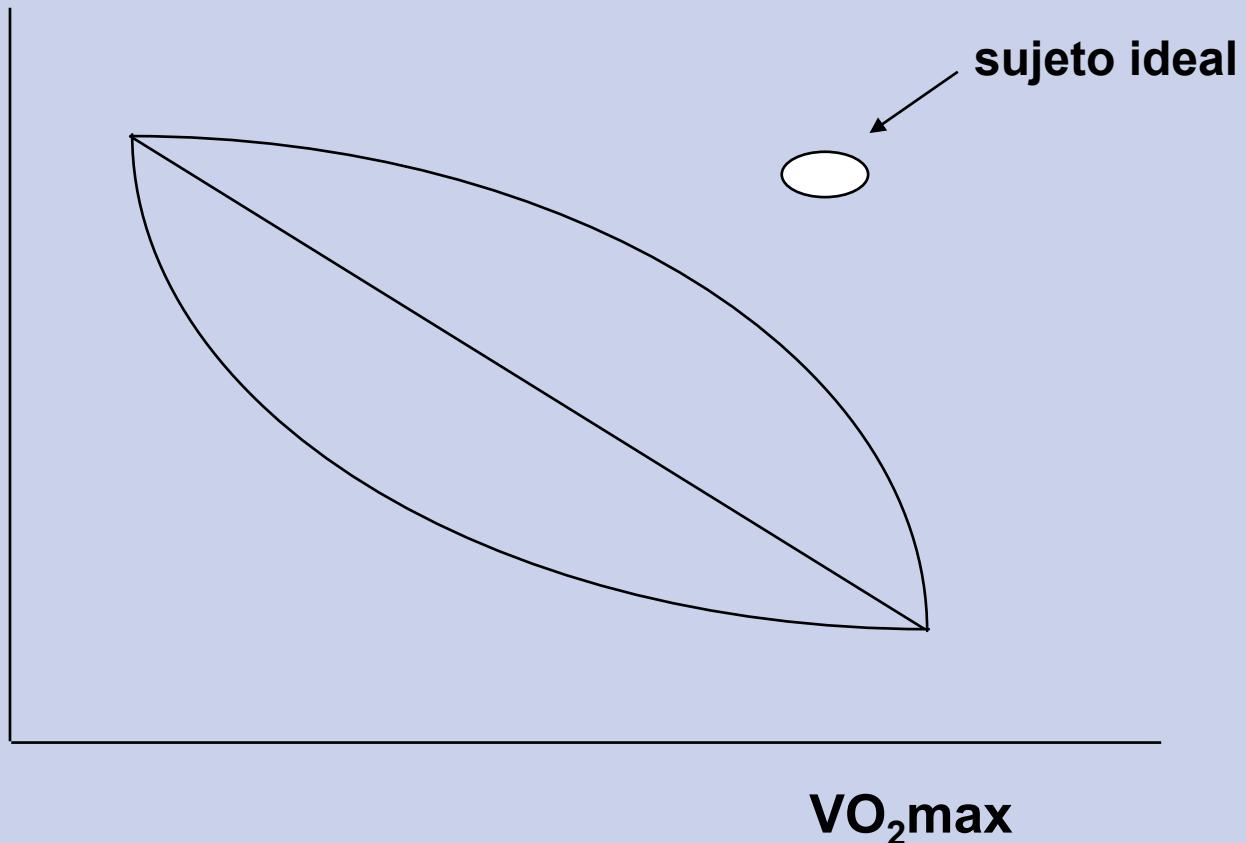
to CNS

Respuesta ventilatoria a la hipoxia

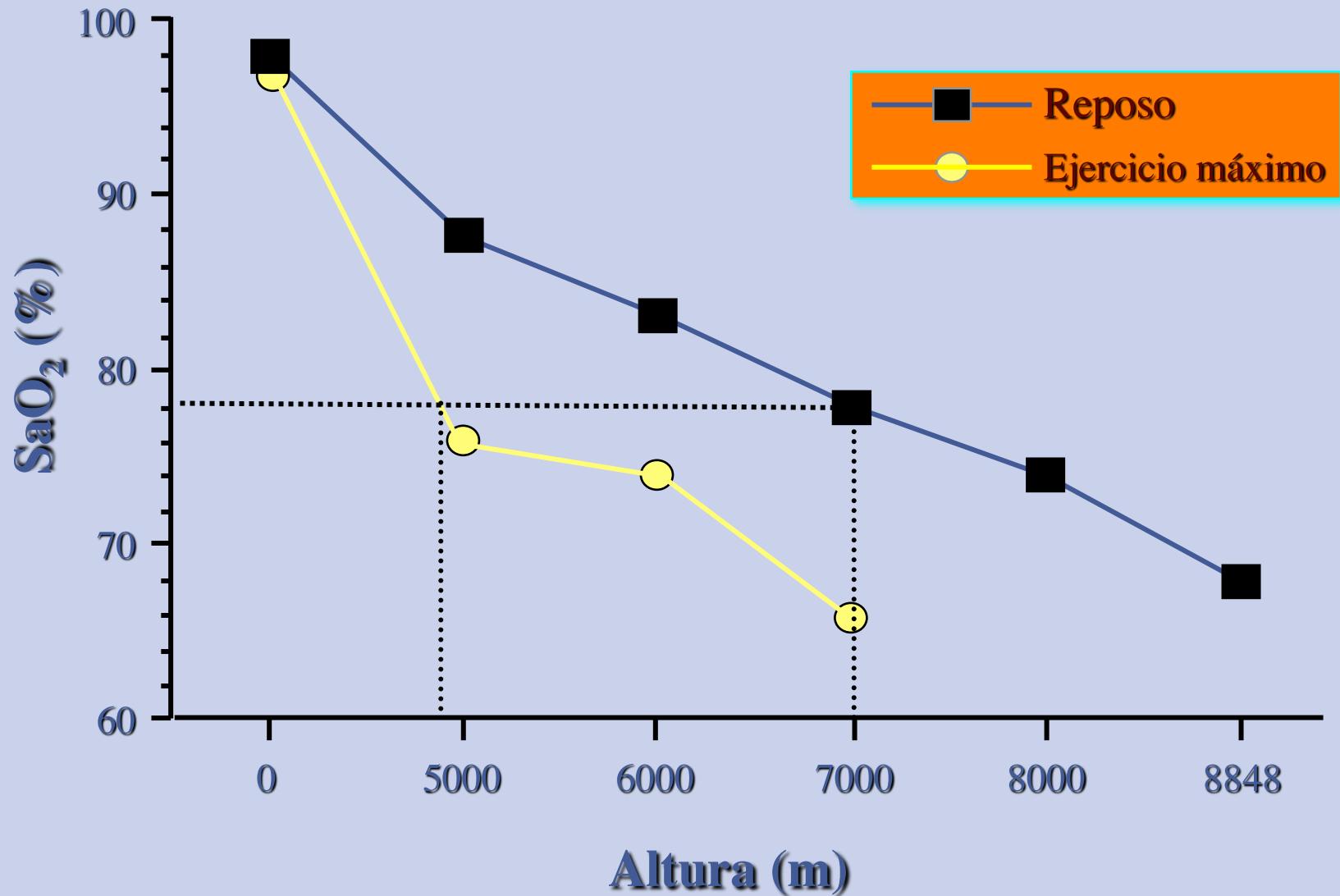


