

Fattori limitanti la massima potenza aerobica

Fisiologia della prestazione sportiva

Università degli Studi di Verona
Scienze Motorie
aa 2013-2014

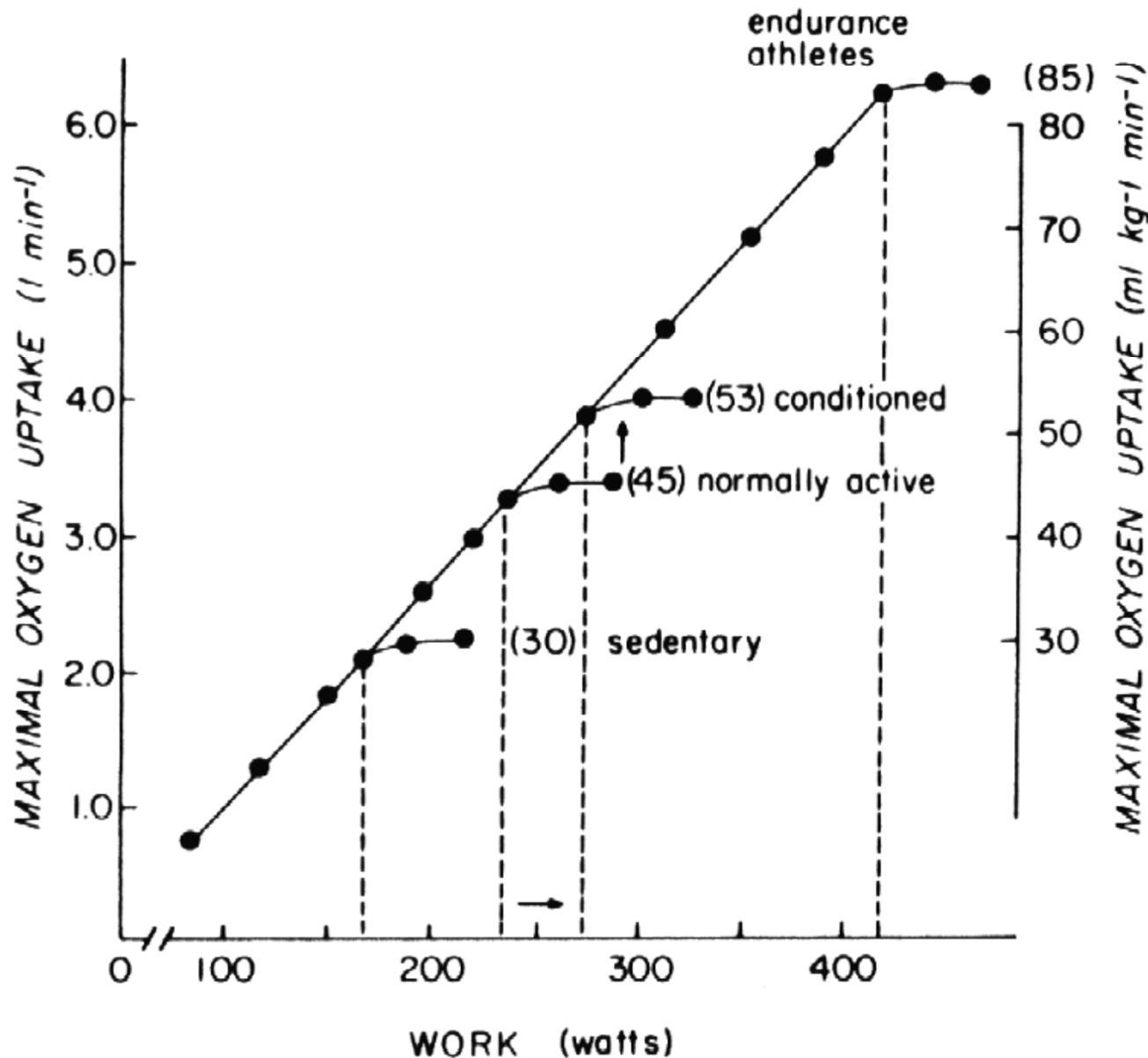
Possibili fattori

Determinanti le prestazioni di endurance/massimo consumo di ossigeno

- Respirazione
- Circolazione centrale
- Perfusione periferica
- Metabolismo muscolare



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



Rowell (1993)

Cosa limita il $V'_{\text{O}_2\text{max}}$?

Potenziali fattori limitanti:

1) Respirazione

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

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

2) Circolazione centrale

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

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

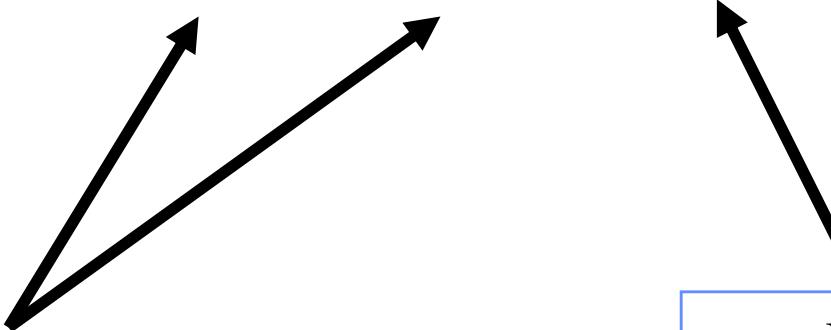


Rowell (1993)

Cosa limita il $\dot{V}O_2$ _{max} ?

Dove agiscono ?

