

Fattori limitanti la massima potenza aerobica

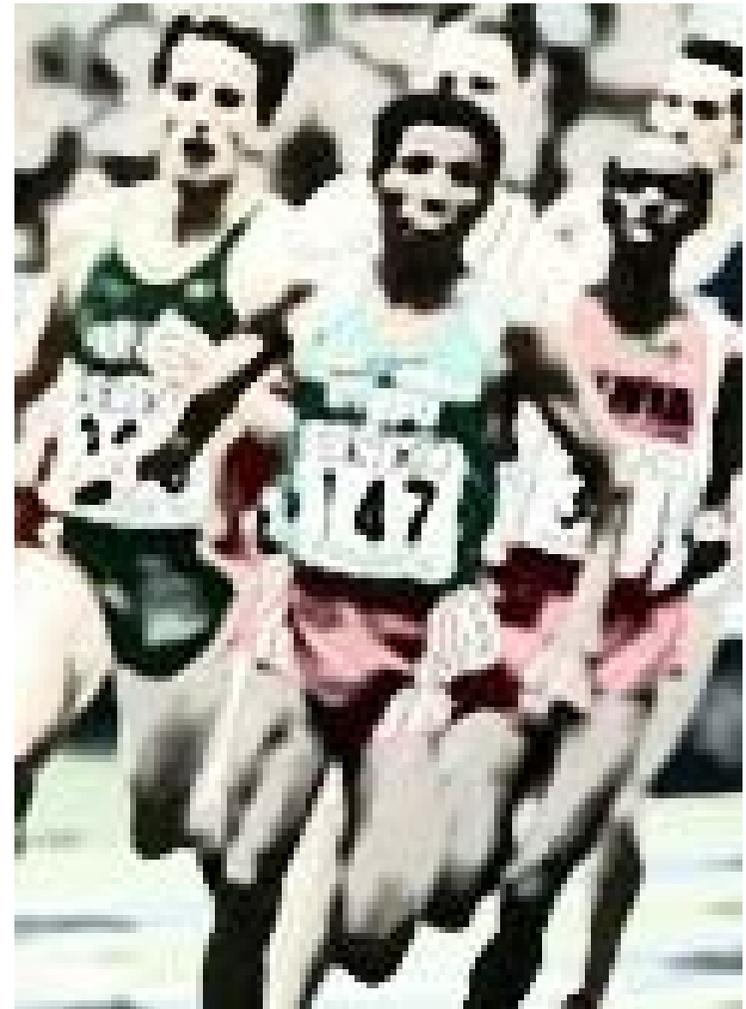
Fisiologia della prestazione sportiva

Università degli Studi di Verona
Scienze Motorie
aa 2012-1013

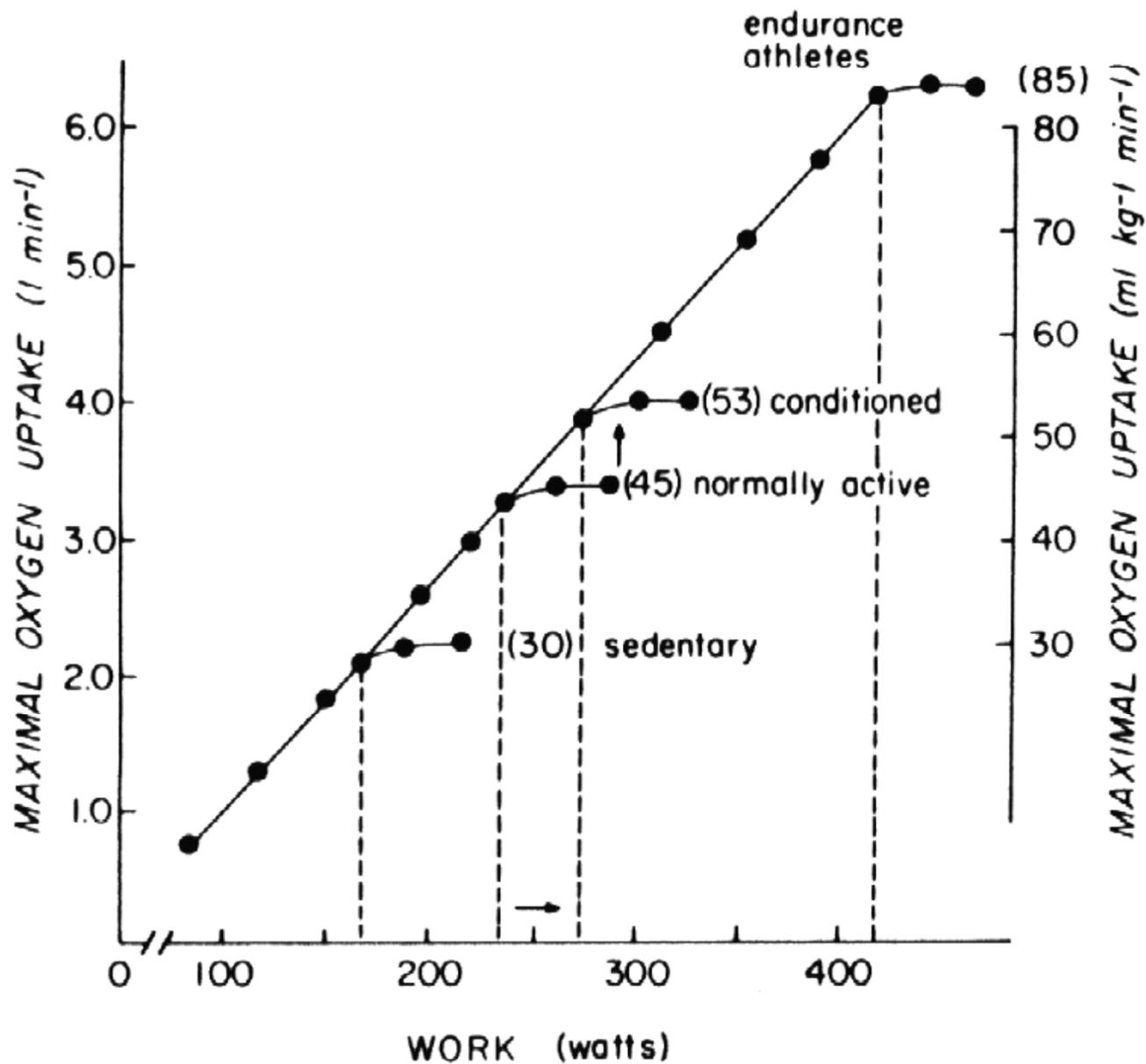
Possibili fattori

Determinanti le prestazioni di endurance/massimo consumo di ossigeno

- Respirazione
- Circolazione centrale
- Perfusione periferica
- Metabolismo muscolare



Gli atleti hanno elevati $V'O_{2max}$



Rowell (1993)

Cosa limita il $\dot{V}'O_{2\max}$?

Potenziiali fattori limitanti:

1) Respirazione

- a. O_2 diffusion
- b. Ventilation
- c. Alveolar ventilation: perfusion ratio
- d. Hb - O_2 affinity

2) Circolazione centrale

- a. Cardiac output
(heart rate, stroke volur)
- b. Arterial blood pressure
- c. Hb concentration

3) Perfusione periferica

- a. Flow to non-exercising regions
- b. Muscle blood flow
- c. Muscle capillary density
- d. O_2 diffusion
- e. Muscle vascular conductance
- f. O_2 extraction
- g. Hb - O_2 affinity

4) Metabolismo muscolare

- a. Enzymes and oxidative potential
- b. Energy stores
- c. Myoglobin
- d. Mitochondria - size and number
- e. Muscle mass and fiber type
- f. Substrate delivery



Rowell (1993)

Cosa limita il $\dot{V}O_{2\max}$?

Dove agiscono ?