Quimiosensibilidad y performance aerobica ?

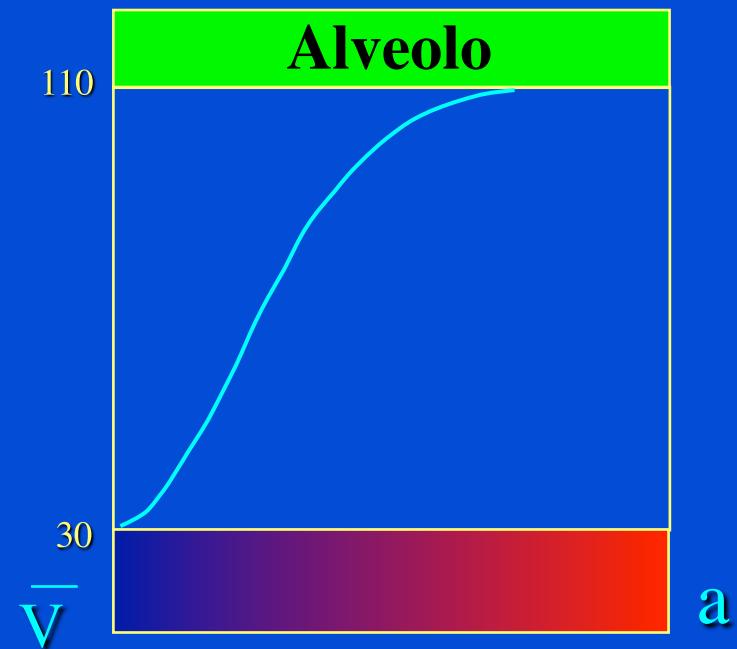
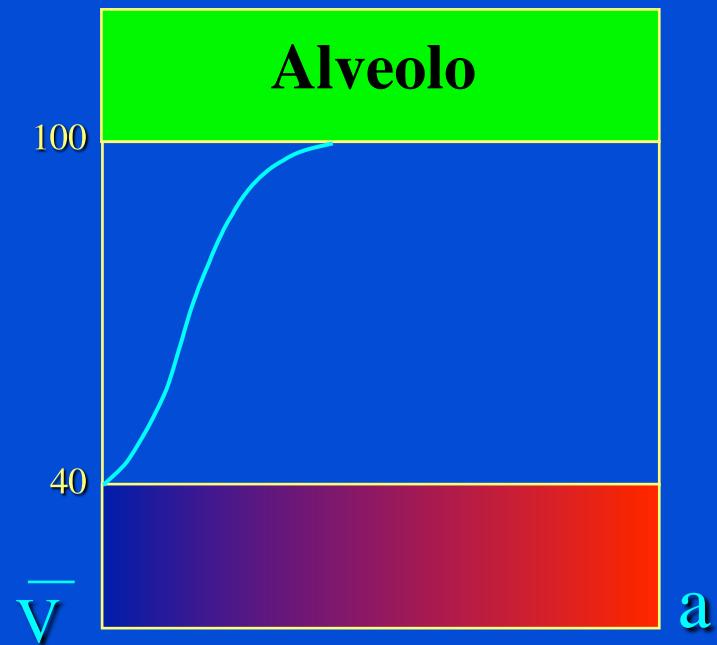
Respuesta a la hipoxia



