

Medicina de Altura

Adaptación del ser humano a la altura y
enfermedades relacionadas

Sebastián Irarrázaval D.
Medicina UC

Introducción

La altura, un medio difícil para vivir



Introducción

La altura, un medio difícil para vivir

“Dudo que nadie pueda afirmar que disfruta viviendo en la alta montaña...”



Introducción

La altura, un medio difícil para vivir

...me refiero a disfrutar en el sentido corriente de la palabra...



Introducción

La altura, un medio difícil para vivir

...la altura tiene el mismo efecto sobre la mente que sobre el cuerpo...



Introducción

La altura, un medio difícil para vivir

...el intelecto se entumece y se vuelve insensible...



Introducción

La altura, un medio difícil para vivir

...y mi único deseo era acabar de una vez y bajar a un clima más decente”



Introducción

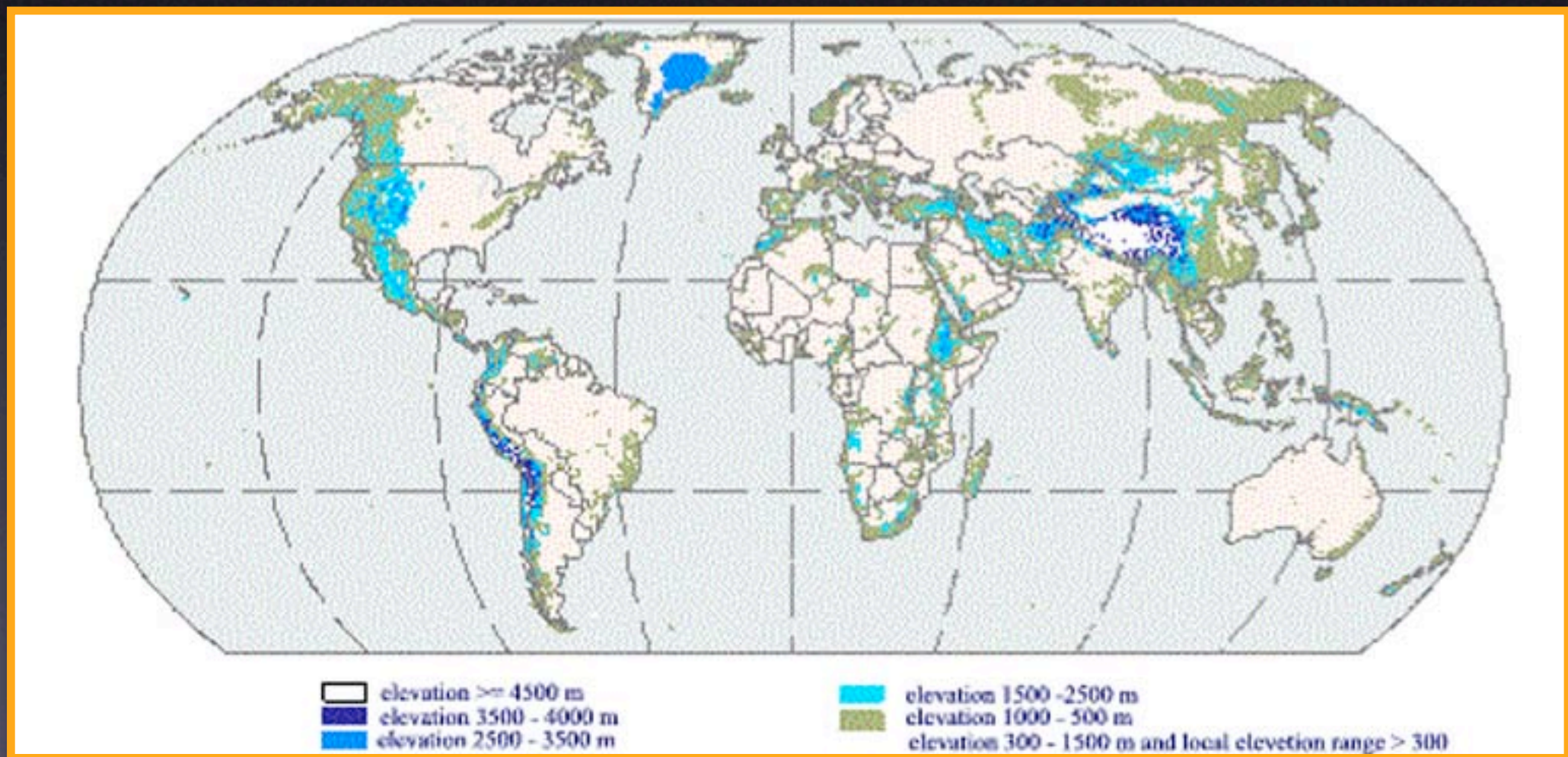
La altura, un medio difícil para vivir



Eric Shipton
Upon that Mountain

Oxígeno y altura

■ La altura en el mundo



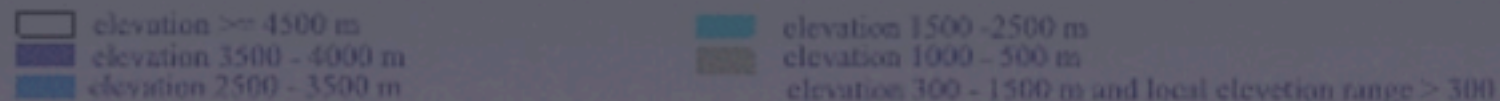
Oxígeno y altura

■ La altura en el mundo

Cerca de 140 millones de personas viven sobre los 2500 msnm en el mundo

Cada año se agregan a ellos 40 millones de personas que viajan a esas altitudes

Estos números van en aumento cada año



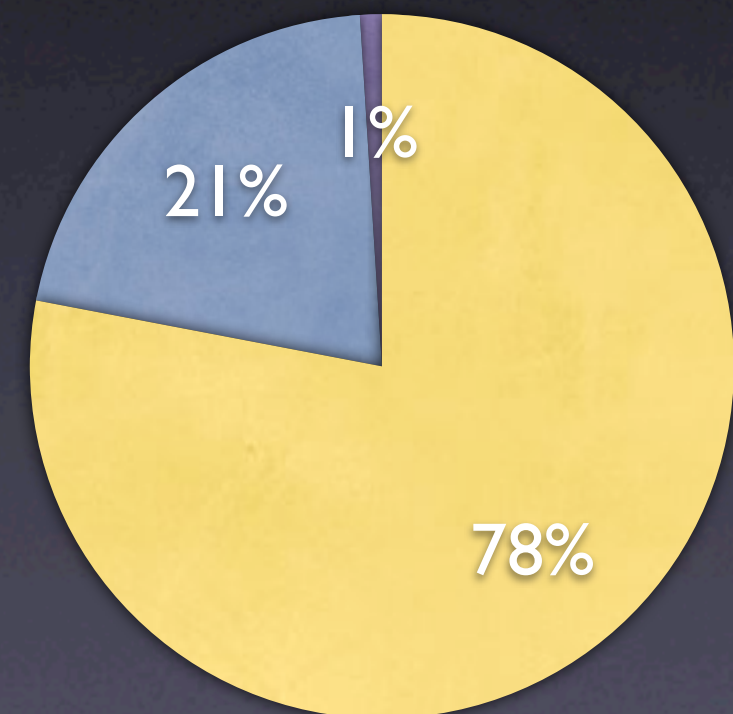
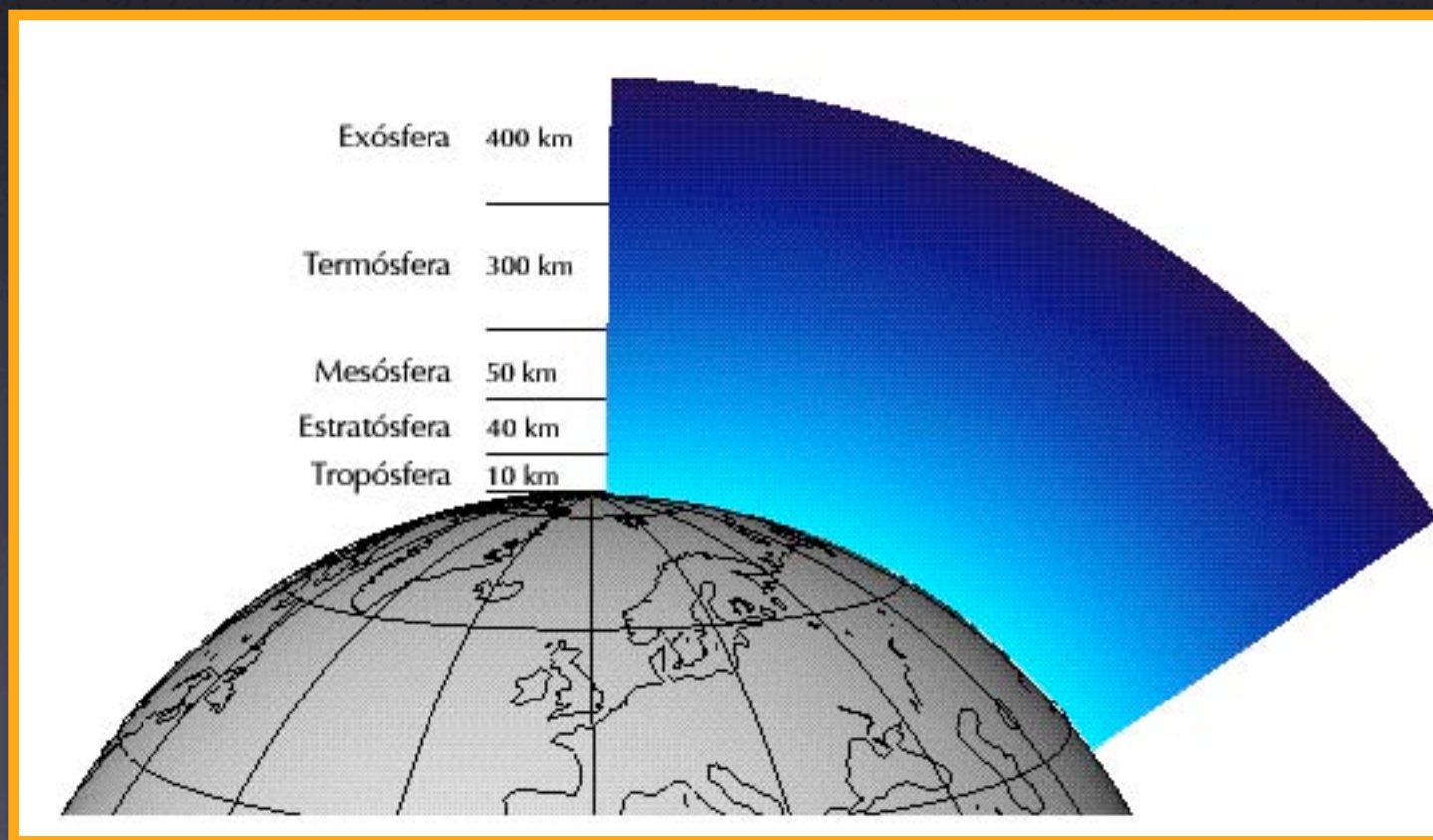
Oxígeno y altura

- Atmósfera y presión atmosférica



Oxígeno y altura

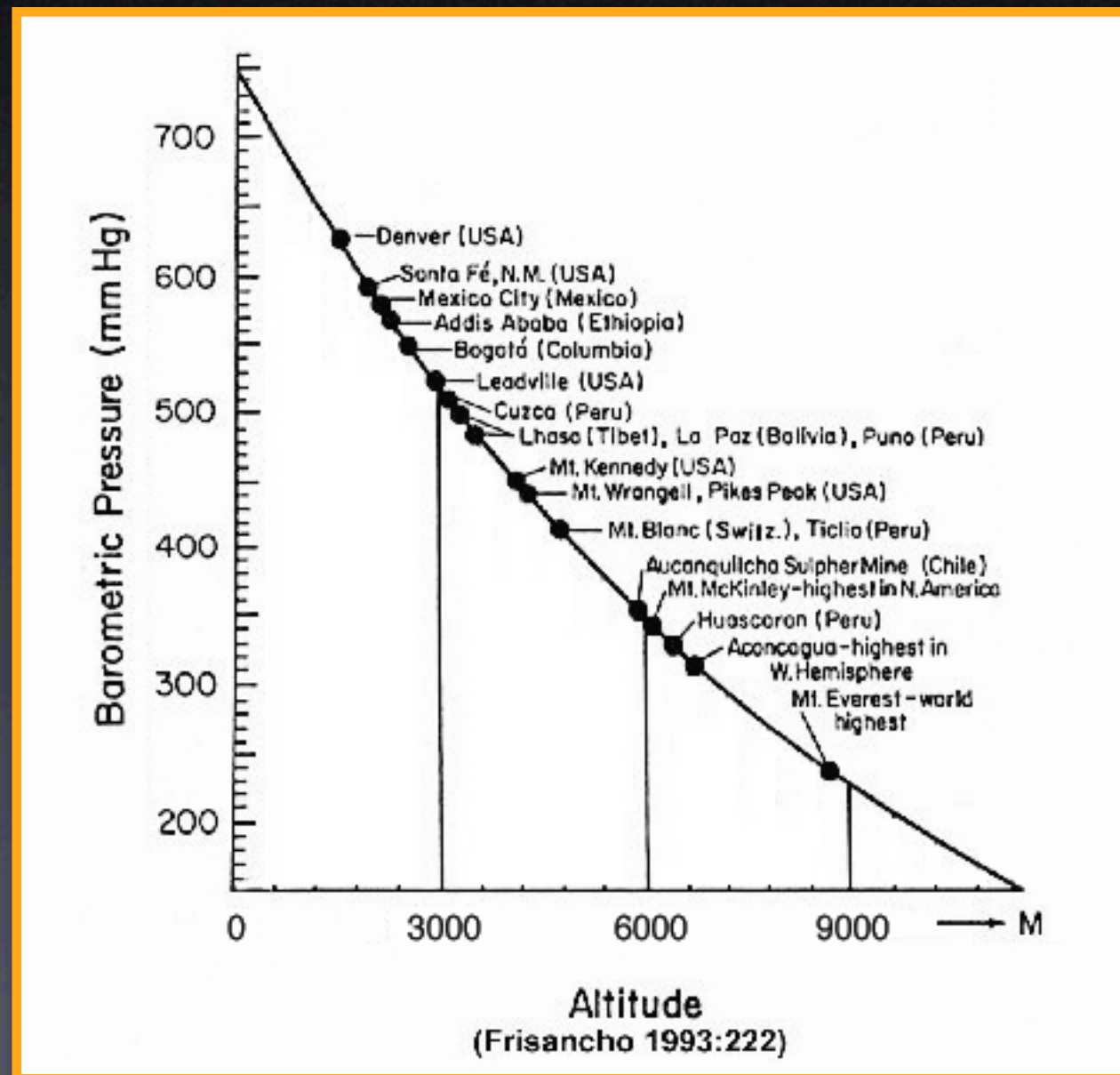
- Presión atmosférica y composición del aire



- Nitrógeno
- Oxígeno
- Otros

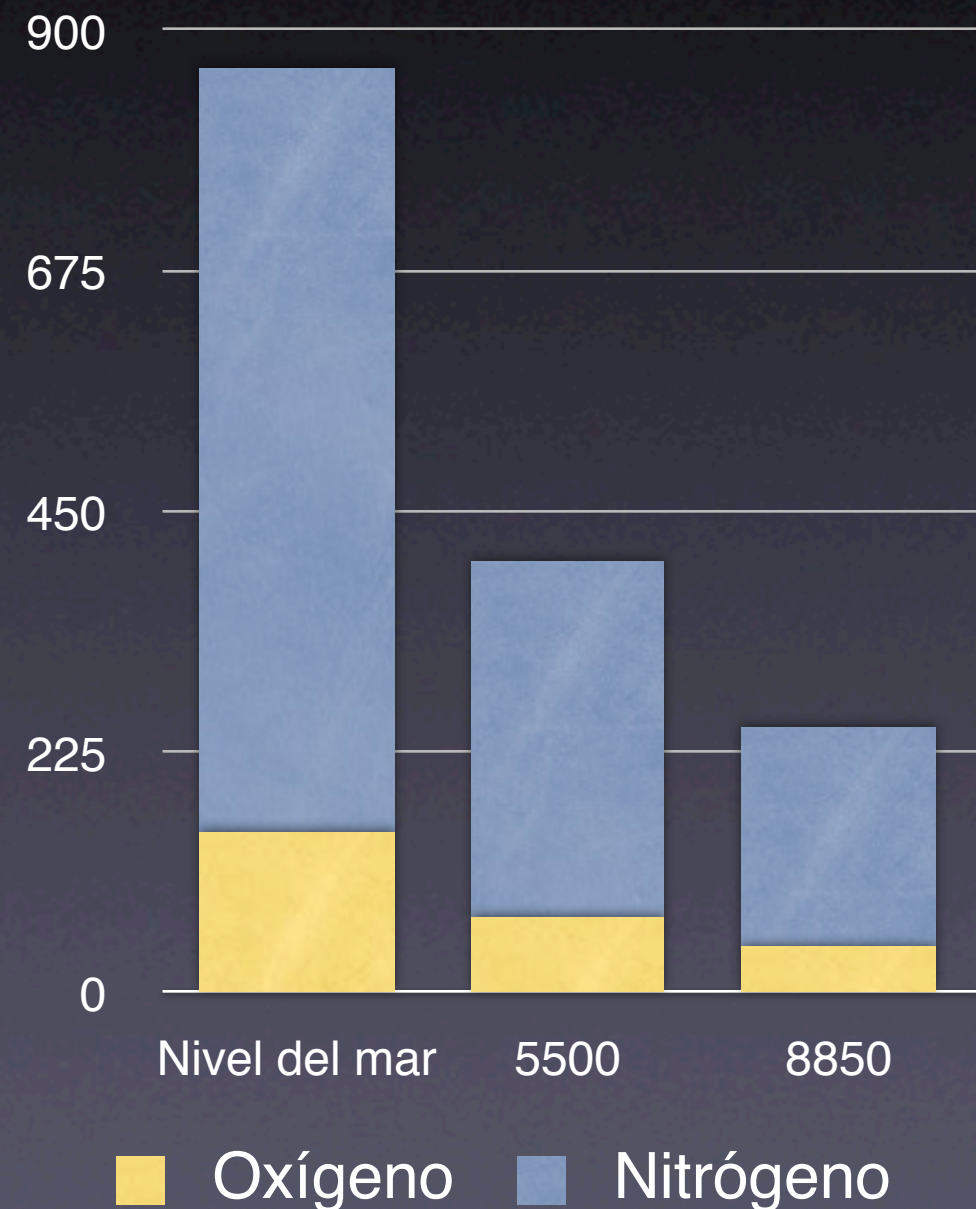
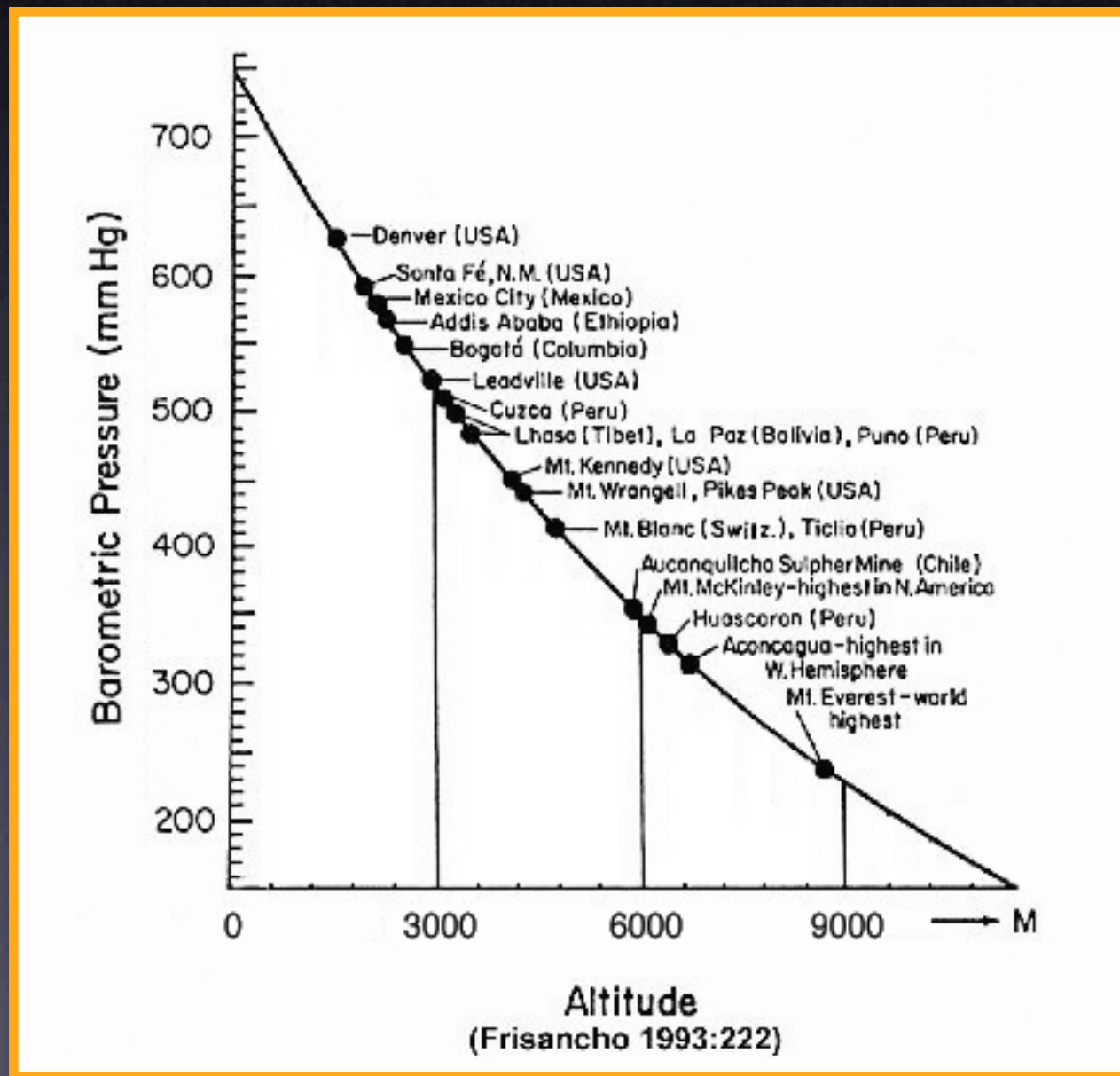
Oxígeno y altura

■ Presión atmosférica y altitud



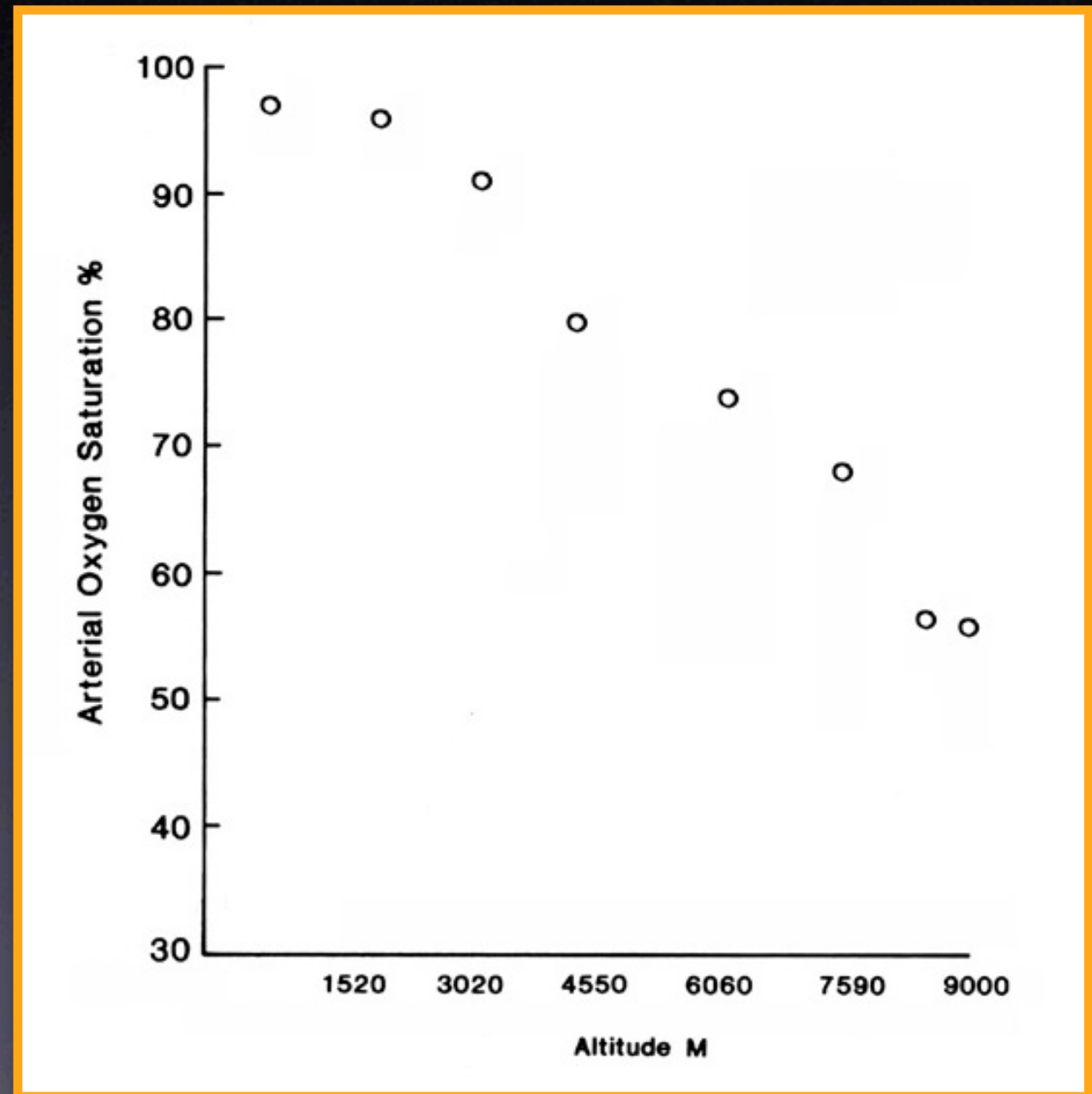
Oxígeno y altura

■ Presión atmosférica y altitud



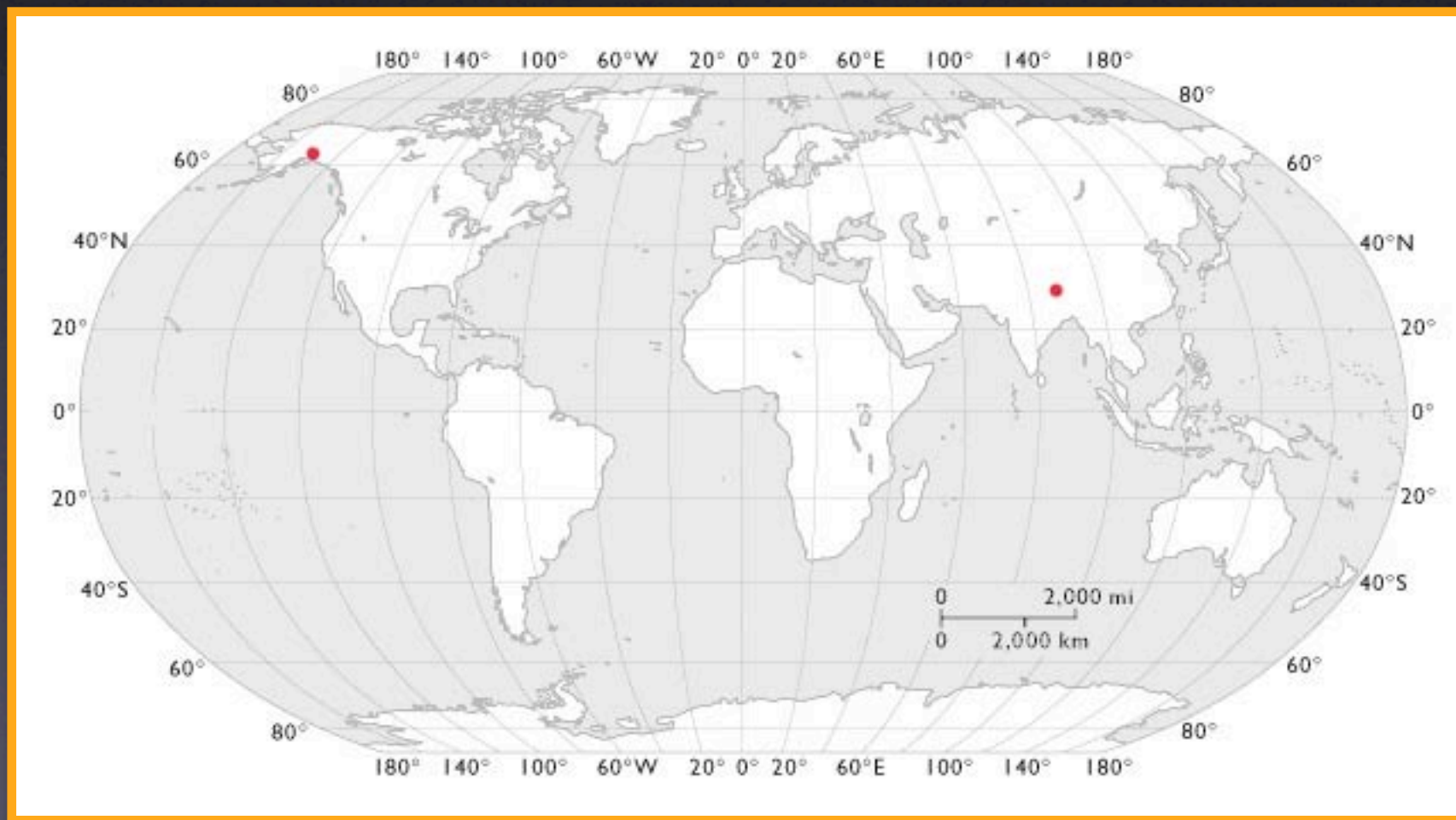
Oxígeno y altura

- Hipoxia: disminución de la presión parcial de oxígeno en el aire
- Hipoxemia: disminución de la presión parcial de oxígeno en la sangre