$$\dot{V}O_2 = V_S \times f_H \times \Delta O_{2av}$$

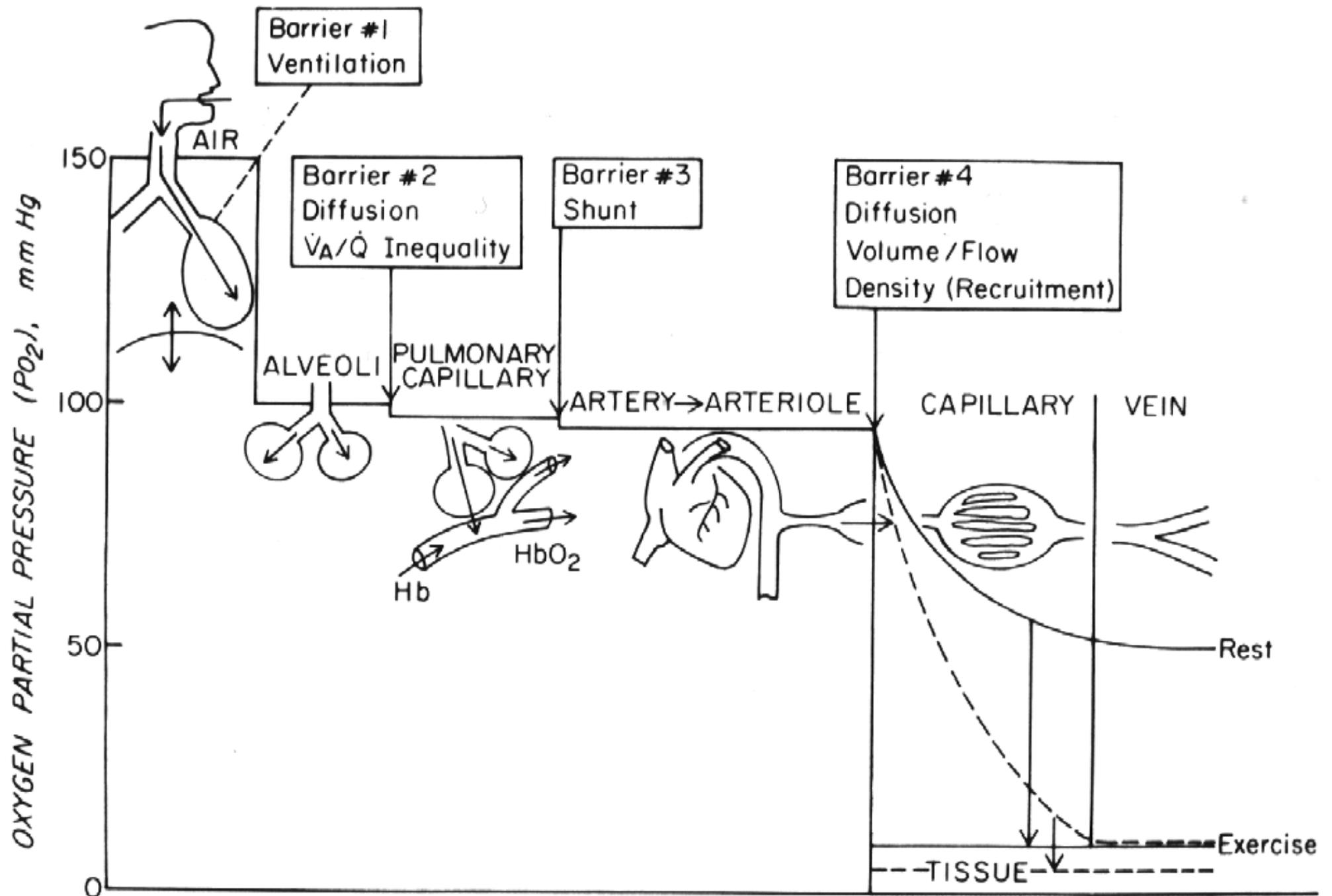
Circolazione centrale

P_{aO_2} dipende dalla respirazione e dalla circolazione centrale

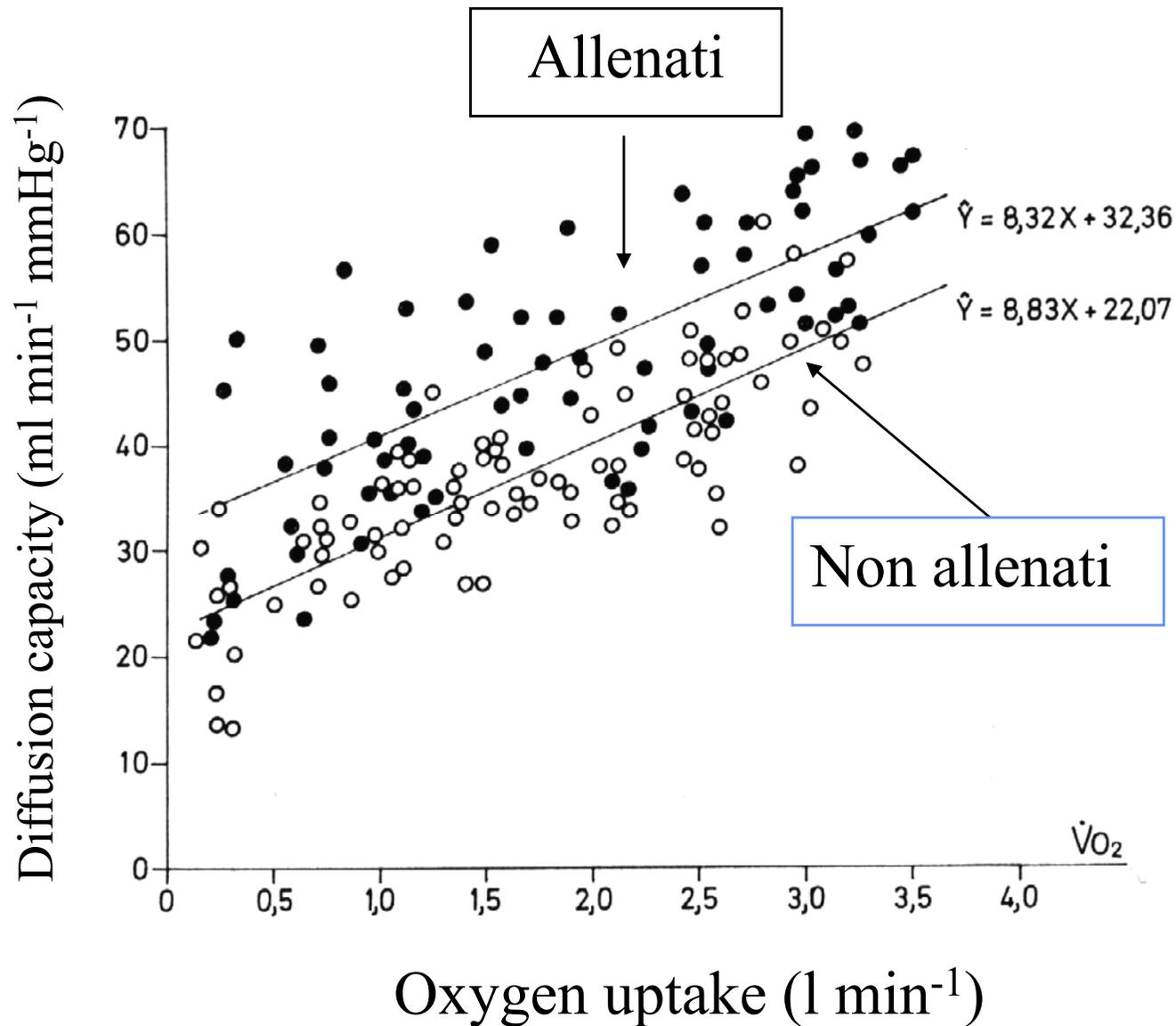
P_{vO_2} dipende dal metabolismo muscolare e dalla perfusione periferica

V_S Volume di eiezione
 f_H Frequenza cardiaca
 ΔO_{2av} differenza artero-venosa
 O_2

Sono i polmoni ?



Sono i polmoni ?

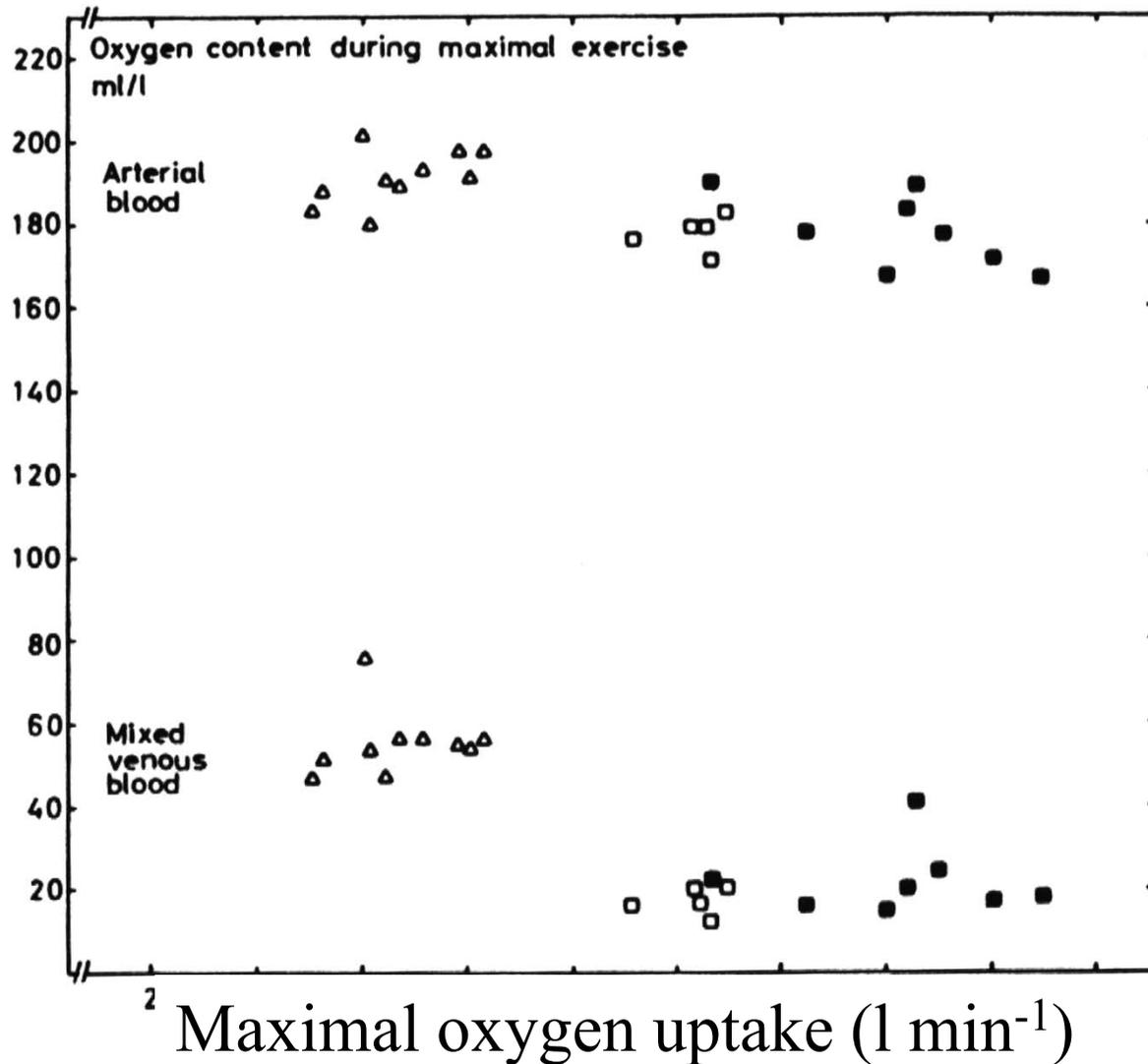


Allenamento aerobico
⇒ capacità di
diffusione
polmonare ↑ ⇒ più
O₂ può entrare nel
sangue alla stessa
P_{O₂}.

Scarsi effetti.

Yamaji et al. (1972)

Sono i polmoni ?