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



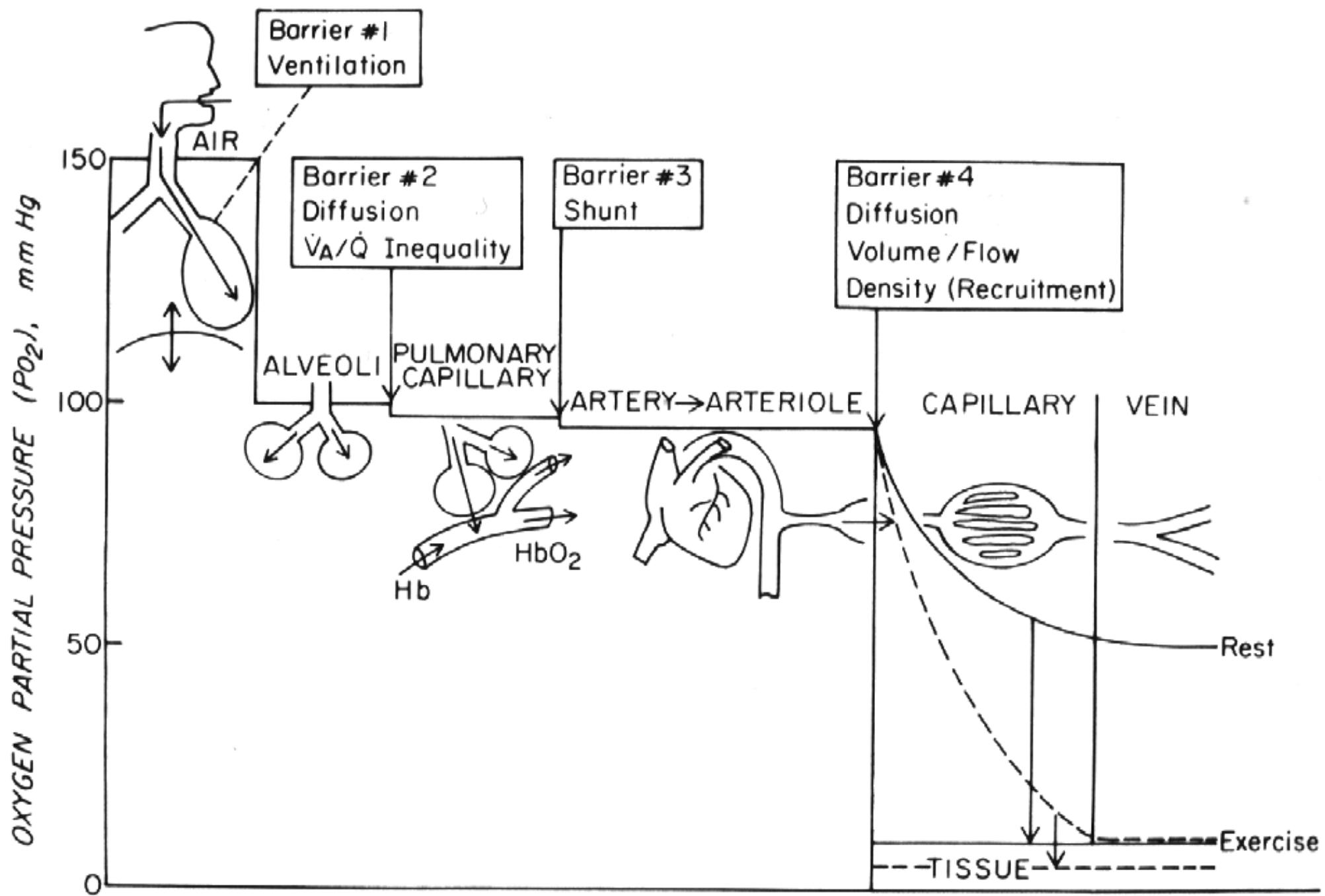
Circolazione centrale

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

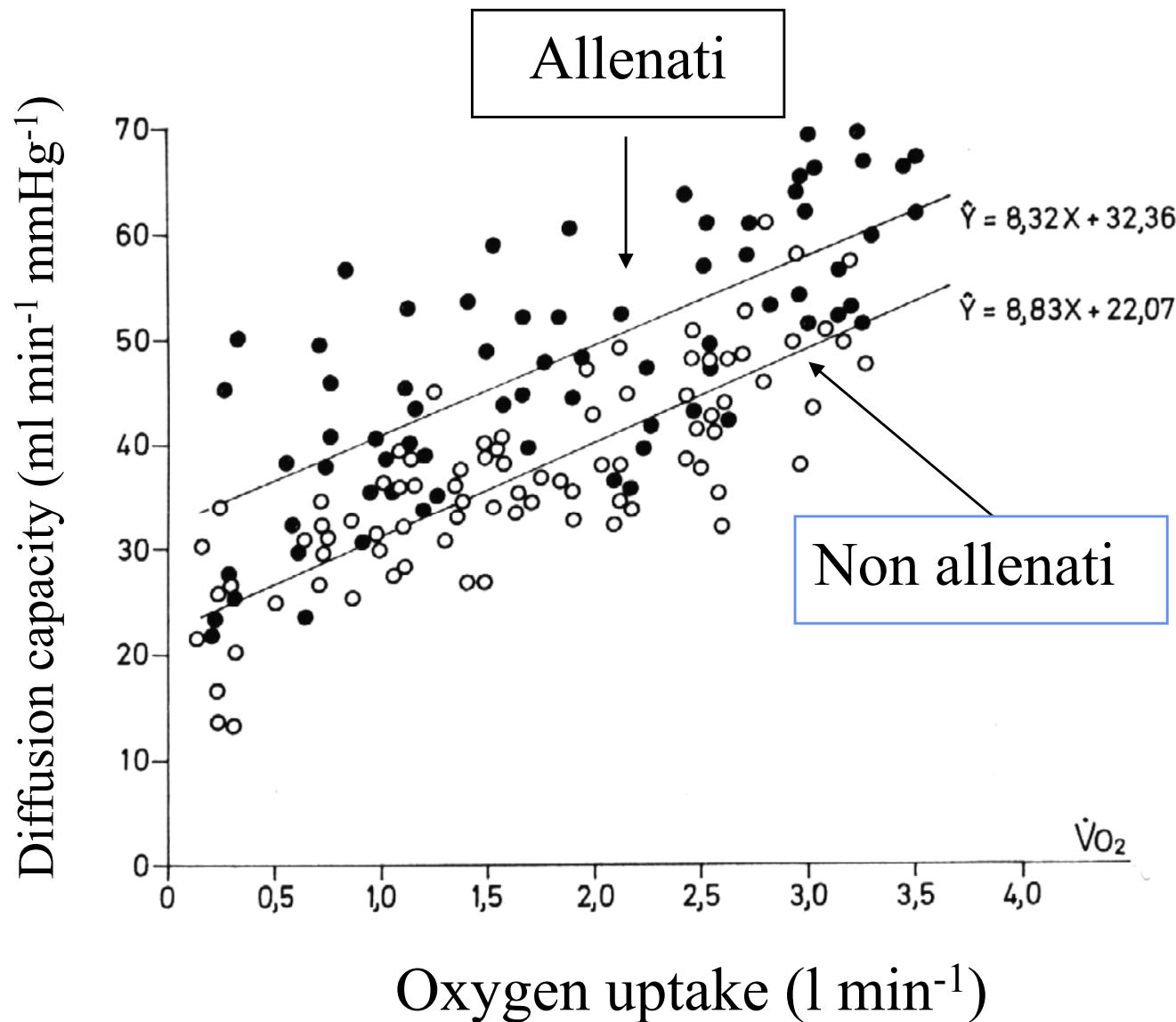
Pao_2 dipende dalla respirazione e dalla circolazione centrale

PvO_2 dipende dal metabolismo muscolare e dalla perfusione periferica

Sono i polmoni ?



Sono i polmoni ?

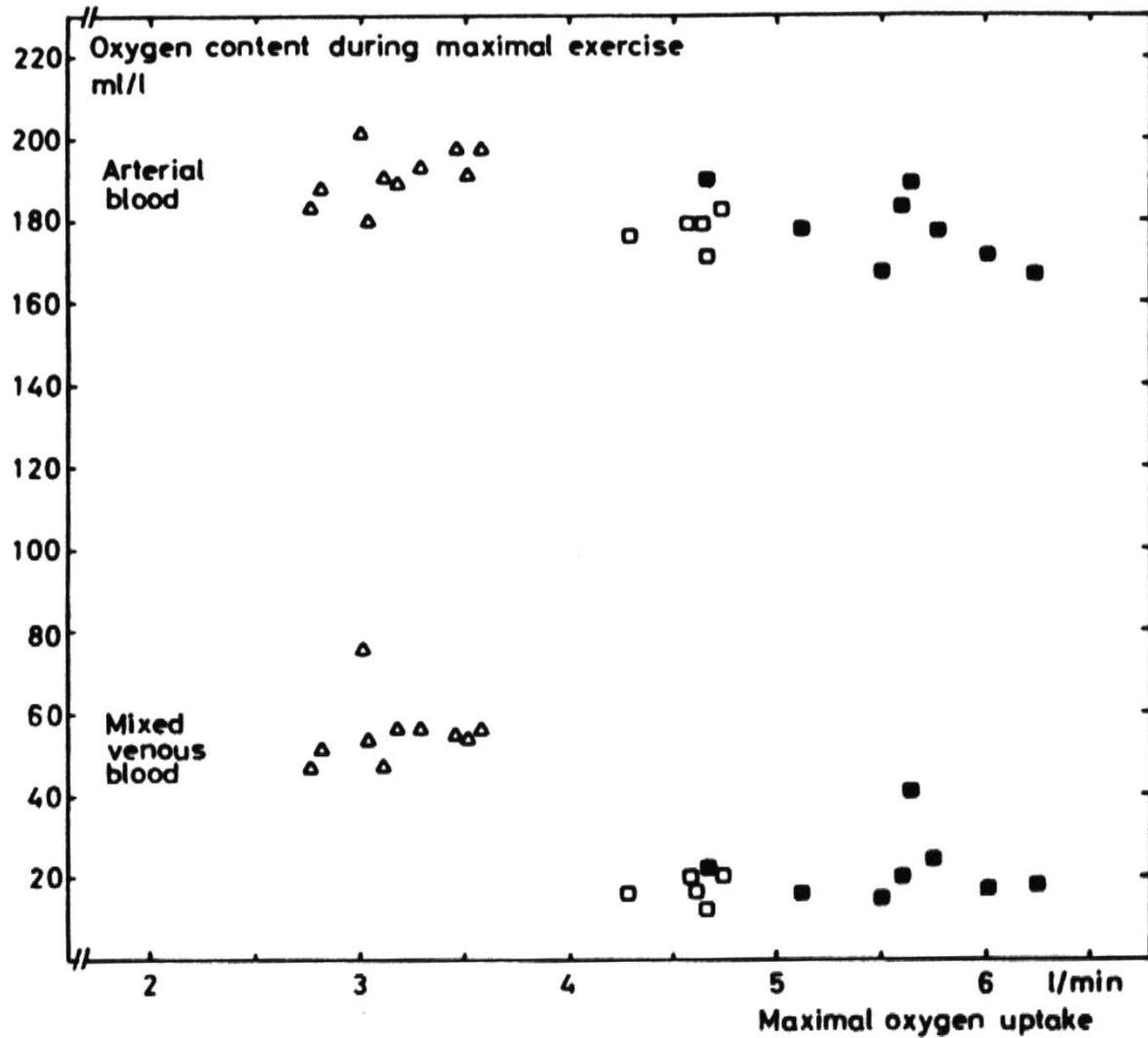


Allenamento aerobico
⇒ capacità di
diffusione
polmonare $\uparrow \Rightarrow$ più
 O_2 può entrare nel
sangue alla stessa
 P_{O_2} .

Scarsi effetti.

Yamaji et al. (1972)

Sono i polmoni ?



Maximal oxygen uptake (1 min^{-1})

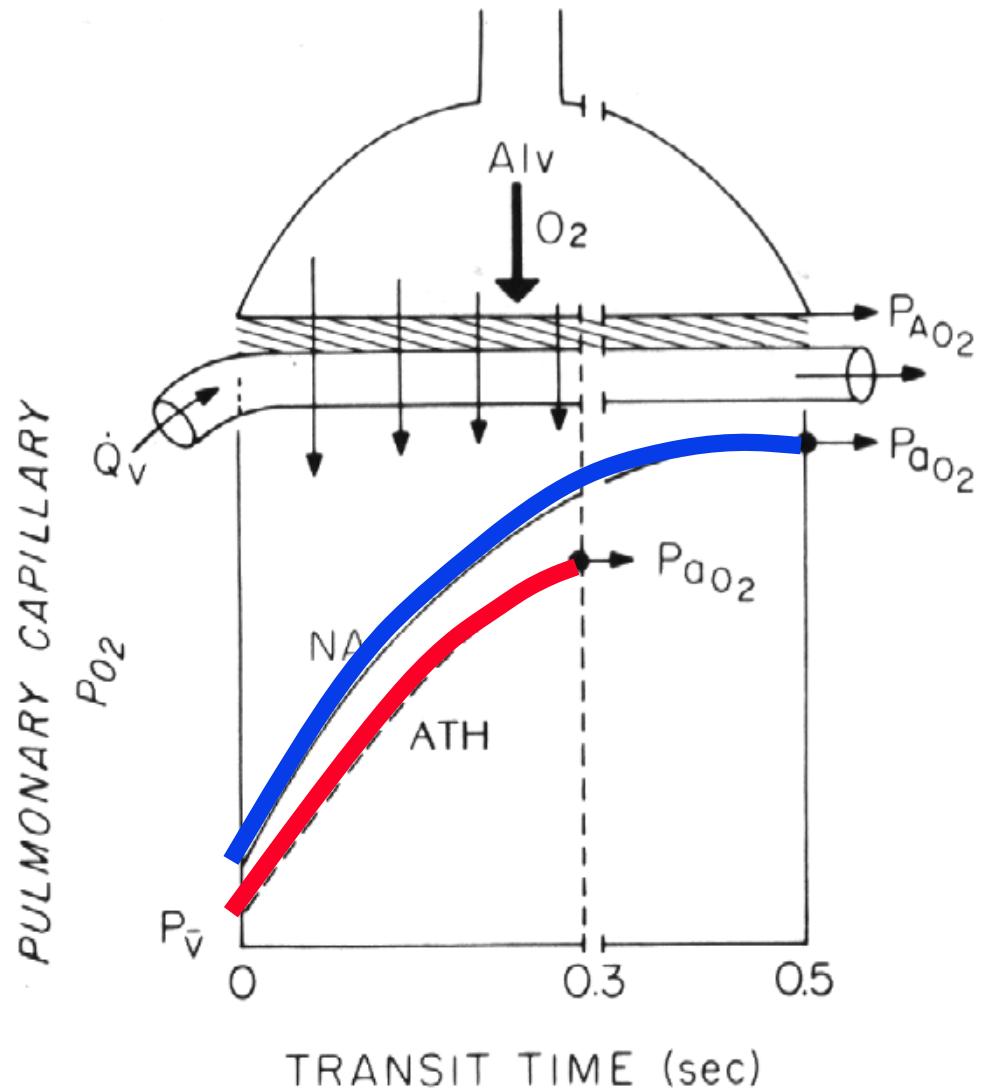
Pao_2 diminuisce di poco nella maggior parte di atleti di elite \Rightarrow scarsi effetti sul massimo consumo di O_2 .