Oxígeno y altura

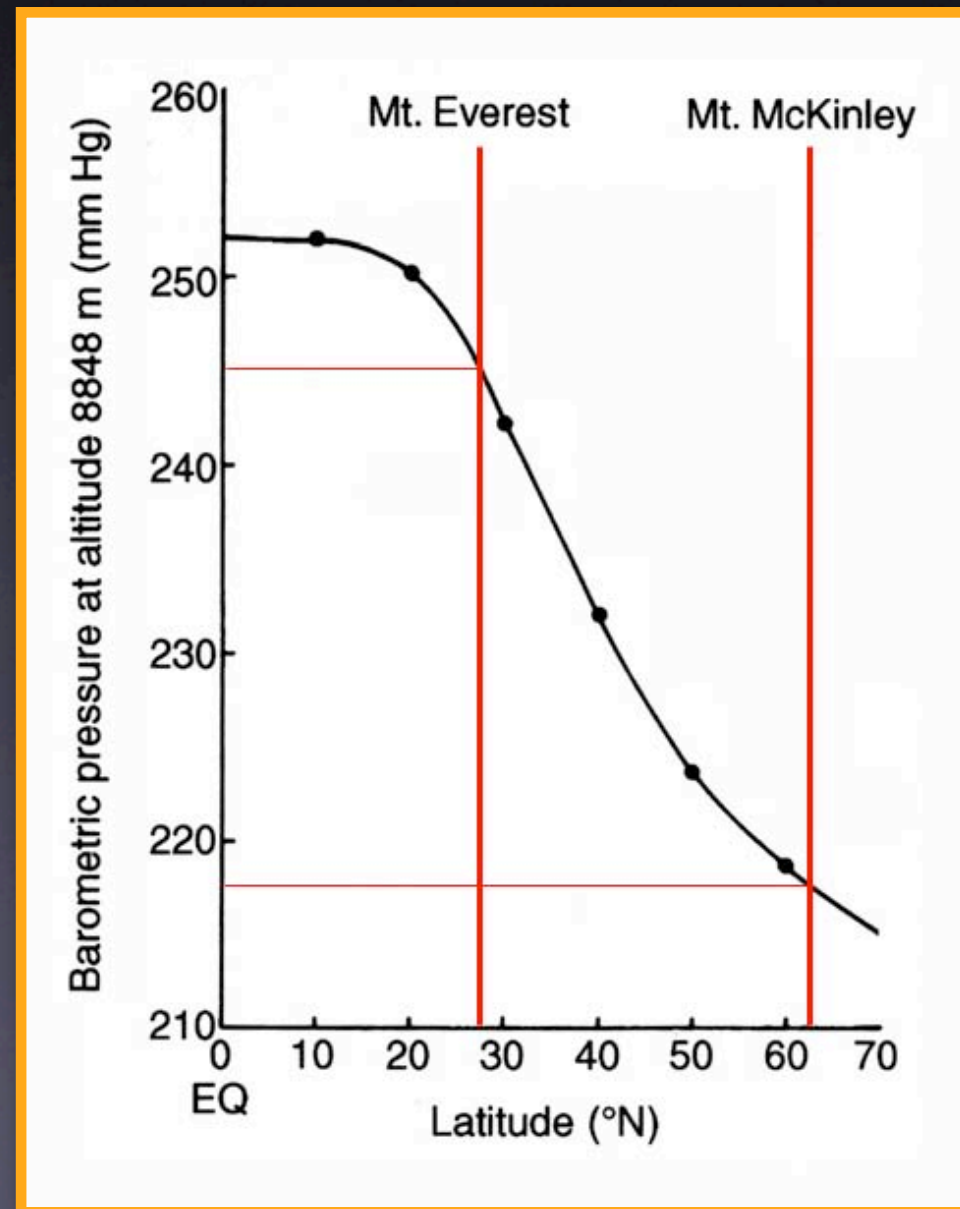
- Otros factores que alteran la presión atmosférica:
 - Latitud



Oxígeno y altura

- Otros factores que alteran la presión atmosférica:

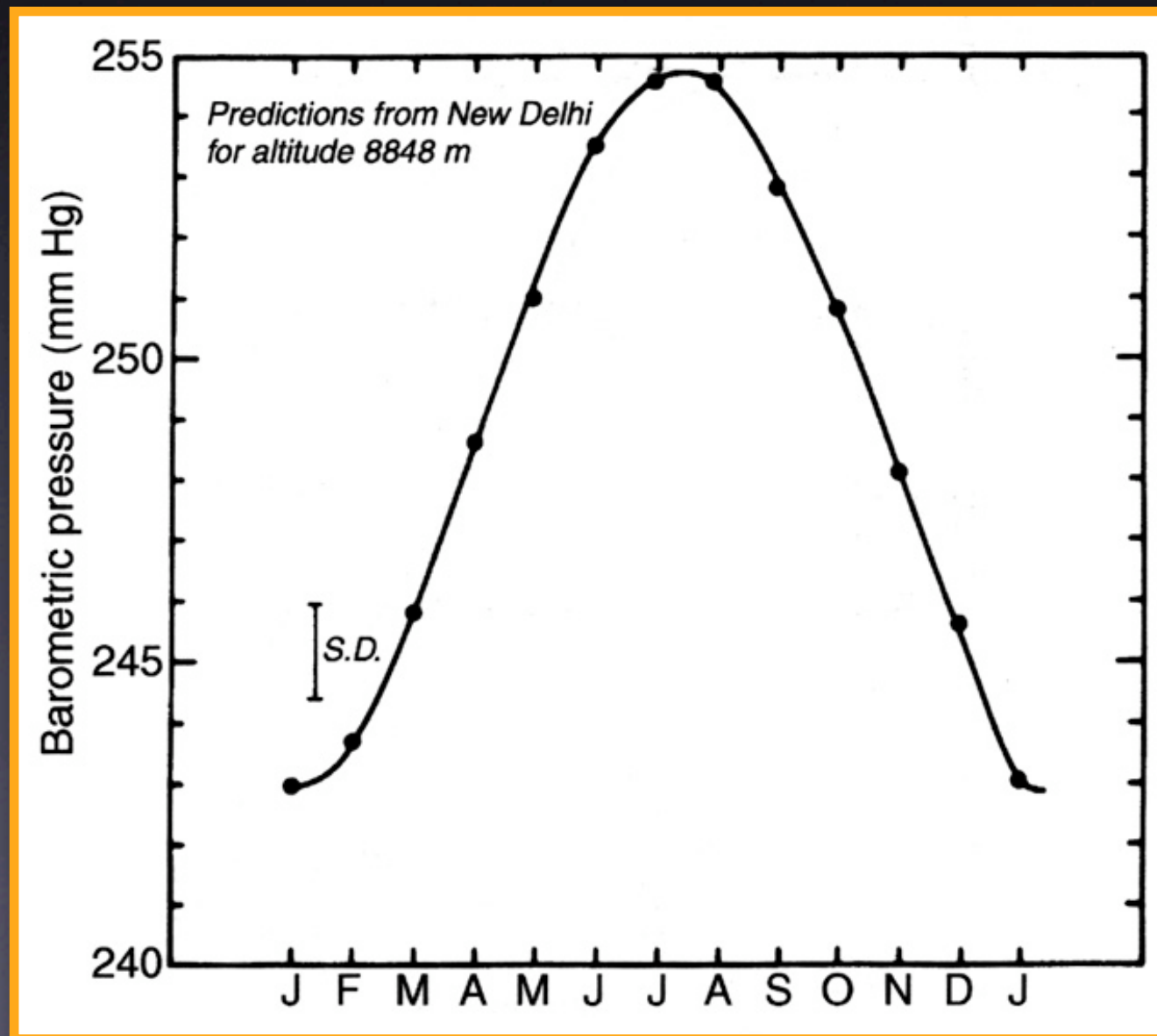
- Latitud



Oxígeno y altura

- Otros factores que alteran la presión atmosférica:

- Clima



Dificultades de la altura

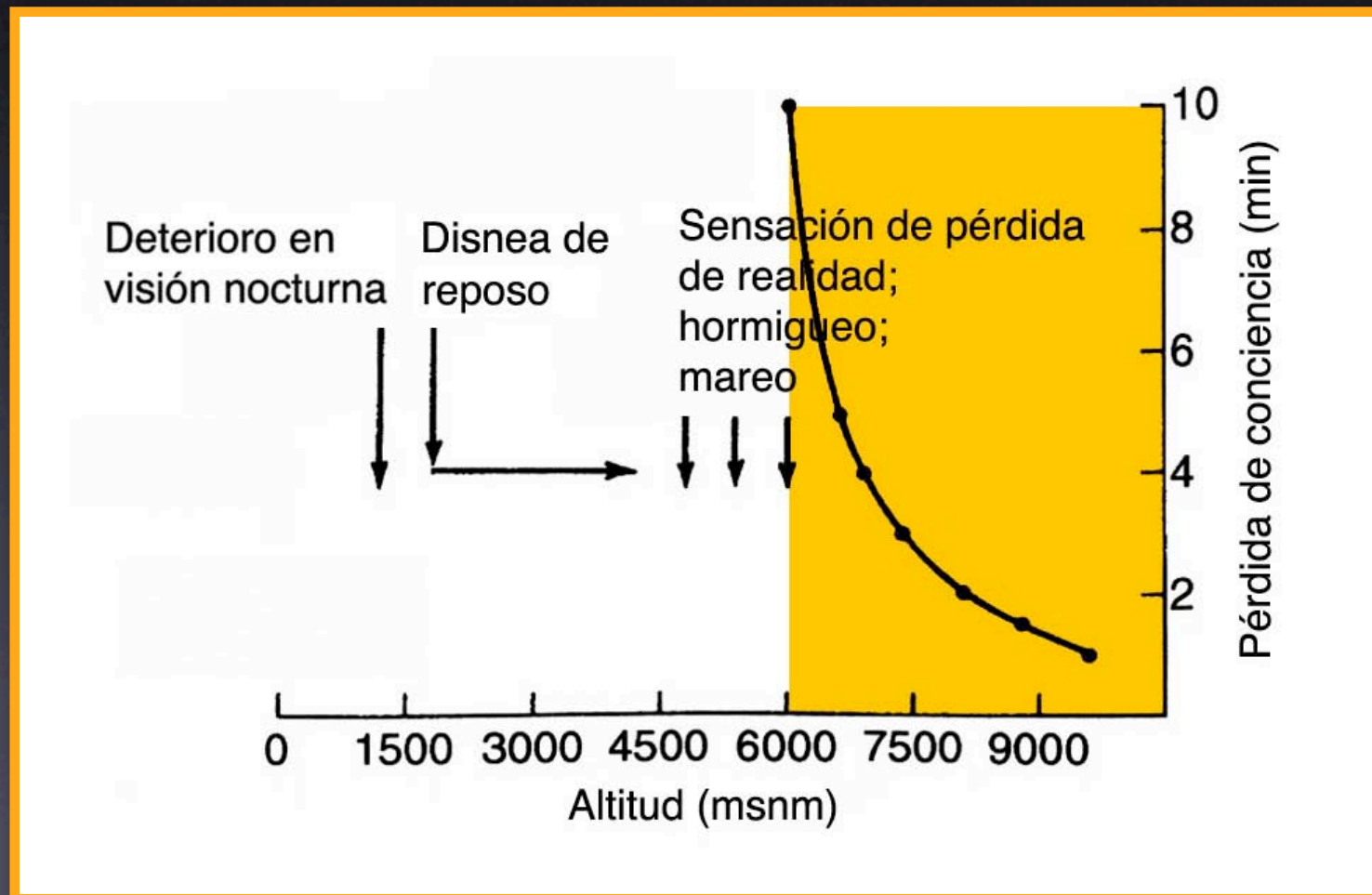
- Hipoxia
- Frío
 - Descenso de la temperatura
 - Viento
- Disminución de la humedad del aire
- Radiación solar y resolana

Efectos fisiológicos de la altura



Efectos fisiológicos de la altura

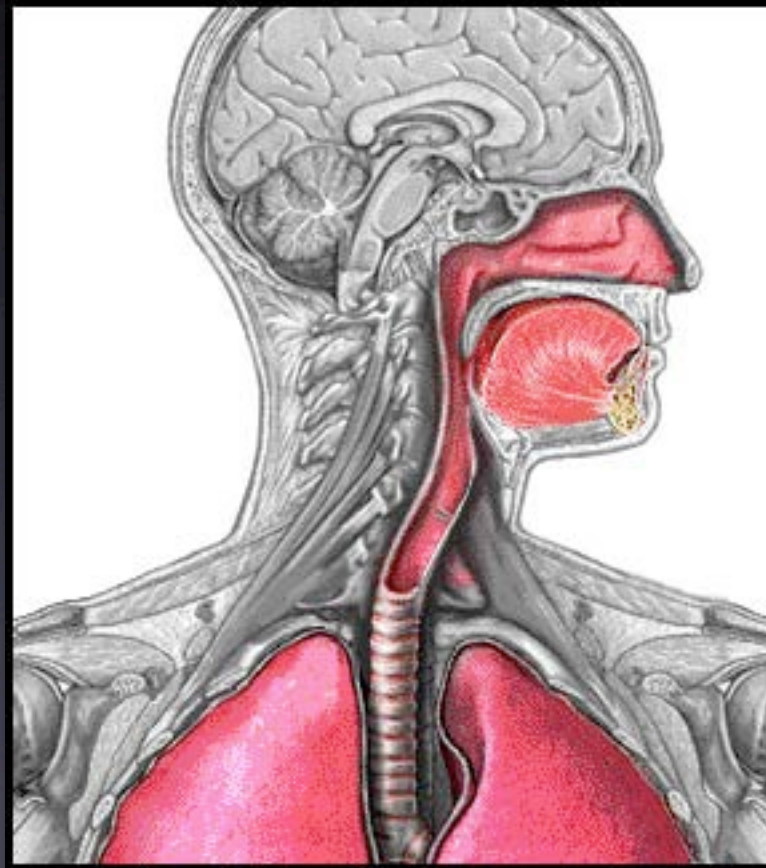
■ Adaptación a la hipoxia:



Efectos inmediatos en una persona expuesta rápidamente a la altura

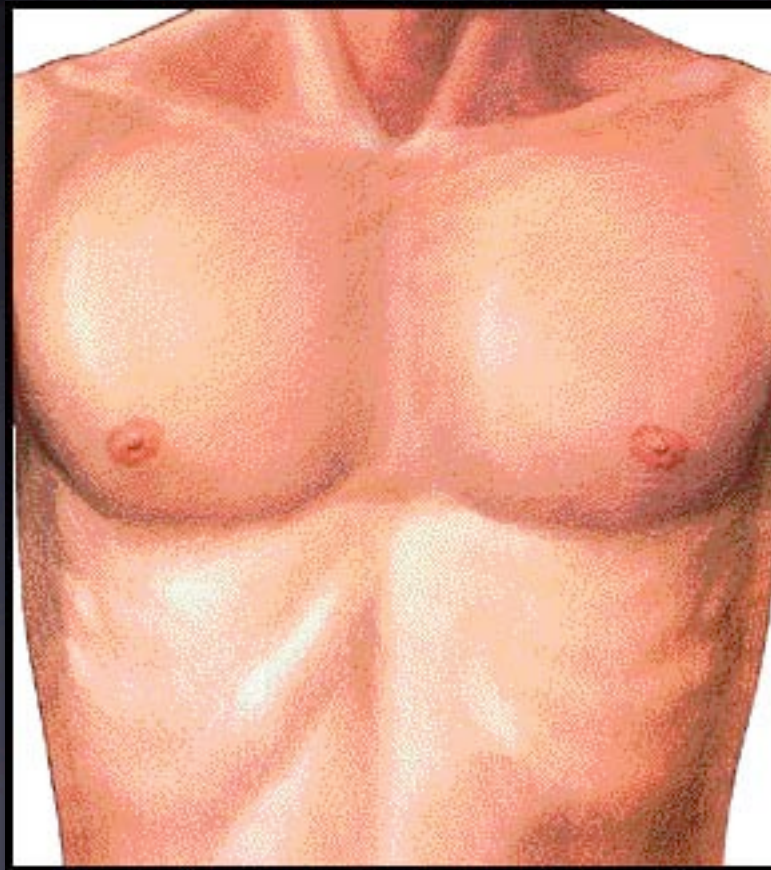
Efectos fisiológicos de la altura

- Sistema de transporte de oxígeno:



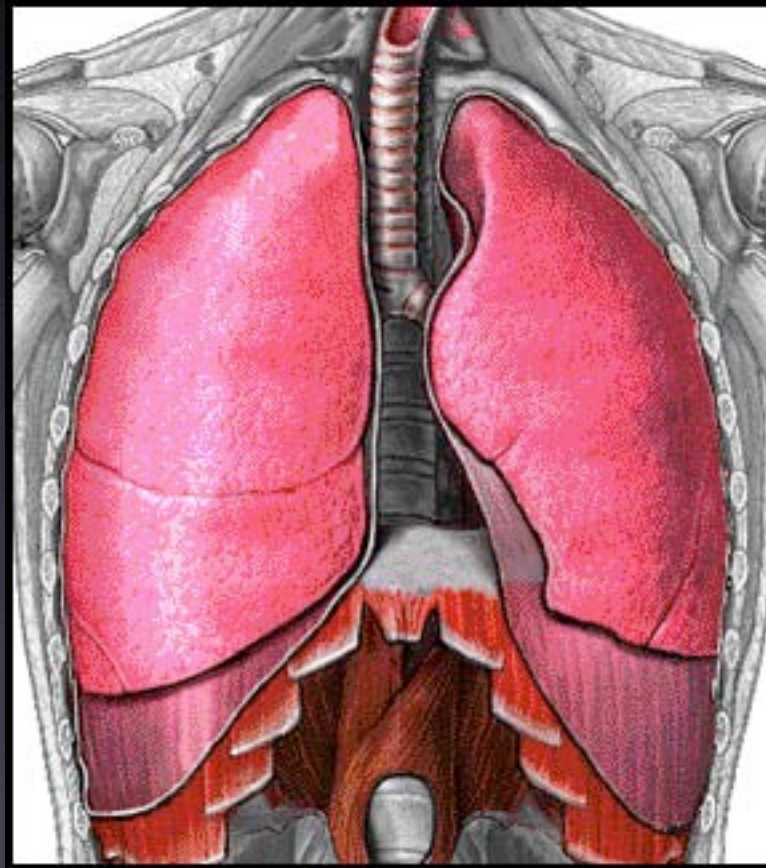
Efectos fisiológicos de la altura

- Sistema de transporte de oxígeno:



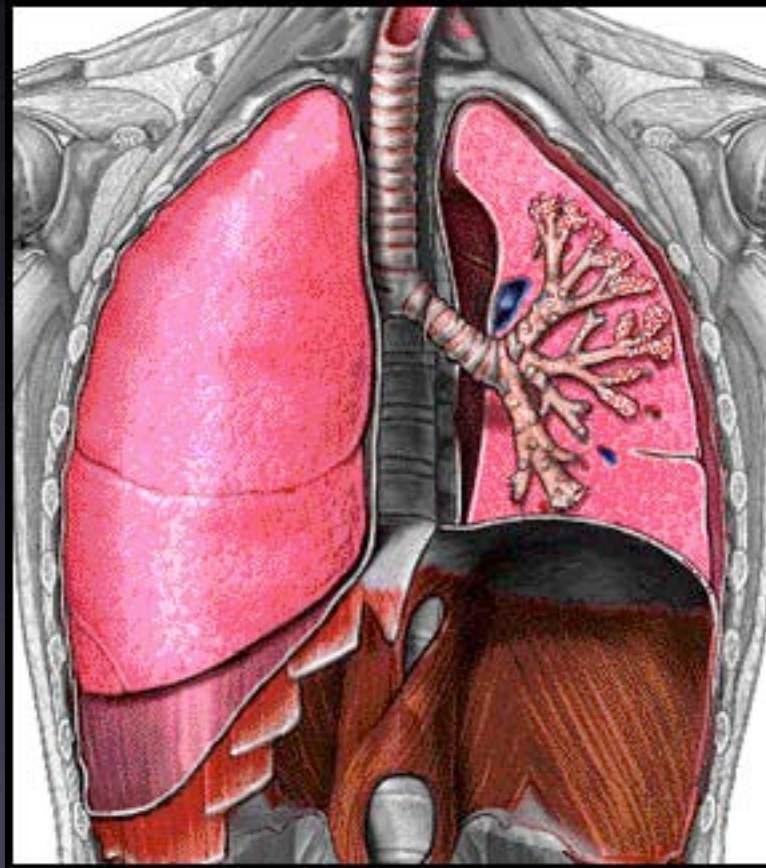
Efectos fisiológicos de la altura

- Sistema de transporte de oxígeno:



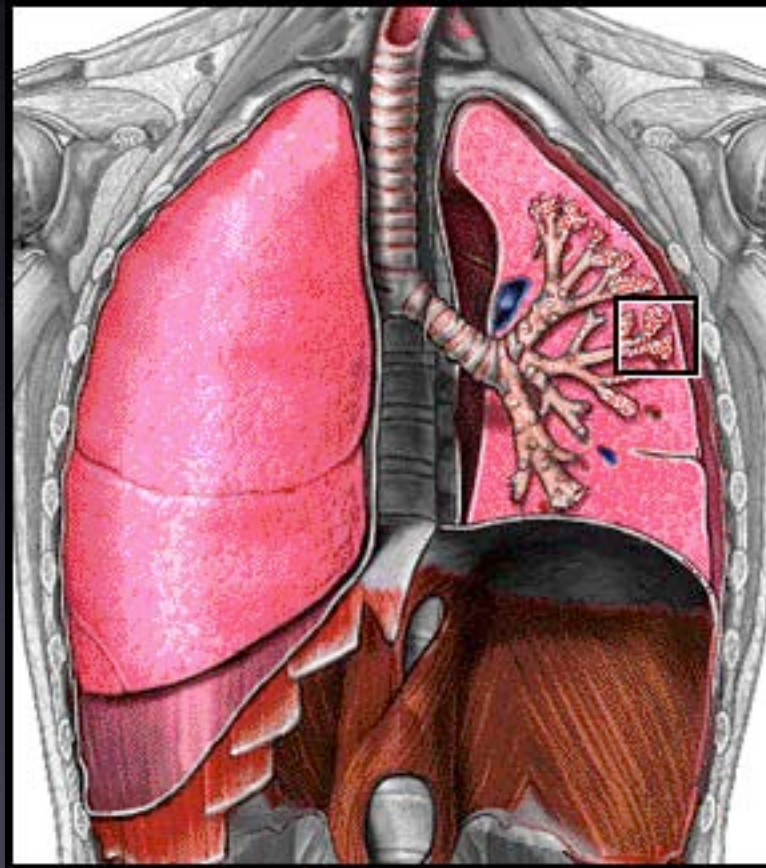
Efectos fisiológicos de la altura

- Sistema de transporte de oxígeno:



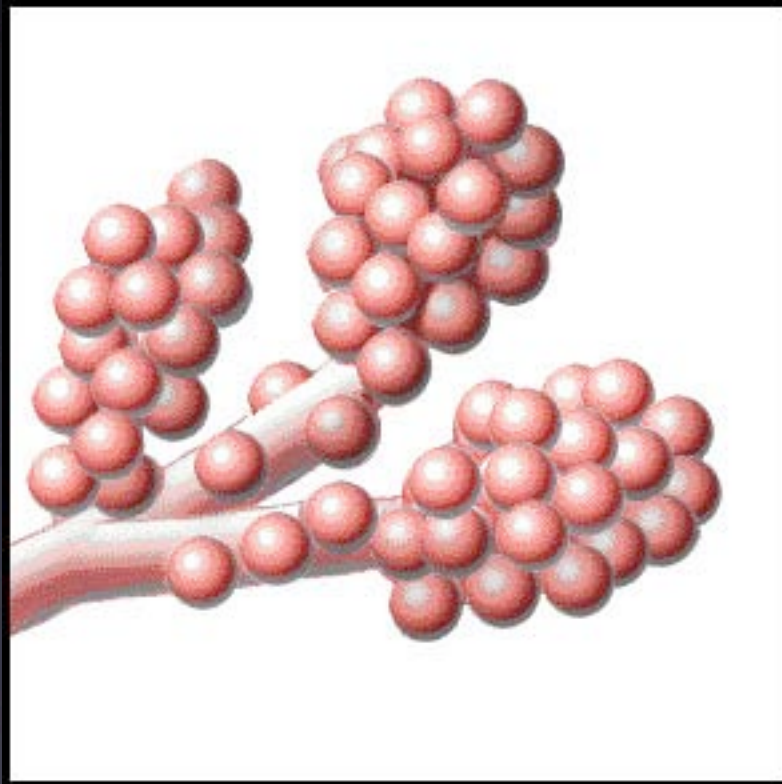
Efectos fisiológicos de la altura

- Sistema de transporte de oxígeno:



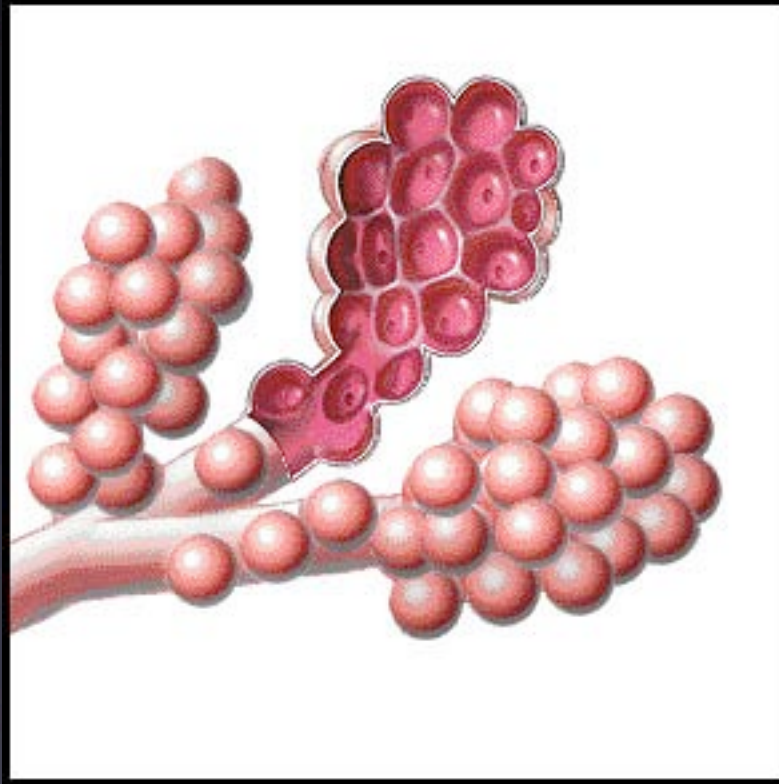
Efectos fisiológicos de la altura

- Sistema de transporte de oxígeno:



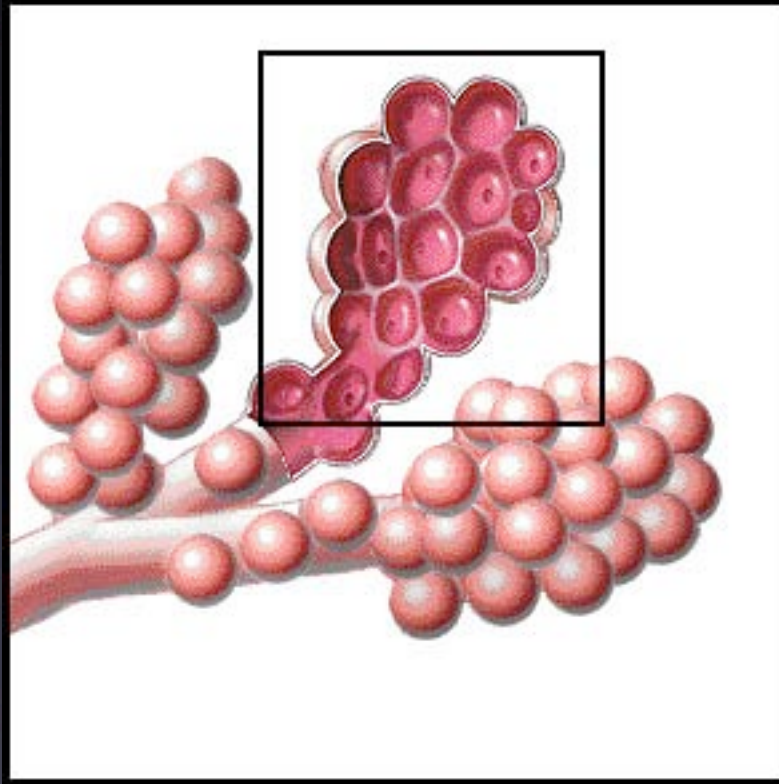
Efectos fisiológicos de la altura

- Sistema de transporte de oxígeno:



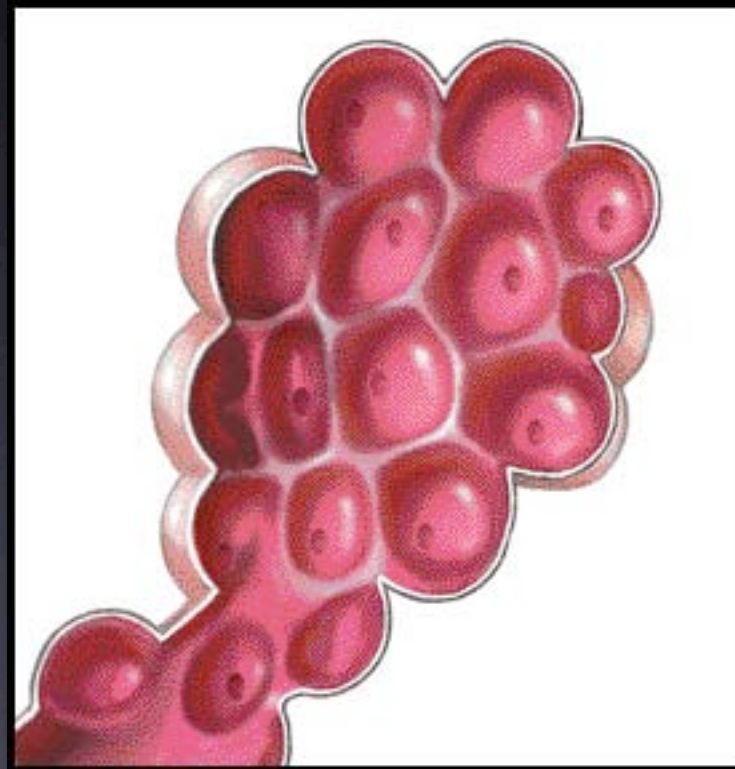
Efectos fisiológicos de la altura

- Sistema de transporte de oxígeno:



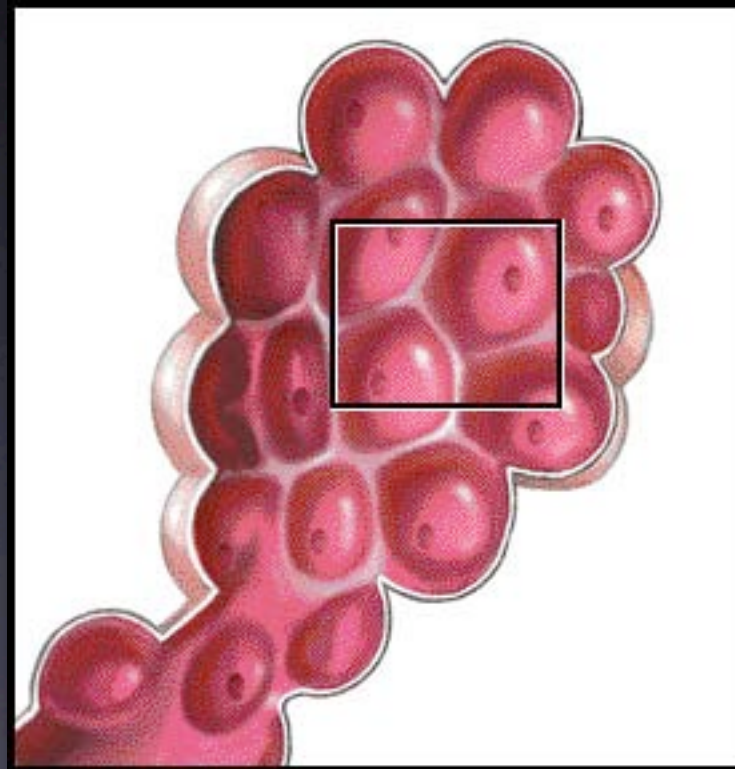
Efectos fisiológicos de la altura

- Sistema de transporte de oxígeno:



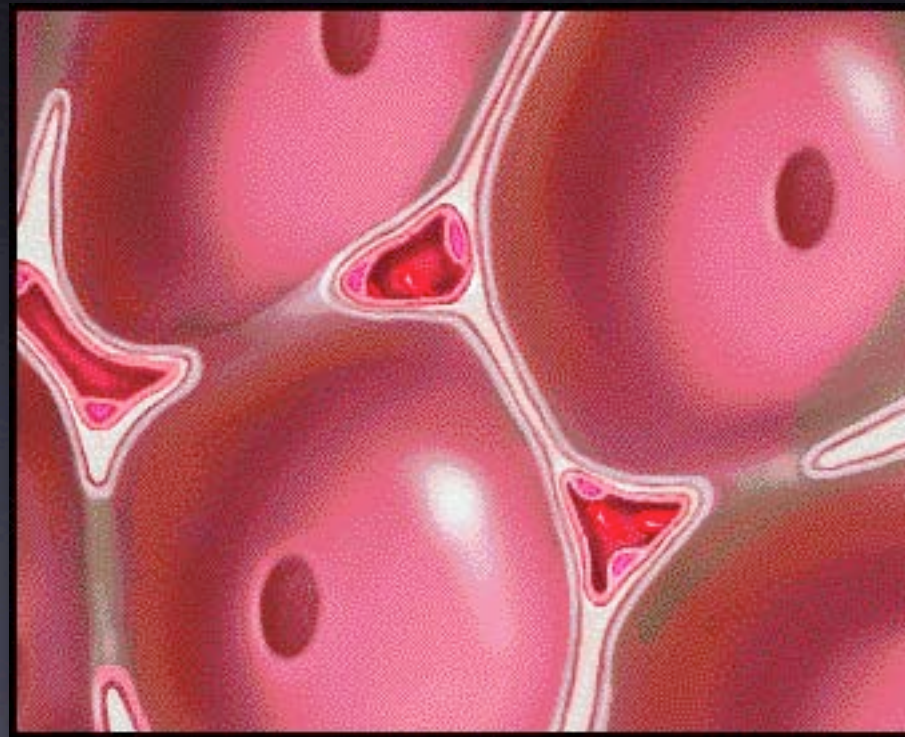
Efectos fisiológicos de la altura

- Sistema de transporte de oxígeno:



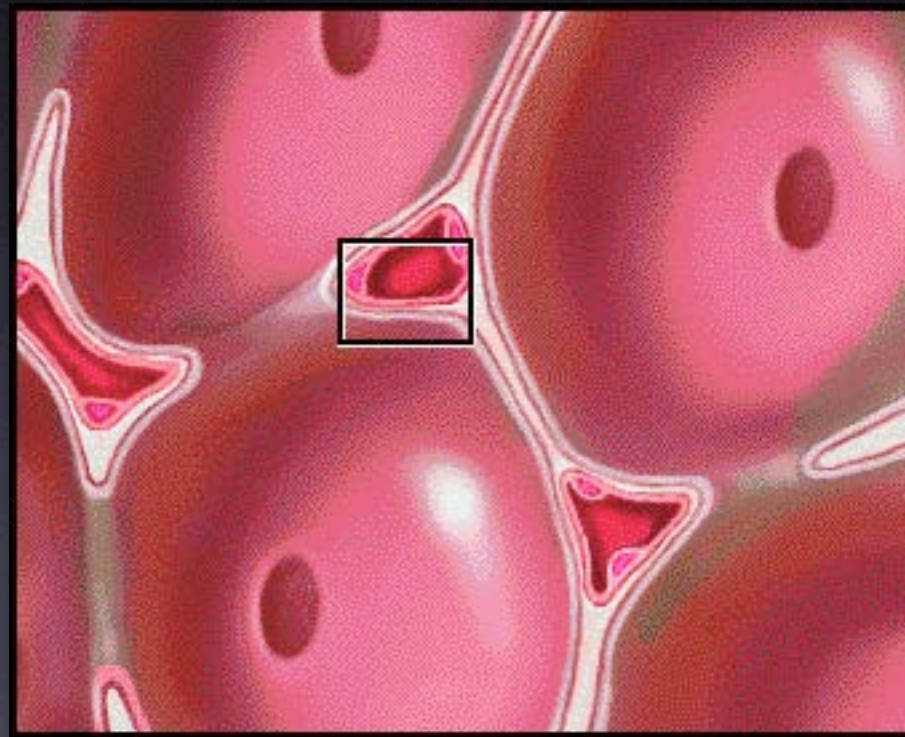
Efectos fisiológicos de la altura

- Sistema de transporte de oxígeno:



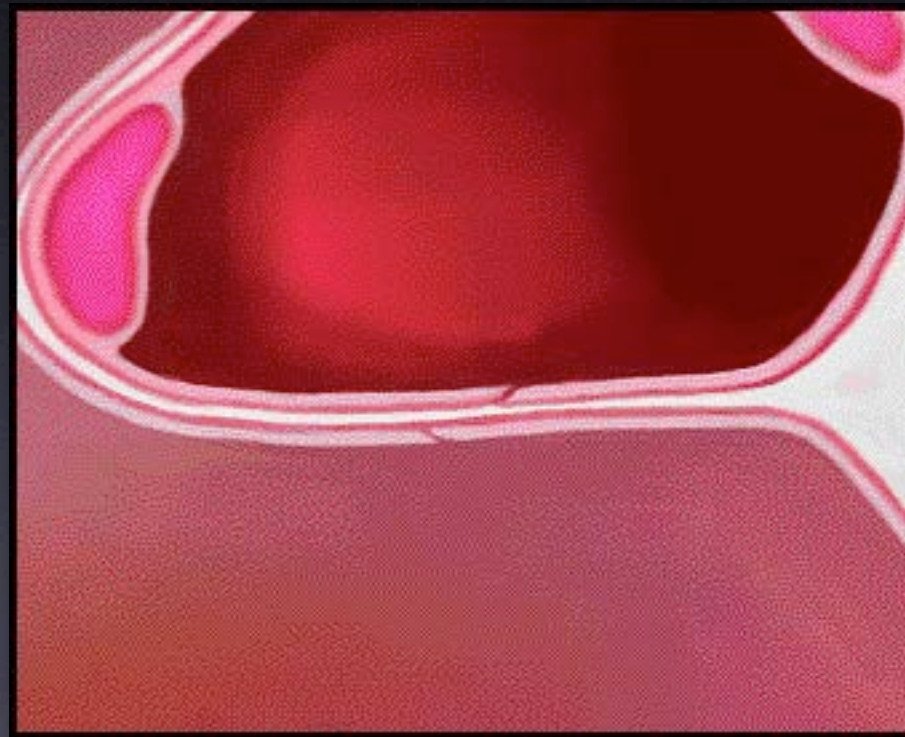
Efectos fisiológicos de la altura

- Sistema de transporte de oxígeno:



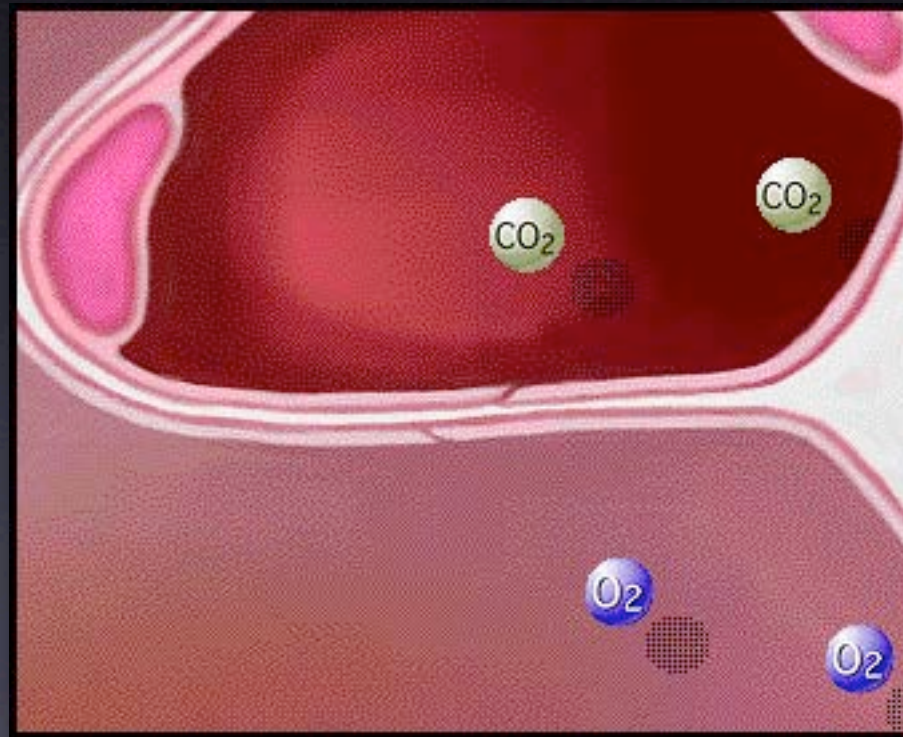
Efectos fisiológicos de la altura

- Sistema de transporte de oxígeno:



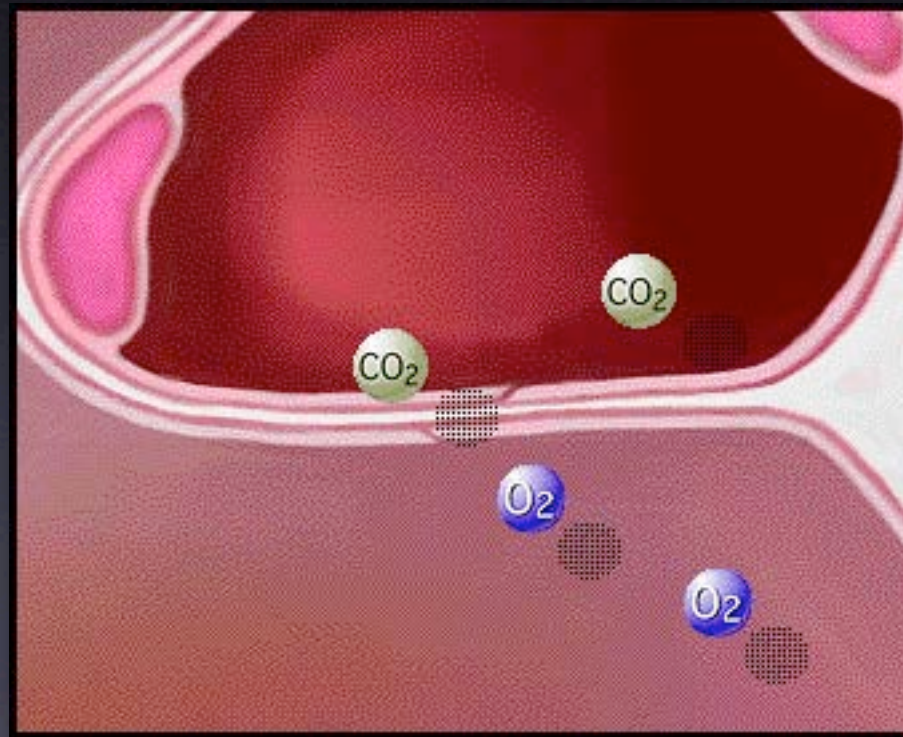
Efectos fisiológicos de la altura

- Sistema de transporte de oxígeno:



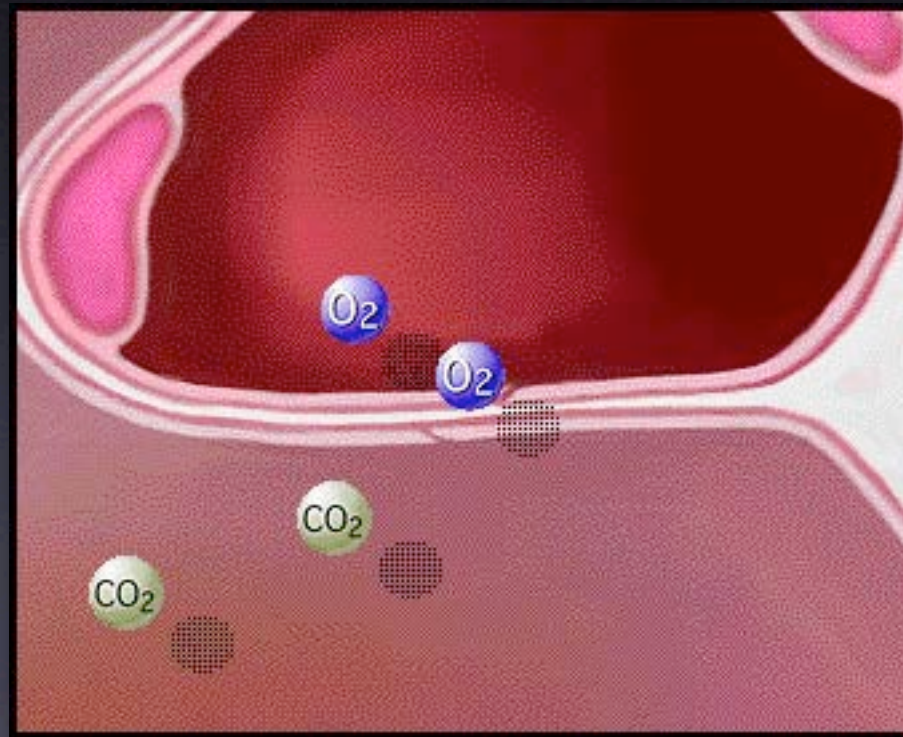
Efectos fisiológicos de la altura

- Sistema de transporte de oxígeno:



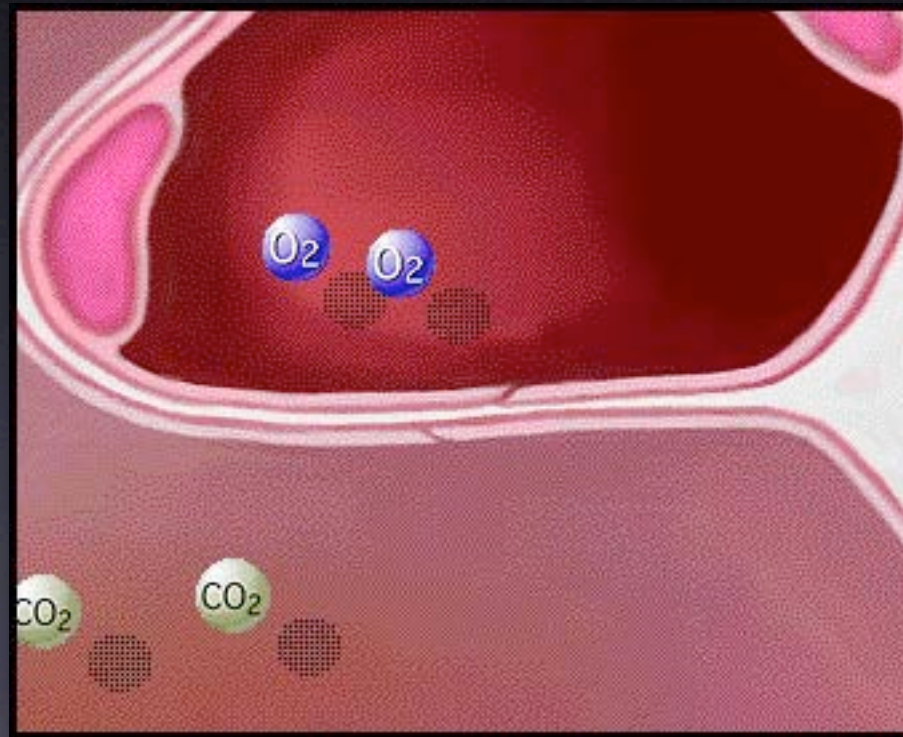
Efectos fisiológicos de la altura

- Sistema de transporte de oxígeno:



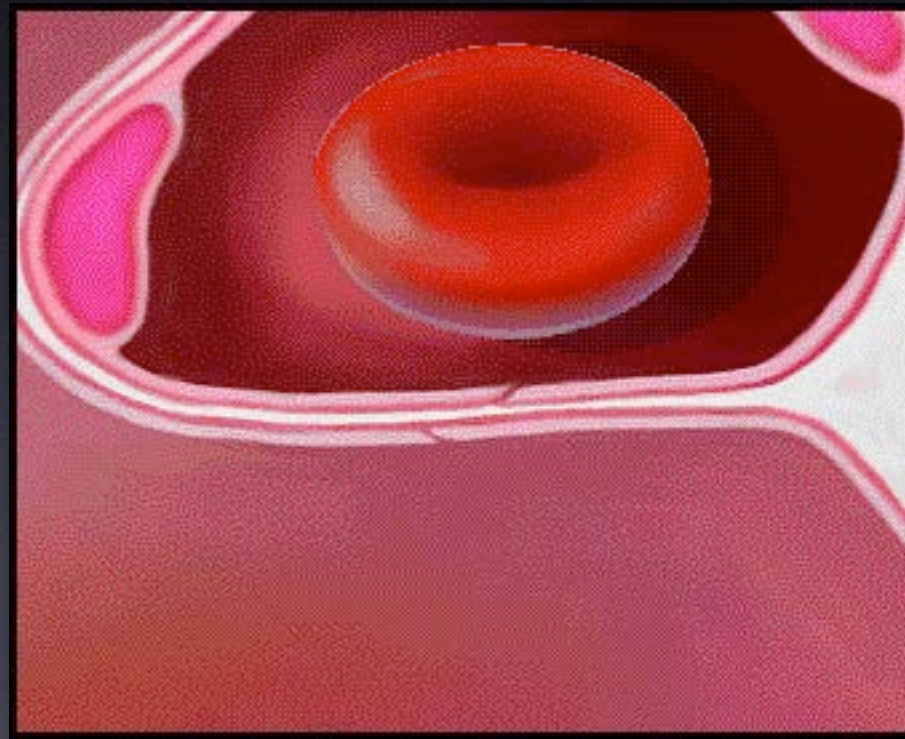
Efectos fisiológicos de la altura

- Sistema de transporte de oxígeno:



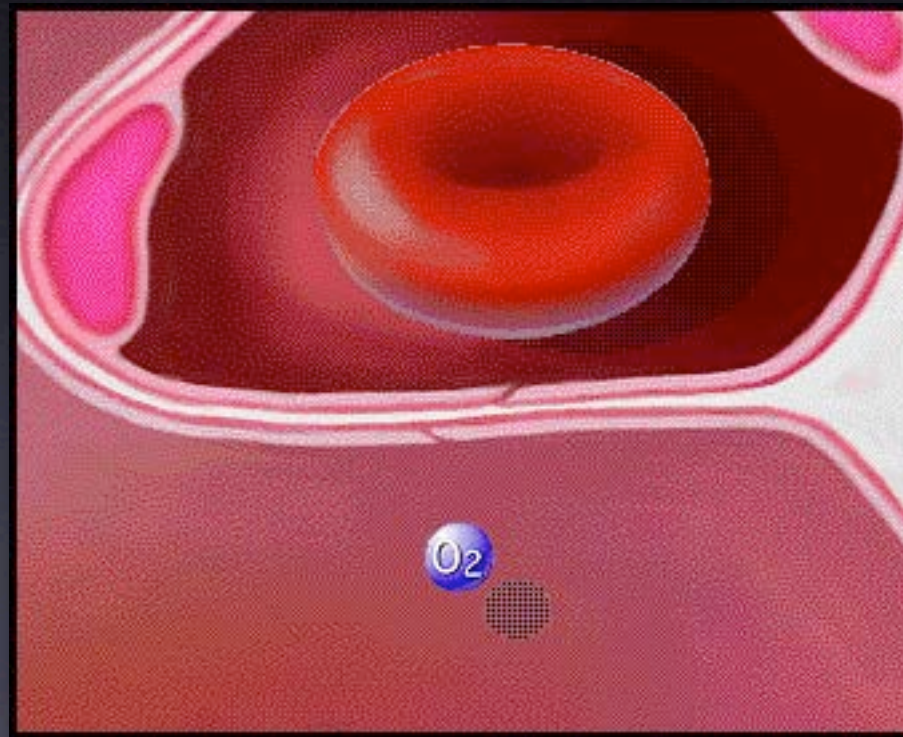
Efectos fisiológicos de la altura

- Sistema de transporte de oxígeno:



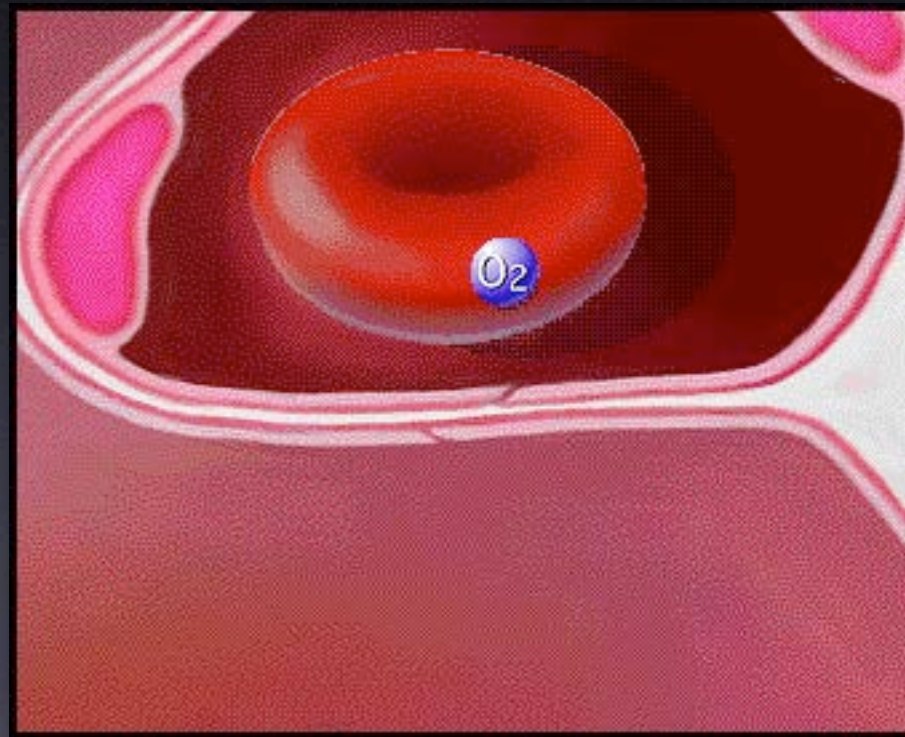
Efectos fisiológicos de la altura

- Sistema de transporte de oxígeno:



Efectos fisiológicos de la altura

- Sistema de transporte de oxígeno:



Efectos fisiológicos de la altura

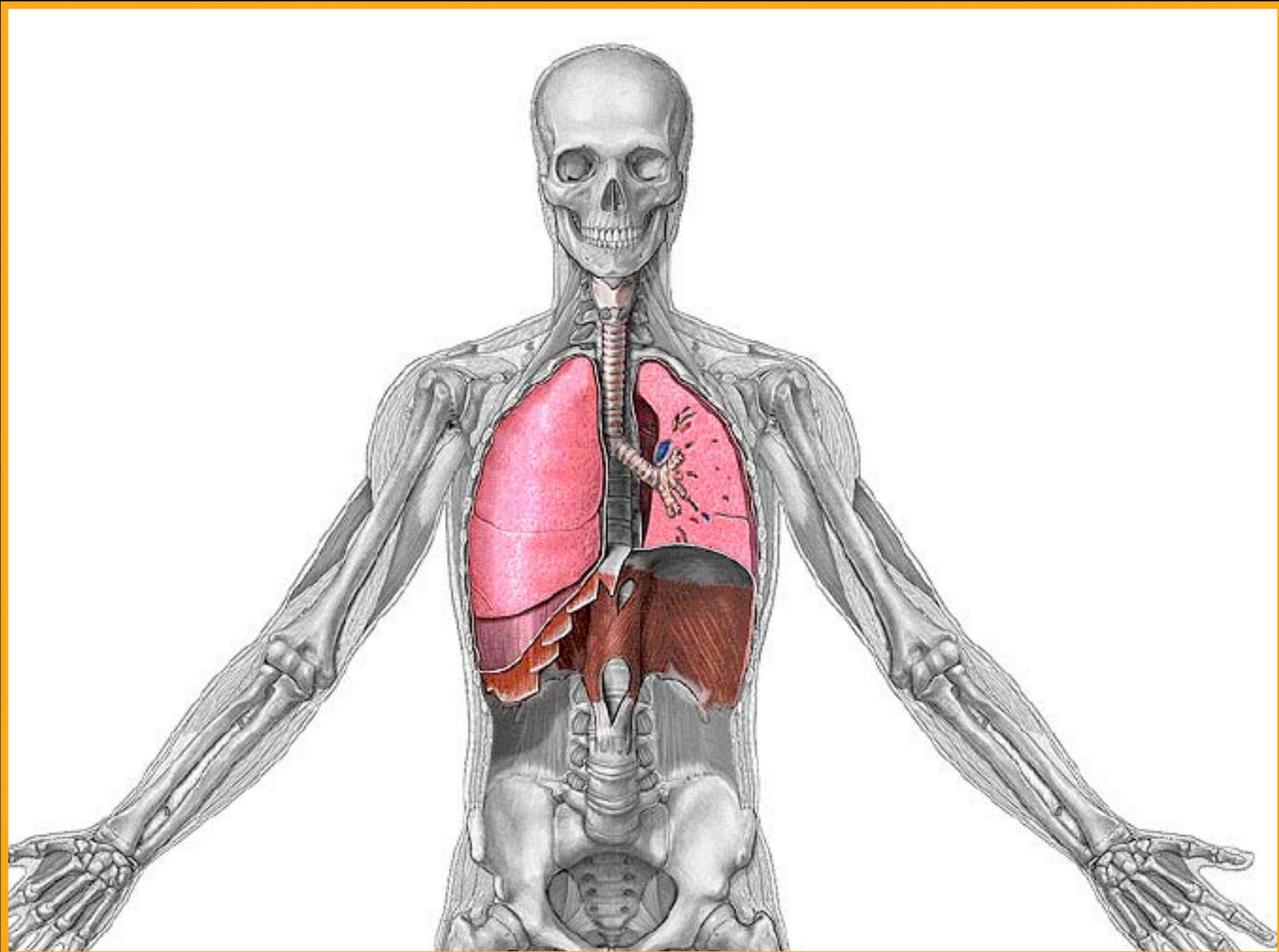
- Mecanismos adaptativos a la hipoxia:
 - Función pulmonar
 - Función cardiovascular
 - Función cerebral

Efectos fisiológicos de la altura



- Mecanismos adaptativos a la hipoxia:
 - Función pulmonar
 - Función cardiovascular
 - Función cerebral
- Enfermedades relacionadas:
 - Mal de altura (Enfermedad aguda de Montaña)
 - Edema cerebral de altura
 - Edema pulmonar de altura

Función pulmonar



Función pulmonar

- Adaptación a la hipoxia:
 - Respuesta ventilatoria a la hipoxia
Aumento de la ventilación como consecuencia de la falta de oxígeno

Función pulmonar

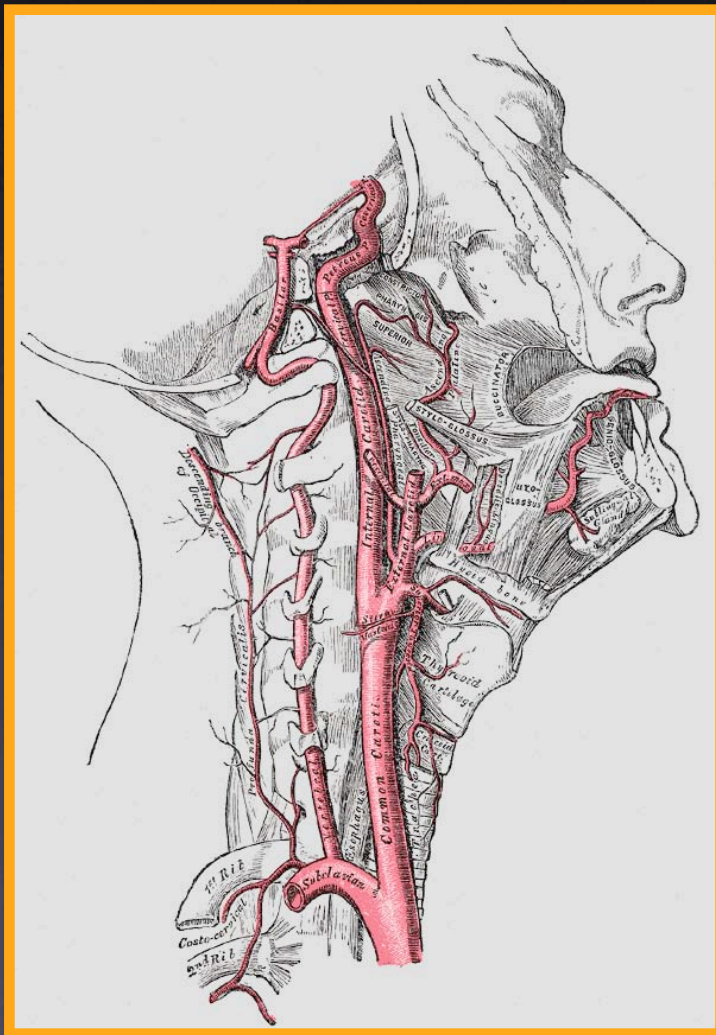
- Adaptación a la hipoxia:
 - Respuesta ventilatoria a la hipoxia
Aumento de la ventilación como consecuencia de la falta de oxígeno
 - Una de las respuestas adaptativas más importantes del ser humano en altura

Función pulmonar

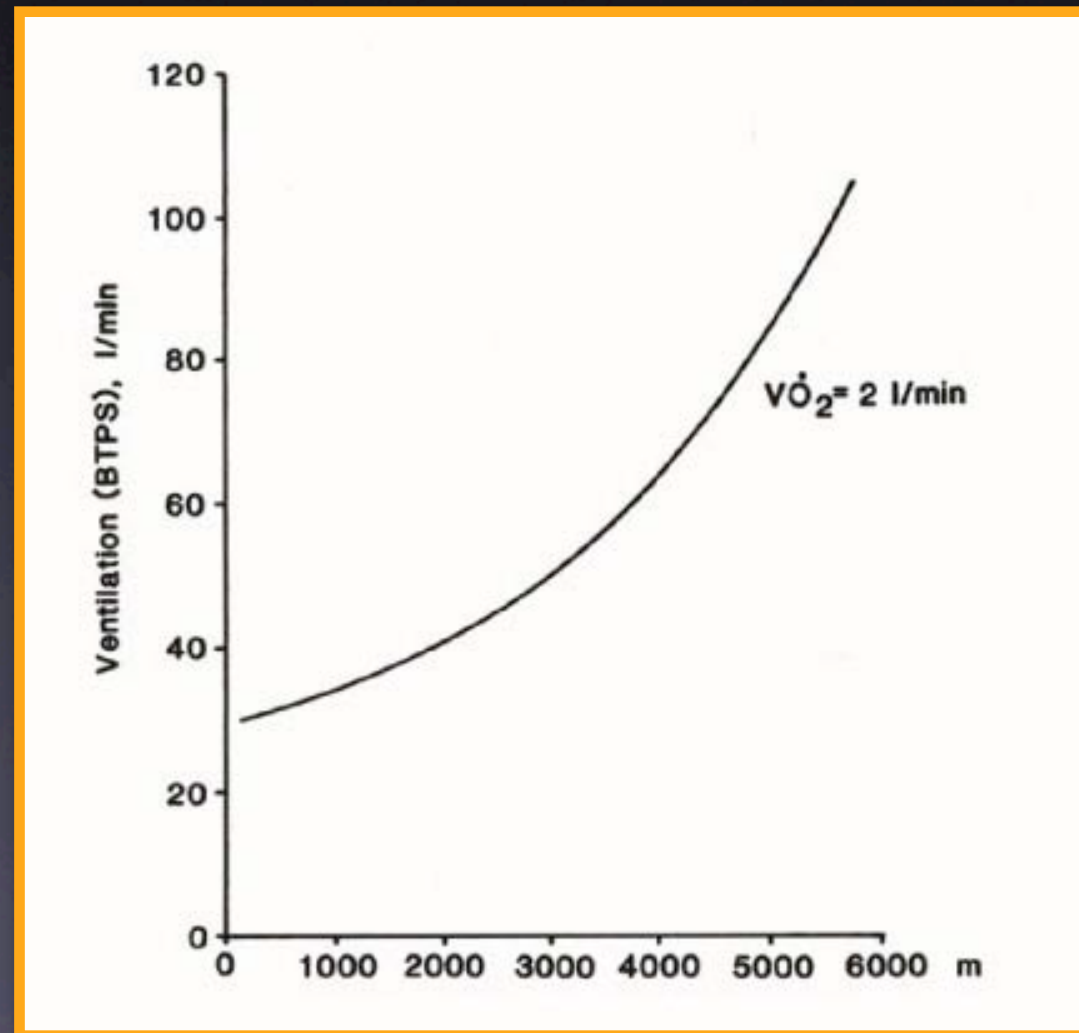
- Respuesta ventilatoria a la hipoxia:
 - Se refleja en la hiperventilación
 - Comienza a los pocos minutos
 - Se prolonga por semanas o meses estando en altura

Función pulmonar

- Respuesta ventilatoria a la hipoxia:



Cuerpo carotídeo



Ventilación según altitud

Función pulmonar

- Efectos de la hiperventilación:
 - Disminuye la hipoxemia
(mejora la oxigenación de la sangre)

Función pulmonar

- Efectos de la hiperventilación:
 - Disminuye la hipoxemia
(mejora la oxigenación de la sangre)
 - Mejora el rendimiento en alturas extremas

Función pulmonar

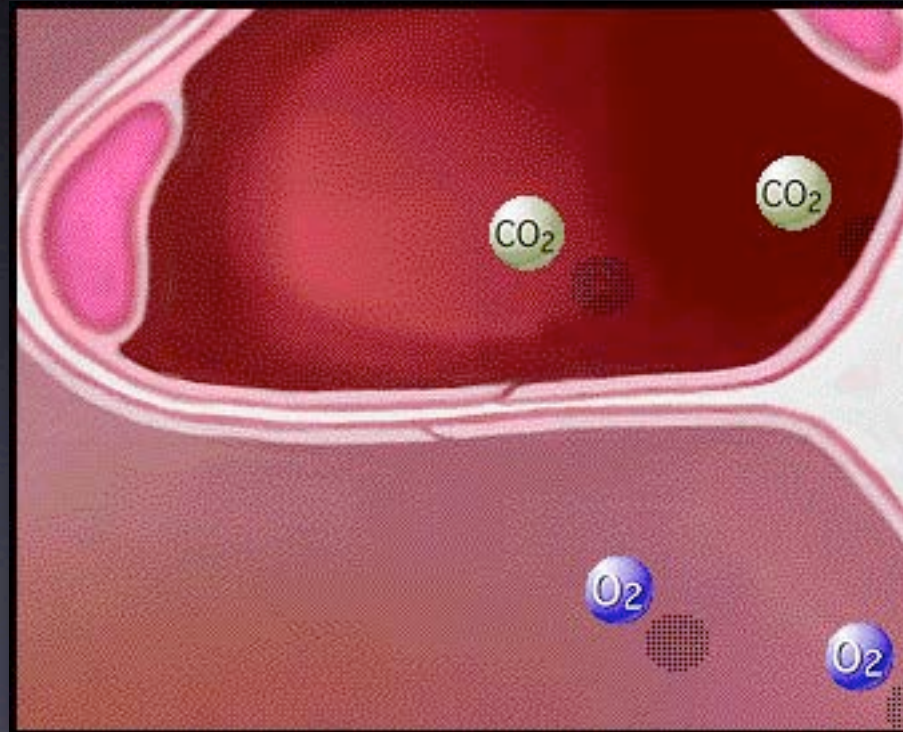
- Efectos de la hiperventilación:
 - Disminuye la hipoxemia
(mejora la oxigenación de la sangre)
 - Mejora el rendimiento en alturas extremas
 - Disminuye la incidencia de
Edema Pulmonar de Altura (EPA)

Función pulmonar

- Efectos de la hiperventilación:
 - Disminuye la hipoxemia
(mejora la oxigenación de la sangre)
 - Mejora el rendimiento en alturas extremas
 - Disminuye la incidencia de
Edema Pulmonar de Altura (EPA)
 - Produce alcalosis respiratoria

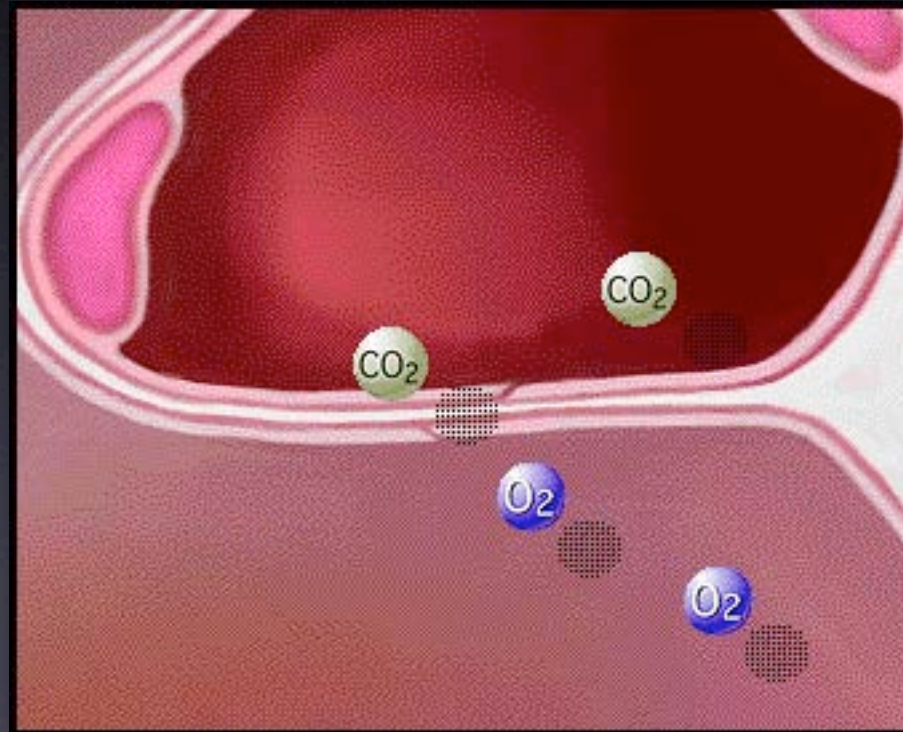
Función pulmonar

- Alcalosis respiratoria:



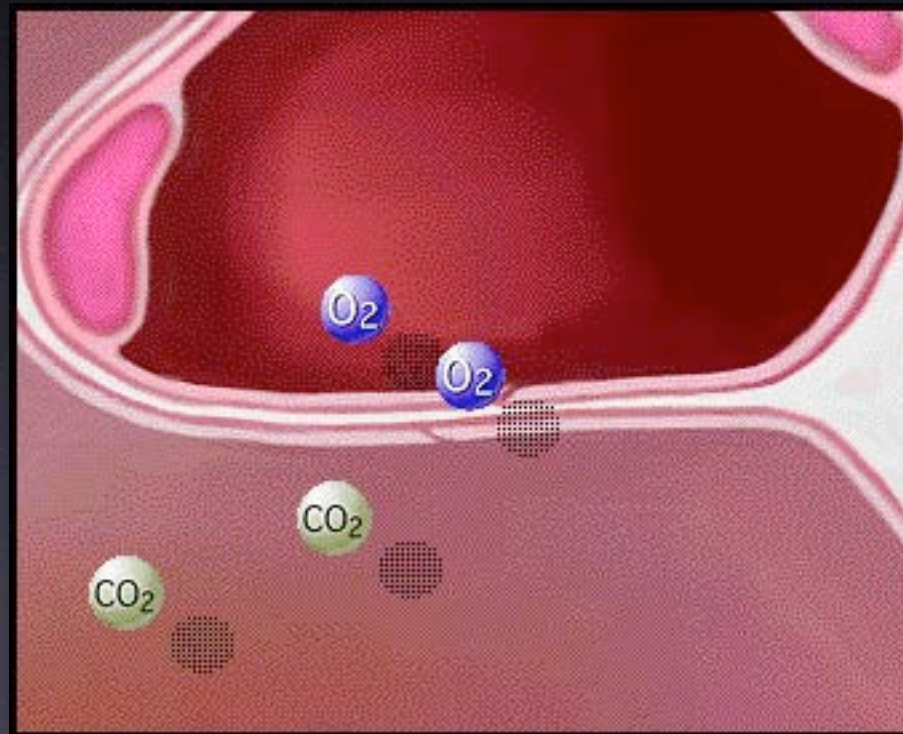
Función pulmonar

- Alcalosis respiratoria:



Función pulmonar

- Alcalosis respiratoria:



- Aumenta importantemente la afinidad de la hemoglobina por el oxígeno

Función pulmonar

- Factores que disminuyen la RVH:
 - alcohol
 - sedantes
- Factores que aumentan la RVH:
 - aclimatación

Función pulmonar

- Factores que disminuyen la RVH:
 - alcohol
 - sedantes
- Factores que aumentan la RVH:
 - aclimatación
- El estado físico no influye en la RVH
- RVH tiene un componente genético importante
- RVH puede ser usado como predictor de enfermedades de altura

La respiración periódica

- El dormir en altura se asocia frecuentemente a respiración periódica
- Se debe a que el centro respiratorio está más deprimido

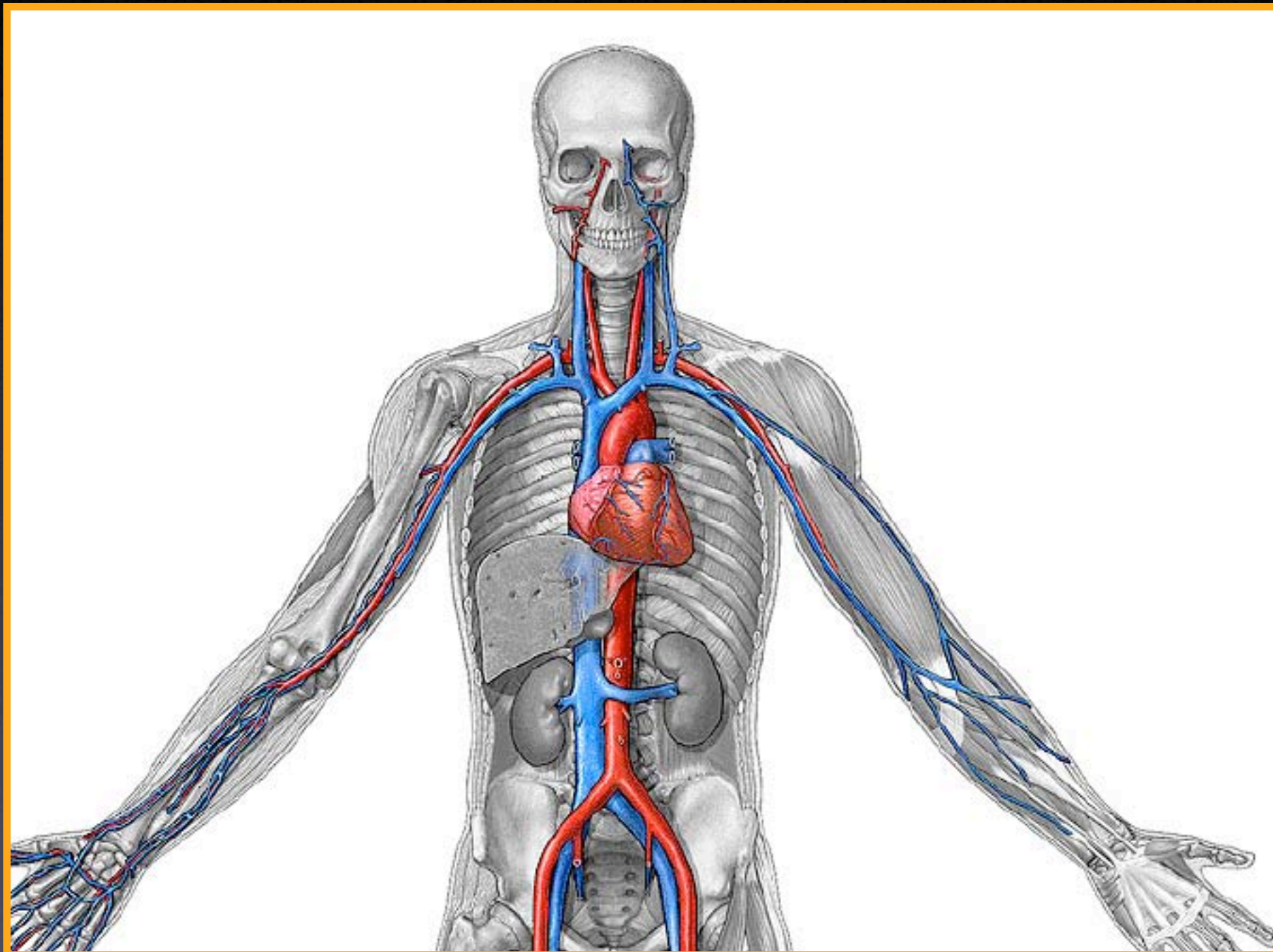


La respiración periódica

- Puede agravar las enfermedades de altura
- Puede provocar somnolencia intensa durante el día
- Tratamiento:
 - acetazolamida
 - oxígeno

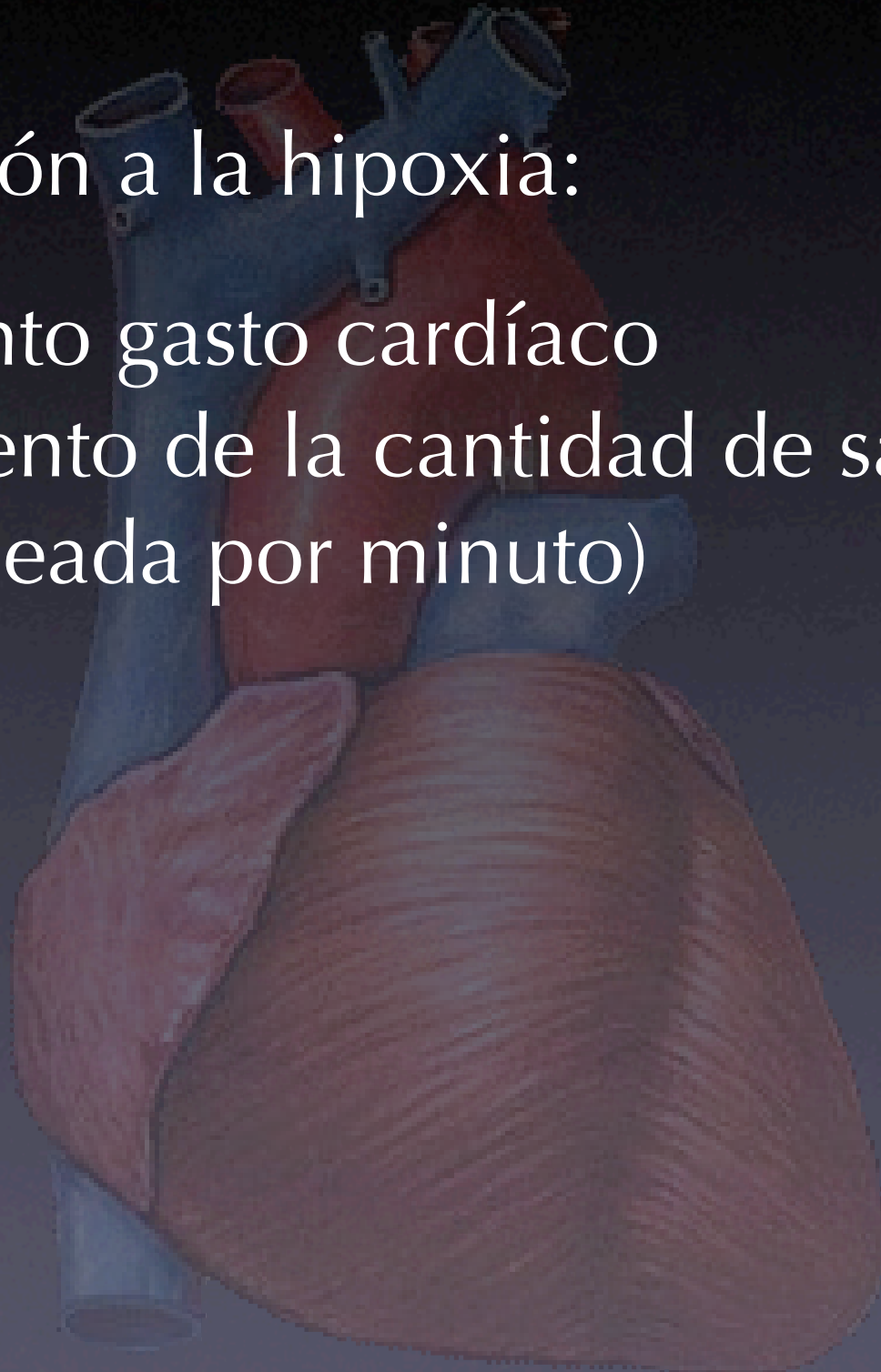
**NUNCA USAR MEDICAMENTOS PARA
DORMIR EN ALTURA**

Función cardiocirculatoria



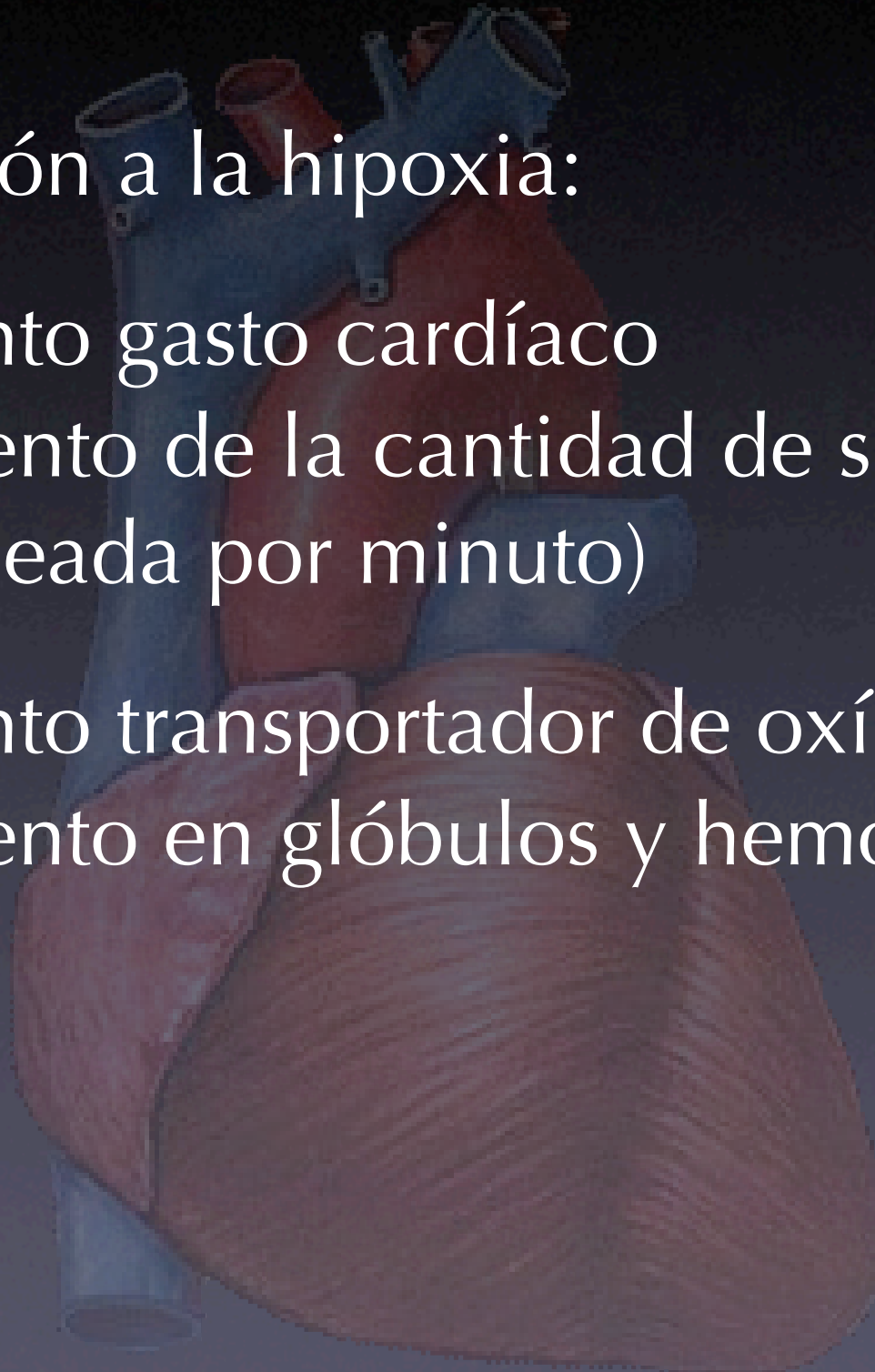
Función cardiocirculatoria

- Adaptación a la hipoxia:
 - Aumento gasto cardíaco
(aumento de la cantidad de sangre bombeada por minuto)