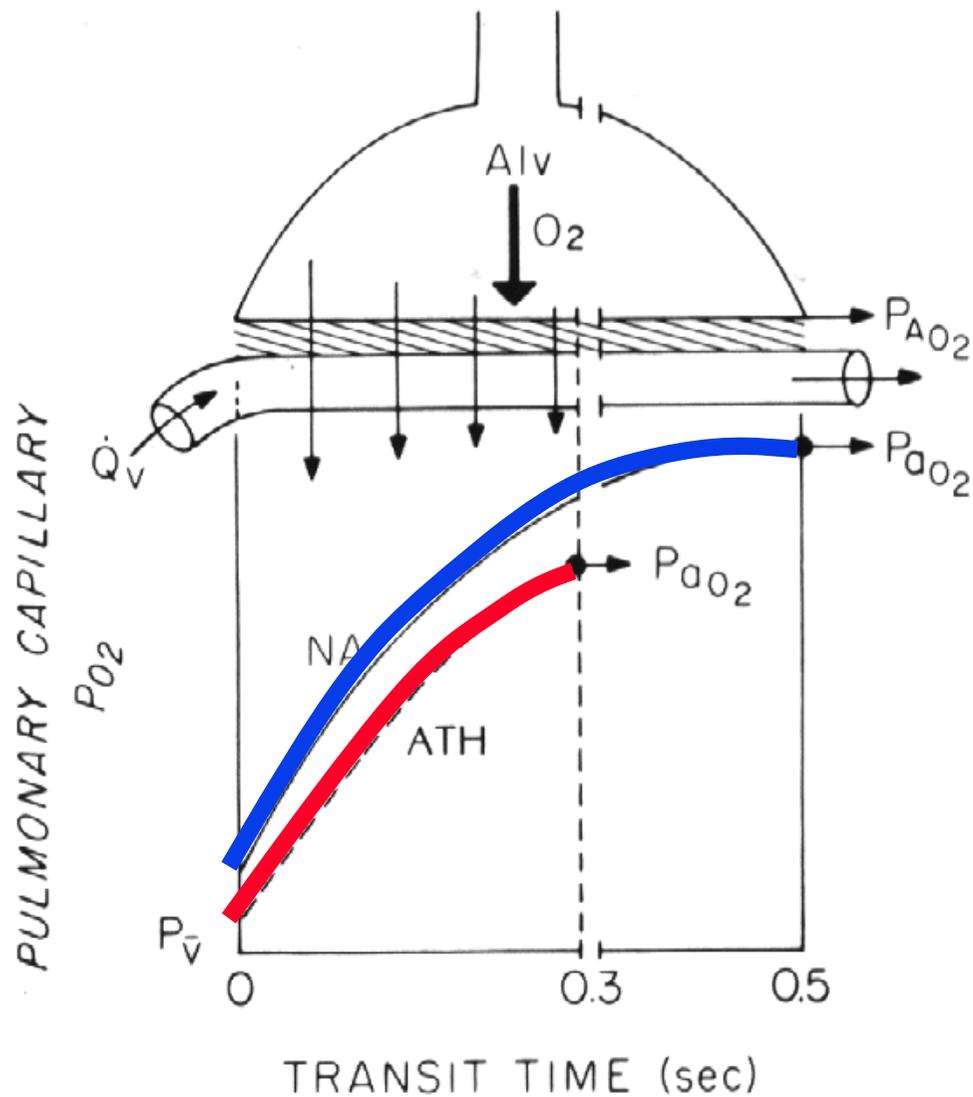
P_{aO_2} diminuisce di poco nella maggior parte di atleti di elite \Rightarrow scarsi effetti sul massimo consumo di O_2 .

Però, P_{aO_2} può diminuire nei cavalli da corsa, in pazienti COPD e in alcuni atleti di elite con altissime CO



Ekblom (1969)

Sono i polmoni ?

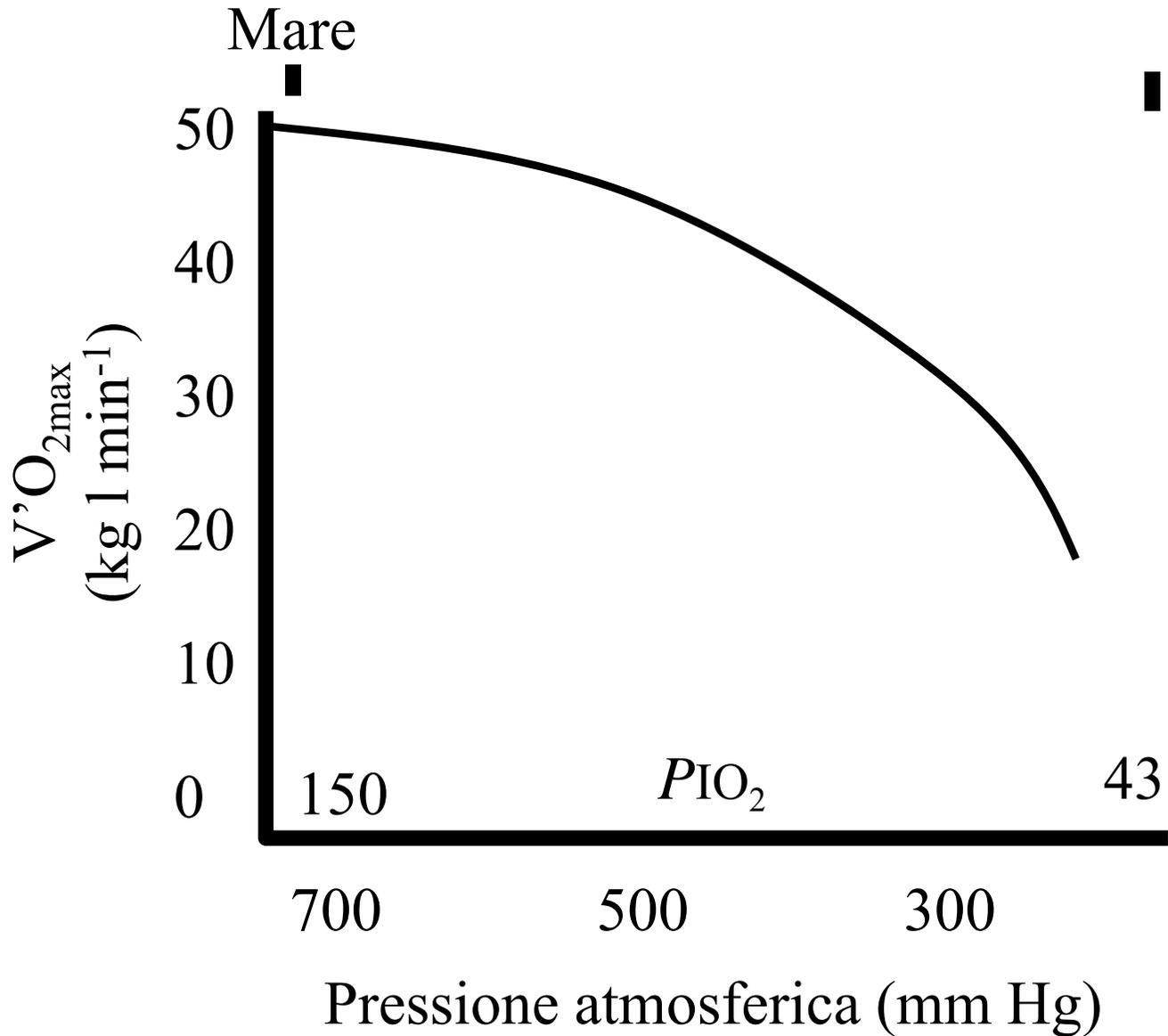


Due cause per la caduta di P_{aO_2} :

- 1) Altissimo flusso di sangue polmonare (alte gettate cardiache)
- 2) Alle alte intensità, si può avere una relativa ipoventilazione ($P_A O_2$ cade)

Rowell (1993)

Sono i polmoni ?

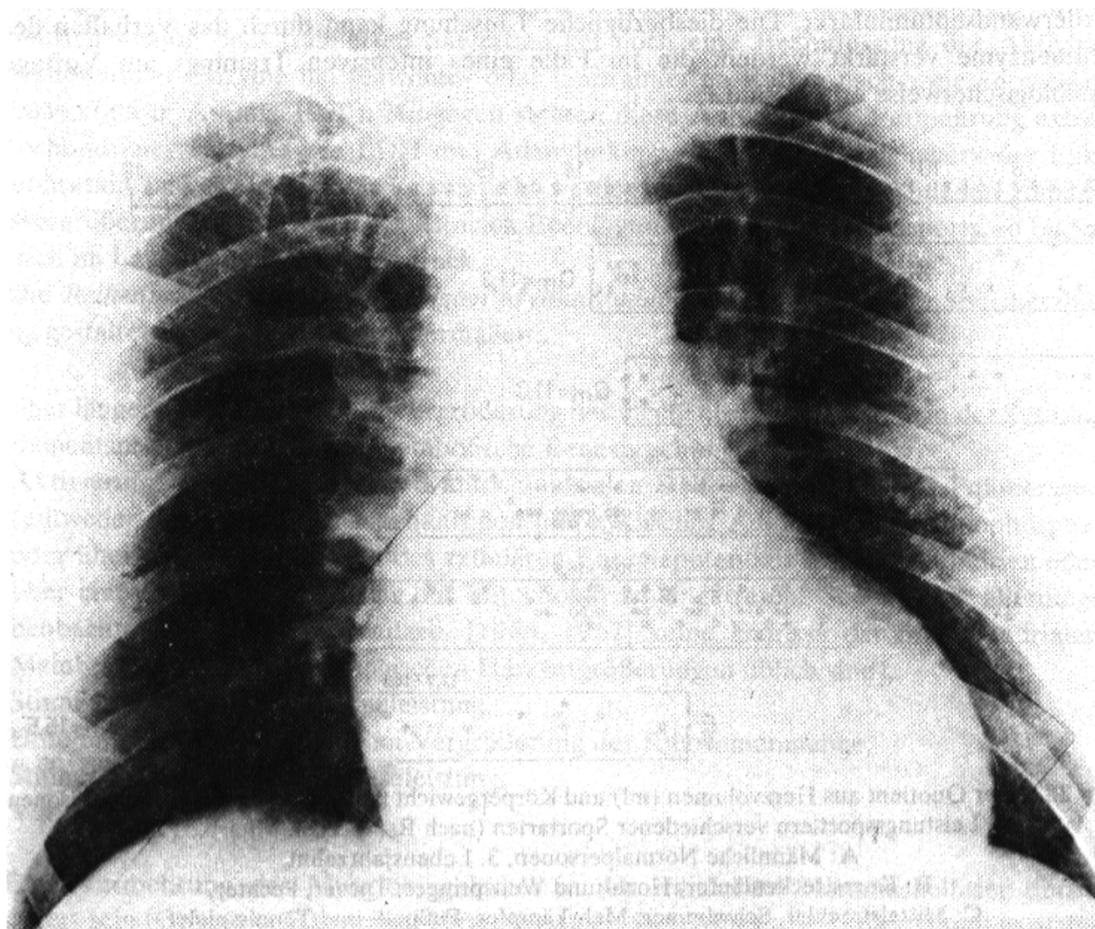


Il contenuto di O_2 nel sangue limita la performance in altitudine

Pugh (1963)