Saturación arterial en O₂ en altura



Transferencia alveolo-arterial del oxígeno en altura



Hipoxemia inducida por ejercicio en el atleta de endurancia, al nivel del mar

Hipoxemia	SaO₂ al ejercicio máximo
Ligera	93-95%
Media	88-93%
Severa	<88%

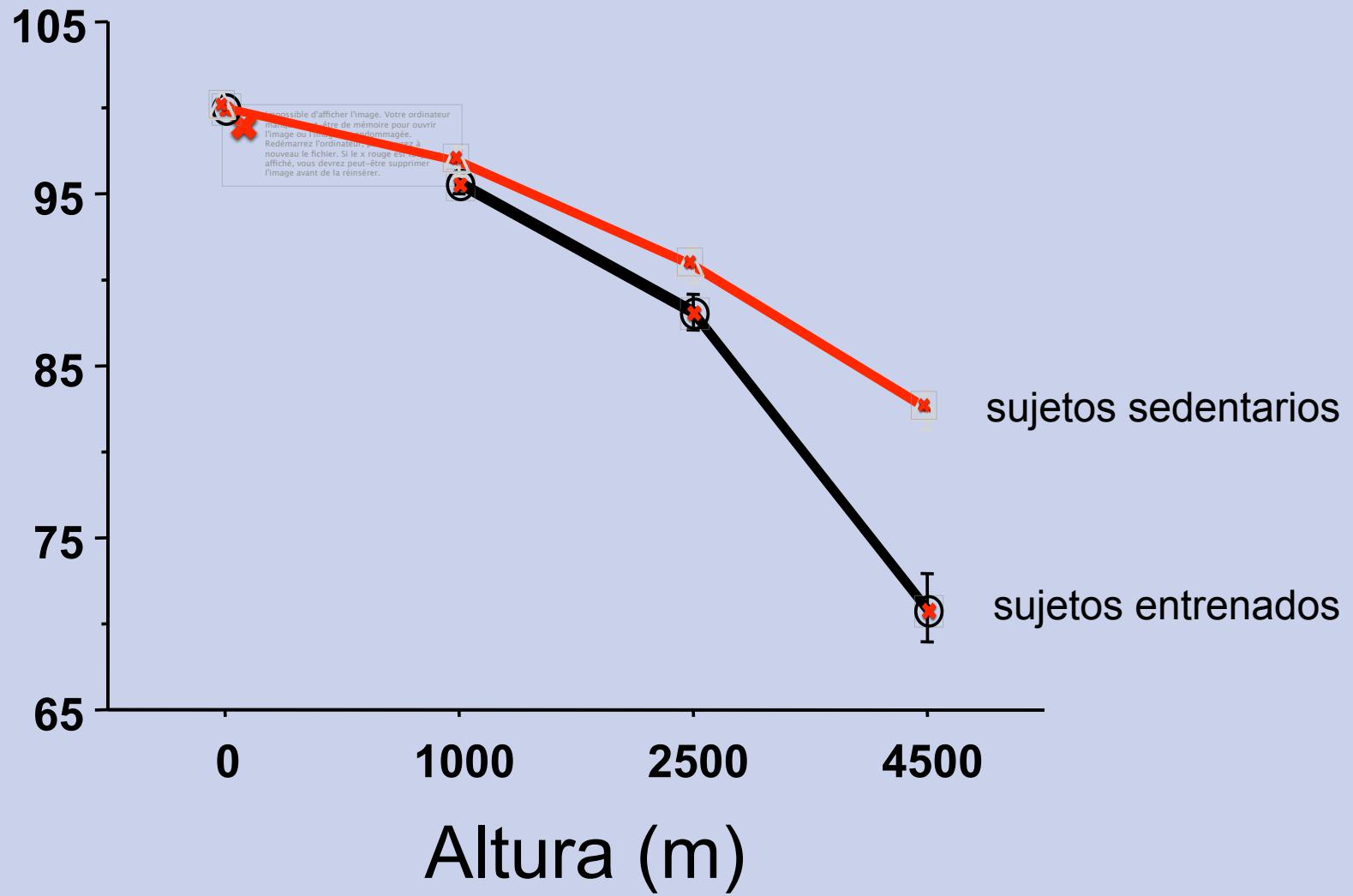
(SaO₂ de reposo = 98-99%)