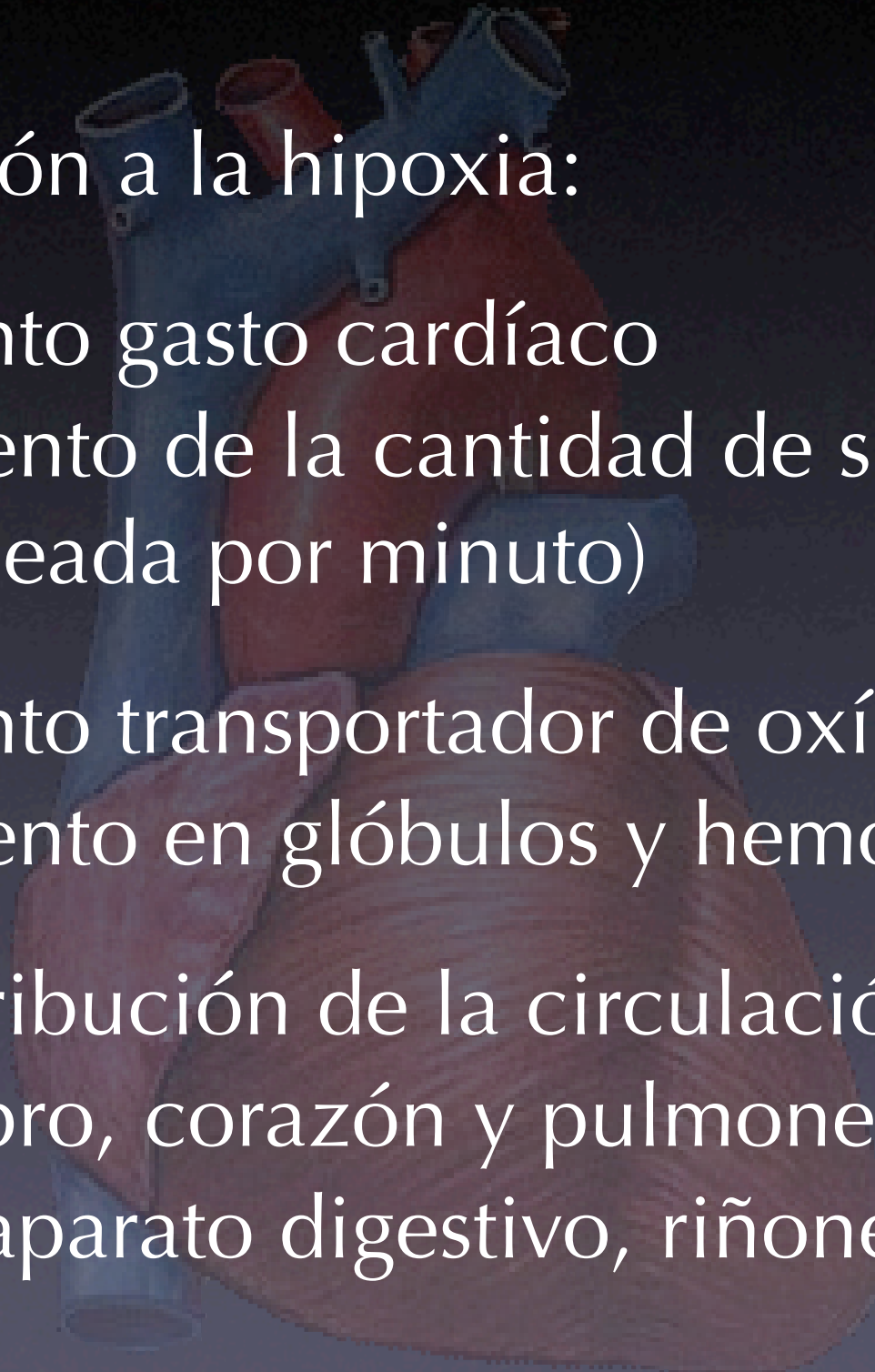
Función cardiocirculatoria

- Adaptación a la hipoxia:
 - Aumento gasto cardíaco
(aumento de la cantidad de sangre bombeada por minuto)
 - Aumento transportador de oxígeno
(aumento en glóbulos y hemoglobina)



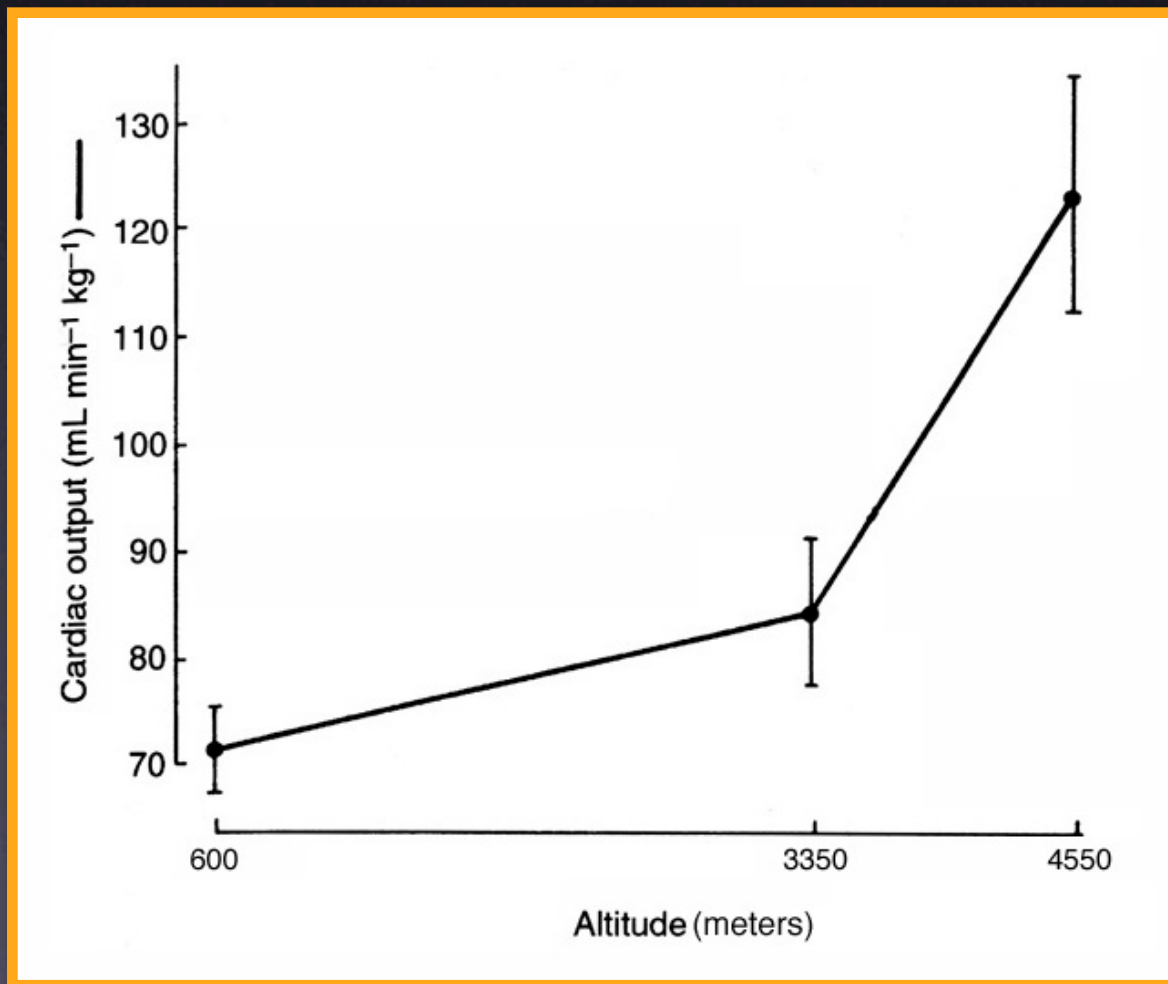
Función cardiocirculatoria

- Adaptación a la hipoxia:
 - Aumento gasto cardíaco
(aumento de la cantidad de sangre bombeada por minuto)
 - Aumento transportador de oxígeno
(aumento en glóbulos y hemoglobina)
 - Redistribución de la circulación
(cerebro, corazón y pulmones vs piel, aparato digestivo, riñones)



Función cardiocirculatoria

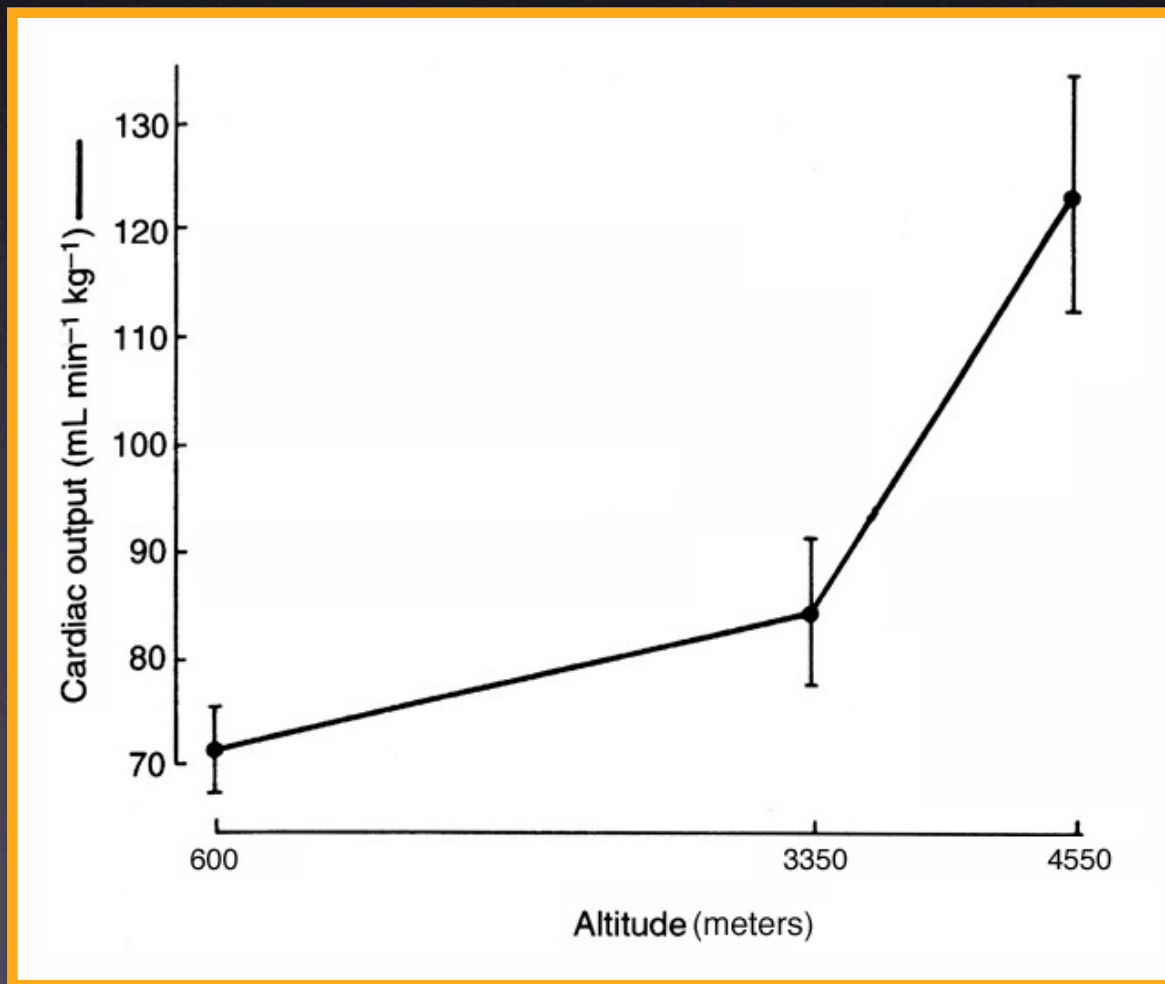
- Aumento gasto cardíaco:



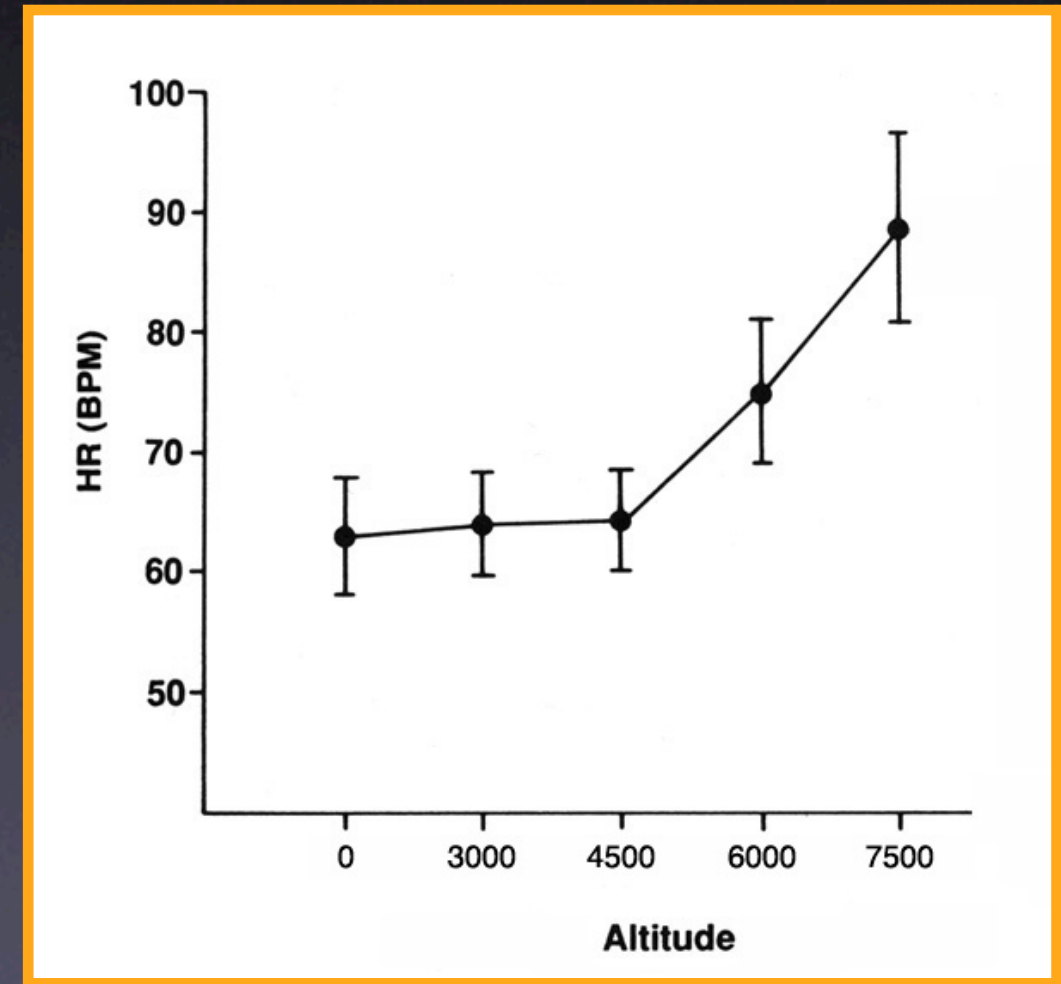
Gasto cardíaco según altitud

Función cardiocirculatoria

■ Aumento gasto cardíaco:



Gasto cardíaco según altitud



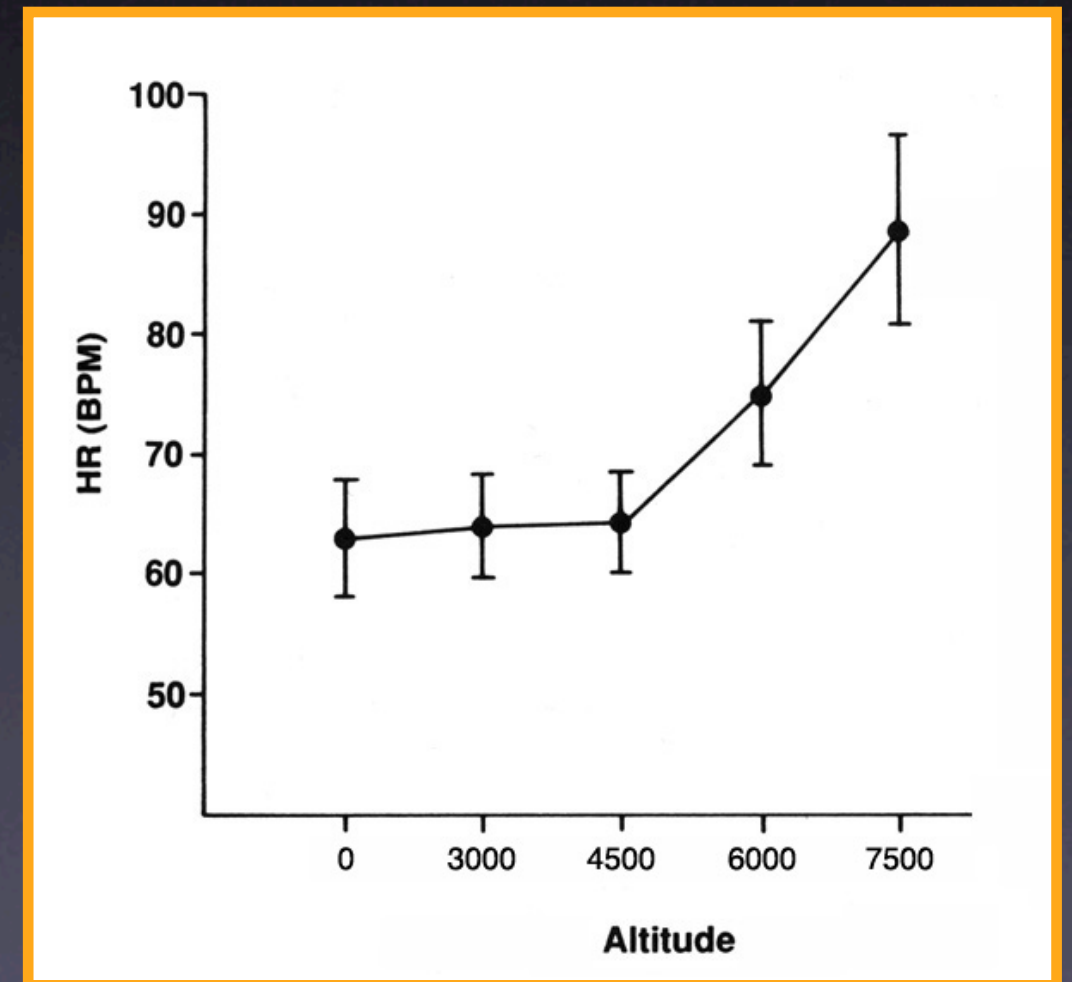
Frecuencia cardíaca según altitud

Función cardiocirculatoria

■ Aumento gasto cardíaco:

La frecuencia cardíaca también se normaliza en el tiempo

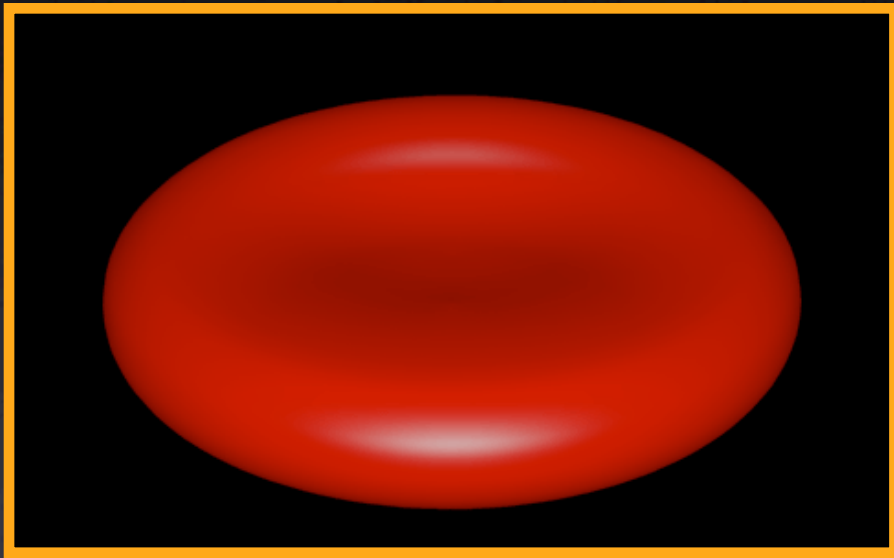
Puede ser usado como signo de aclimatación



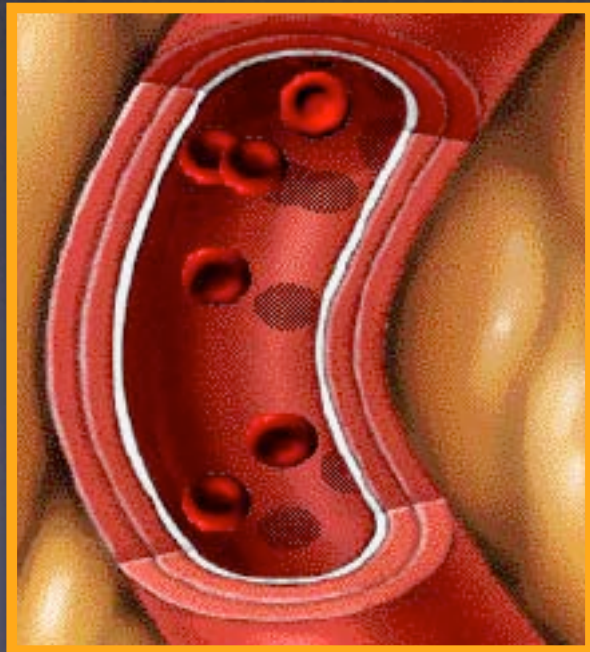
Frecuencia cardíaca según altitud

Función cardiocirculatoria

- Aumento del transportador de oxígeno:

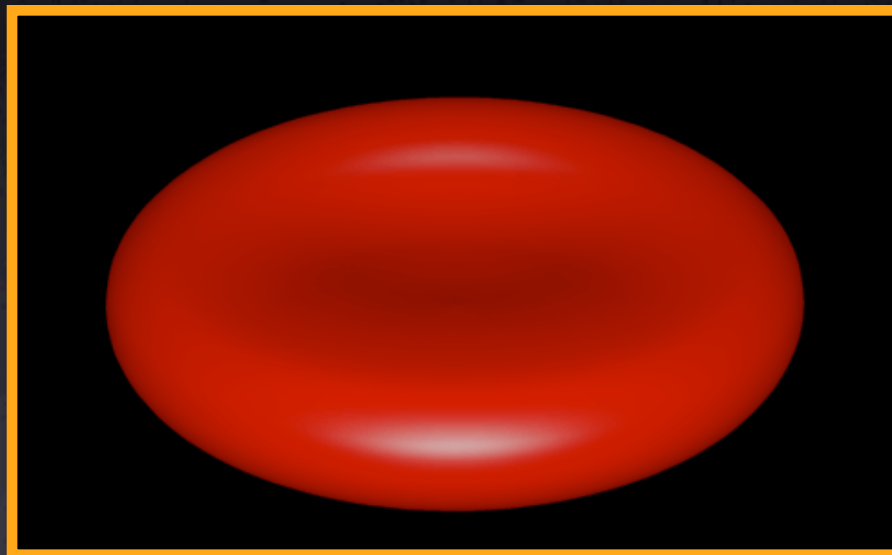


Glóbulo
rojo y
vaso
sanguíneo

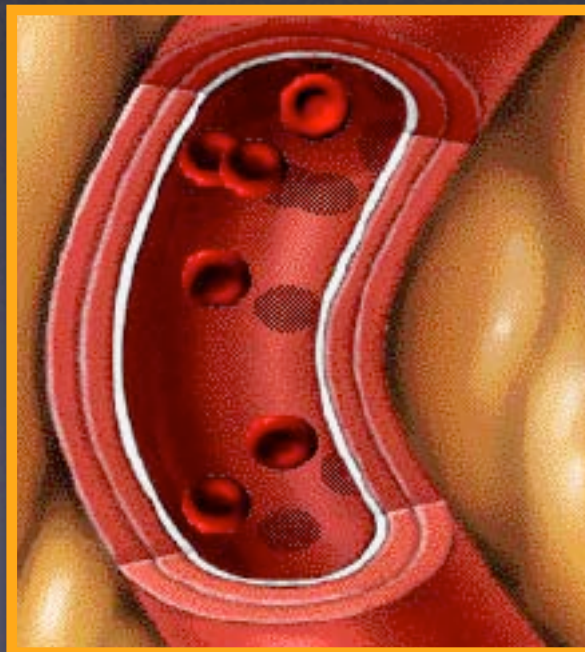


Función cardiocirculatoria

- Aumento del transportador de oxígeno:



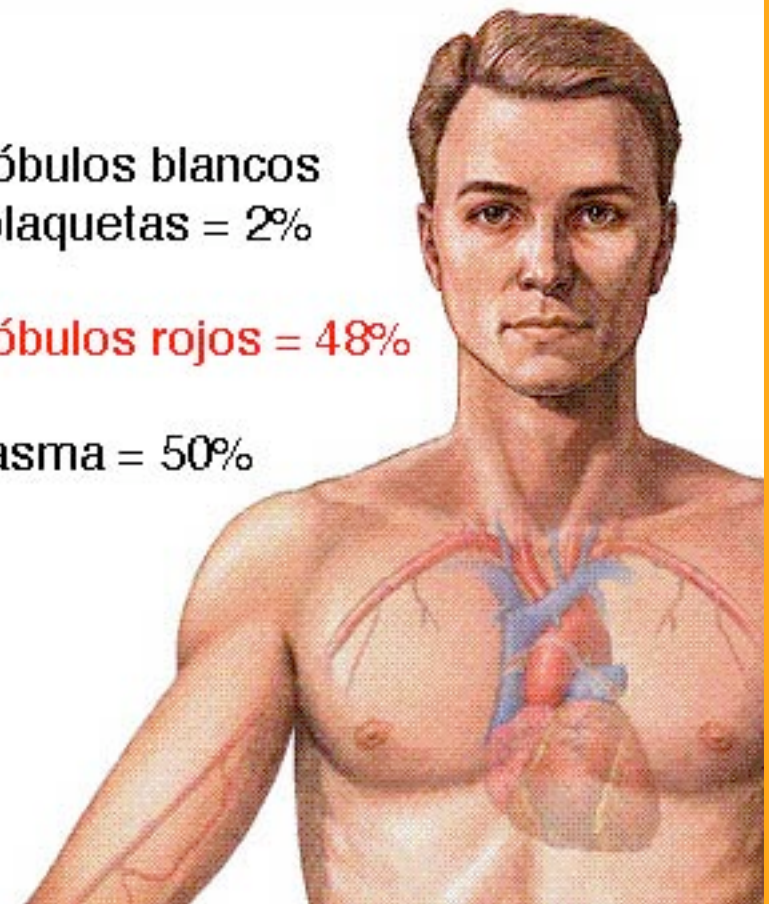
Glóbulo
rojo y
vaso
sanguíneo



Glóbulos blancos
y plaquetas = 2%

Glóbulos rojos = 48%

Plasma = 50%



Composición de la sangre

Función cardiocirculatoria

■ Aumento del transportador de oxígeno:

Hematocrito:

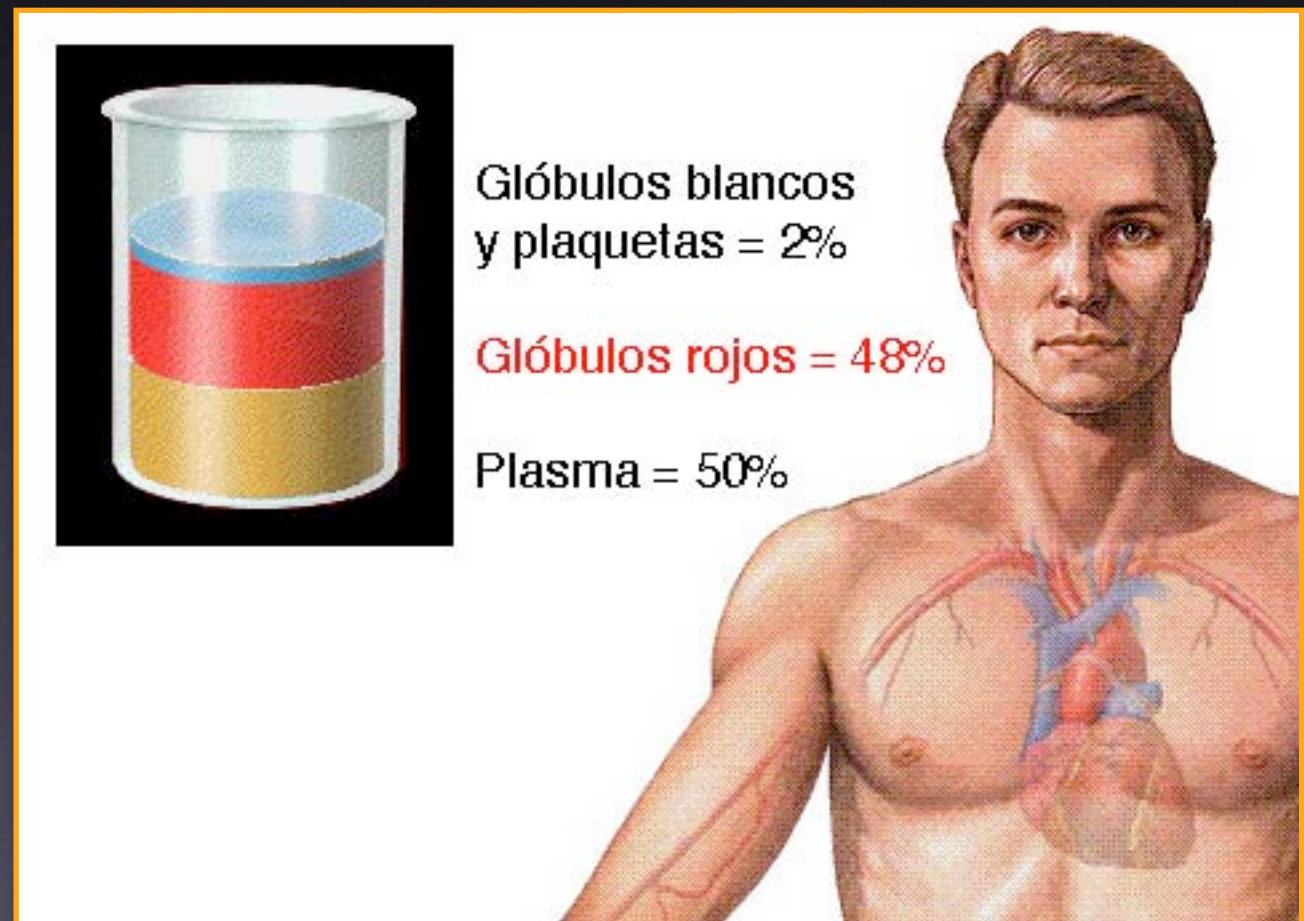
Medición indirecta de la cantidad de glóbulos rojos en la sangre

En altura el hematocrito aumenta entre 30 y 60%

Valores normales:

hombres: 45-62%

mujeres: 37-48%



Composición de la sangre

Función cardiocirculatoria

■ Aumento del transportador de oxígeno:

Hematocrito:

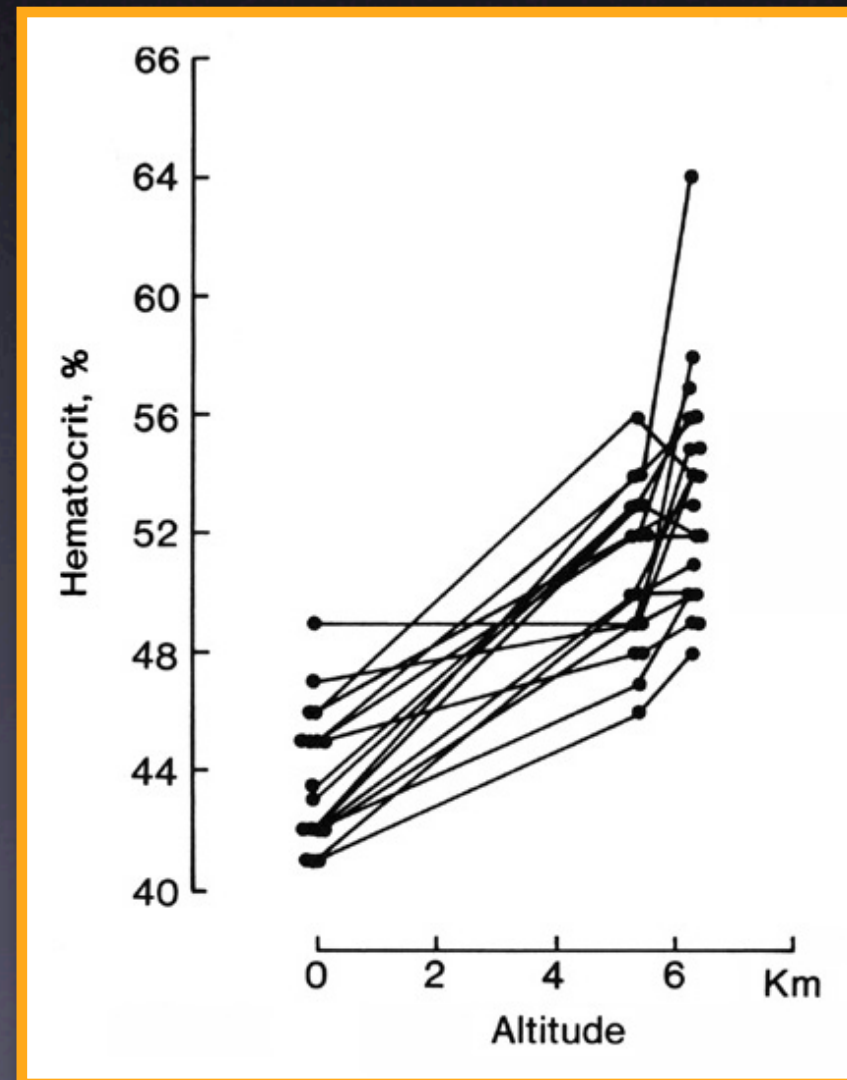
Medición indirecta de la cantidad de glóbulos rojos en la sangre

En altura el hematocrito aumenta entre 30 y 60%

Valores normales:

hombres: 45-62%

mujeres: 37-48%



Función cardiocirculatoria

■ Aumento del transportador de oxígeno:

Saturación de oxígeno:
Medición indirecta de la
cantidad de oxígeno en
la sangre

Valores normales:
96-100%

Puede ser usado como
predictor a nivel del mar
y en altura



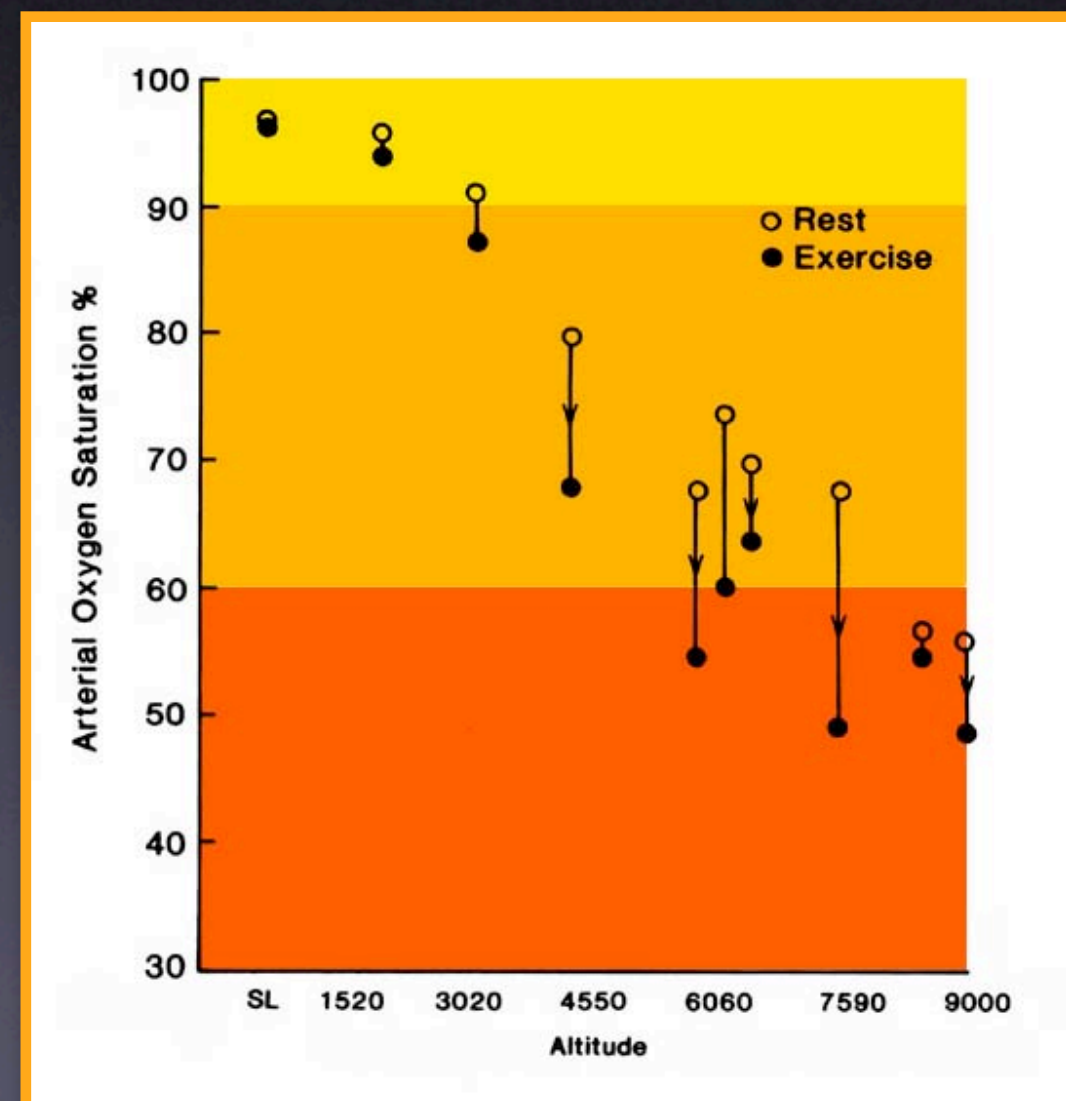
Función cardiocirculatoria

■ Aumento del transportador de oxígeno:

Saturación de oxígeno:
Medición indirecta de la
cantidad de oxígeno en
la sangre

Valores normales:
96-100%

Puede ser usado como
predictor a nivel del mar
y en altura



Función cardiocirculatoria

- Circulación local:

- Músculo esquelético

- Cerebro

- Relacionado con Mal de Altura
y Edema Cerebral de Altura*

- Pulmones

- Relacionado con Edema Pulmonar de Altura*

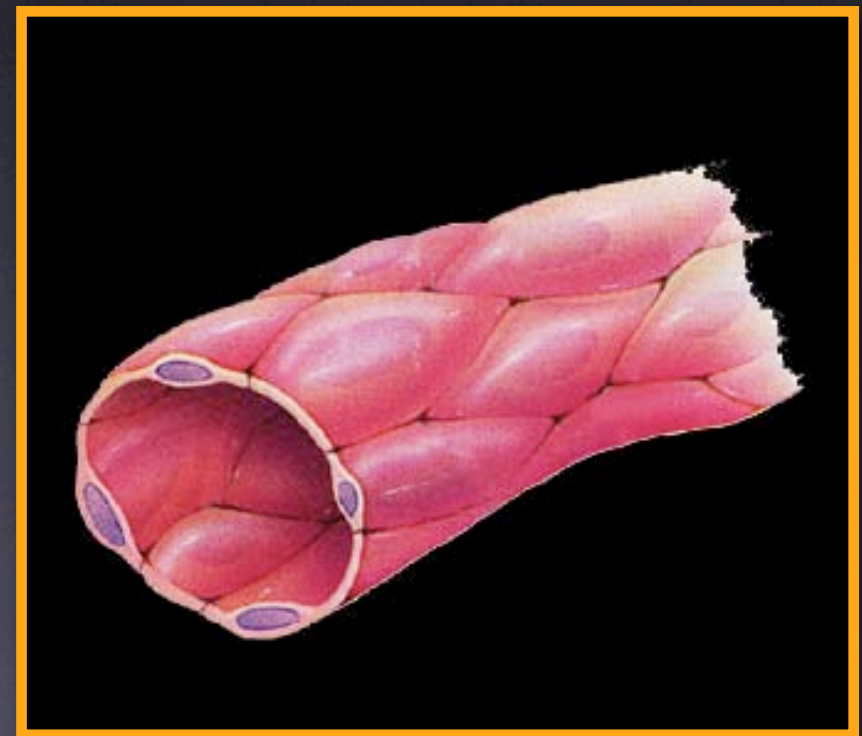
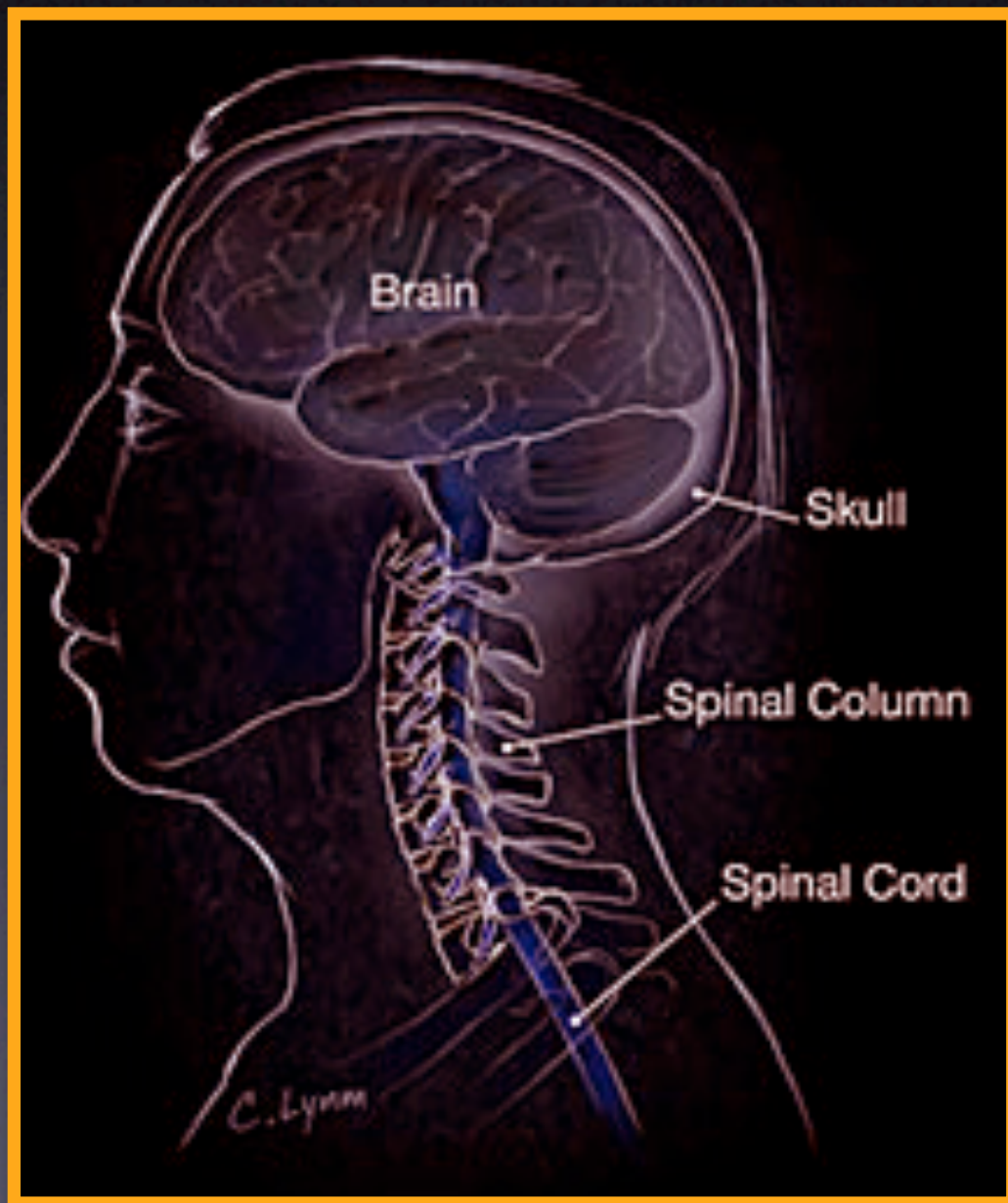
Función cardiocirculatoria

- Circulación músculo esquelética:
 - Vasodilatación local
 - Nuevos vasos sanguíneos
 - Aumento número de mitocondrias



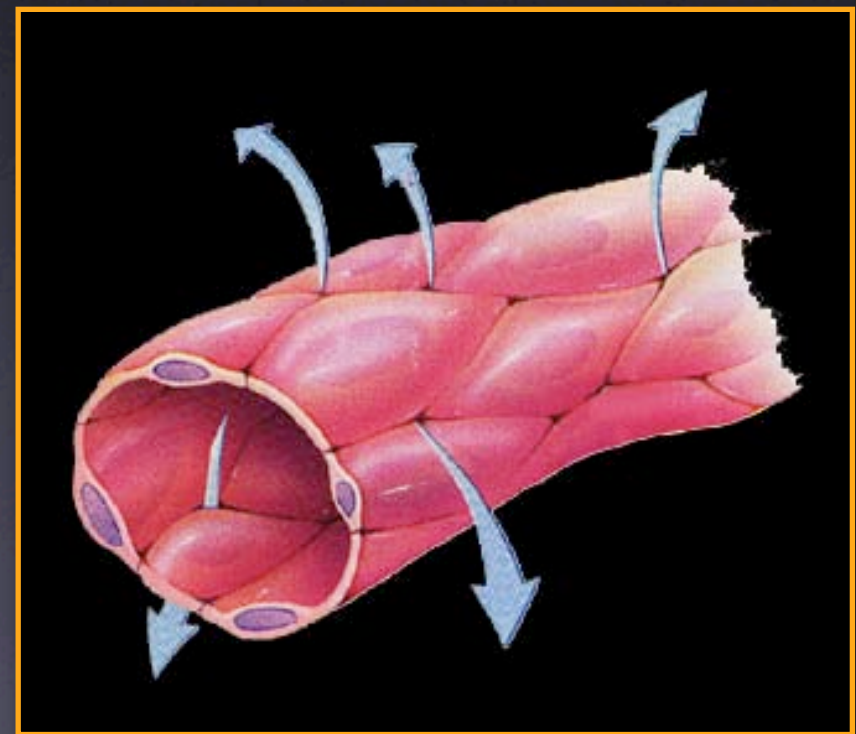
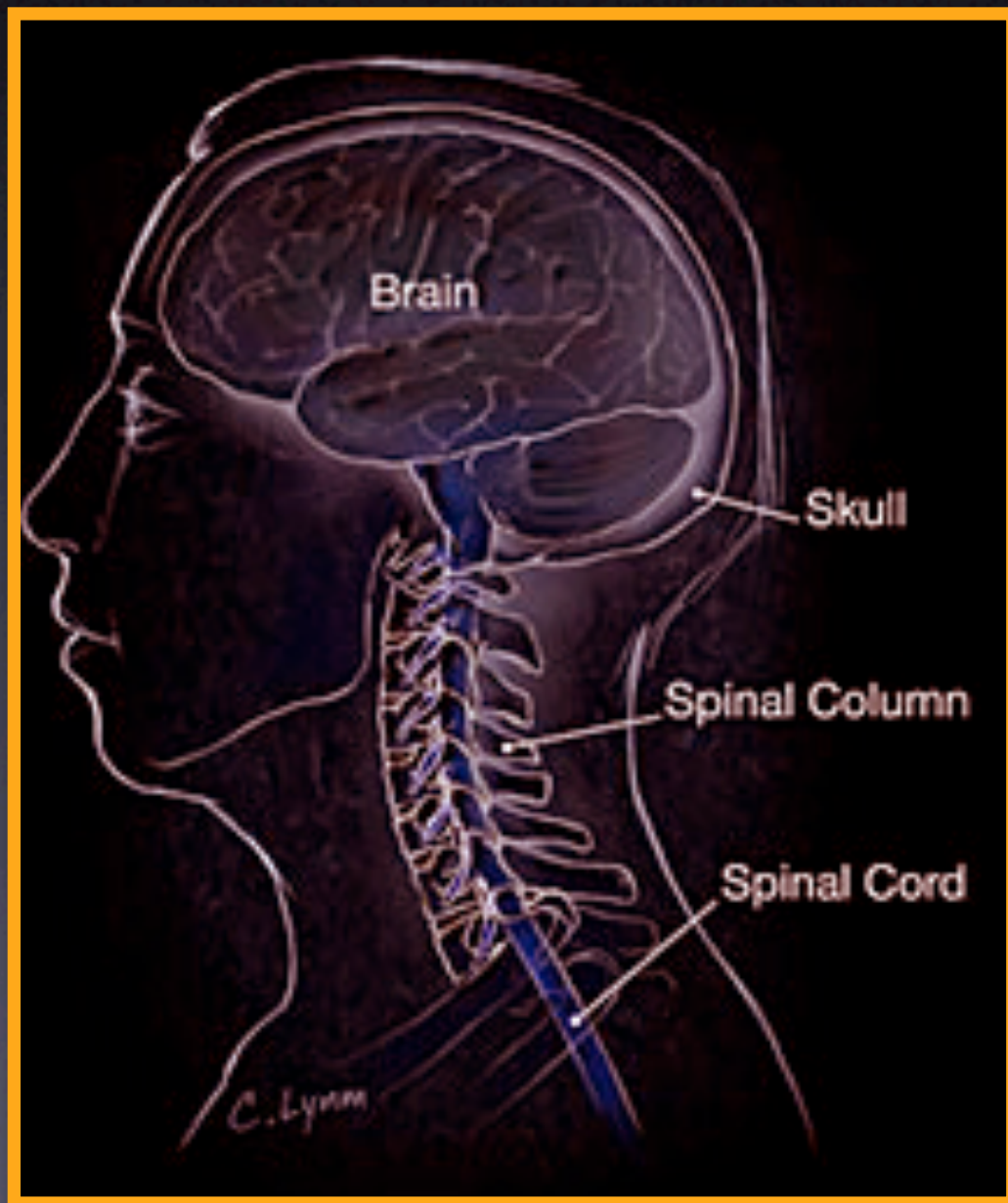
Función cardiocirculatoria

■ Circulación cerebral:



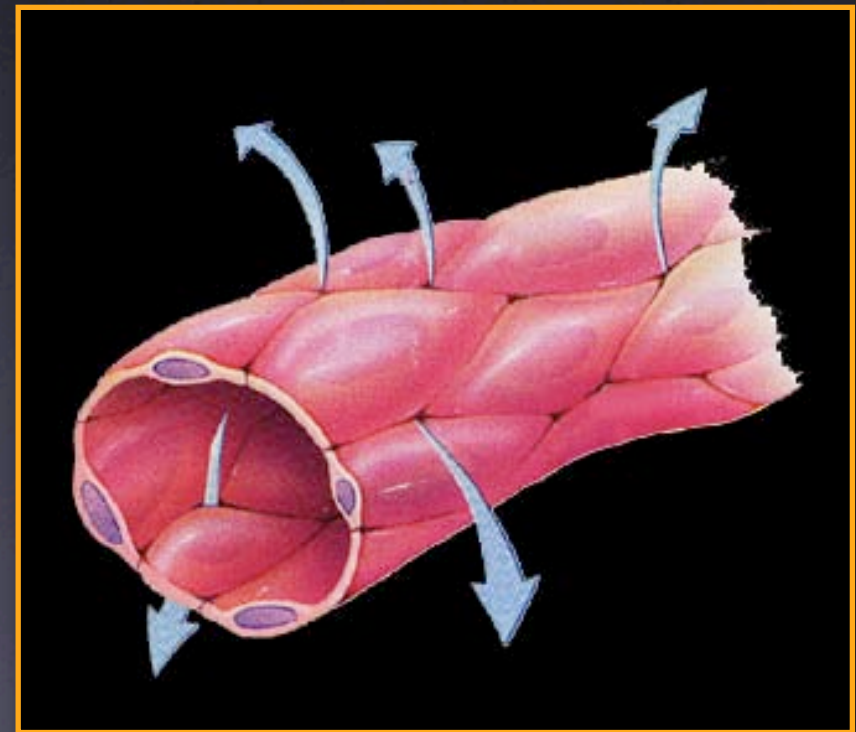
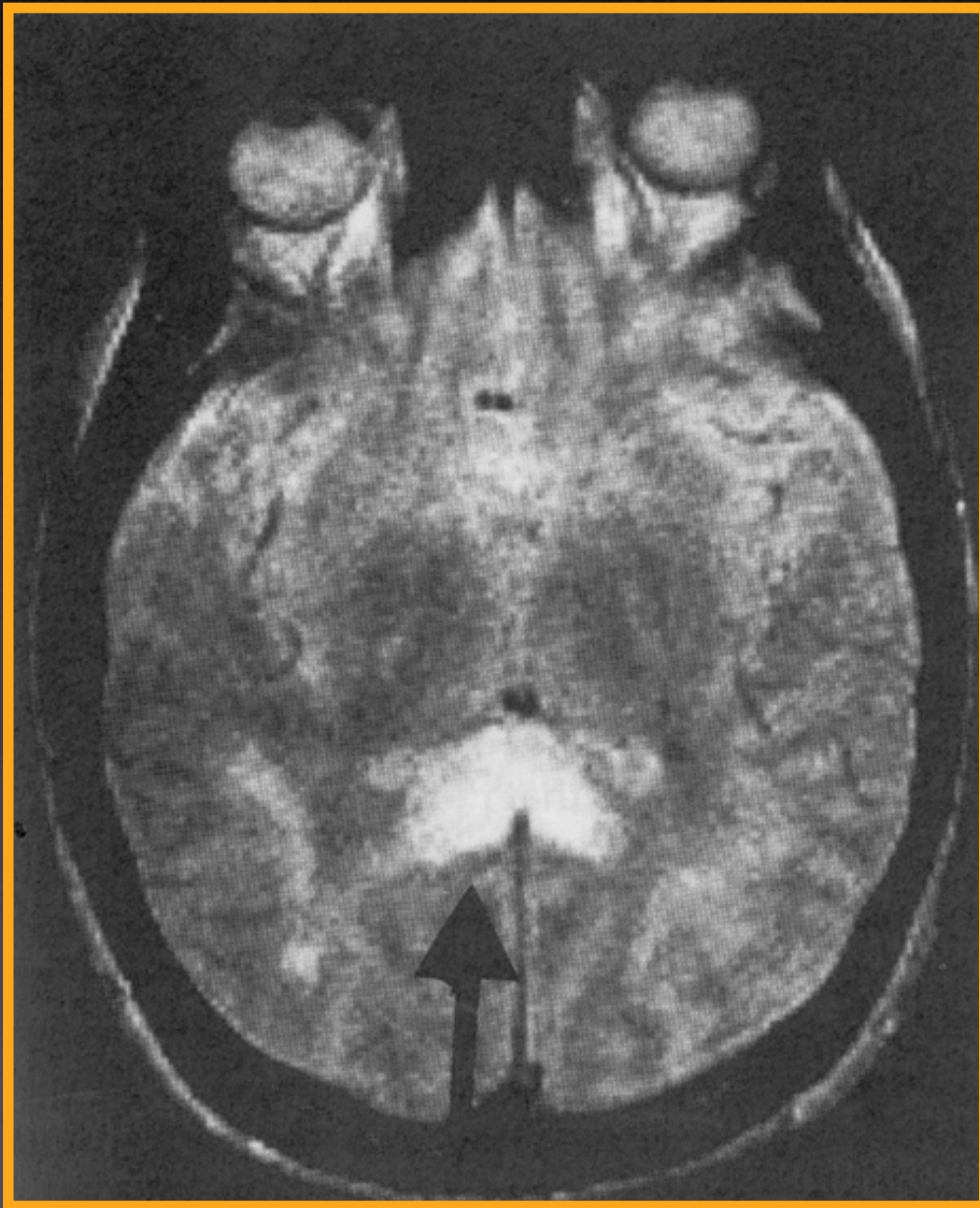
Función cardiocirculatoria

■ Circulación cerebral:



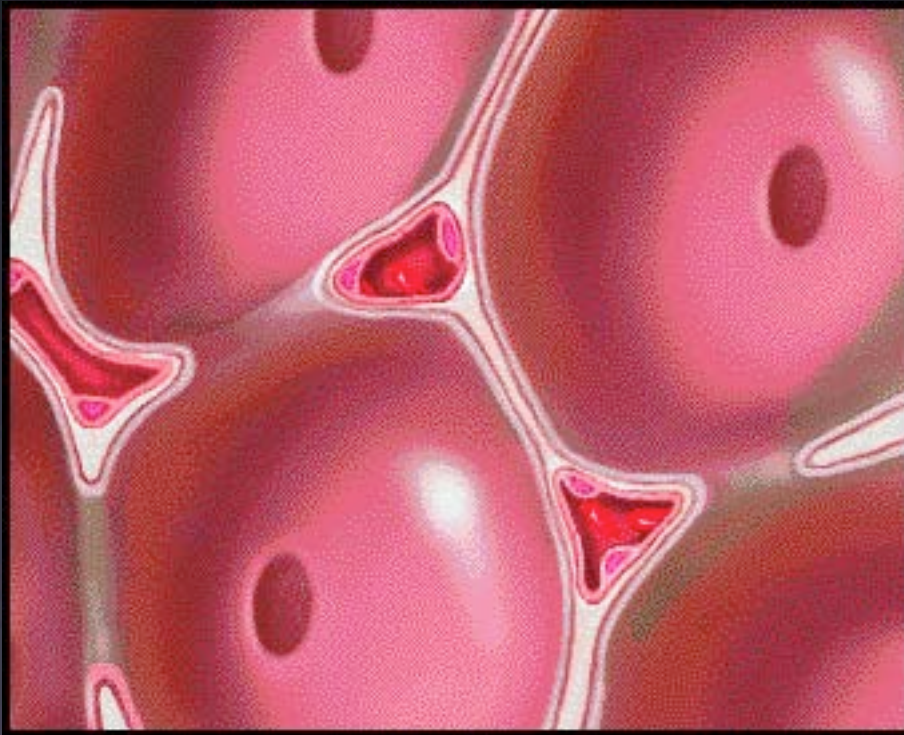
Función cardiocirculatoria

- Circulación cerebral:



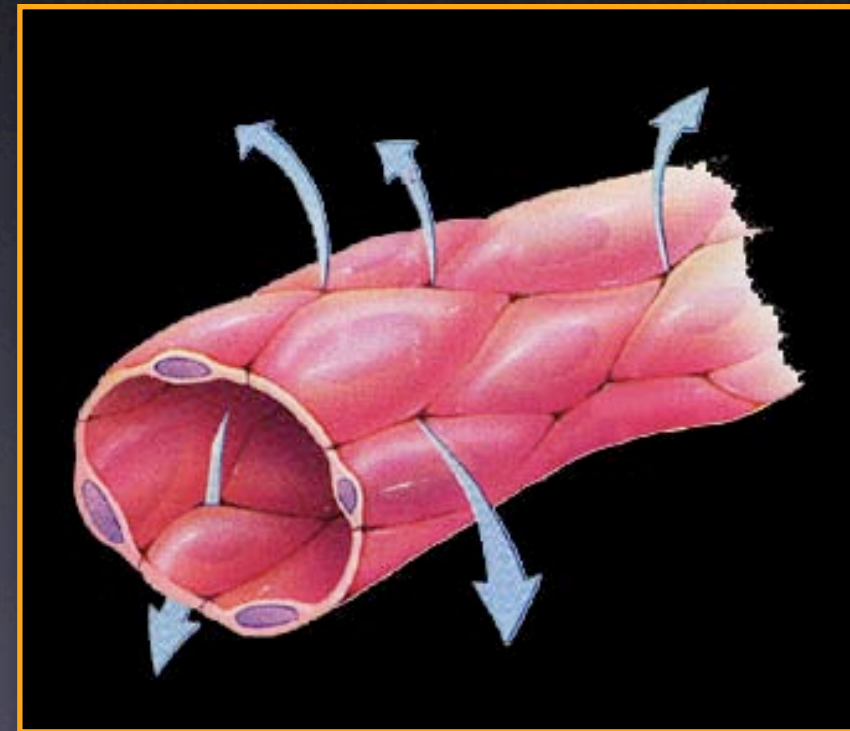
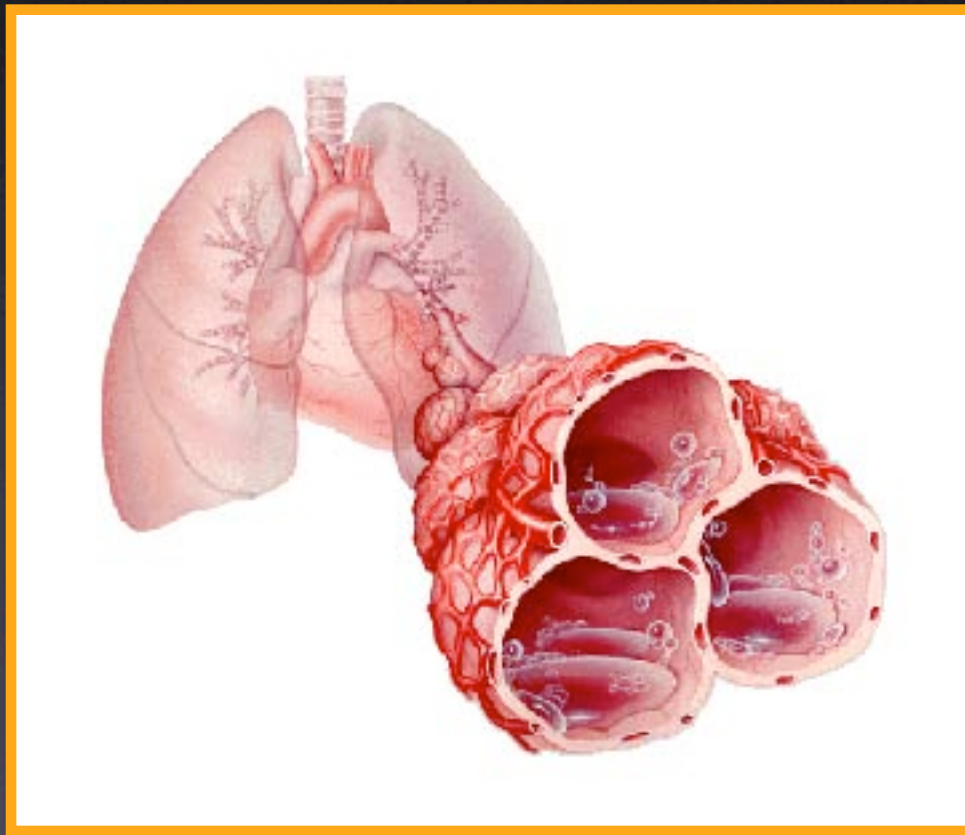
Función cardiocirculatoria

- Circulación pulmonar:



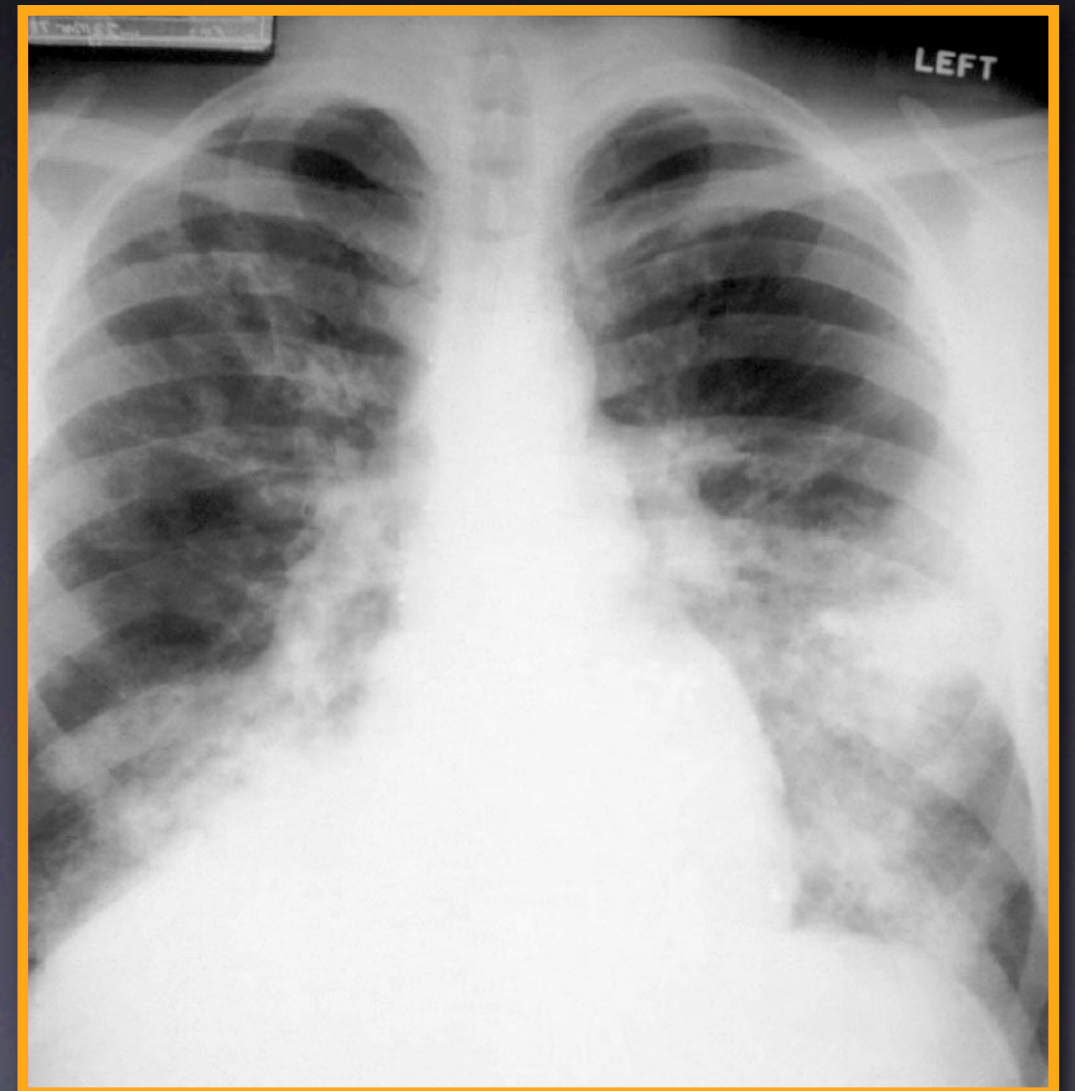
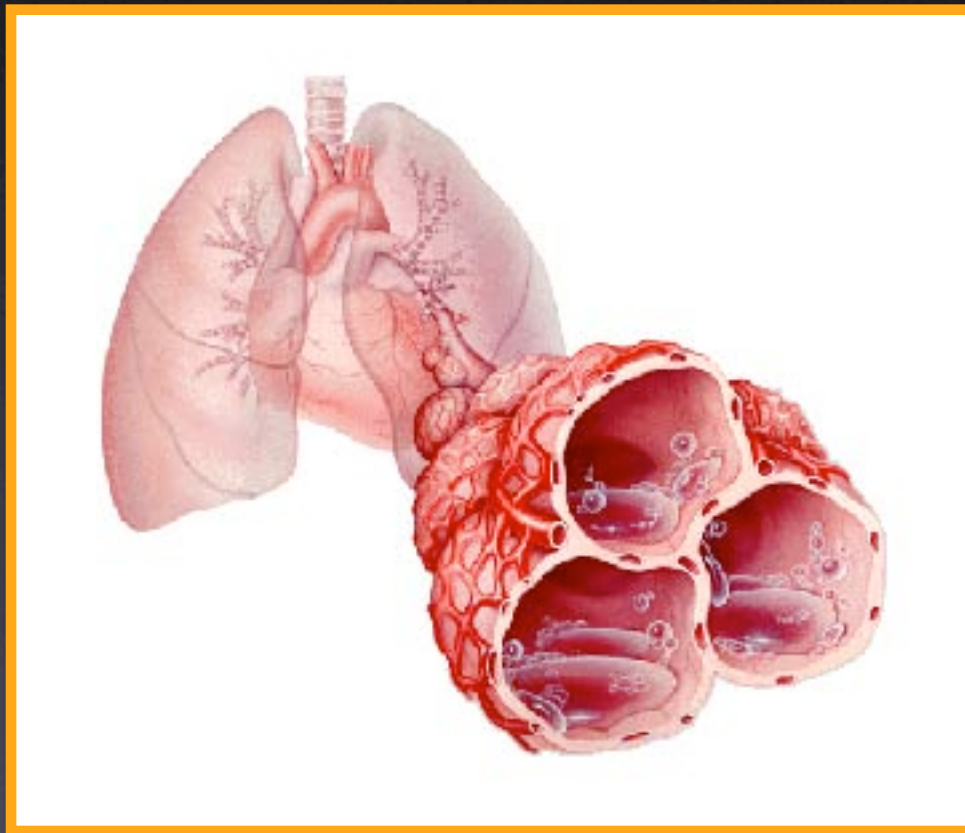
Función cardiocirculatoria

- Circulación pulmonar:



Función cardiocirculatoria

■ Circulación pulmonar:



Enfermedades de altura

- Se dan siempre en personas que han ascendido más rápido que su capacidad de adaptación

Enfermedades de altura

- Se dan siempre en personas que han ascendido más rápido que su capacidad de adaptación
- Las principales son 3:
 1. Mal de altura
(*Enfermedad Aguda de Montaña, Puna*)
 - Mal de altura leve
 - Mal de altura moderado
 2. Edema cerebral de altura
 3. Edema pulmonar de altura

Enfermedades de altura

Factores de riesgo

- Los más importantes son:
 - velocidad de ascenso
 - altitud alcanzada

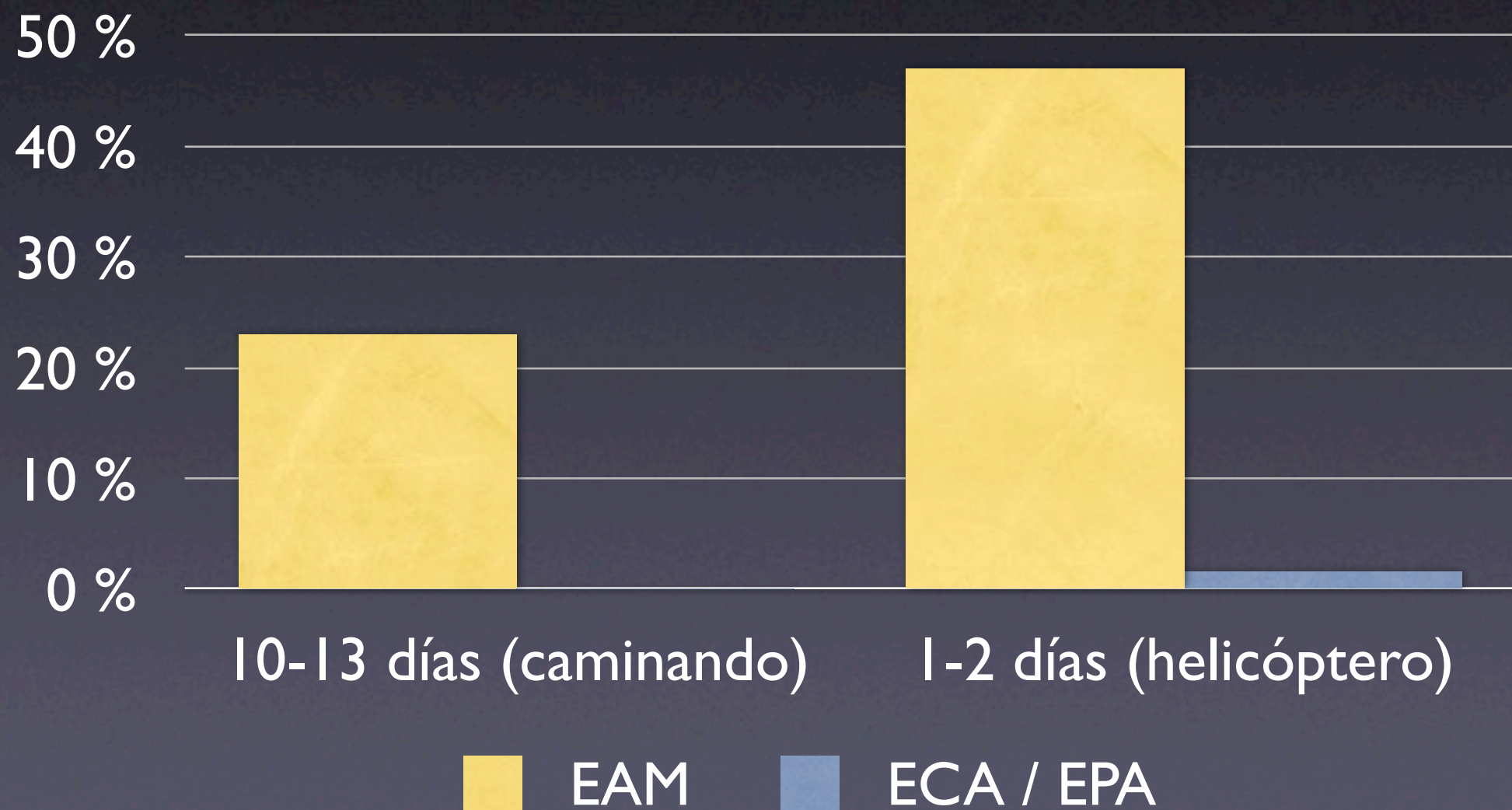


Enfermedades de altura

Factores de riesgo

■ Velocidad de ascenso:

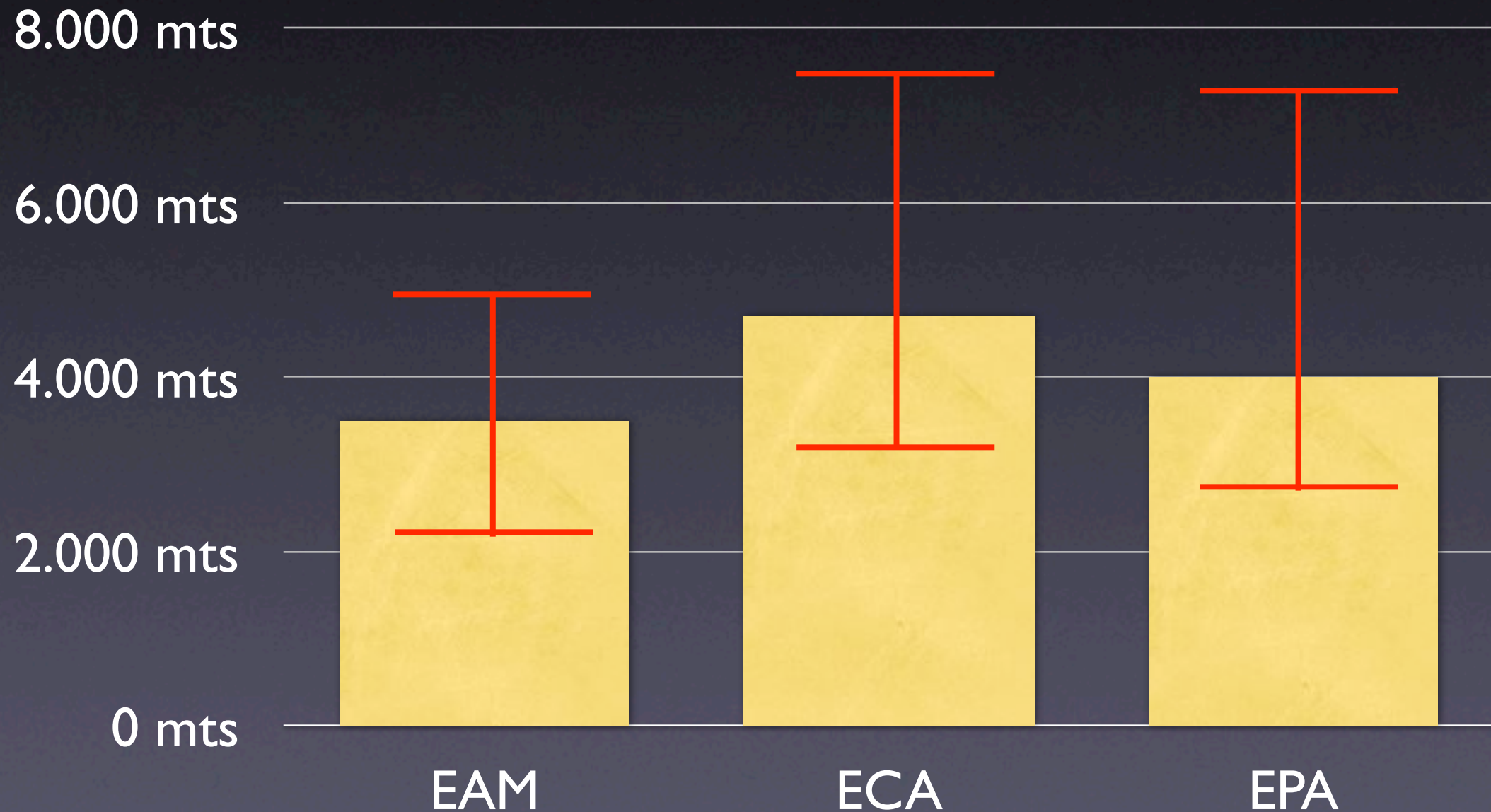
Trekking CB Mt. Everest (5500 msnm)



Enfermedades de altura

Factores de riesgo

■ Altitud alcanzada:



Enfermedades de altura

Enfermedades de altura

Mal de altura leve (EAM leve) Dolor de cabeza más náuseas, mareo y/o fatiga durante las primeras 12 hrs de exposición rápida a la altura (>2500 mts)	Detener ascenso y aclimatar o descender mínimo 500 mts	Mortalidad: 0%
	Medicamentos: ibuprofeno acetazolamida	

Enfermedades de altura

<p>Mal de altura leve (EAM leve)</p> <p>Dolor de cabeza más náuseas, mareo y/o fatiga durante las primeras 12 hrs de exposición rápida a la altura (>2500 mts)</p>	<p>Detener ascenso y aclimatar o descender mínimo 500 mts</p> <p>Medicamentos: ibuprofeno acetazolamida</p>	<p>Mortalidad: 0%</p>
<p>Mal de altura moderado (EAM moderado)</p> <p>Dolor de cabeza moderado a severo más náuseas, vómitos, mareo, fatiga y/o insomnio después de las</p>	<p>Descender 500 mts. o más</p> <p>Alternativas: Oxígeno Gamow bag</p> <p>Medicamentos: ibuprofeno acetazolamida dexametasona</p>	

Enfermedades de altura

ECA EAM por 24 o más horas + ataxia (falta de coordinación) y/o compromiso de conciencia	Evacuación y descenso inmediato Alternativas: Oxígeno Gamow bag Medicamentos	Mortalidad: ±13%
	Medicamentos: ibuprofeno acetazolamida dexametasona medicamentos para EDA según caso	

Enfermedades de altura

ECA EAM por 24 o más horas + ataxia (falta de coordinación) y/o compromiso de conciencia	Evacuación y descenso inmediato Alternativas: Oxígeno Gamow bag Medicamentos	Mortalidad: $\pm 13\%$
	Medicamentos: ibuprofeno acetazolamida dexametasona medicamentos para EPA según sean	
EPA EAM por 24 o más horas + Tos con expectoración, debilidad severa, cianosis, taquicardia, taquipnea y/o	Oxígeno Descender con ejercicio mínimo Alternativas: Gamow bag Medicamentos	Mortalidad: $\pm 5\%$
	Medicamentos: nifedipino medicamentos para EAM y ECA según sean necesarios	

*En los casos de ECA, un tercio de ellos se asocia a EPA

Enfermedades de altura

Acetazolamida

- Uso de acetazolamida:
 - Diurético, actúa en el riñón
 - Disminuye la alcalosis respiratoria
 - Estimula al centro respiratorio (aumenta la RVH)
 - Acelera la aclimatación

Acetazolamida

- Uso de acetazolamida:
 - Diurético, actúa en el riñón
 - Disminuye la alcalosis respiratoria
 - Estimula al centro respiratorio (aumenta la RVH)
 - Acelera la aclimatación
- Prevención: 125-250 mg vo c/12h desde 2 días previos al ascenso hasta día 3 en altura
- Tratamiento: 250 mg vo c/12h hasta que síntomas se resuelvan

Acetazolamida

- Efectos adversos:
 - parestesias (hormigueo) en boca y manos
 - poliuria (aumento excreción orina)
- Contraindicaciones:
 - alergia a sulfas
 - embarazadas

Enfermedades de altura

Gamow bag



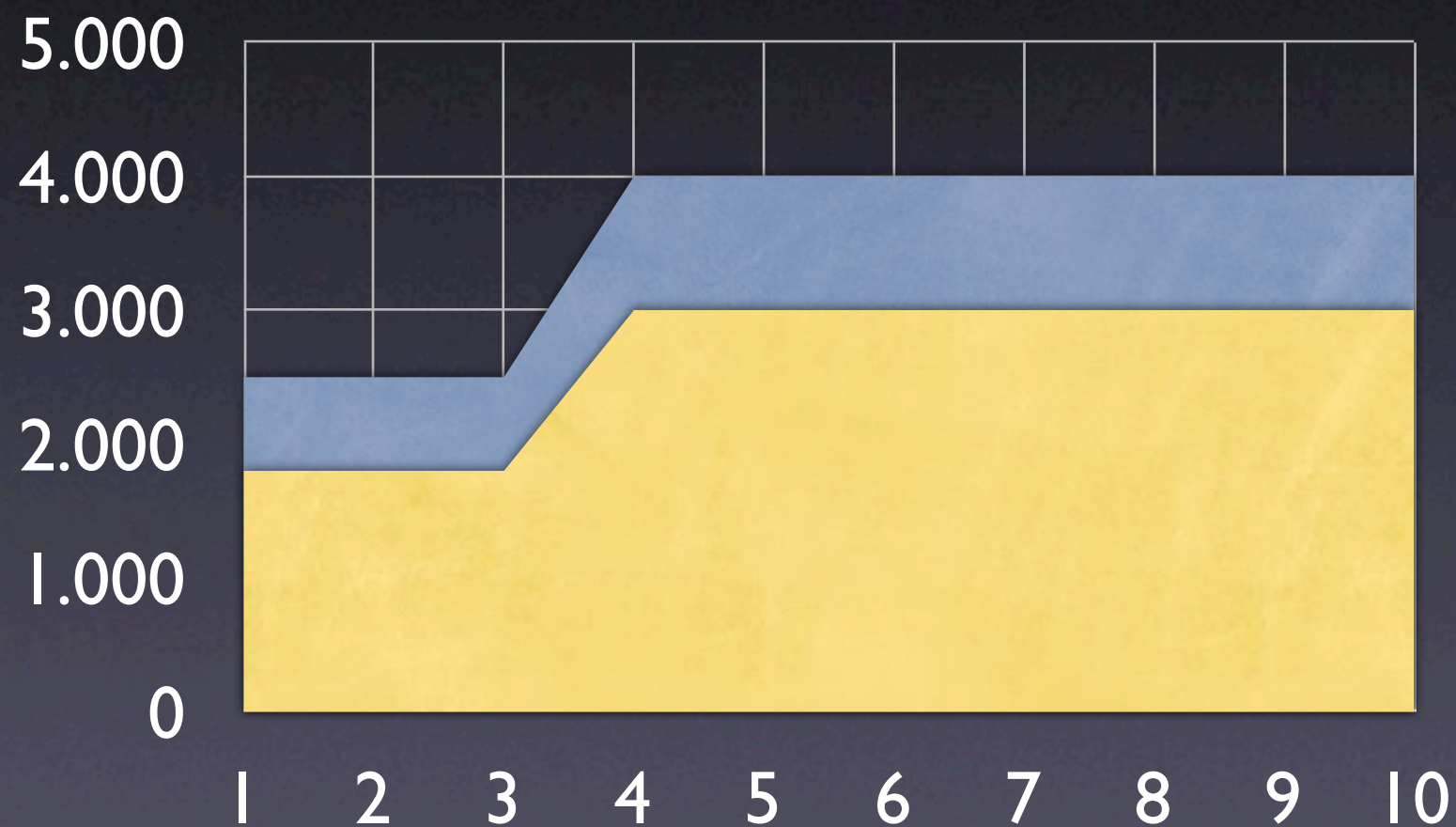
Aclimatación

- Con una etapa intermedia
- Con dos etapas intermedias
- Con ascenso gradual
- Aclimatación para grandes altitudes



Aclimatación

■ Con una etapa intermedia

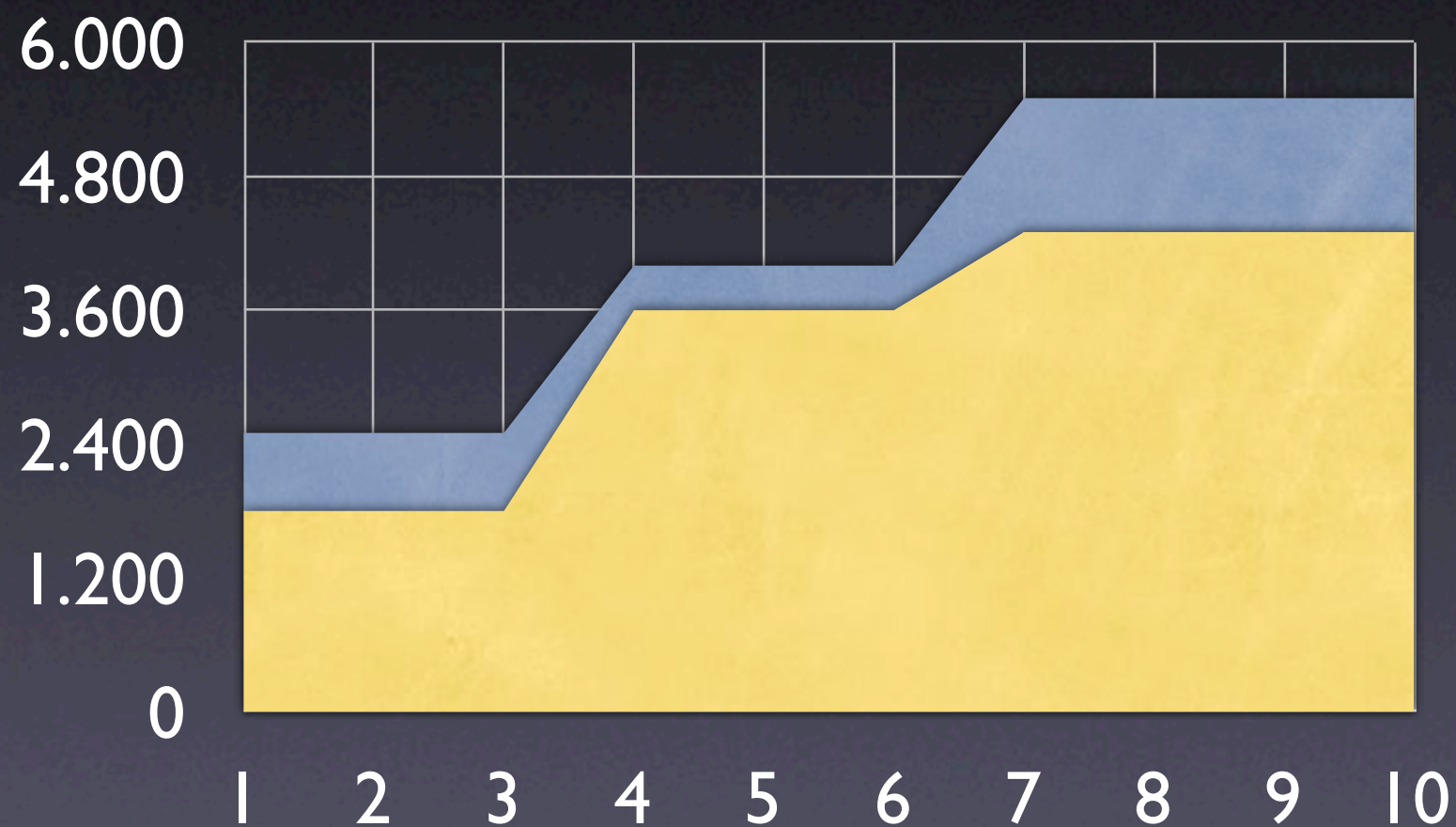


Objetivo: 3000-4000 mts.
Método más usado y efectivo

2-4 x 1800-2500
3000-4000

Aclimatación

■ Con dos etapa intermedias



Objetivo: 4300-5500 mts.