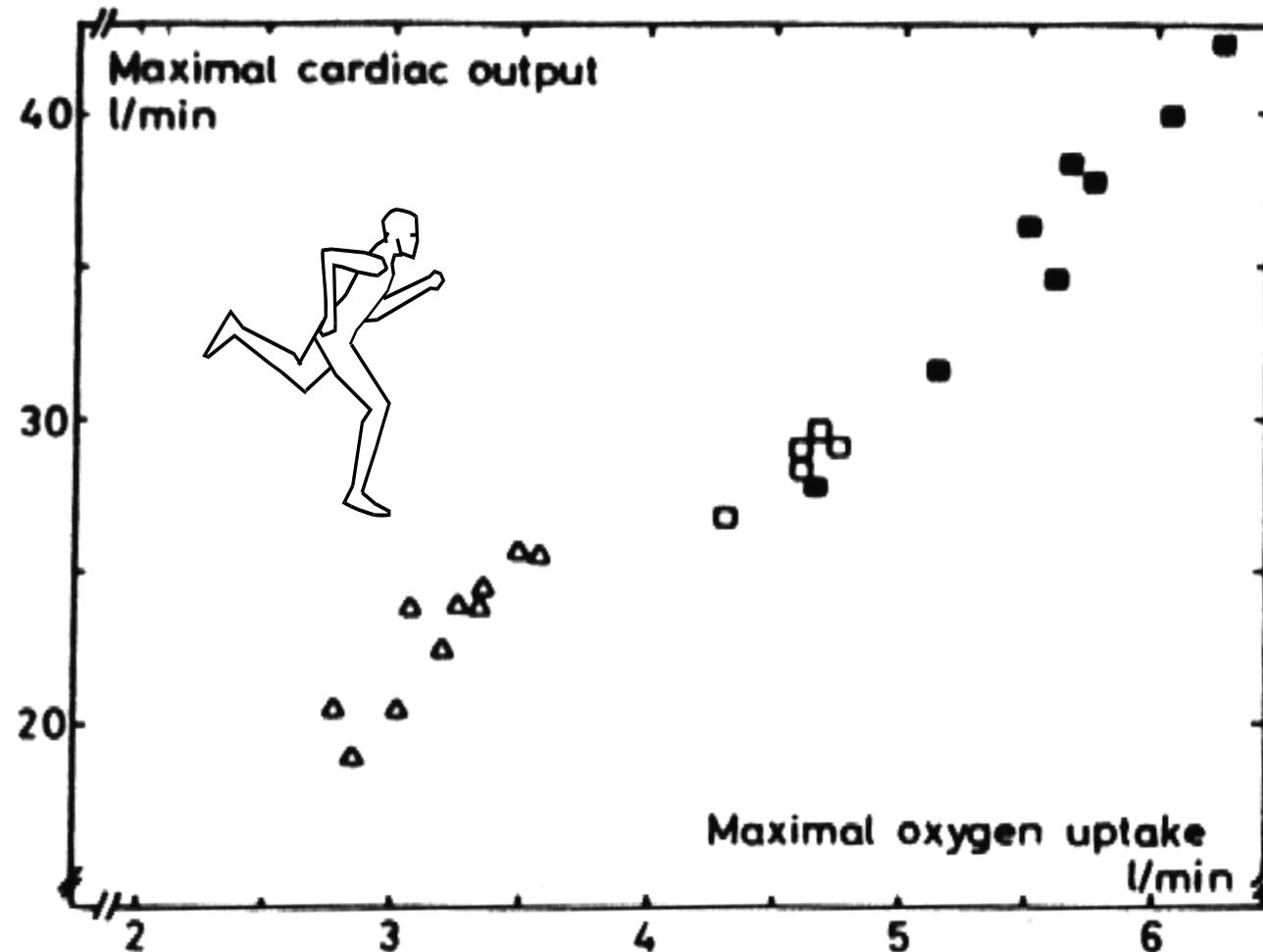
E' il cuore ?

Volume cardiaco normale: 750-800 ml, Cuore d'atleta: 900-1200 ml; la figura mostra il cuore d'atleta più grande riportato in letteratura: 1700 ml (campione mondiale di ciclismo).



Hollmann (1965)

E' il cuore ?



Correlazione buona tra $V'O_{2max}$ e massima gettata cardiaca.

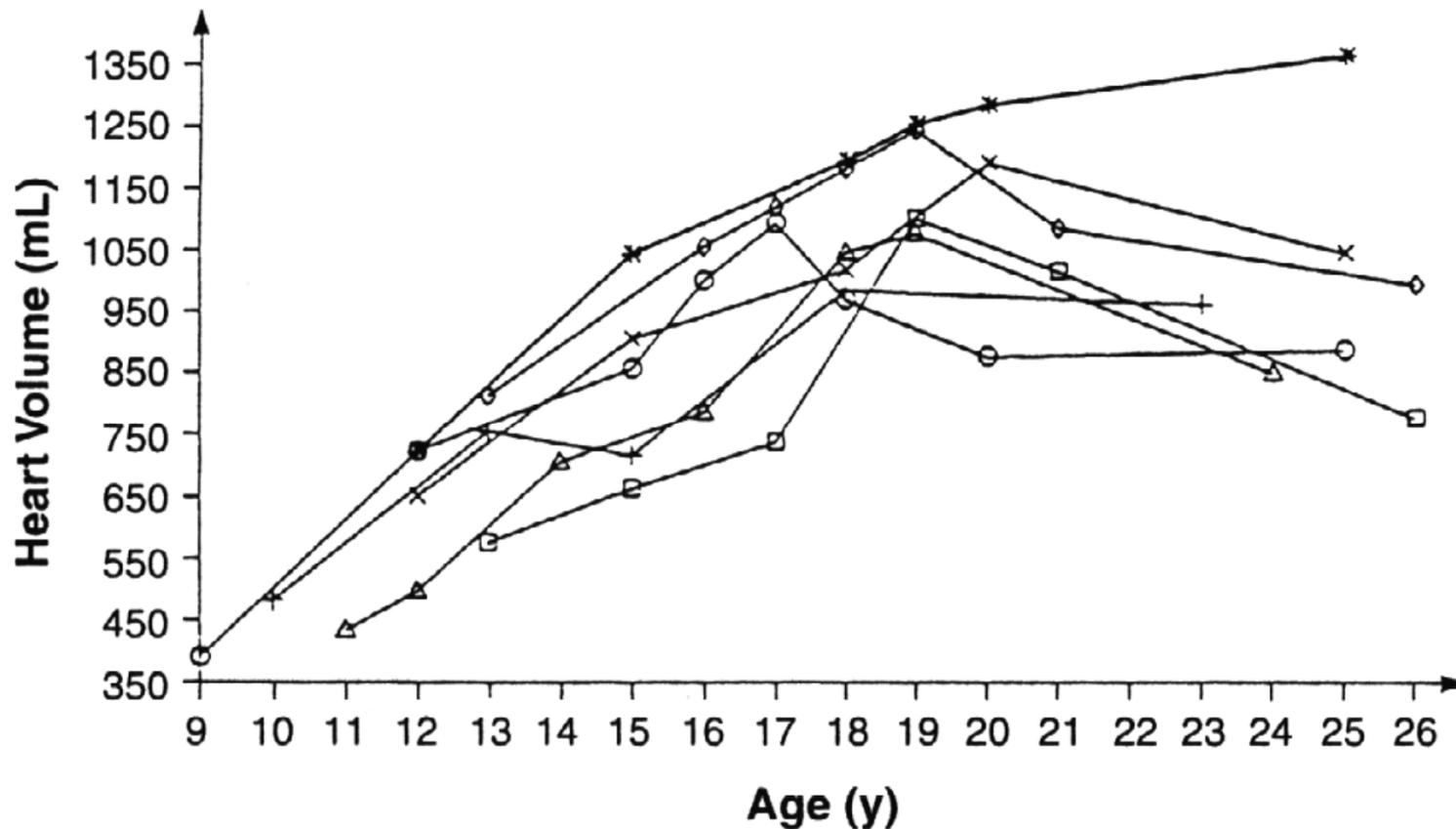
Cuore d'atleta \Rightarrow
Volume d'eiezione $\uparrow \Rightarrow$
Massima gettata cardiaca
 $\uparrow \Rightarrow V'O_{2max} \uparrow \Rightarrow$
Performance \uparrow .

Conclusione: E' il fattore limitante il $V'O_{2max}$ più importante

Ekblom (1969)

E' il cuore ?

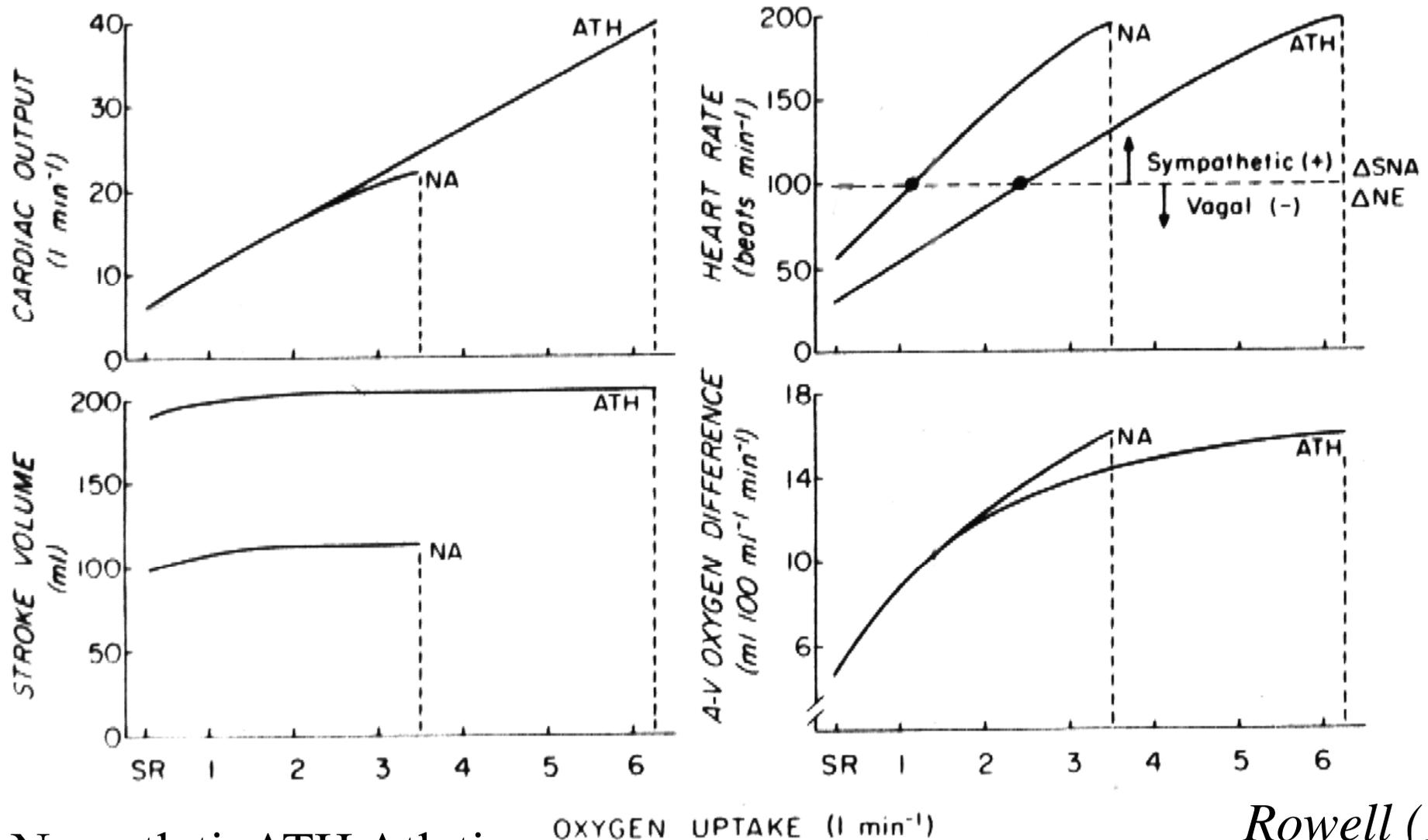
L'allenamento aerobico porta all'aumento del volume cardiaco \Rightarrow volume d'eiezione \uparrow .