Hipoxemia inducida por ejercicio en el atleta de endurancia

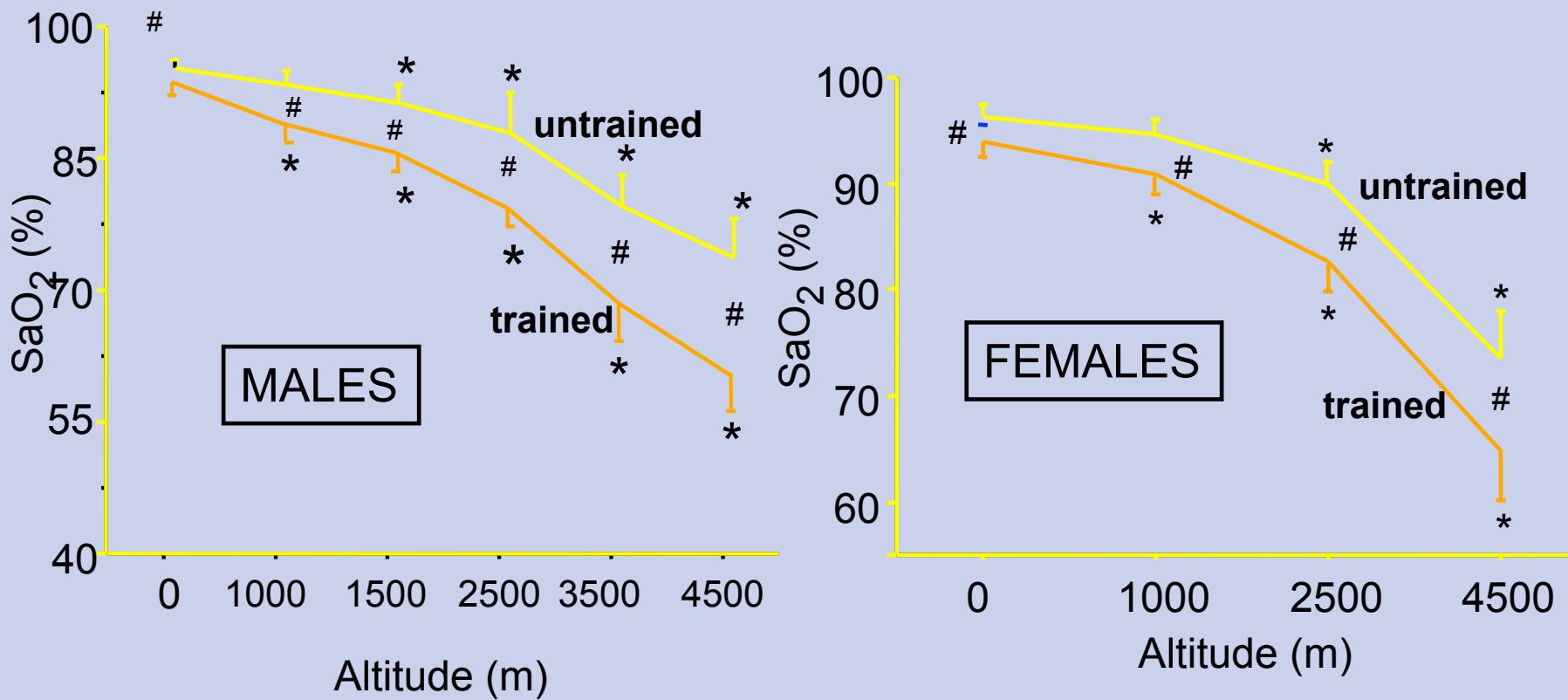
Causas

- hyperventilación inadecuada:
hipoventilación relativa
- gradiente alvéolo-arterial de O₂ excesivo
 - * limitación de la difusión
 - * heterogeneidad ventilación-perfusión

VO_2max (% del valor del nivel del mar)



