

Bioenergetica e fisiologia dell' esercizio

6. Il controllo delle risposte

Cardiovascolari all' Esercizio

Muscolare, aspetti fisiopatologici

**Prof. Carlo Capelli, Fisiologia Generale
e dell' Esercizio, Facoltà di Scienze
Motorie, Università degli Studi di
Verona**

Obiettivi

- Controllo periferico e centrale delle risposte cardiovascolari
- Central command e resetting del baroriflesso
- Metabo riflesso
- Simpatolisi
- Risposte cardiovascolari all' esercizio e energetica cardiaca: esercizio dinamico ed esercizio isometrico
- Effetti del disallenamento sulle risposte cardiovascolari e il massimo consumo di ossigeno

Central Command, Metaboriflesso, Pressione Arteriosa e FC

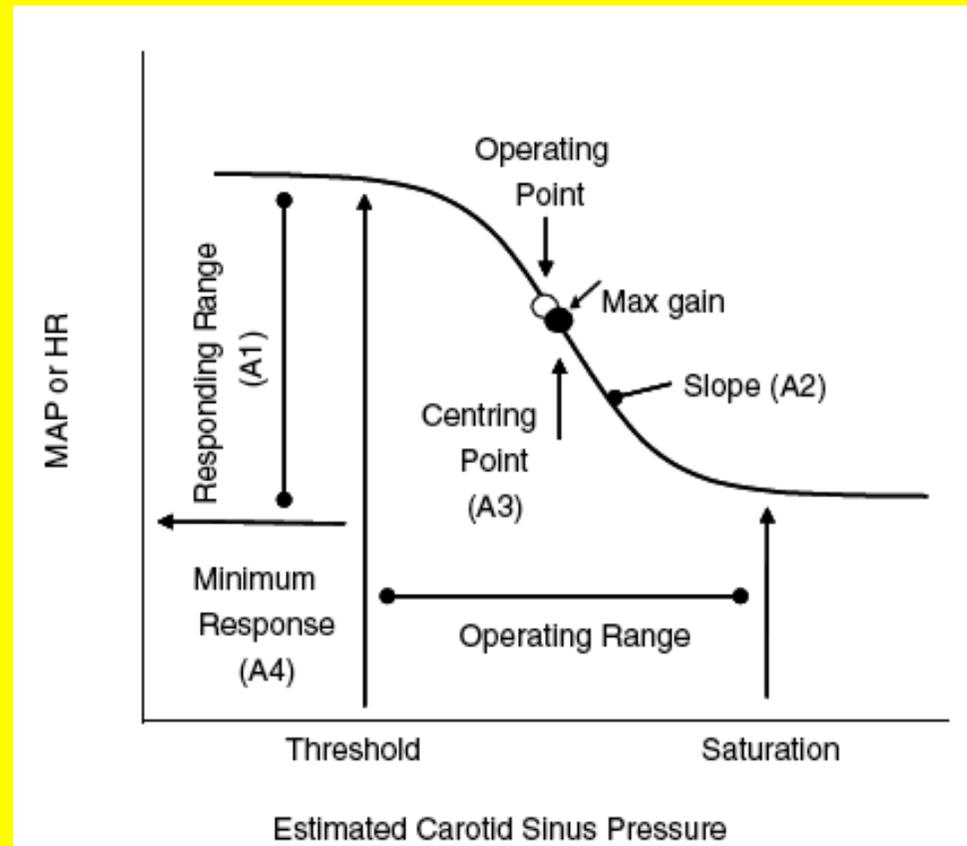
Durante l' esercizio convivono due fenomeni contraddittori:

- **Aumento di FC**
- **Con elevazione (normalmente) di scarsa entità di PA Media**

Resetting del riflesso barocettivo

1. *Central command*: irradiazione centrifuga corticale su centri bulbari di controllo cardiovascolare responsabile del **resetting del riflesso barocettivo**
2. “*Muscle heart reflex*” (o *exercise pressor reflex*): riflesso simpatomediato a partenza muscolare periferica (metabocettori ?, meccanicocettori ?), **corresponsabile del resetting barocettivo**