Rost (1997)

E' il cuore ?

Il grande volume d'eiezione è la causa principale degli alti valori di $V'O_{2max}$ trovati negli atleti di endurance allenati:

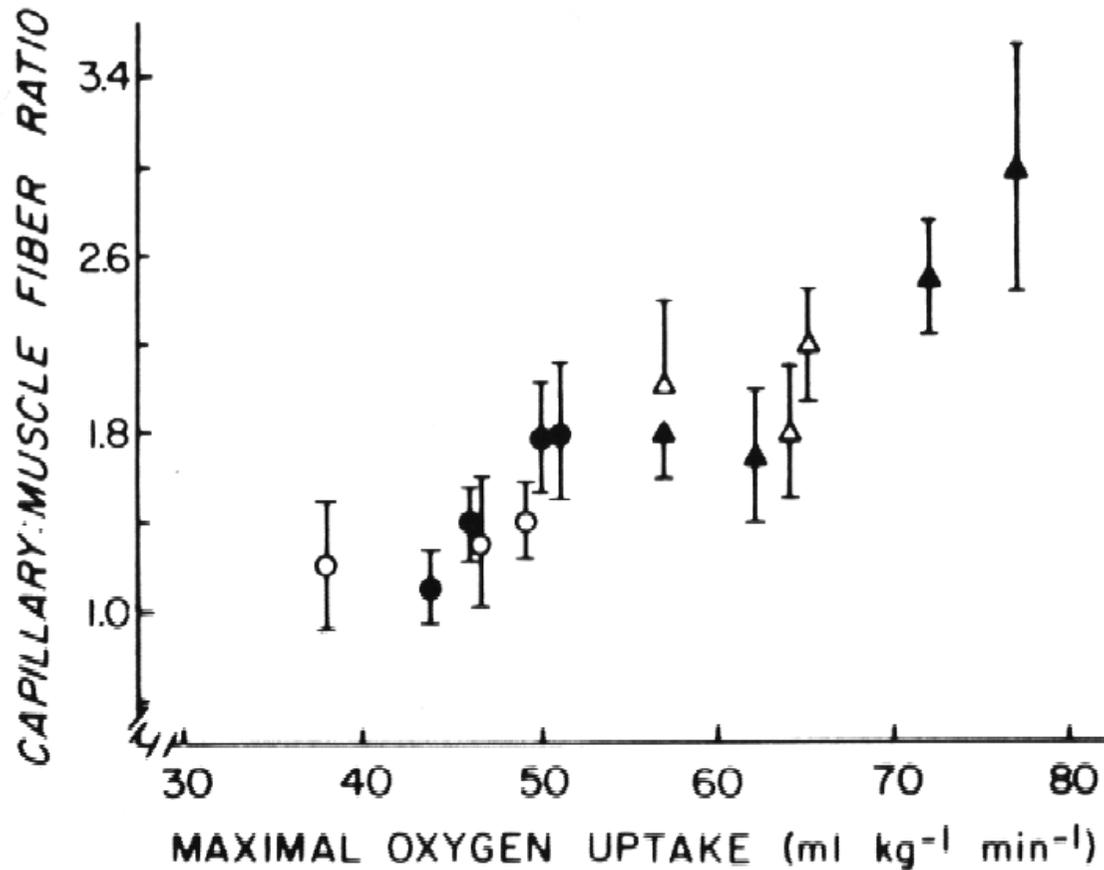


NA Non atleti; ATH Atleti

Rowell (1993)

Sono i fattori periferici?

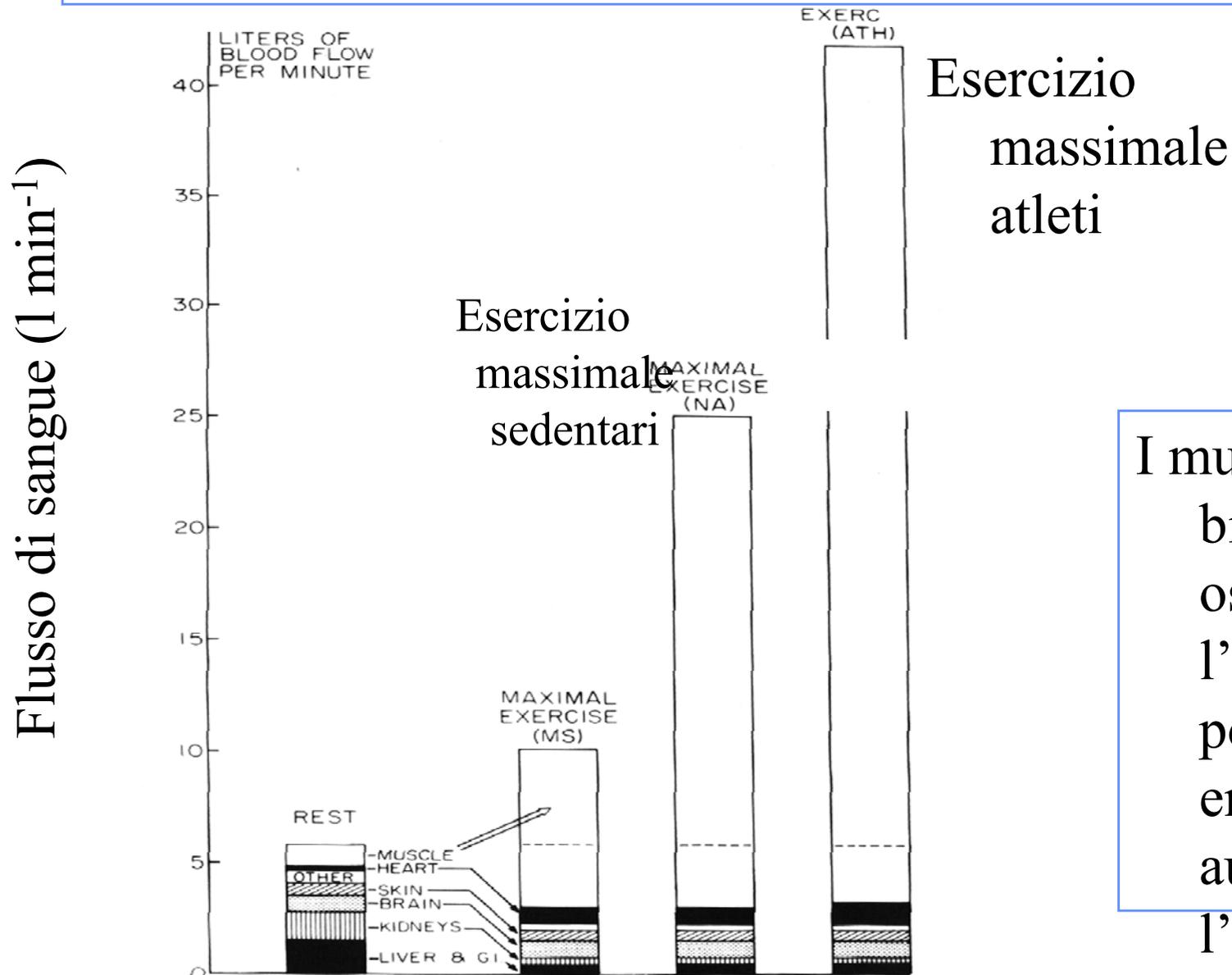
Gli atleti hanno un rapporto capillari-muscolo più alto.



Brodal et al. (1977)

Sono i fattori periferici?

Gli atleti allenati di endurance hanno un flusso di sangue muscolare maggiore dei soggetti sedentari/non allenati.



I muscoli hanno bisogno di più ossigeno con l'aumento della potenza \Rightarrow il flusso ematico muscolare aumenta con l'intensità dell'esercizio

Contributo in O₂ dai vari distretti

Table 9-3 Additional oxygen and blood flow provided by regional vasoconstriction during "maximal" exercise.

A. Splanchnic			
Oxygen uptake (ml min ⁻¹)	=	Blood Flow (ml min ⁻¹)	× Arteriovenous Oxygen Difference (ml 100 ml ⁻¹)
Rest 60	=	1,500	× 4
Exercise 60	=	<u>350</u>	× 17
		Δ1,150	
ΔOxygen available	=	ΔBlood Flow	× Arterial Oxygen Content
	=	1,150	× 20 = 230 ml min ⁻¹
B. Renal			
ΔOxygen available	=	950	× 20 = 190 ml min ⁻¹
C. Other (skin, inactive muscle, etc.)			
ΔOxygen available	=	900	× 20 = 180 ml min ⁻¹
<hr/>			
Totals		ΔBlood Flow 3,000 ml min ⁻¹	ΔOxygen Available 600 ml min ⁻¹

Sono i fattori periferici?