SaO_2 al ejercicio máximo

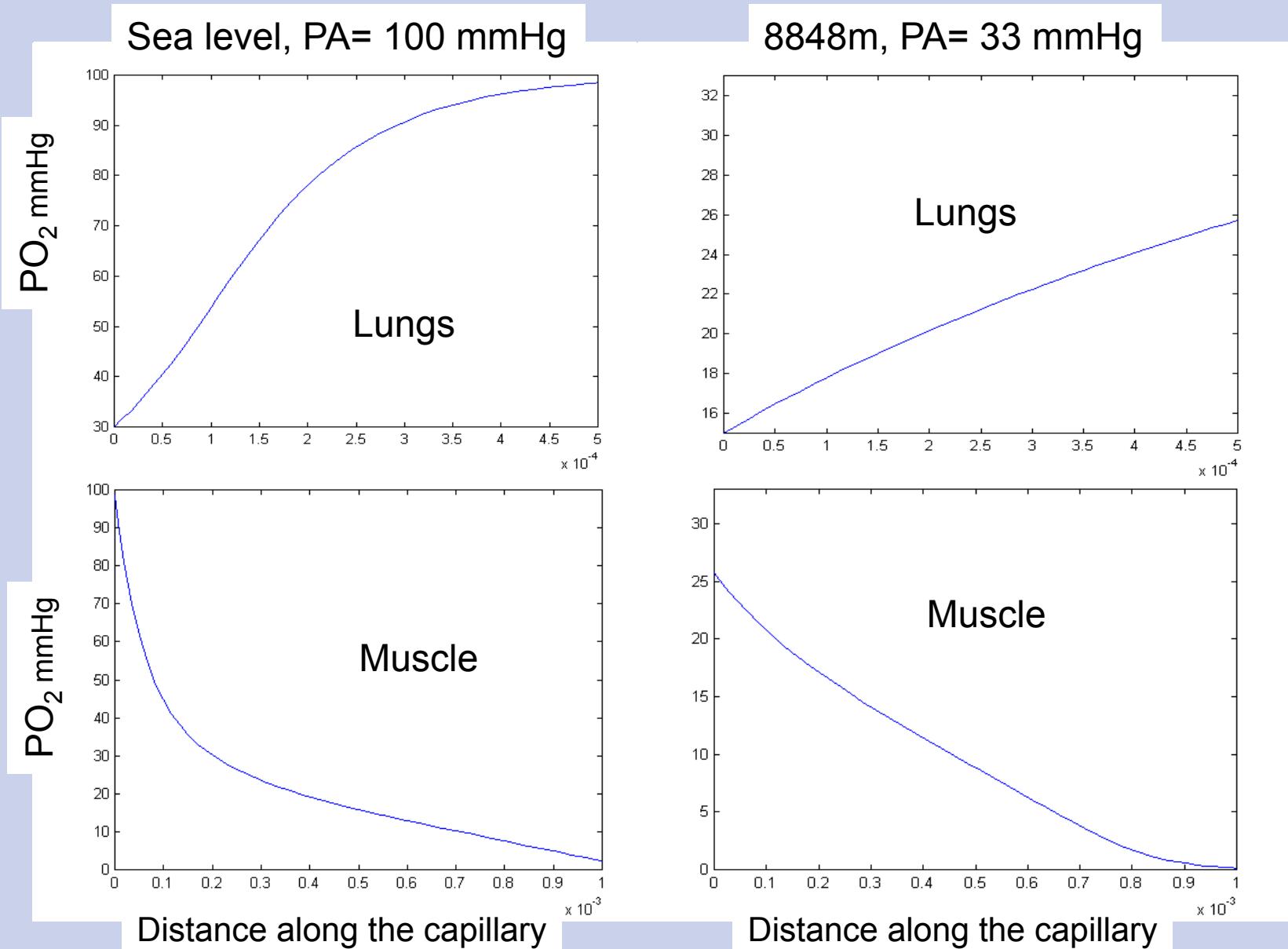


* hypoxia vs normoxia # trained vs untrained

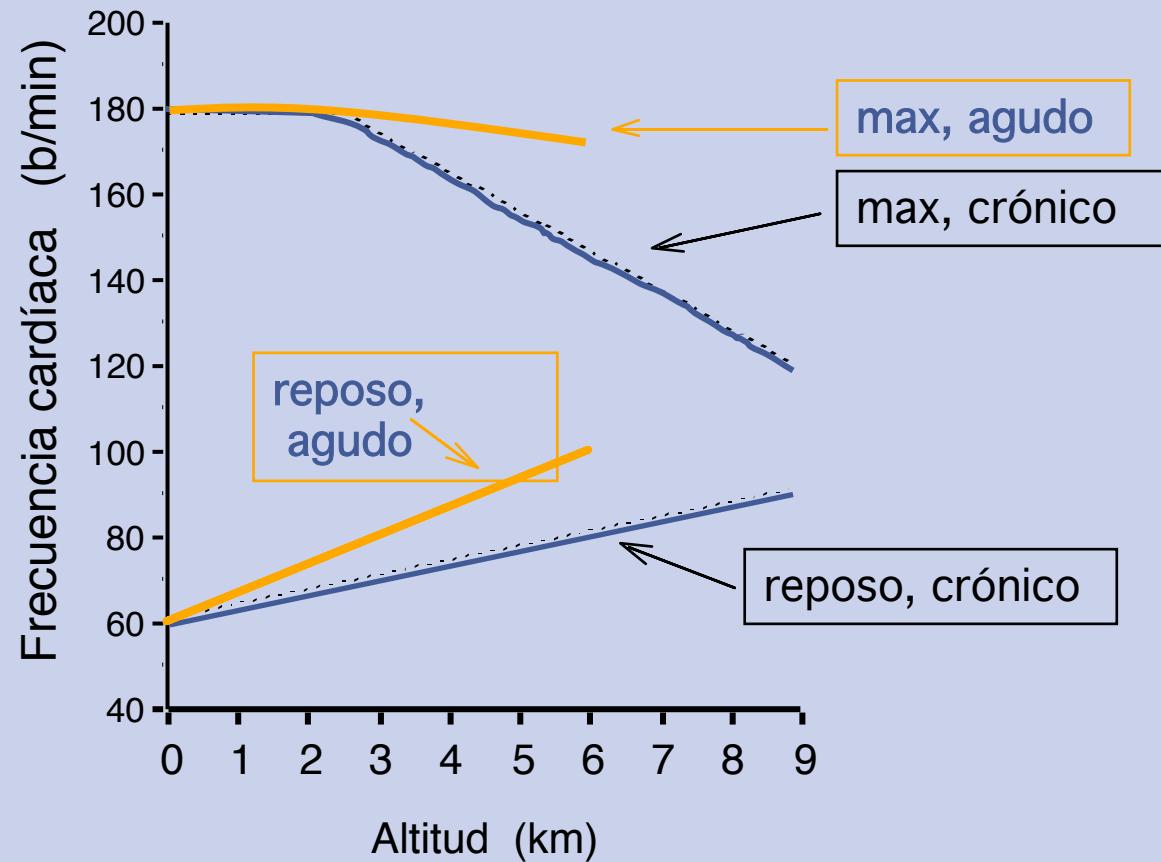
Sujetos entrenados muestran un mayor desaturación al ejercicio en hipoxia aguda