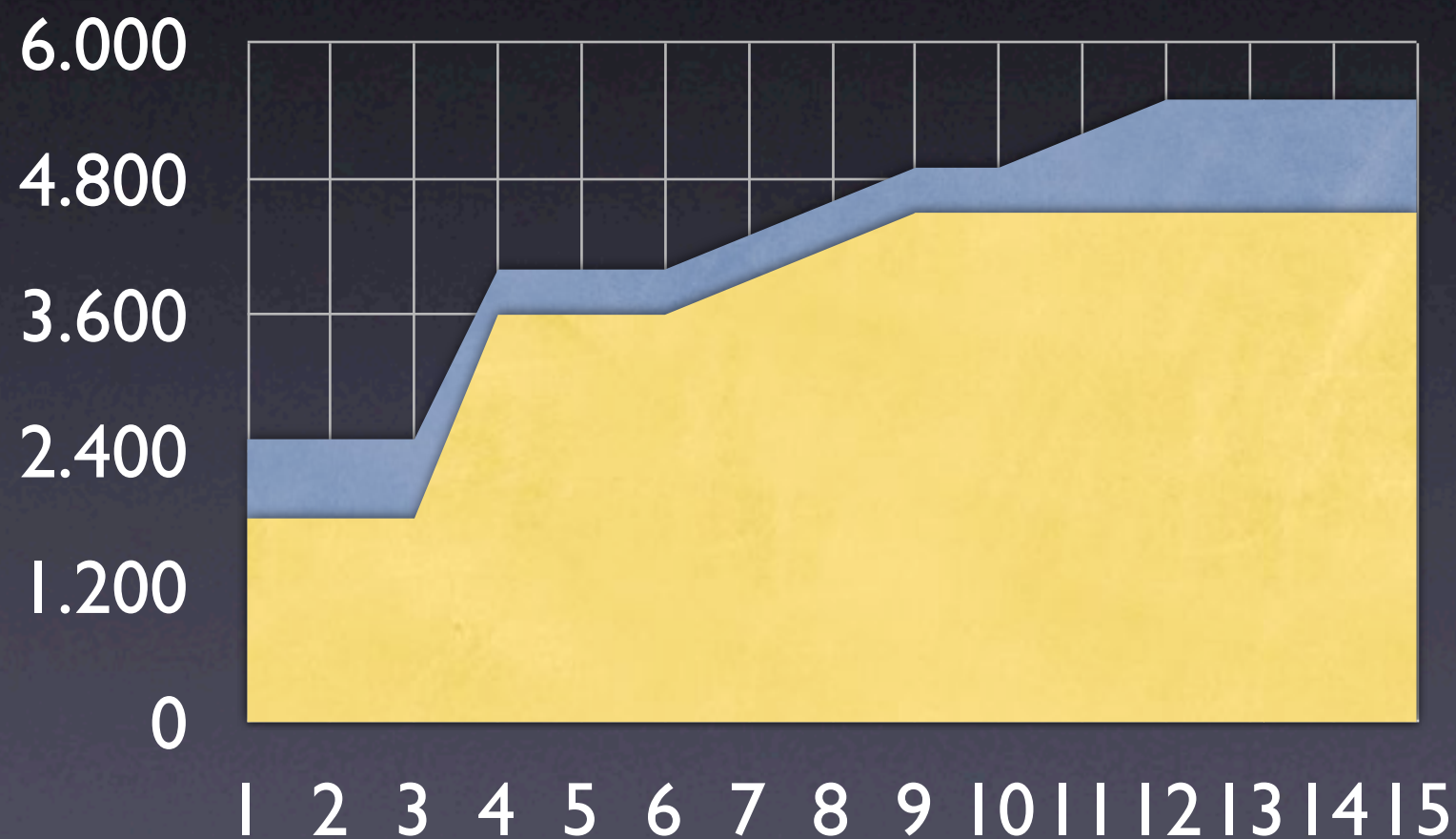
2-4 x 1800-2500

2-4 x 3600-4000

4300-5000

Aclimatación

■ Con ascenso gradual



Objetivo: 4300-5500 mts.

2-4 x 1800-2500

2-4 x 3600-4000

Sobre 4000 máx. 300 m/día

Cada 3 días, 1 día de descanso

Si se ha ascendido más de 300 mts en el día, tomar 2 días de descanso

Aclimatación

■ Para grandes altitudes



Objetivo: sobre 5500 mts.

Usar alguna de las formas de ascenso hasta los 5500

Instalar campamento base máx en los 5500

Instalar campamentos superiores en 2-3 semanas

Intentar pasar la menor cantidad de tiempo sobre los 5500 msnm

Función cerebral y sistema nervioso central



Función cerebral y sistema nervioso central



- El cerebro es uno de los órganos más sensible a la hipoxia
- Dependiendo de la altura y del tiempo en ella habrán cambios desde funciones sensoriales hasta funciones superiores

Función cerebral

Altitud	Saturación de oxígeno	Efectos
1500 - 3500 msnm	85 - 95%	Puede haber déficit sensitivo mínimo (visión)

Función cerebral

Altitud	Saturación de oxígeno	Efectos
1500 - 3500 msnm	85 - 95%	Puede haber déficit sensitivo mínimo (visión)
3500 - 5000 msnm	65 - 85%	Puede haber déficit mental mínimo

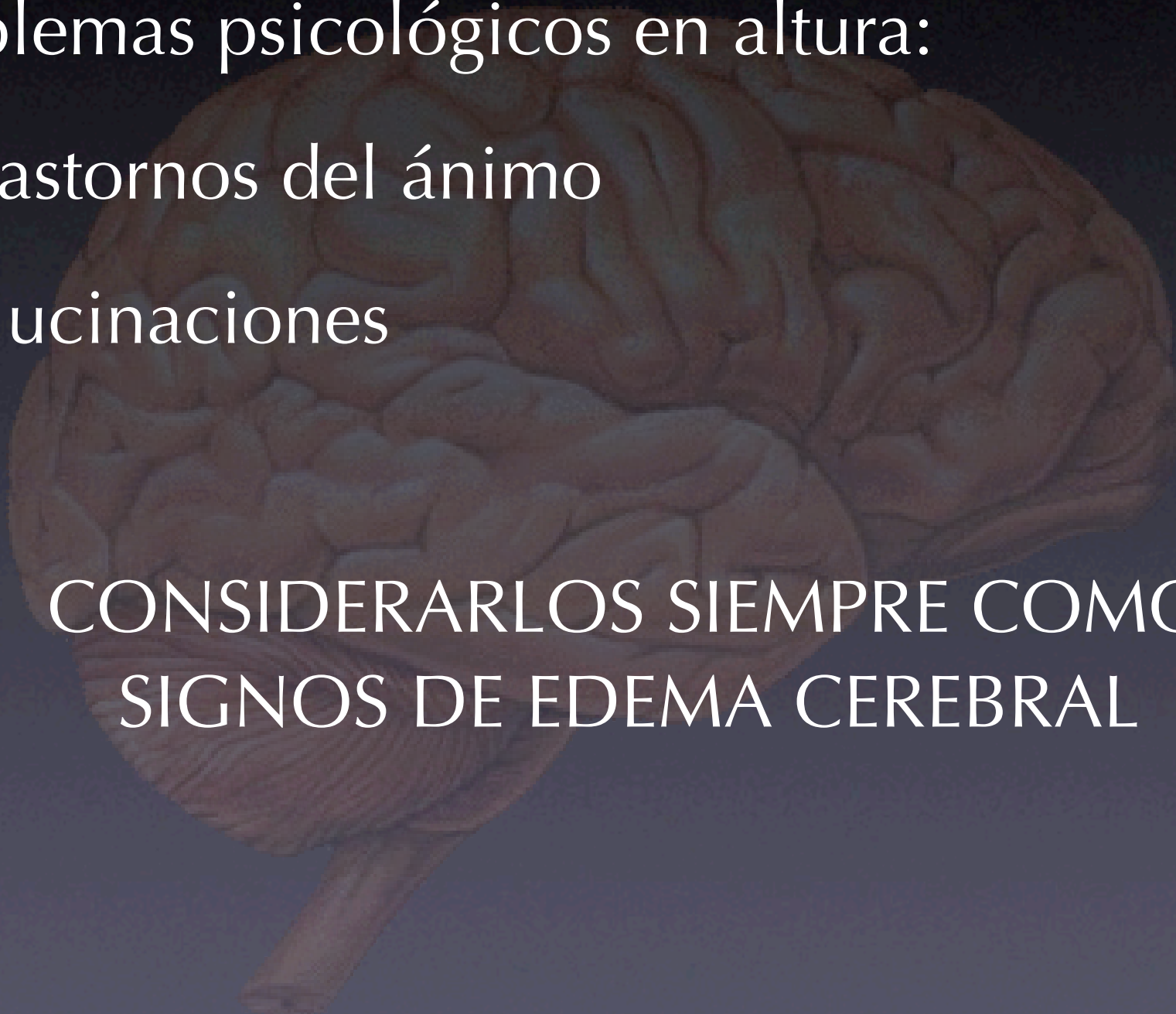
Función cerebral

Altitud	Saturación de oxígeno	Efectos
1500 - 3500 msnm	85 - 95%	Puede haber déficit sensitivo mínimo (visión)
3500 - 5000 msnm	65 - 85%	Puede haber déficit mental mínimo
5000 - 6700 msnm	menor o igual a 65%	Puede haber compromiso de conciencia y déficit en funciones motoras

Función cerebral

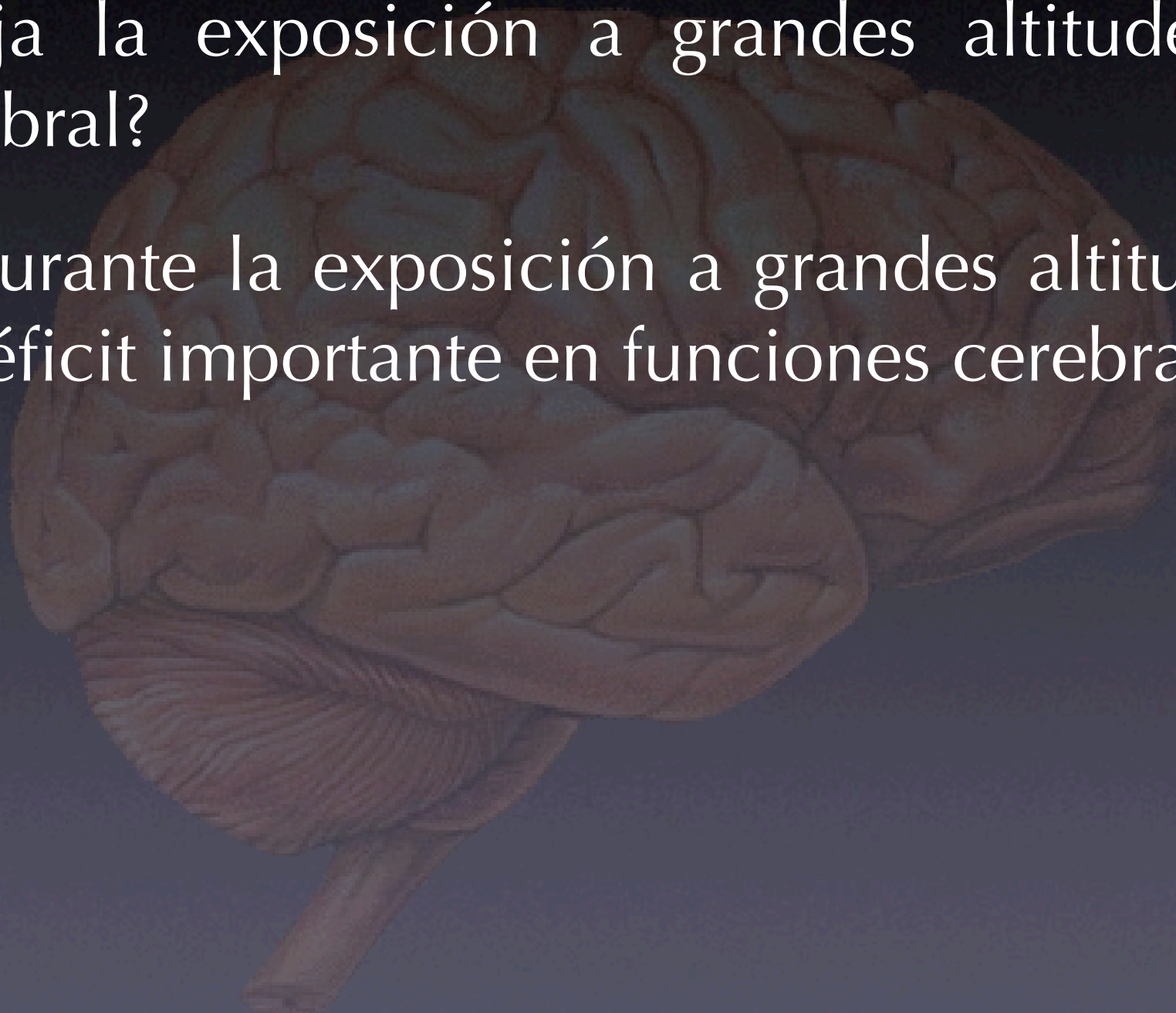
- Problemas psicológicos en altura:
 - Trastornos del ánimo
 - Alucinaciones

CONSIDERARLOS SIEMPRE COMO
SIGNOS DE EDEMA CEREBRAL



Daño cerebral residual

- ¿Deja la exposición a grandes altitudes daño cerebral?
- Durante la exposición a grandes altitudes hay déficit importante en funciones cerebrales

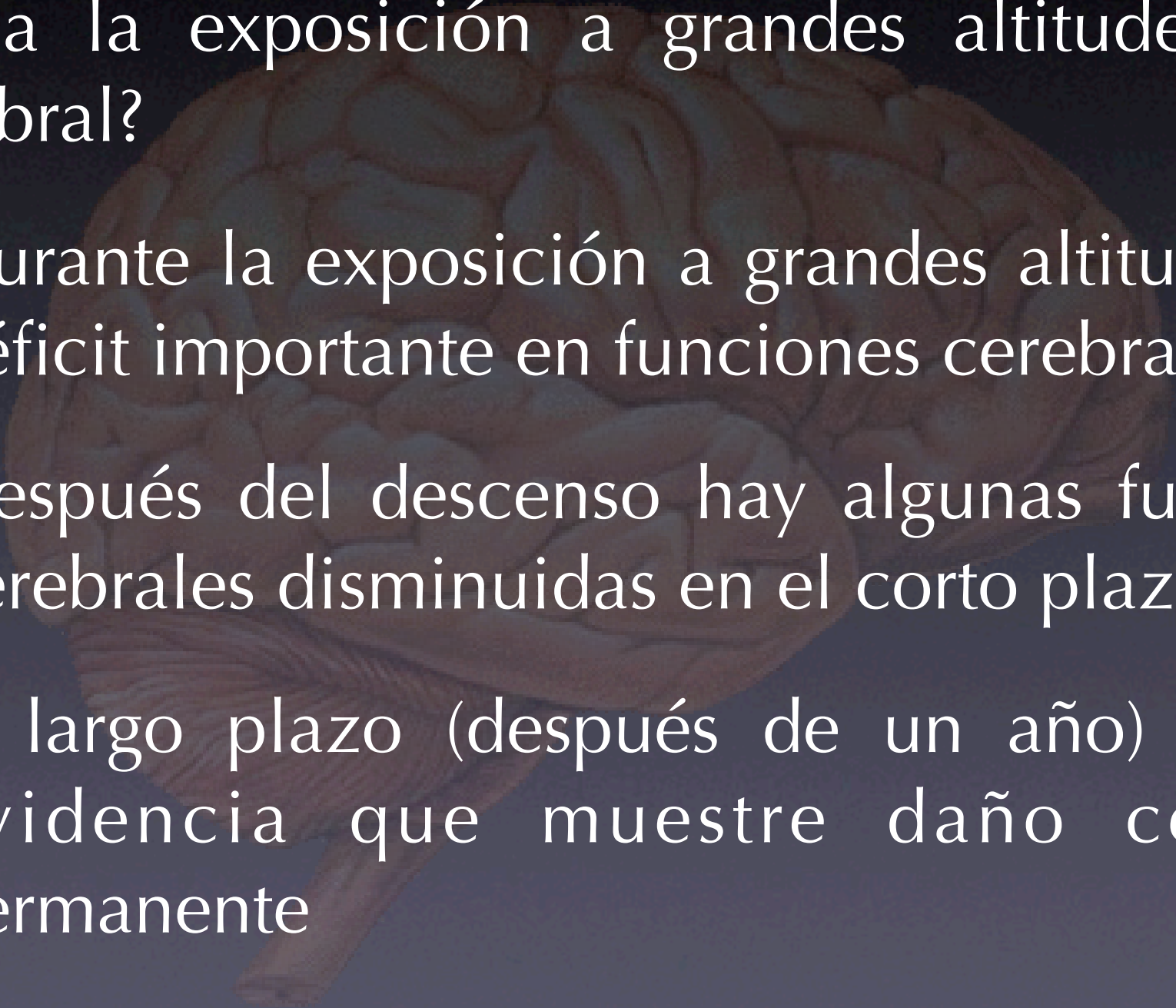


Daño cerebral residual

- ¿Deja la exposición a grandes altitudes daño cerebral?
- Durante la exposición a grandes altitudes hay déficit importante en funciones cerebrales
- Después del descenso hay algunas funciones cerebrales disminuidas en el corto plazo



Daño cerebral residual

- ¿Deja la exposición a grandes altitudes daño cerebral?
 - Durante la exposición a grandes altitudes hay déficit importante en funciones cerebrales
 - Después del descenso hay algunas funciones cerebrales disminuidas en el corto plazo
 - A largo plazo (después de un año) no hay evidencia que muestre daño cerebral permanente
- 

Límites del ser humano en altura

- ¿Hasta qué altitud puede vivir una persona?

Límites del ser humano en altura

- ¿Hasta qué altitud puede vivir una persona?
- Desde los 5500 msnm comienza a darse el “deterioro de la altura”

Límites del ser humano en altura

- ¿Hasta qué altitud puede vivir una persona?
- Desde los 5500 msnm comienza a darse el “deterioro de la altura”
- Desde los 8000 msnm este deterioro se acelera y es por esto que a esta zona se le llama “zona de la muerte”

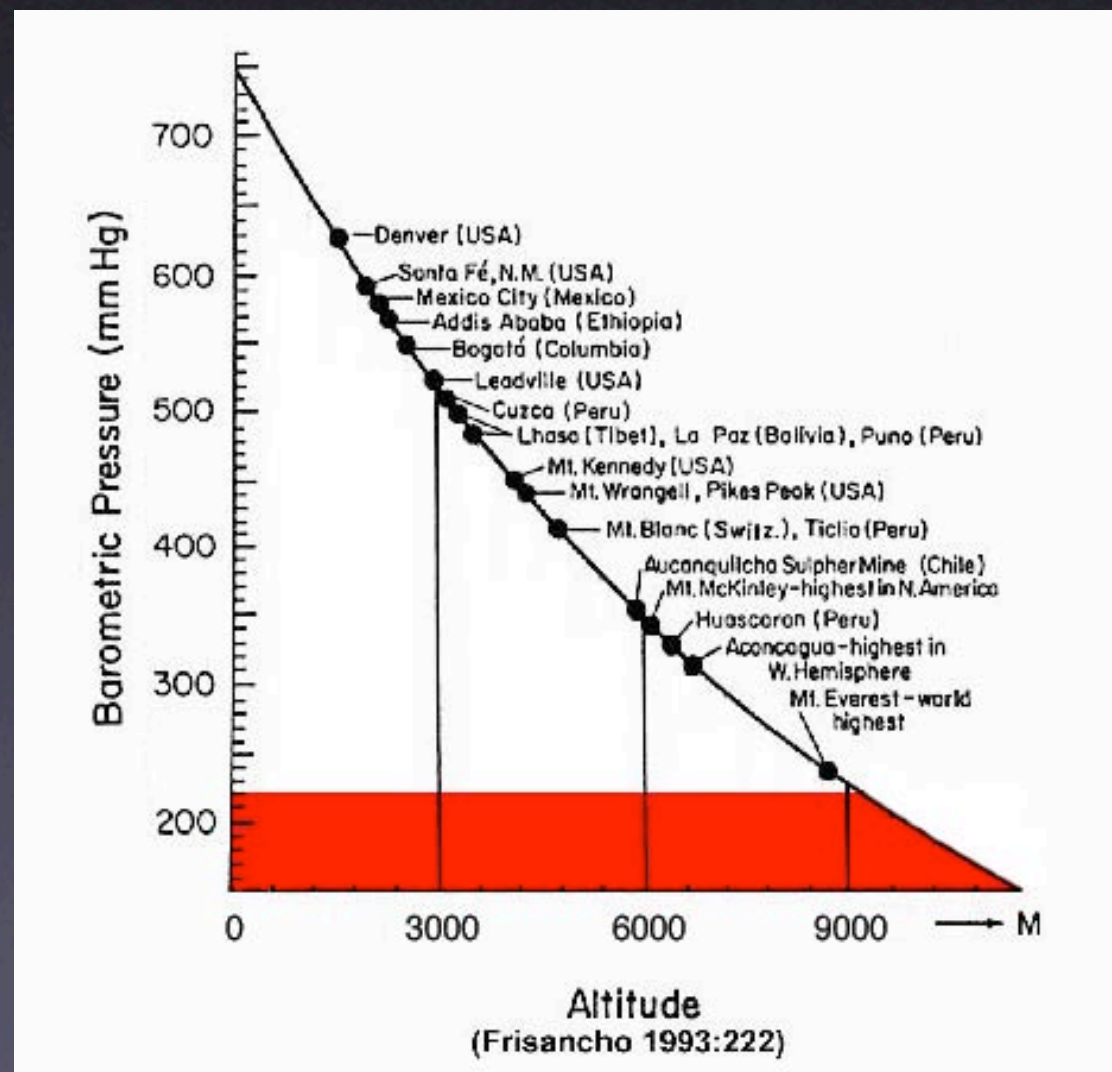
Límites del ser humano en altura



Máximos períodos sin oxígeno suplementario a distintas altitudes
Modificado de Ward 1975

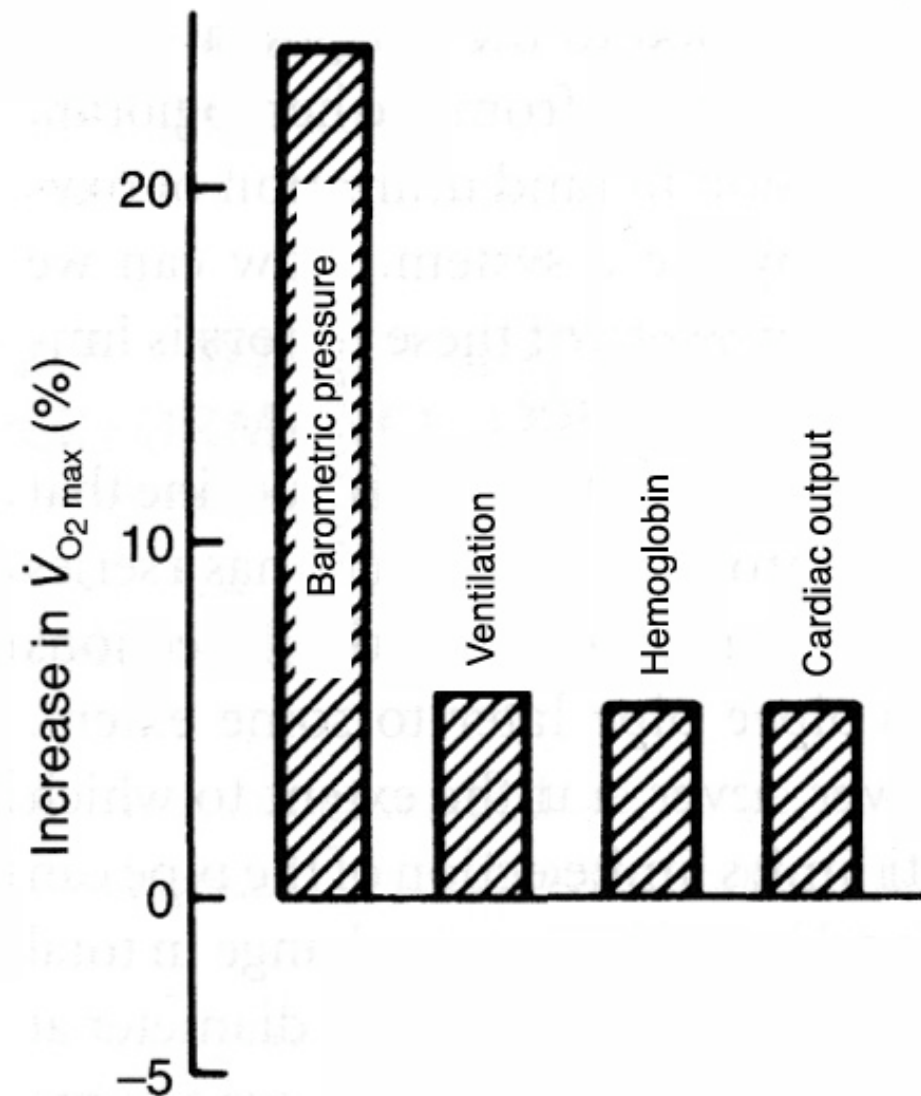
Límites del ser humano en altura

- ¿Hasta qué altitud puede ascender el ser humano sin oxígeno suplementario?



Conclusiones

- Adaptación no significa solamente poliglobulia
- Se han estudiado los procesos de adaptación más importantes



Conclusiones

- Las enfermedades de altura más importantes son:
 - Mal de altura (EAM)
 - Edema cerebral de altura
 - Edema pulmonar de altura

Conclusiones

- Las enfermedades de altura más importantes son:
 - Mal de altura (EAM)
 - Edema cerebral de altura
 - Edema pulmonar de altura
- La primera es autolimitada a diferencia de las últimas dos, que pueden provocar la muerte

Conclusiones

- Las enfermedades de altura más importantes son:
 - Mal de altura (EAM)
 - Edema cerebral de altura
 - Edema pulmonar de altura
- La primera es autolimitada a diferencia de las últimas dos, que pueden provocar la muerte
- Todas ellas pueden prevenirse

Conclusiones

- Las enfermedades de altura más importantes son:
 - Mal de altura (EAM)
 - Edema cerebral de altura
 - Edema pulmonar de altura
- La primera es autolimitada a diferencia de las últimas dos, que pueden provocar la muerte
- Todas ellas pueden prevenirse
- La mejor forma de prevención es una buena aclimatación



*“En mi estado de abstracción
espiritual, siento que ya no
pertenezco a mí mismo...”*



... y a mi parecer no soy más que un simple pulmón quejante, flotando sobre las nubes y cumbres”



Reinhold Messner

Primera ascensión sin oxígeno junto a Peter Habeler

8 de Mayo 1978



South

Lhotse
27,890 ft
8,501 m