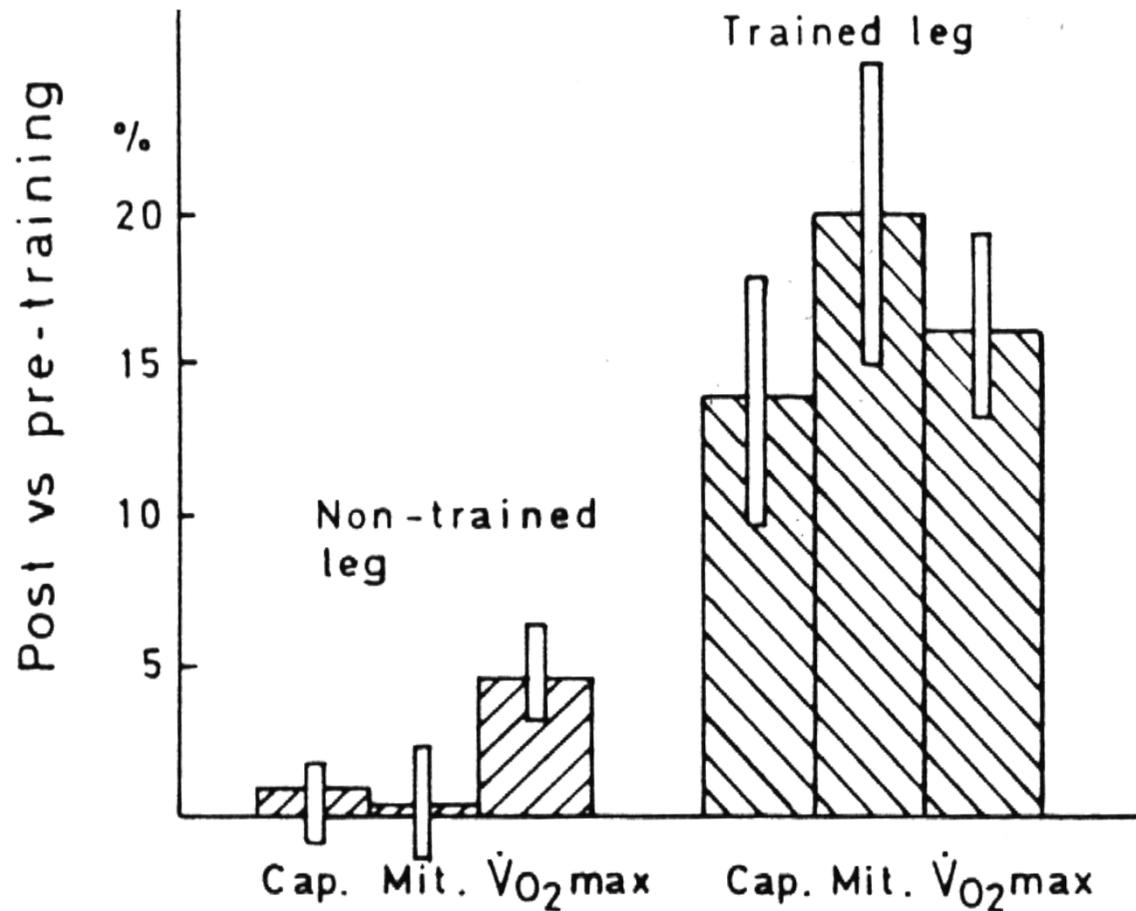
Gli atleti di Endurance sono in grado di utilizzare più O₂
 Attività maggiore della succinico deidrogenasi



Conditioning state	Maximal oxygen intake (ml kg ⁻¹ min ⁻¹)	Muscle fibre type			Whole muscle
		I	IIa	IIb	
		(μmol g ⁻¹ min ⁻¹)			
Detrained	30 – 40	5.0	4.0	3.5	4.0
Untrained	40 – 50	9.2	5.8	4.9	7.0
Endurance training	45 – 55	12.1	10.2	5.5	11.0
Endurance athlete	> 70	23.2	22.1	22.0	22.5

Saltin and Gollnick (1983)

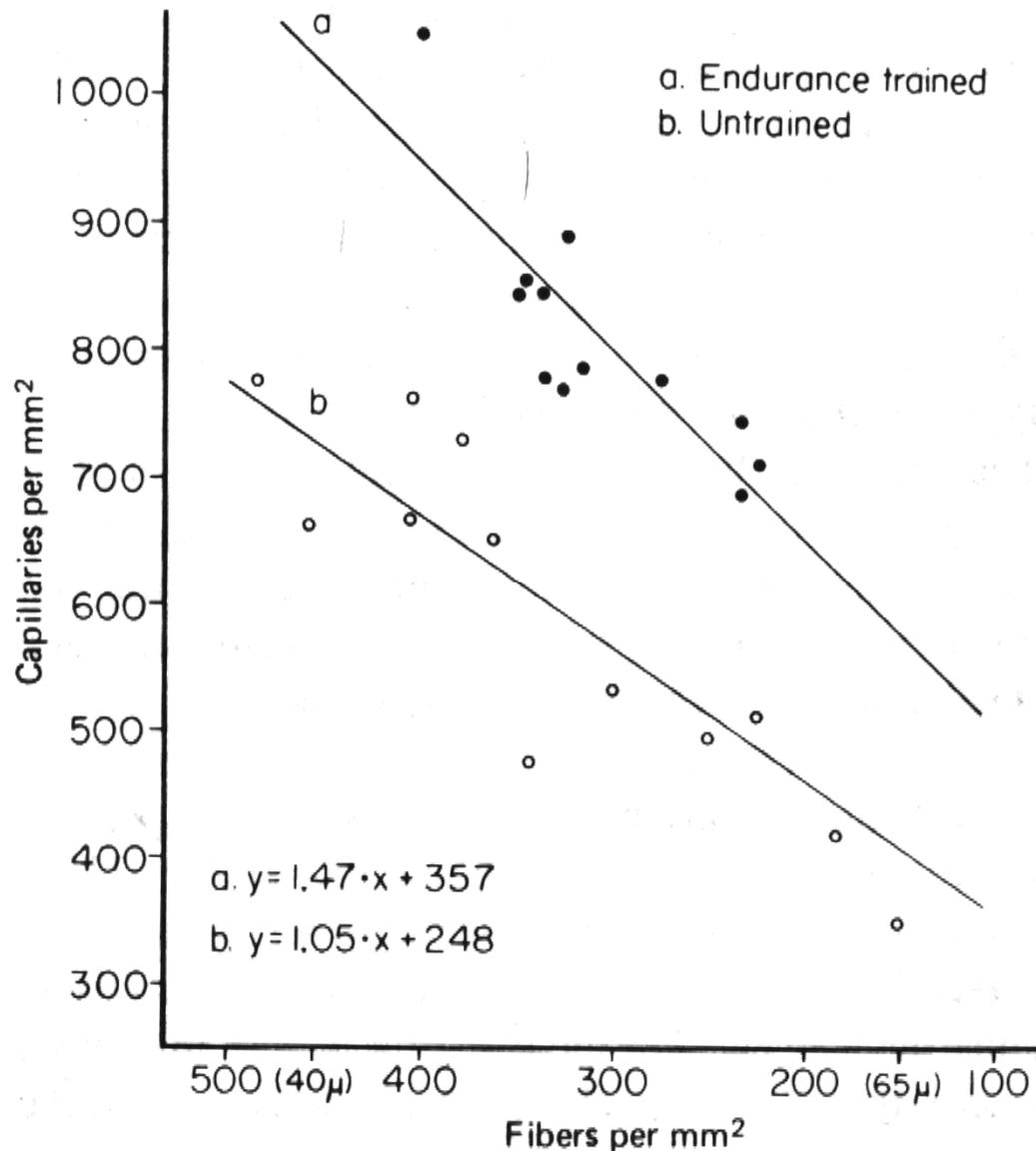
Sono i fattori periferici?



Saltin et al. (1976)

La capillarizzazione, l'attività degli enzimi mitocondriali e il $\dot{V}O_{2max}$ sono maggiori nell'arto allenato. **I fattori periferici limitano il $\dot{V}O_{2max}$ ed hanno un peso maggiore se l'esercizio è eseguito con piccole masse muscolari.**

Sono i fattori periferici?



Gli atleti di endurance allenati hanno un numero maggiore di capillari per fibra muscolare a parità di densità di fibre rispetto ad un soggetto non allenato.

Le fibre più piccole hanno più capillari.

Brodal et al. (1977)

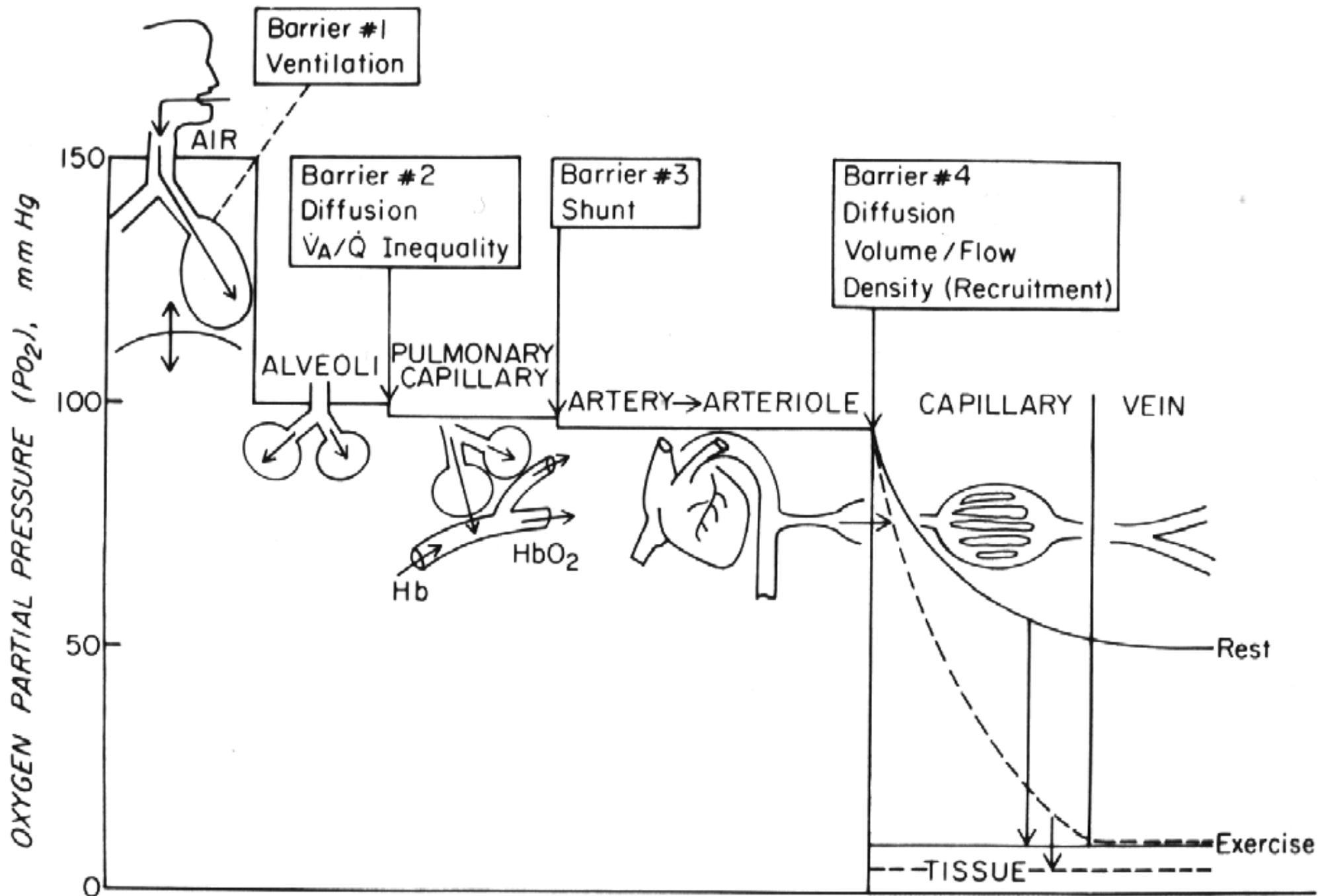
Da cosa è limitato $\dot{V}O_{2\max}$?