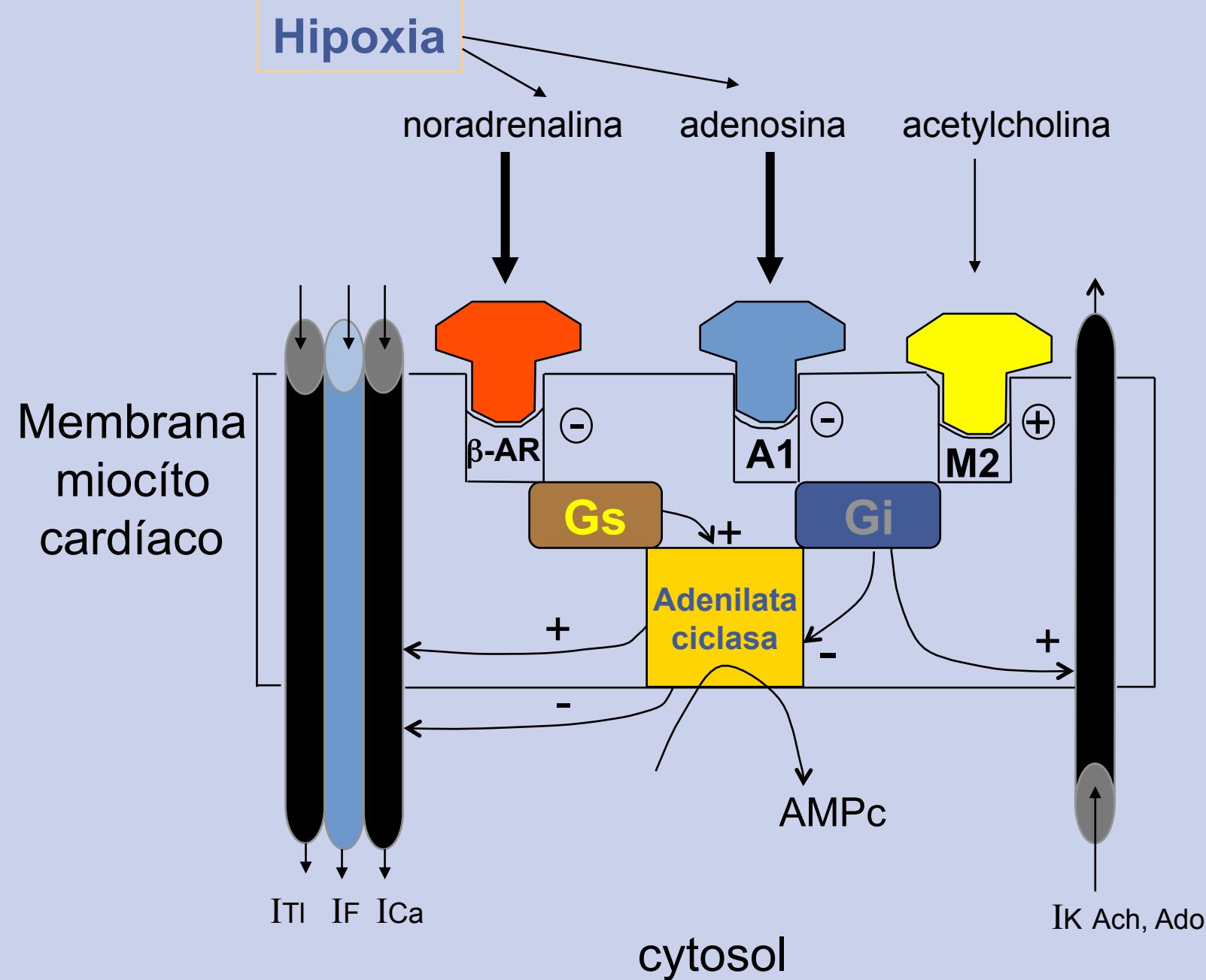
Woorons et al. 2005; Mollard et al., 2006