Però, Pao_2 può diminuire nei cavalli da corsa, in pazienti COPD e in alcuni atleti di elite con altissime CO



Ekblom (1969)

Sono i polmoni ?



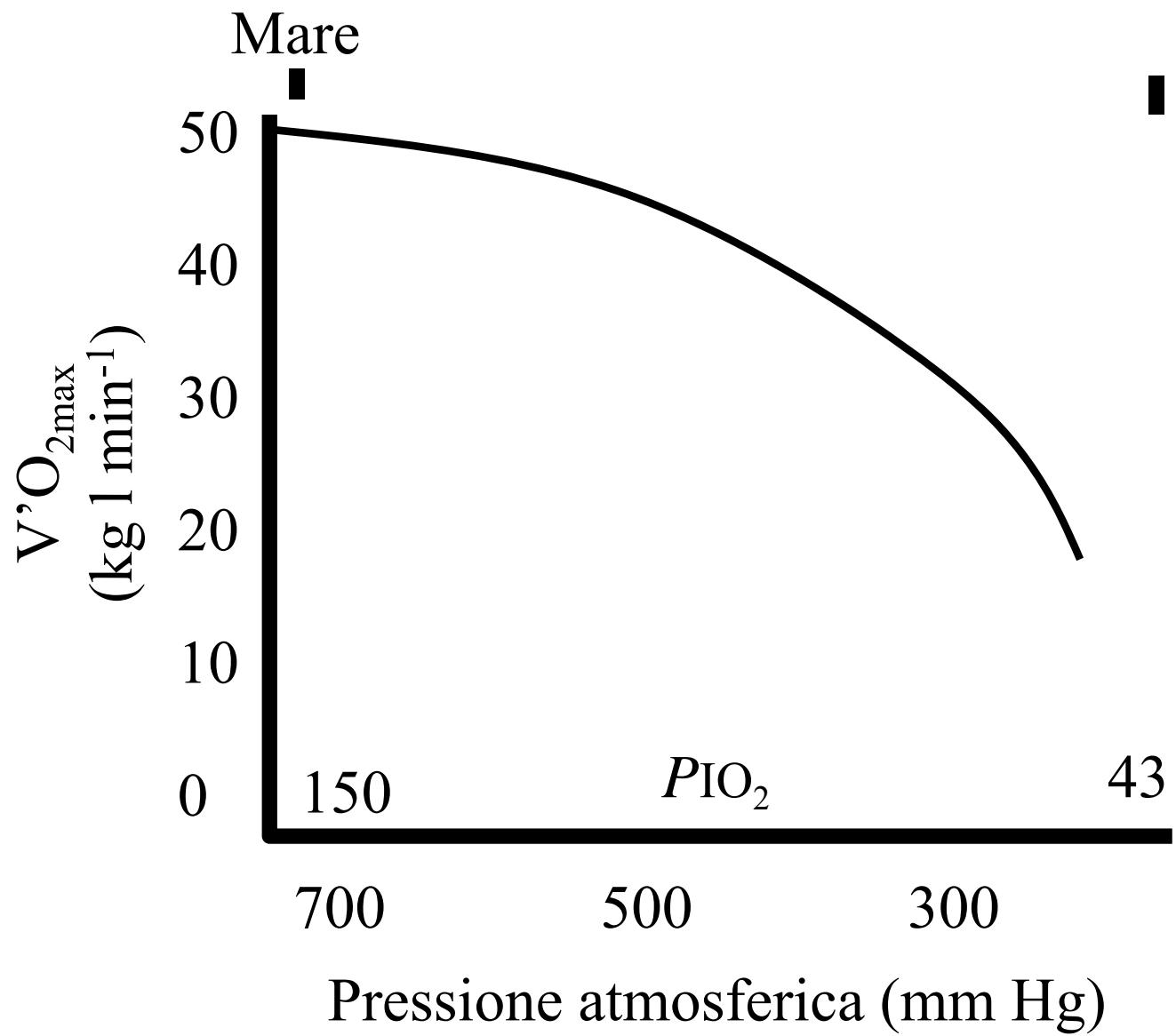
Due cause per la caduta di $P_{a O_2}$:

- 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 ?

M. Everest



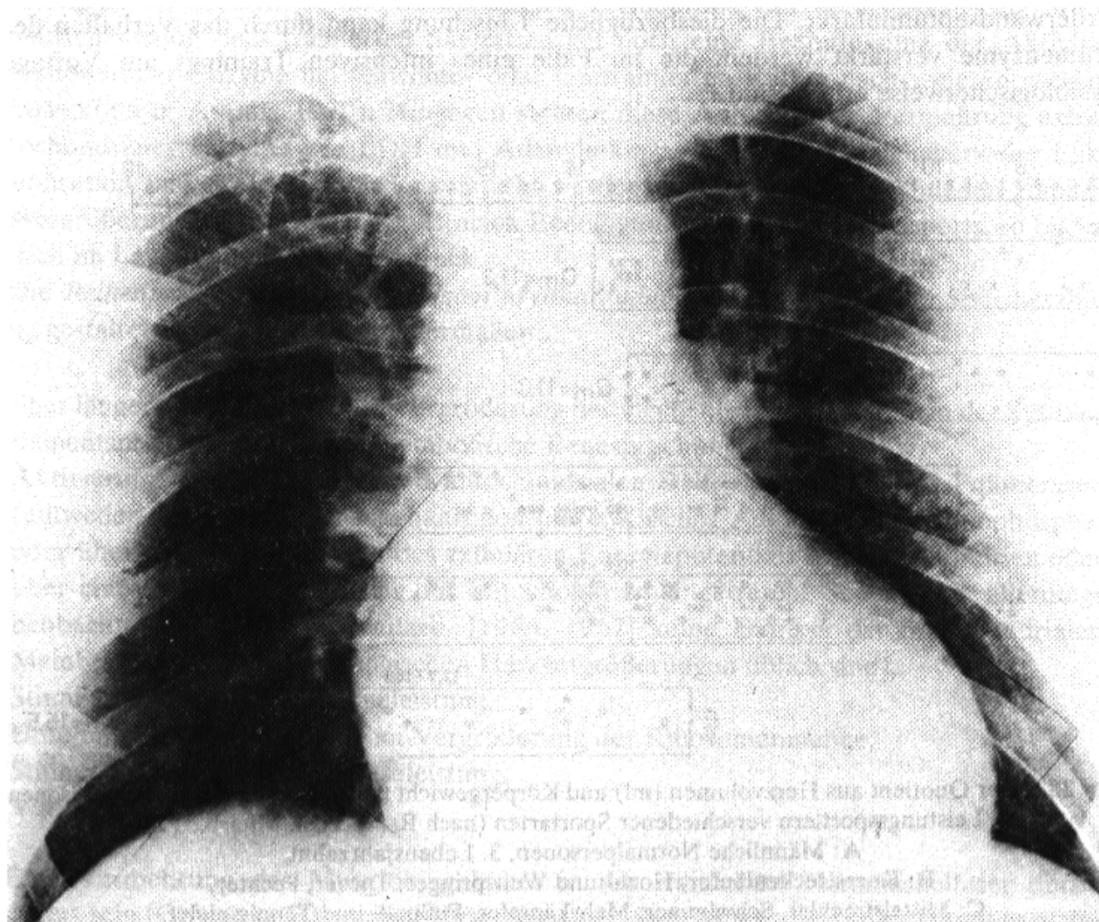
Il contenuto di O_2 nel sangue limita la performance in
altitudine

Pugh (1963)