- Il tempo di transito nel capillare polmonare può impedire l'adeguata ossigenazione del sangue nel polmone durante esercizio massimale in atleti di elite con grandi CO ed in altitudine
- I muscoli allenati hanno più capillari ed una maggiore concentrazione/attività degli enzimi ossidativi. Ricevono ed utilizzano più ossigeno.
- Se l'esercizio è compiuto con piccoli gruppi muscolari, la gettata cardiaca non è un fattore limitante il $\dot{V}O_{2\max}$. In questo caso, i fattori limitanti sono periferici.
- **Fattore limitante principale: cuore d'atleta volume d'eiezione**
 ↑ ⇒ massima gettata cardiaca
↑ ⇒ massimo consumo di ossigeno ↑ ⇒ performance di endurance ↑.

Quantificazione dei Fattori Limitanti il $V'O_{2max}$

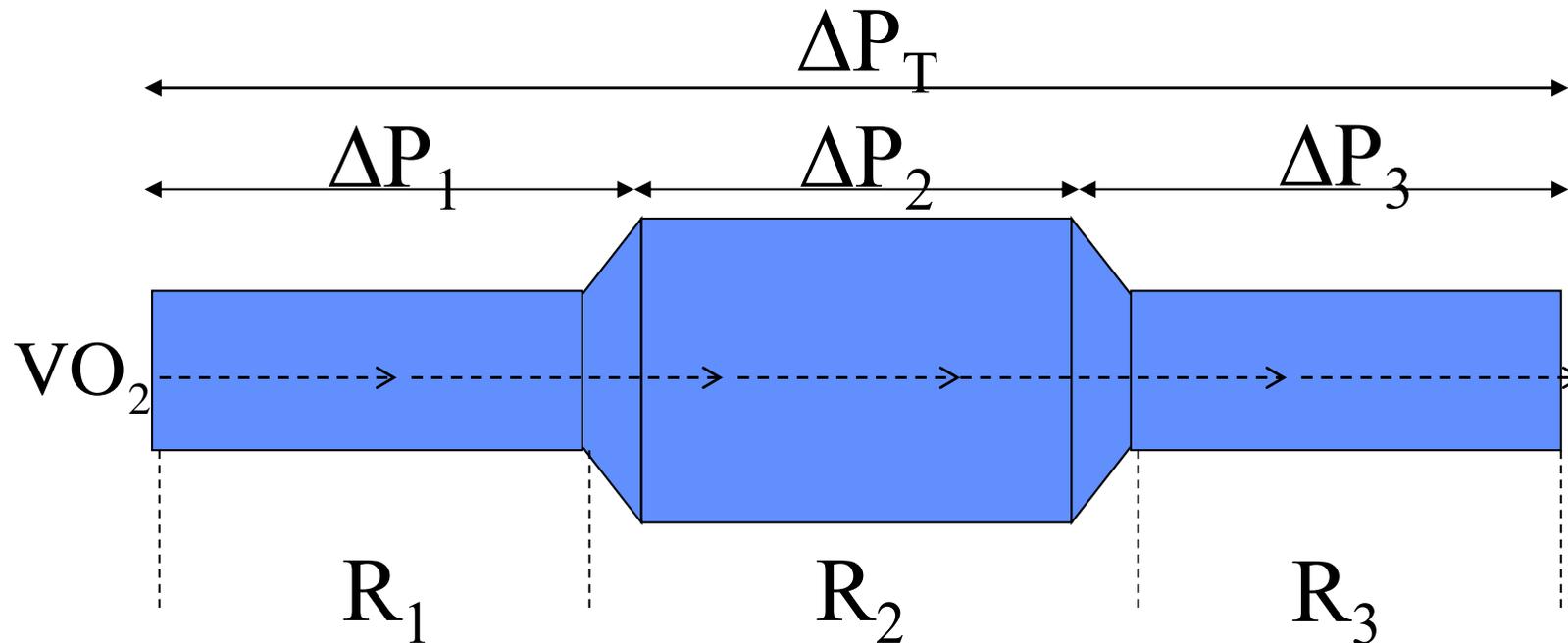
1. L'ossigeno, nel suo cammino dall'ambiente ai muscoli, fluisce superando un numero discreto di resistenze in serie (resistenze al flusso di Ossigeno)
2. Ognuna di queste resistenze è superata al costo di un certo gradiente di pressione parziale di O_2

Cascata dell'O₂



Modello delle conduttanze in serie - I

Fattori Limitanti il $\dot{V}'O_{2\max}$



$$\dot{V}O_2 \text{ Flow} = \frac{\text{Pressure Gradient}}{\text{Resistance}}$$

$$\dot{V}O_2 = \frac{\Delta P_1}{R_1} = \frac{\Delta P_2}{R_2} = \frac{\Delta P_3}{R_3} = \frac{\Delta P_{\text{tot}}}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{\Delta P_{\text{tot}}}{R_{\text{tot}}}$$

Modello delle conduttanze in serie-I

Fattori Limitanti il $V'O_{2\max}$

$$V'O_{2\max} = \Delta P_{\text{tot}}/R_{\text{tot}}$$

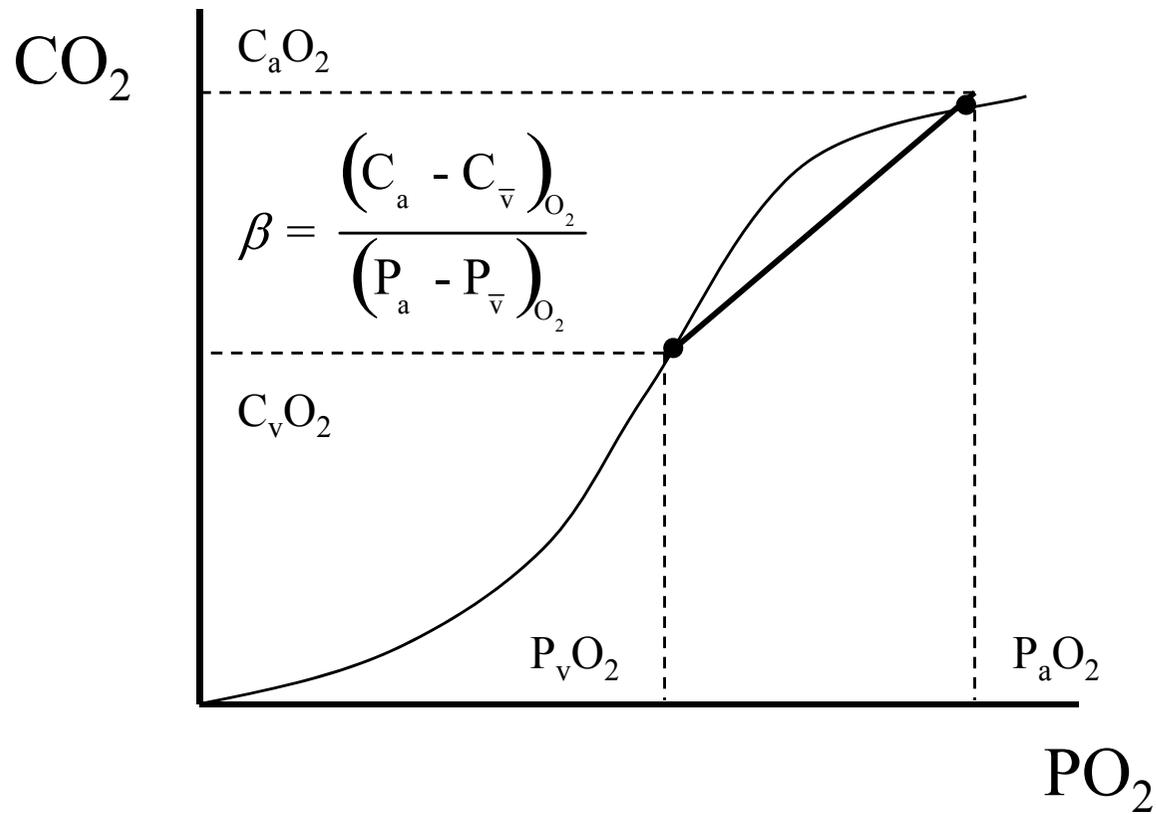
In condizioni di stato stazionario:

$$\Delta P_{\text{tot}}/R_{\text{tot}} = \Delta P_i/R_i$$

$$V'O_{2\max} = (P_I - P_A)/R_V = (P_A - P_a)/R_L = (P_a - P_{vm})/R_Q = (P_{vm} - P_t)/R_t = (P_t - P_m)/R_m = (P_I - P_m) = R_{\text{tot}}$$

$$V'O_{2\max} = (P_I - P_A) G_V = (P_A - P_a) G_L = (P_a - P_{vm}) G_Q = (P_{vm} - P_t) G_t = (P_t - P_m) G_m = (P_I - P_m) = G_{\text{tot}}$$

G_V e G_Q



$$G_V = 1/R_V = V'_A \beta_g$$

$$G_Q = 1/R_Q = Q' \beta_b$$

Quantificazione dei Fattori Limitanti il $V'O_2\max$

- $(P_I - P_A) / (P_I - P_m) = G_T / G_V = R_V / R_T = \mathbf{F_V}$
- $(P_A - P_a) / (P_I - P_m) = G_T / G_L = R_L / R_T = \mathbf{F_L}$
- $(P_a - P_{vm}) / (P_I - P_m) = G_T / G_Q = R_Q / R_T = \mathbf{F_Q}$
- $(P_{vm} - P_t) / (P_I - P_m) = G_T / G_t = R_t / R_T = \mathbf{F_t}$
- $(P_t - P_m) / (P_I - P_m) = G_T / G_m = R_m / R_T = \mathbf{F_m}$