Modelo de transporte del oxígeno en los pulmones y músculos en trabajo



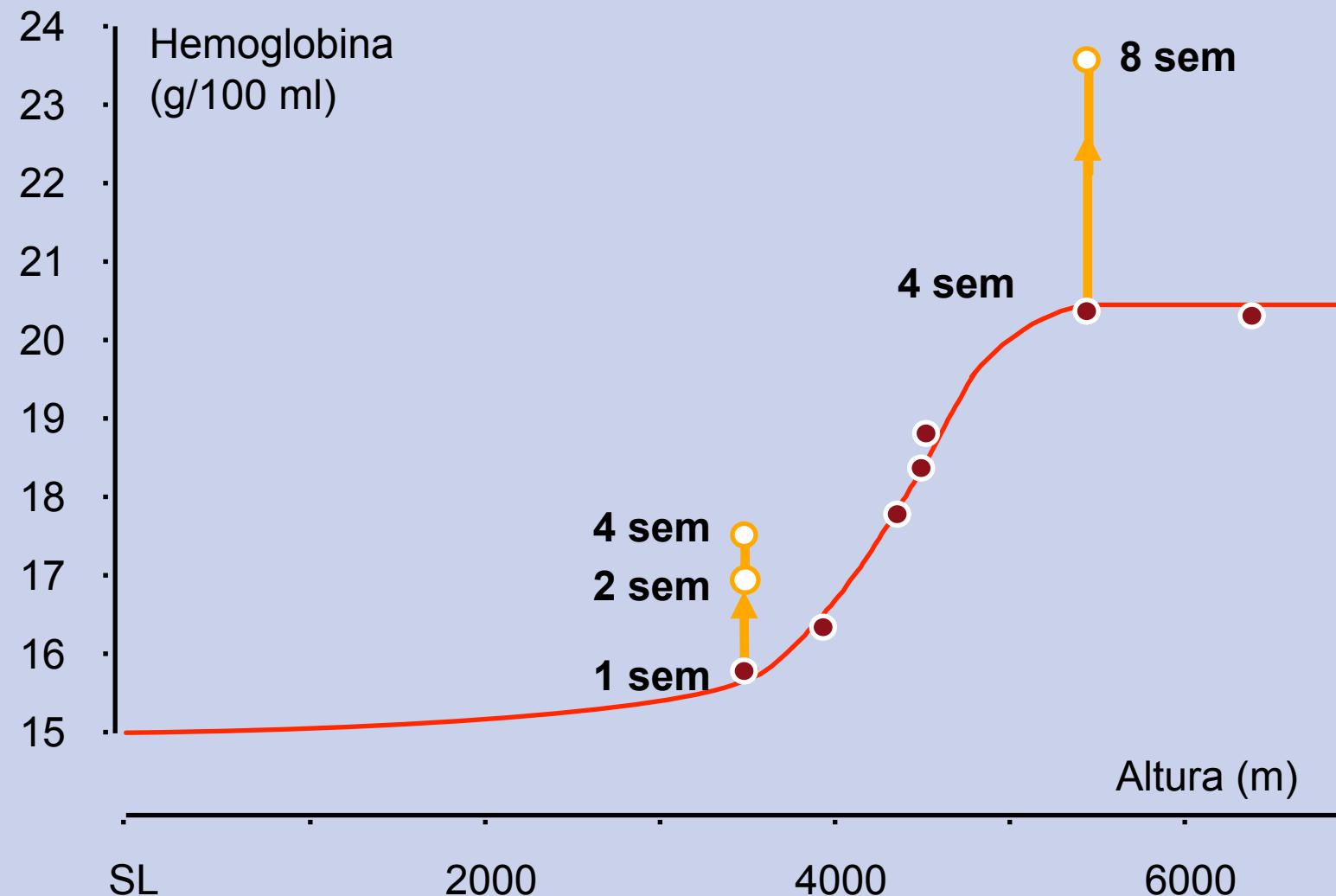
Adaptación de la frecuencia cardíaca en hipoxia aguda y crónica