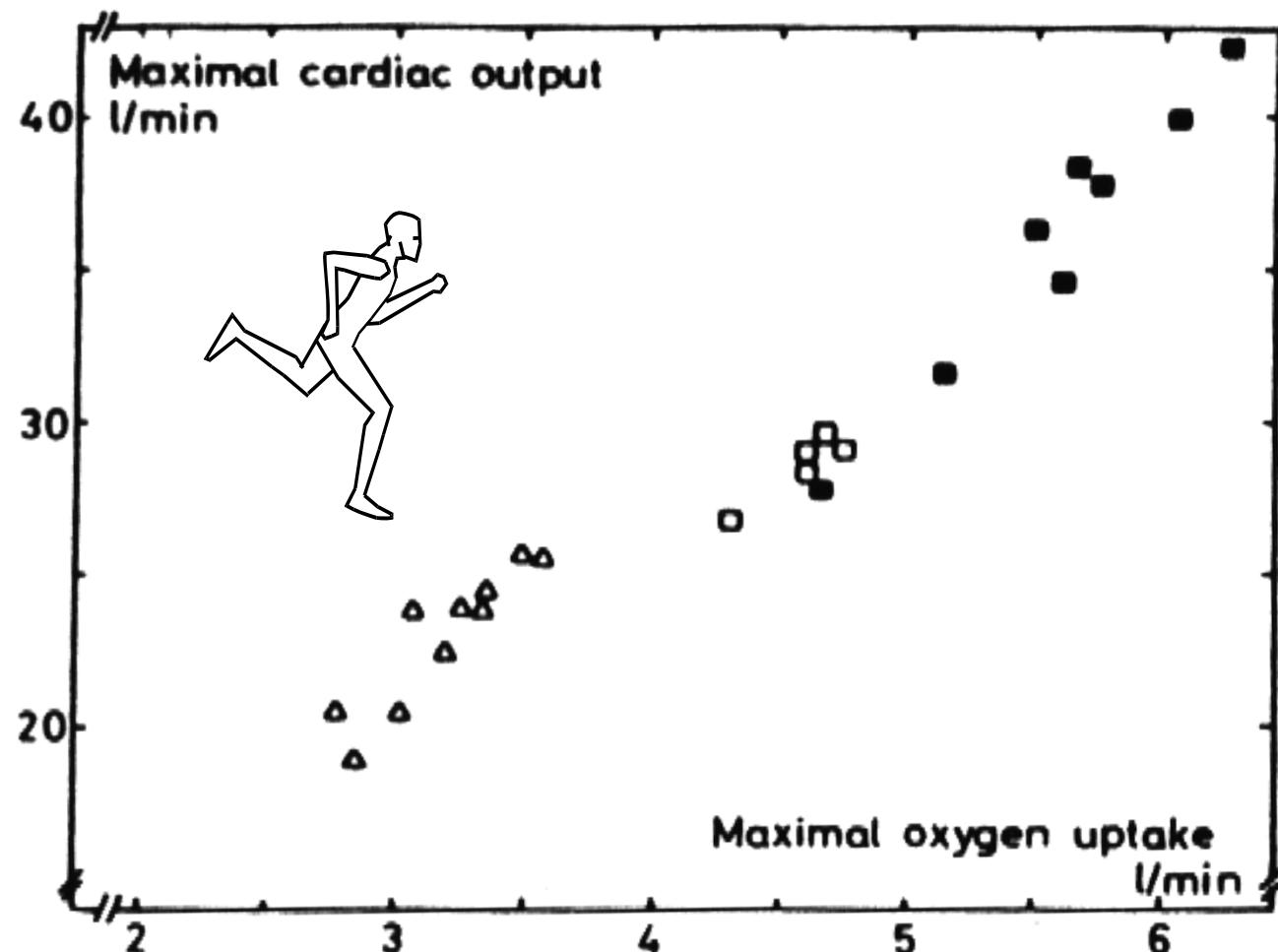
E' il cuore ?

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 ?



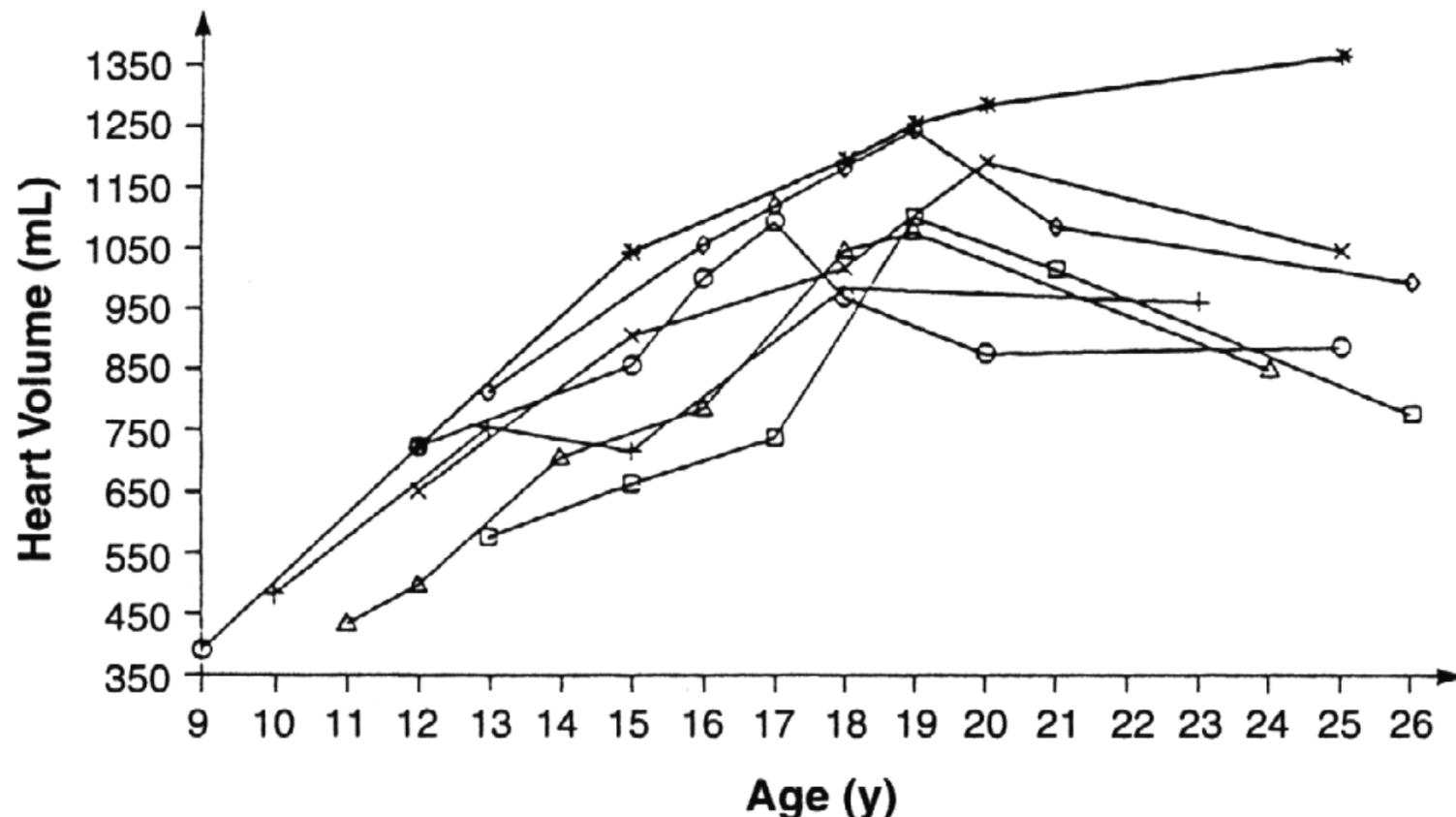
Correlazione buona tra $V'O_{2\max}$ e massima gettata cardiaca.

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

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

E' il cuore ?

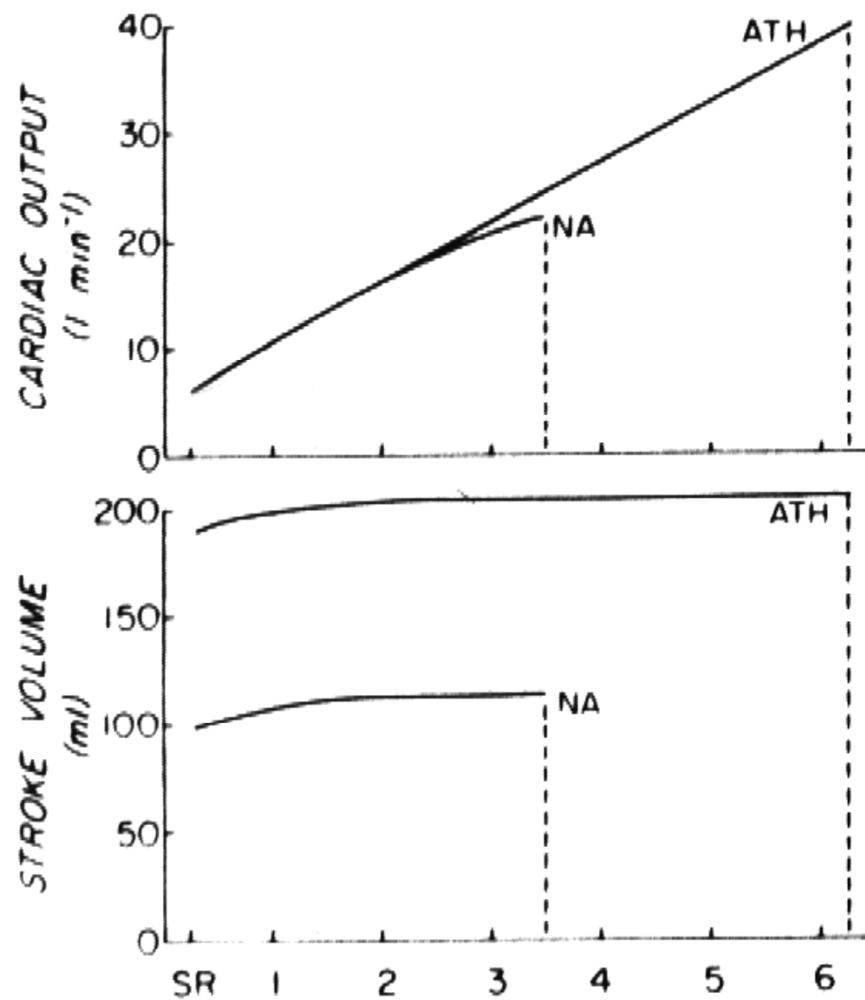
L'allenamento aerobico porta all'aumento del volume cardiaco \Rightarrow volume d'eiezione \uparrow .