Quantificazione delle limitazioni frazionarie

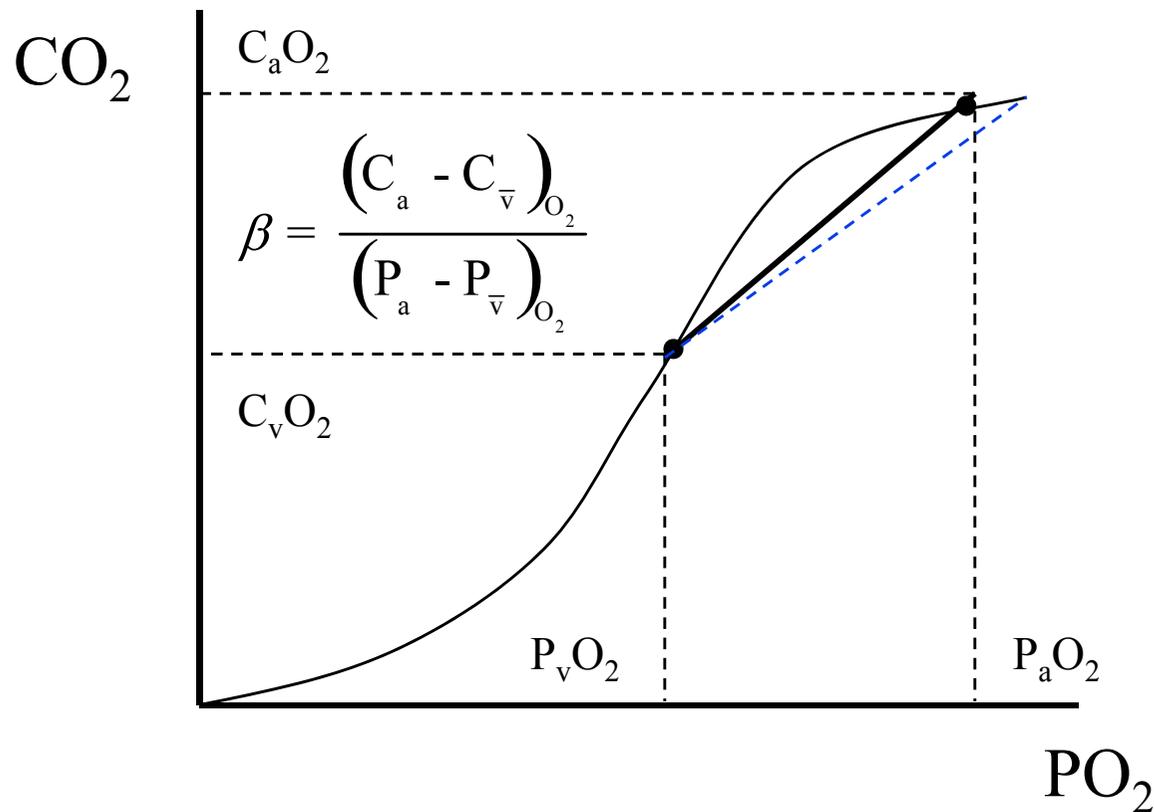
Factors limiting $\dot{V}_{O_2\max}$ on the assumption that the O_2 conductance equation has a linear solution

	Sea level ^a		Everest (8848 m) ^b
	Sedentary	Athlete	
$\dot{V}_{O_2\max}$ L/min	3.60	4.90	1.05
P_I Torr	150	150	43
P_A Torr	120	116	36
P_a Torr	95	83	28
$P_{\bar{V}}$ Torr	20	18	15
P_m Torr	0	0	0
$F_V = (P_I - P_A)/(P_I - P_m)$	0.20	0.23	0.16
$F_L = (P_A - P_a)/(P_I - P_m)$	0.17	0.22	0.19
$F_Q = (P_a - P_{\bar{V}})/P_I - P_m)$	0.50	0.43	0.30
$F_P = (P_{\bar{V}} - P_m)/(P_I - P_m)$	0.13	0.12	0.35

^a From Cerretelli and di Prampero (1987).

^b From West (1983).

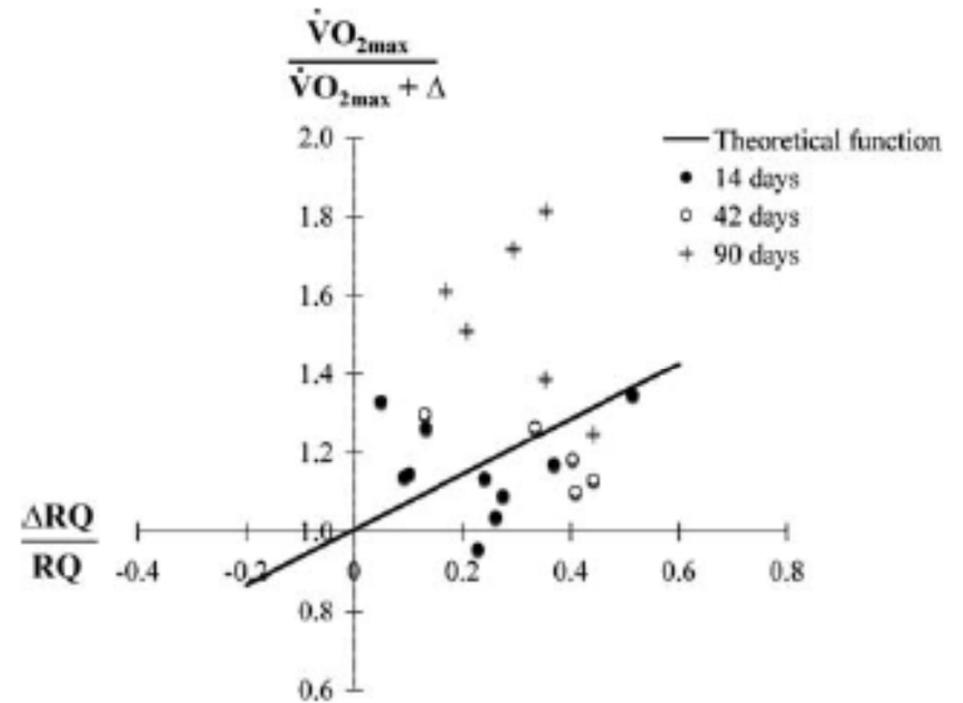
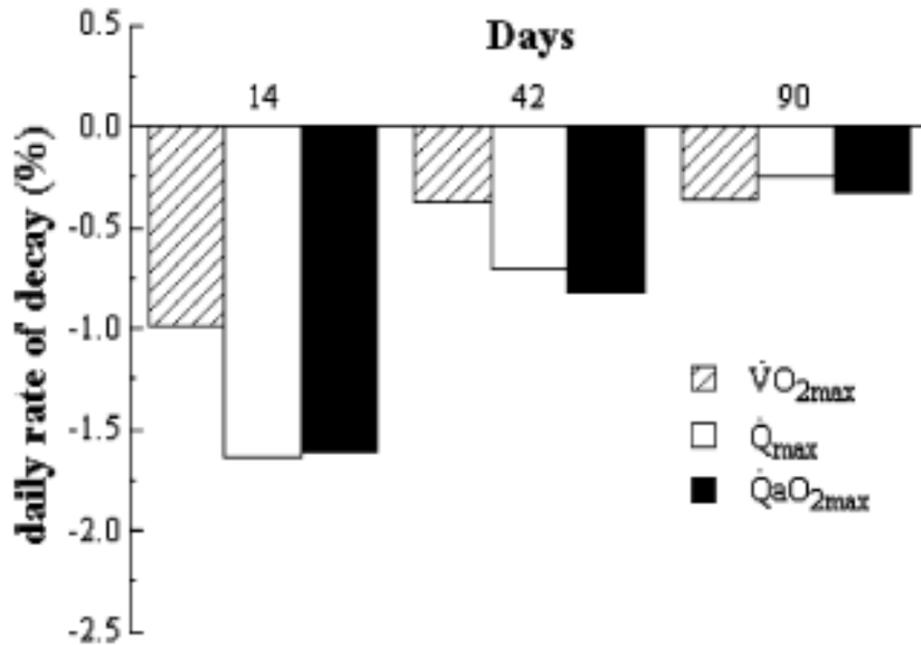
La ventilazione a livello del mare non modula la conduttanza totale



Iperventilazione:

1. $V'_A \uparrow \quad \text{---} \rightarrow G_V \uparrow$
 2. $P_{A\text{O}_2} \uparrow$, ma $C_a\text{O}_2$ costante
 3. $\beta_b \downarrow \quad \text{-----} \rightarrow G_Q \downarrow$
 4. G_T non cambia
- Quindi possiamo trascurare G_V
Solo conduttanze a valle del polmone
 F_Q : 70 % circa
 F_p : 30 % circa

Applicazioni: $\dot{V}O_{2max}$ e inattività (bed rest)



$$\frac{\dot{V}O_{2max}}{\dot{V}O_{2max} + \Delta \dot{V}O_{2max}} = 1 + F_Q (\Delta RQ / RQ)$$

$$F_Q = 0,70 \quad (F_p = 0,30)$$

Decadimento percentuale giornaliero medio di $\dot{V}O_{2max}$, \dot{Q}'_{max} e \dot{Q}_aO_{2max} durante bed rest

Applicazioni: $\dot{V}O_{2max}$ e inattività (bed rest)-cont

$$R_{TOT} = R_Q + R_p = (F_Q R_{TOT}) + (F_p R_{TOT})$$

$$R_{TOT} = \frac{(P_{aO_2} - P_{mO_2})}{\dot{V}O_{2max}}$$

$$\frac{P_{aO_2}}{\dot{V}O_{2max_{90}}} = F_{Q_{42}} \frac{P_{aO_2}}{\dot{V}O_{2max_{42}}} + R_{p_{90}}$$

Durata (gg)	R_{tot} (mm Hg min l ⁻¹)	R_Q (mm Hg min l ⁻¹)	R_p (mm Hg min l ⁻¹)	F_Q	F_p
42	42,4	30,9	11,4	0,72	0,28
90	52,6	30,9	21,7	0,59	0,41

Bibliografia

- *di Prampero PE e Ferretti G.* Factors limiting maximal oxygen consumption in humans. *Resp Physiol* 80: 113-128, 1990.
di Prampero PE Factors limiting maximal performance in humans. *EJAP* 2003 90: 420-429
- *C. Capelli, G. Antonutto, M. Azabji Kenfack, M. Cautero, F. Lador, C. Moia, E. Tam, G. Ferretti.* Factors determining the time course of $V'O_{2max}$ decay during bedrest: implications for $V'O_{2max}$ limitation. *Eur J Appl Physiol* 98: 152 - 160, 2006.