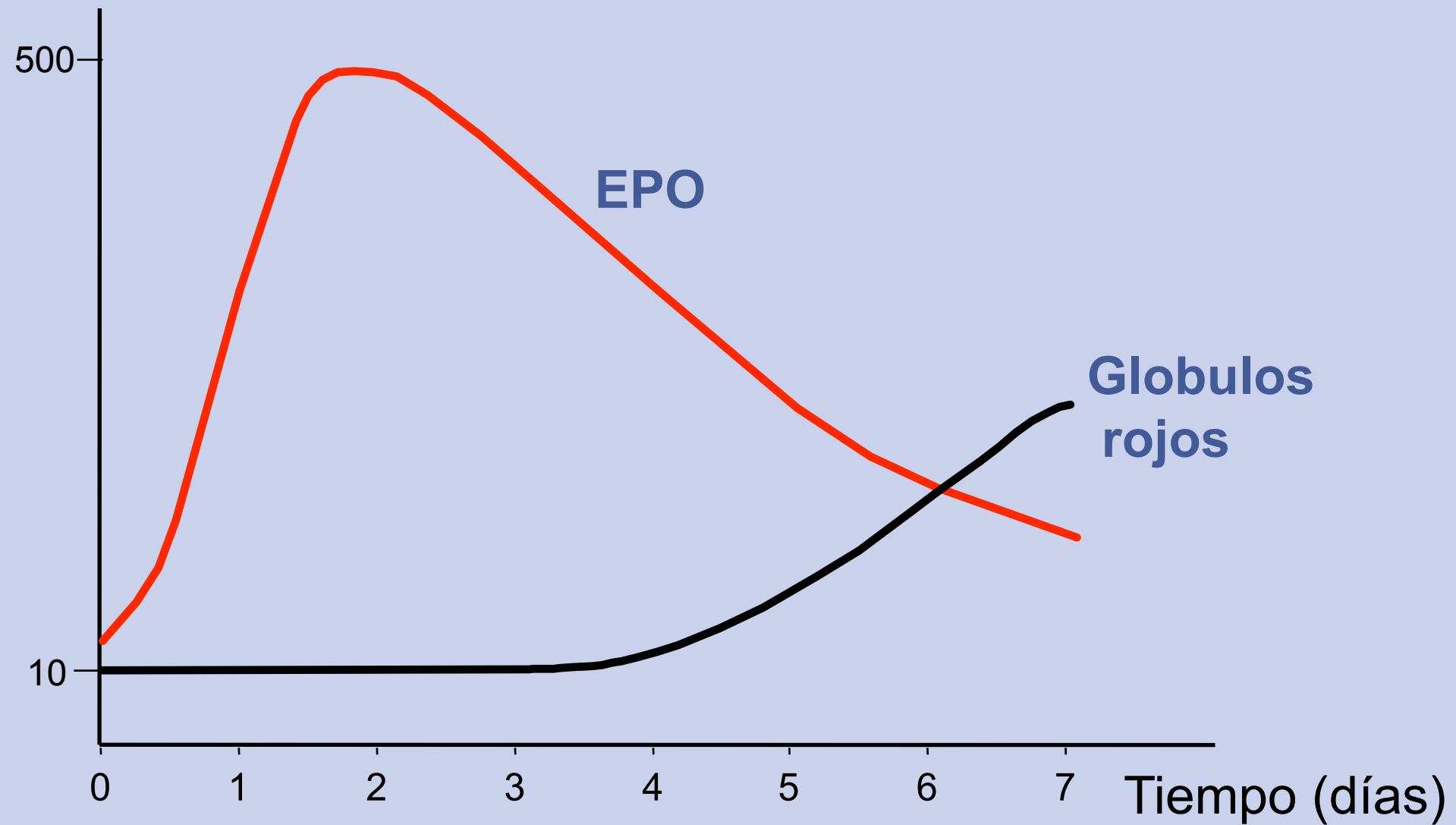


From: Lerman and Belardinelli, Circulation, 1991 and Richalet et al. 1990

Concentración de hemoglobina en función de la altura y de la duración de la exposición



Concentración de EPO y del numero de globulos rojos durante una exposición de una semana a 4350 m.



HYPOXIA

Detection of hypoxia

Genes with a “Hypoxia responsive element”
HIF-1 α , EPO, VEGF, NFkB, NOS, PDGF, ET-1, etc..

Chemoreceptors

Erythropoietin producing cells

Skeletal muscle cells

Pneumocytes PII

Smooth muscle cells

Endothelial cells

Secreting cells with/without O₂ sensitive enzyme

Central

Peripheral

Ventilatory muscles

O₂ transport capacity

Myoglobin

Alveolar hypophase

vasoactivity pulmonary systemic

Respiratory system

vasomotricity hemostasis cell proliferation cap. permeability

Cardiovascular system

Water / electrolytes

PO₄/Ca metabolism

Autonomous nervous system

Respiratory system

Cardiovascular system

adrenal cortex (18-OHase)
kidney (1 α -OHase)
lung (conv. enz.)
heart

aldosterone
vit-D3
angio II
ANP

Efectos non-eritropoieticos de EPO

Presencia de receptores al EPO en varios tejidos

Protection of the blood – brain barrier against ischemic stress
(Boogaerts et al., 2005)

Trophic effects on skeletal and cardiac muscle
(Launay et al. 2006; Ogilvie et al., 2000 : Nishiya et al., 2006)

Trophic effects on the vascular endothelium (with VEGF)
(Brines and Cerami, 2006)

Effects on the control of ventilation in the medulla (with NO)
(El Hasnaoui et al., 2006)

A black and white photograph showing a group of climbers on a rugged, snow-covered mountain peak. In the foreground, a climber in a blue jacket and dark pants is walking across a rocky ledge. Behind them, another climber in a red jacket and dark pants is standing on a rocky outcrop. Further up the mountain, two more climbers are visible; one is wearing a light-colored jacket and the other is wearing a dark jacket. The mountain is covered in patches of snow and ice, with steep, rocky cliffs. The sky is overcast and hazy.

Muchas gracias !