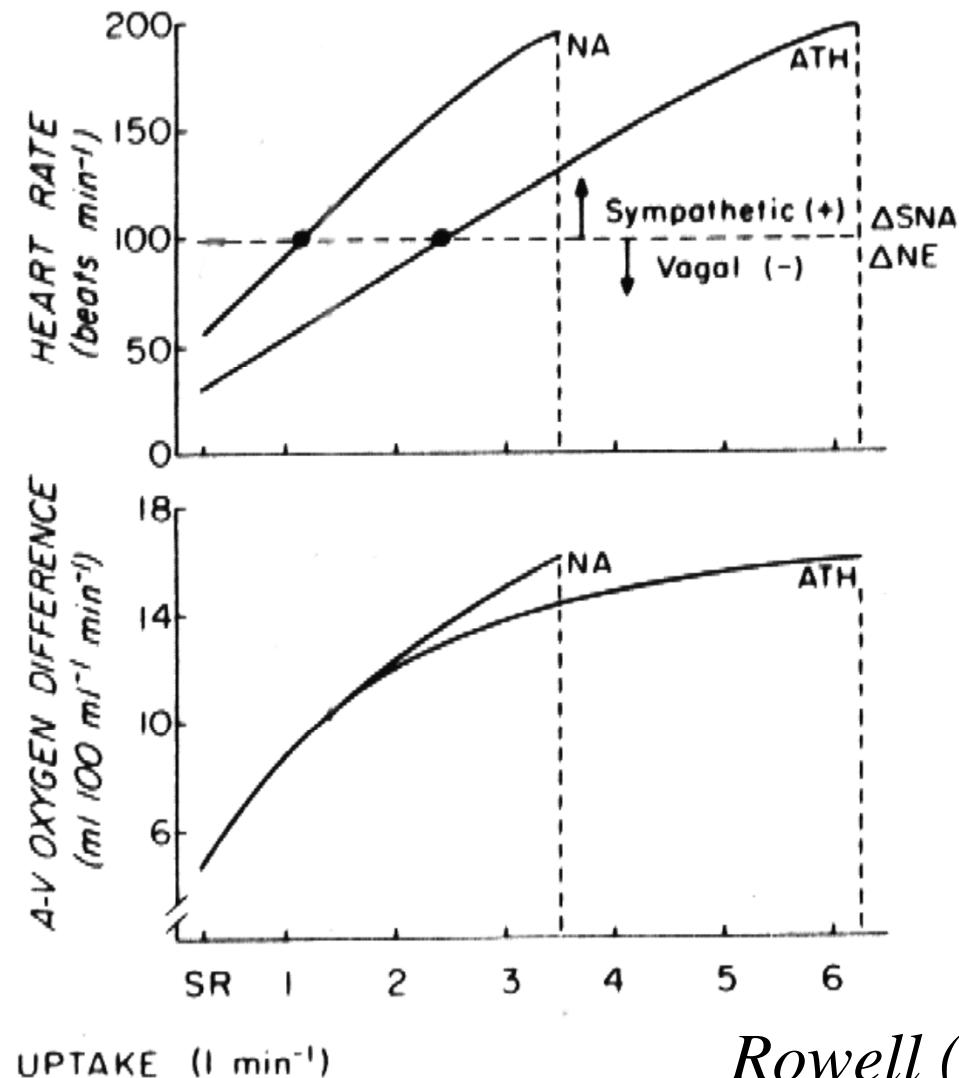
Rost (1997)

E' il cuore ?

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

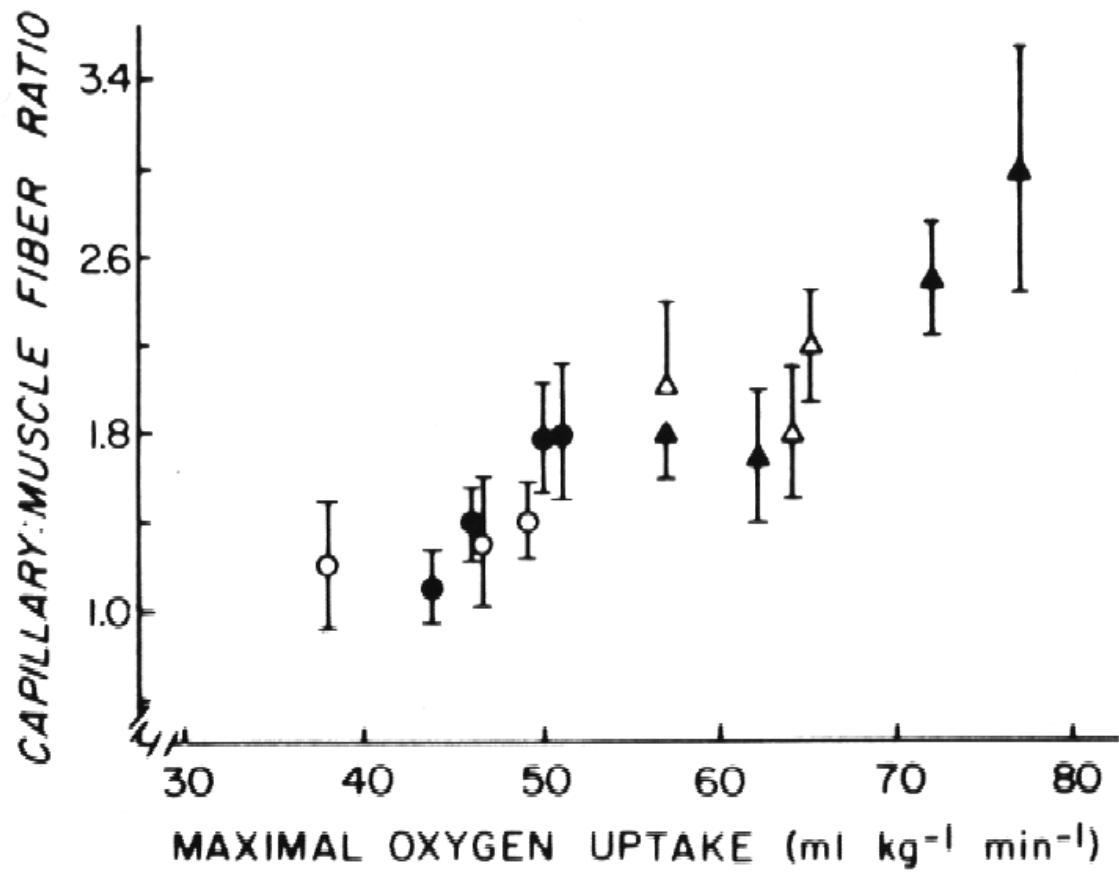


NA Non atleti; ATH Atleti



Rowell (1993)

Sono i fattori periferici?



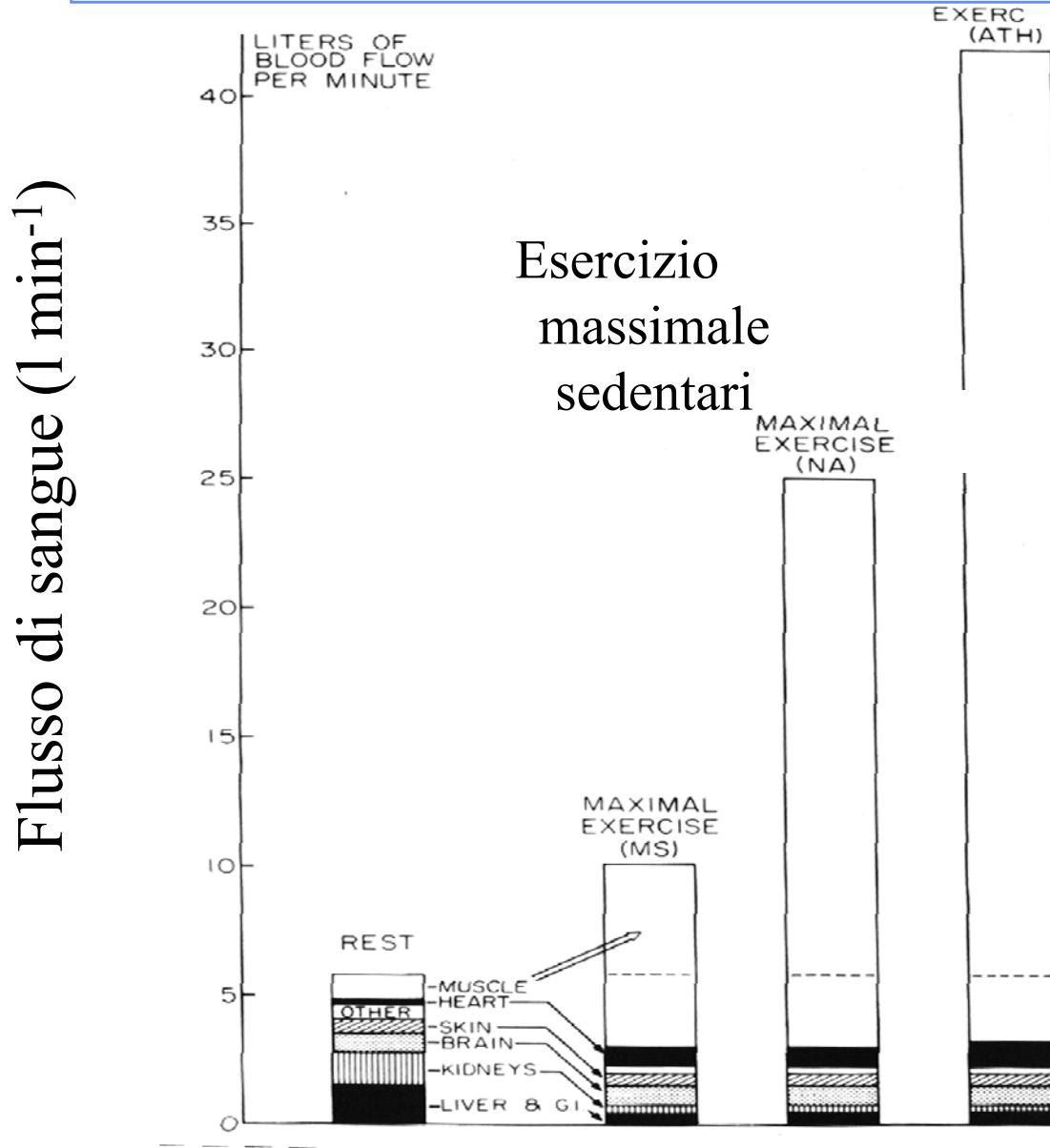
Gli atleti hanno un rapporto capillari-muscolo più alto.



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.



Esercizio
massimale atleti

I muscoli hanno bisogno di
più ossigeno con
l'aumento della potenza
⇒ 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> Δ1,150	×	17
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
-------------------	---	-----	---	-------------------------------

Totals	ΔBlood Flow 3,000 ml min ⁻¹	ΔOxygen Available 600 ml min ⁻¹
--------	---	---

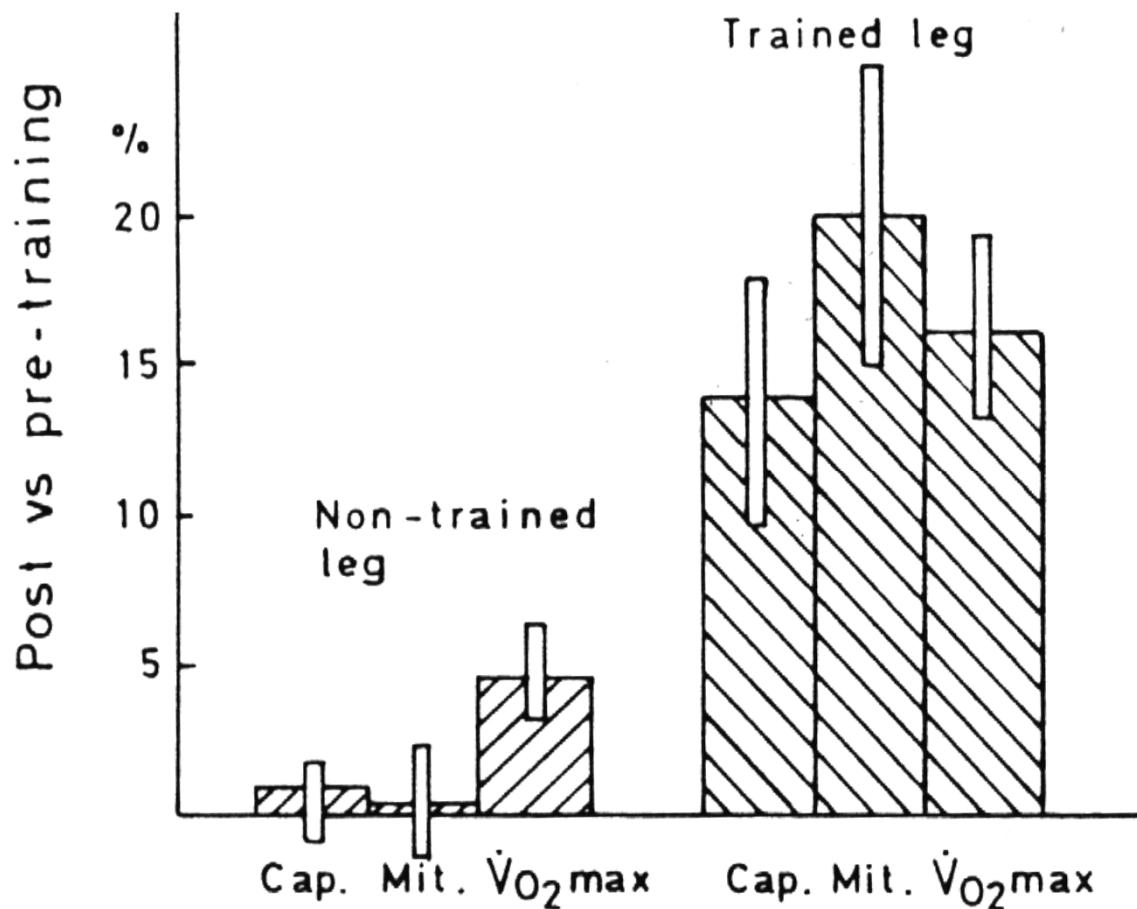
Sono i fattori periferici?

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	
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)

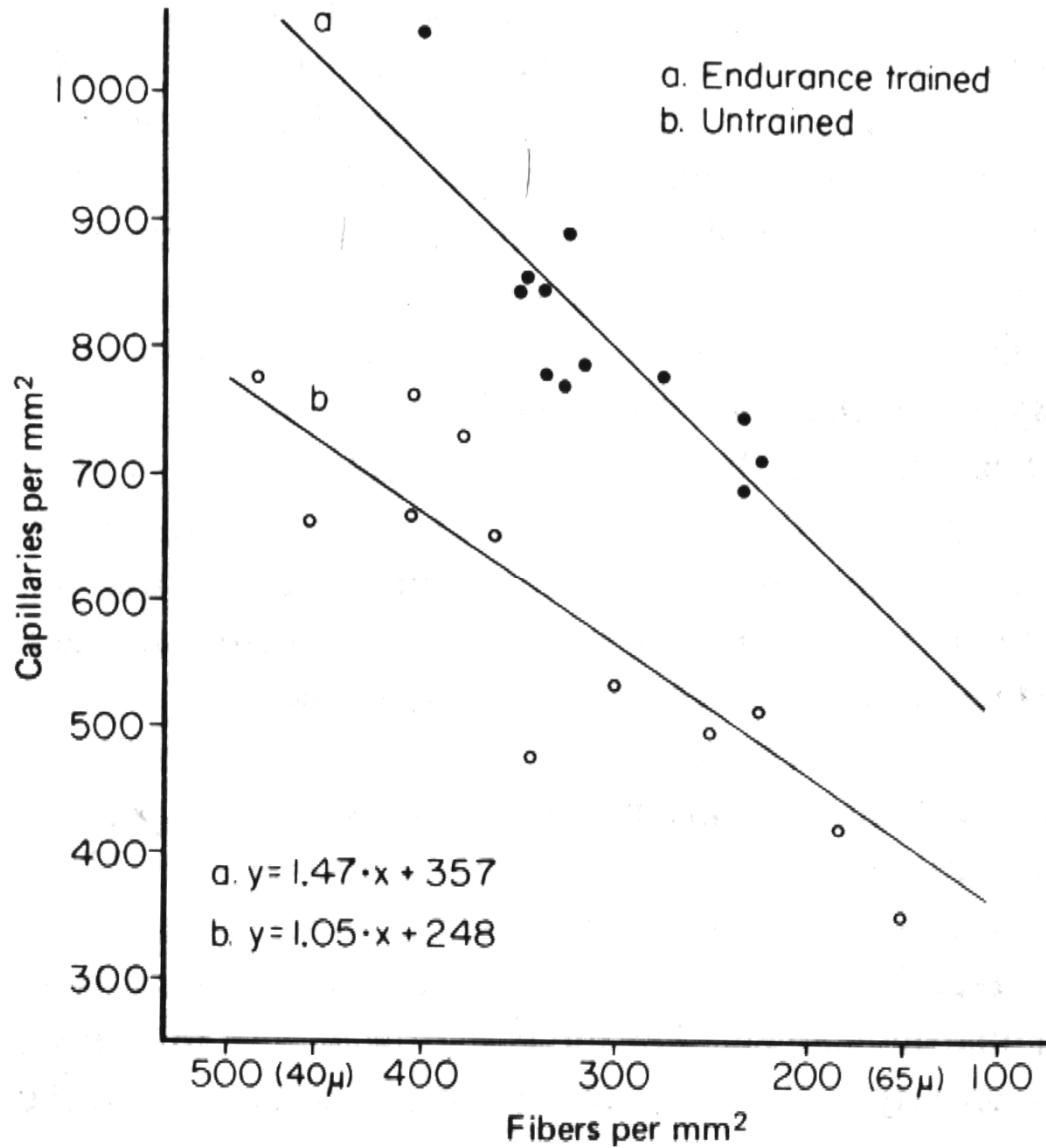
Sono i fattori periferici?



Saltin et al. (1976)

La capillarizzazione, l'attività degli enzimi mitocondriali e il $V' O_{2\max}$ sono maggiori nell'arto allenato. I **fattori periferici limitano il $V' O_{2\max}$ 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)

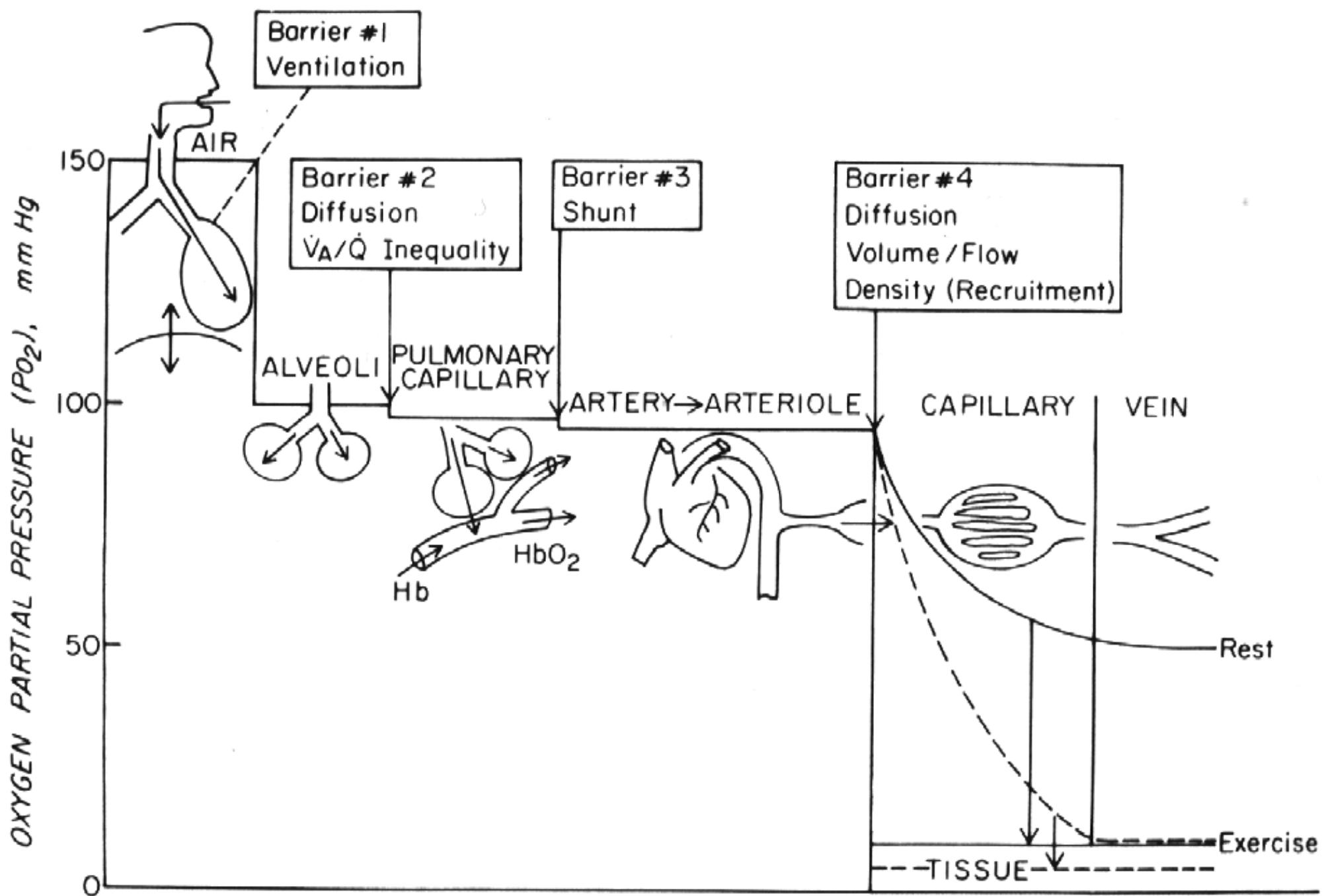
Da cosa è limitato V'O_{2max} ?

- 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 V'O_{2max}. 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' O₂max**

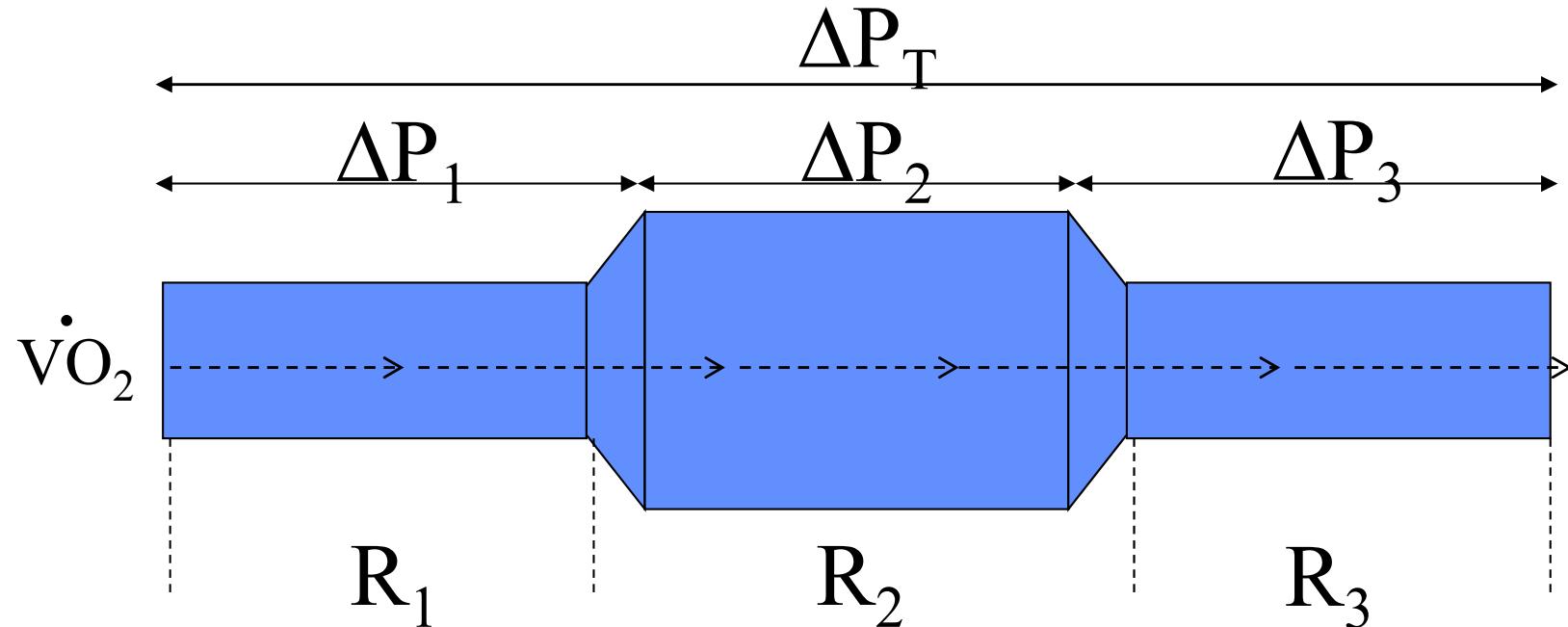
1. L'ossigeno, nel suo cammino dall'ambiente ai muscoli, fluisce superando un numero discreto di resistenze in serie (resistenze al flusso di Ossigeno)
2. Ognuna di queste resistenze è superata al costo di un certo gradiente di pressione parziale di O₂

Cascata dell'O₂



Modello delle conduttanze in serie - I

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



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

$$\dot{V}O_2 = \frac{DP_1}{R_1} = \frac{DP_2}{R_2} = \frac{DP_3}{R_3} = \frac{DP_{\text{tot}}}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{DP_{\text{tot}}}{R_{\text{tot}}}$$

Modello delle conduttanze in serie-I

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

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

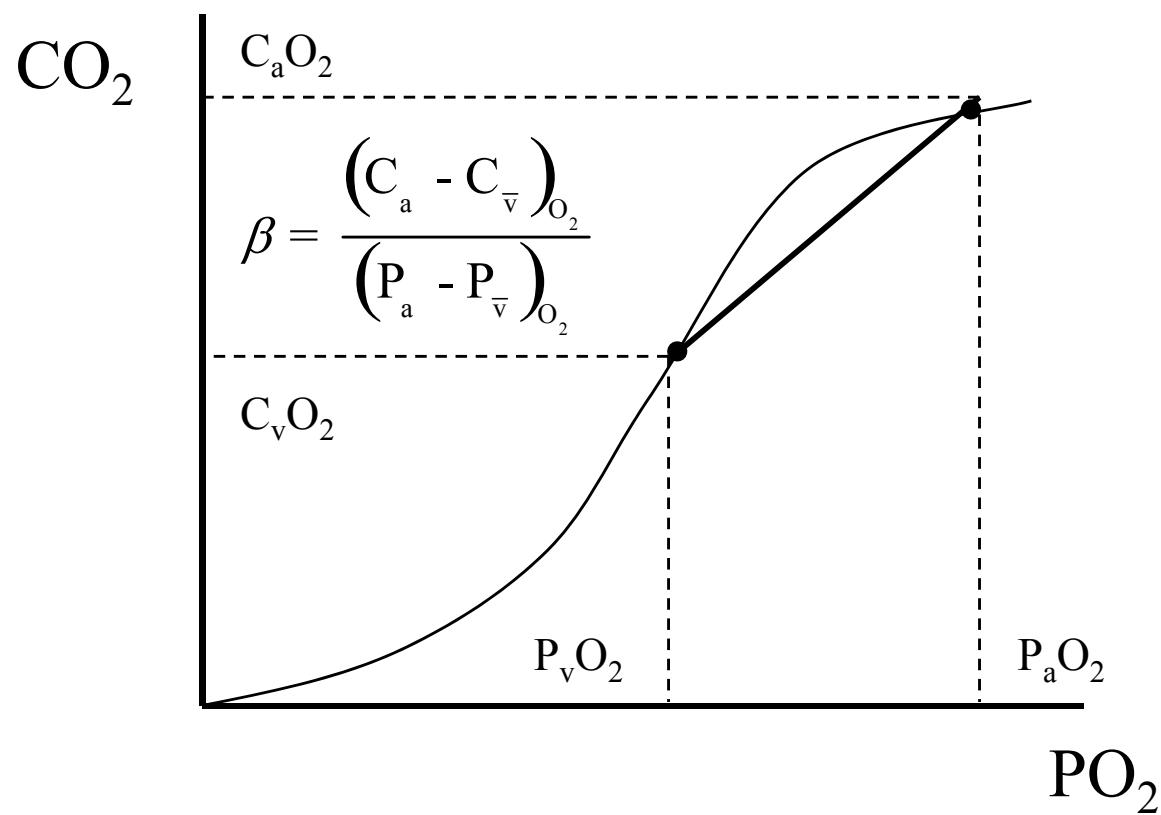
In condizioni di stato stazionario:

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

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

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

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' O₂max**

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

Quantificazione delle limitazioni frazionarie

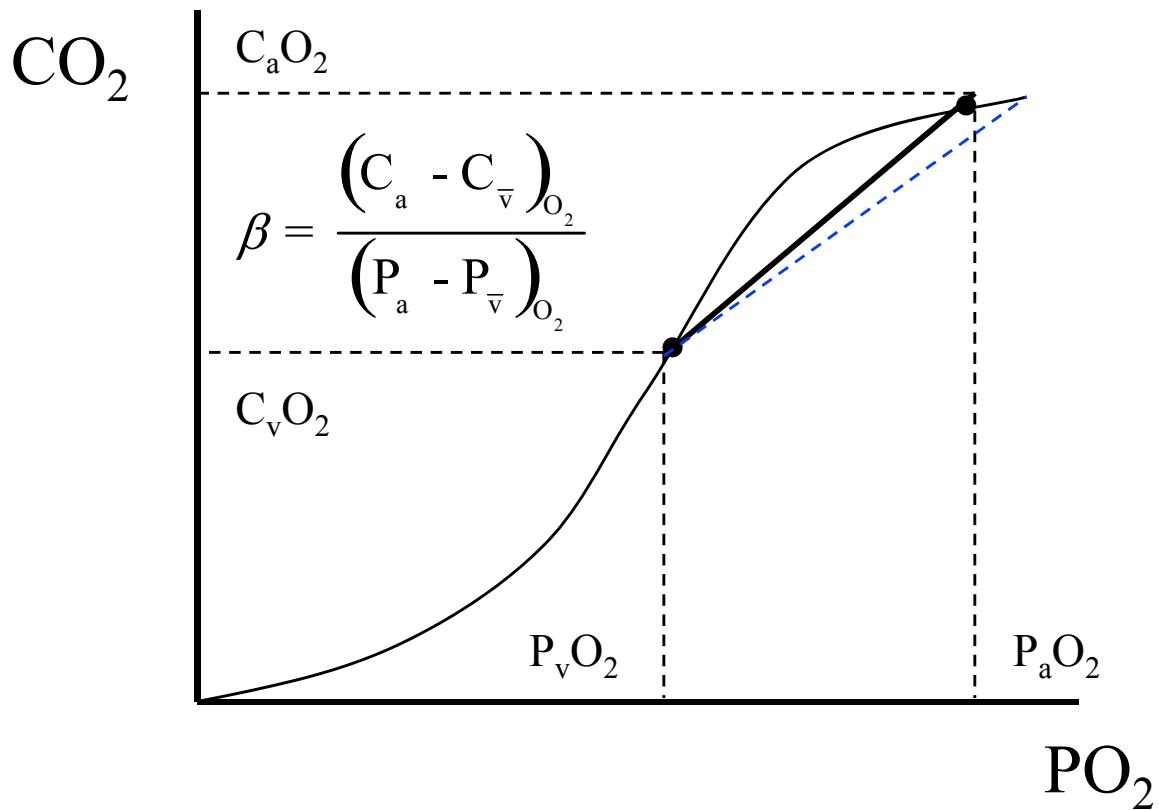
Factors limiting $\dot{V}_{O_2} \text{max}$ on the assumption that the O_2 conductance equation has a linear solution

	Sea level ^a	Everest (8848 m) ^b	
	Sedentary	Athlete	
$\dot{V}_{O_2} \text{max L/min}$	3.60	4.90	1.05
PI Torr	150	150	43
PA Torr	120	116	36
Pa Torr	95	83	28
P̄v Torr	20	18	15
Pm 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 } 0.37	0.22 } 0.45	0.19 } 0.35
$F_Q = (P_a - P_{\bar{v}})/(P_I - P_m)$	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).

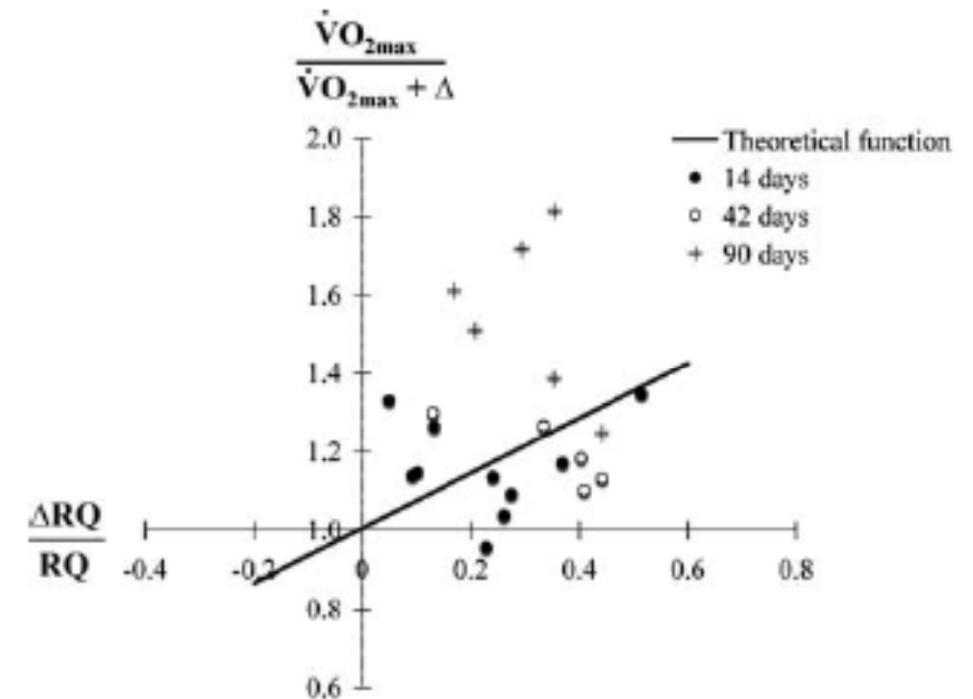
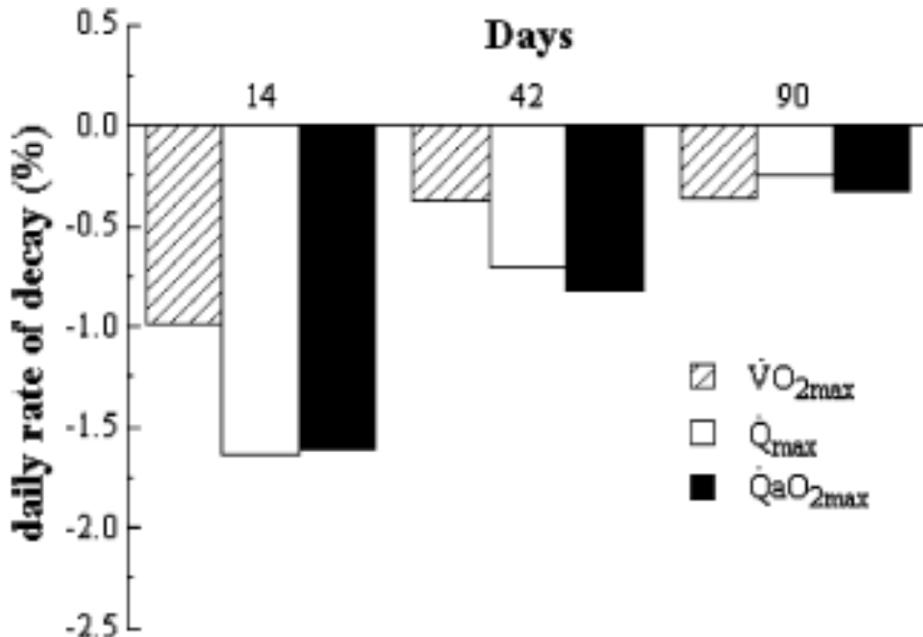
La ventilazione a livello del mare non modula la conduttanza totale



Iperventilazione:

1. $V'_{\text{A}} \uparrow \rightarrow G_{\text{V}} \uparrow$
 2. $P_{\text{A}}\text{O}_2 \uparrow$, ma $C_{\text{a}}\text{O}_2$ costante
 3. $\beta_b \downarrow \rightarrow G_{\text{Q}} \downarrow$
 4. G_{T} non cambia
- Quindi possiamo trascurare G_{V}
Solo conduttanze a valle del polmone
 $F_{\text{Q}}: 70\% \text{ circa}$
 $F_{\text{p}}: 30\% \text{ circa}$

Applicazioni: V' O_{2max} e inattività (bed rest)



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

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

Applicazioni: V' O₂max e inattività (bed rest)-cont

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

$$R_{TOT} = \frac{(PaO_2 - PmO_2)}{\dot{V}O_{2\max}}$$

$$\frac{PaO_2}{\dot{V}O_{2\max_{90}}} = FQ_{42} \frac{PaO_2}{\dot{V}O_{2\max_{42}}} + Rp_{90}$$

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 $V'_{O2\max}$ decay during bedrest: implications for $V'_{O2\max}$ limitation. *Eur J Appl Physiol* 98: 152 - 160, 2006.