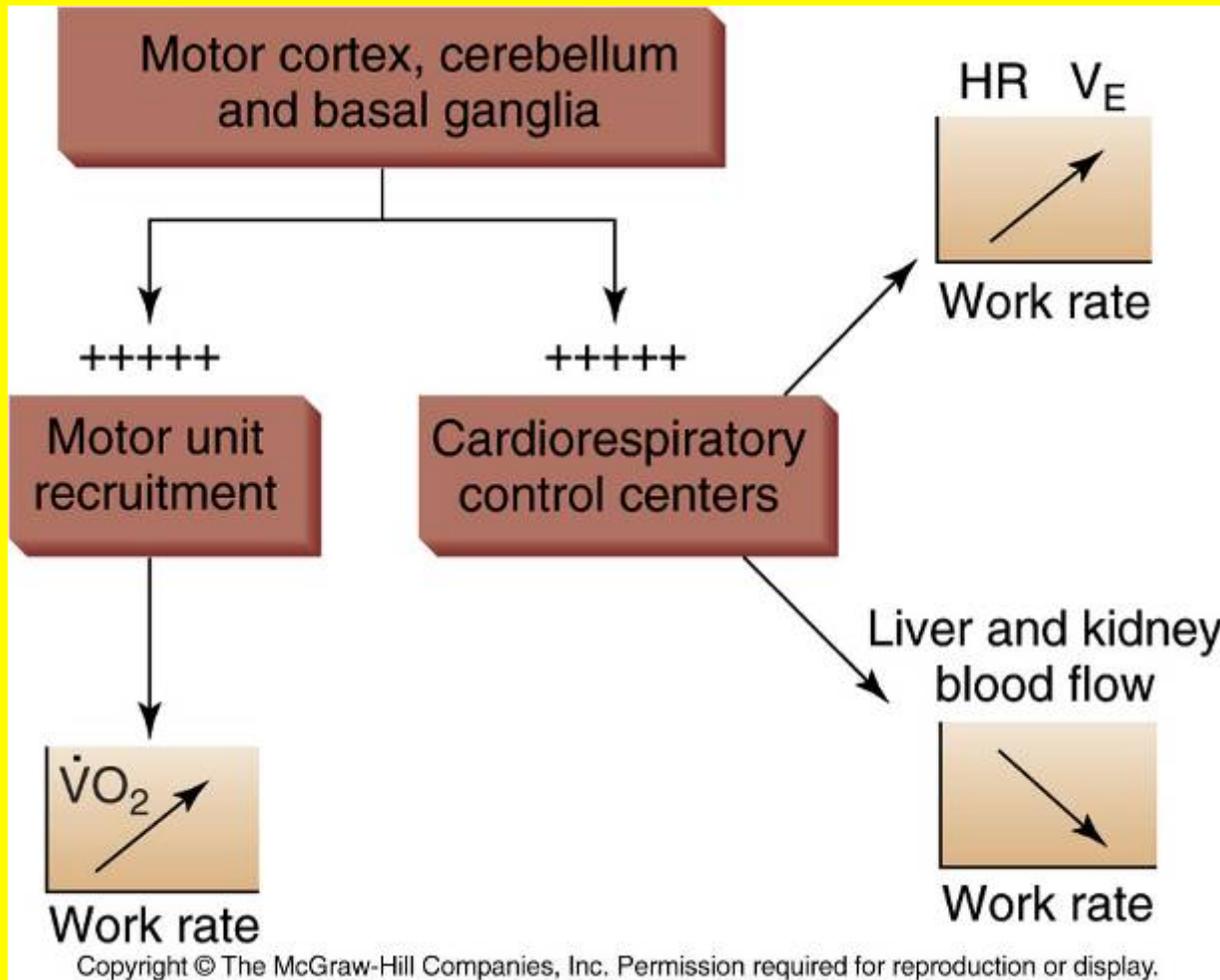
Il Riflesso Barocettivo



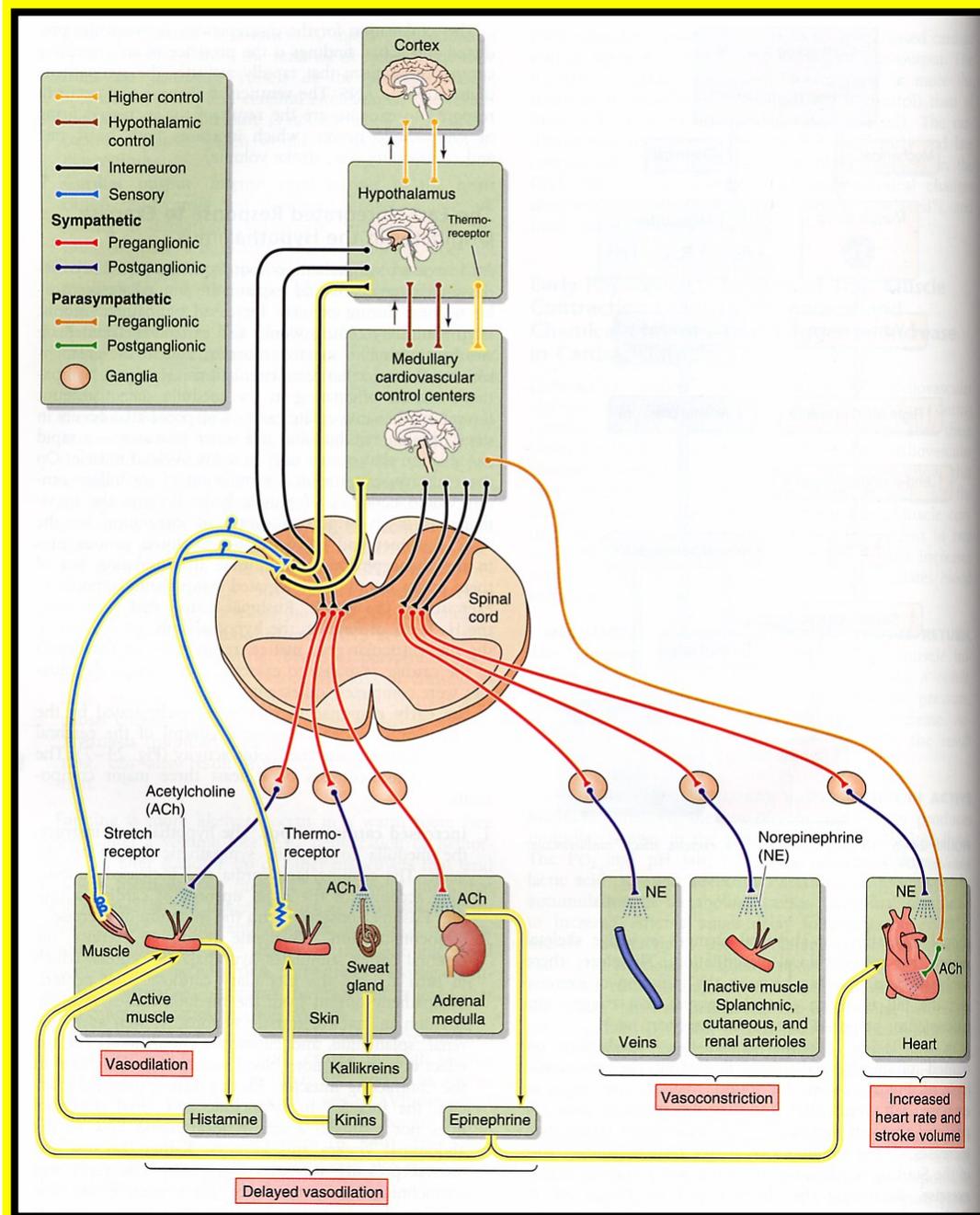
Controllo Periferico e Centrale delle Risposte Cardiorespiratorie

- **“Central Command”**
 - Corteccia motoria, cervelletto, gangli della base
 - Reclutamento delle UM
 - Stimola il sistema di controllo cardiorespiratorio
- **Feedback periferico afferente dai muscoli in attività**
 - Fibre nervose gruppo III e gruppo IV Group III
 - Rispondono a tensione (meccanocettori), temperatura, modificazioni chimiche
 - Afferenze al centro di controllo cardiovascolare

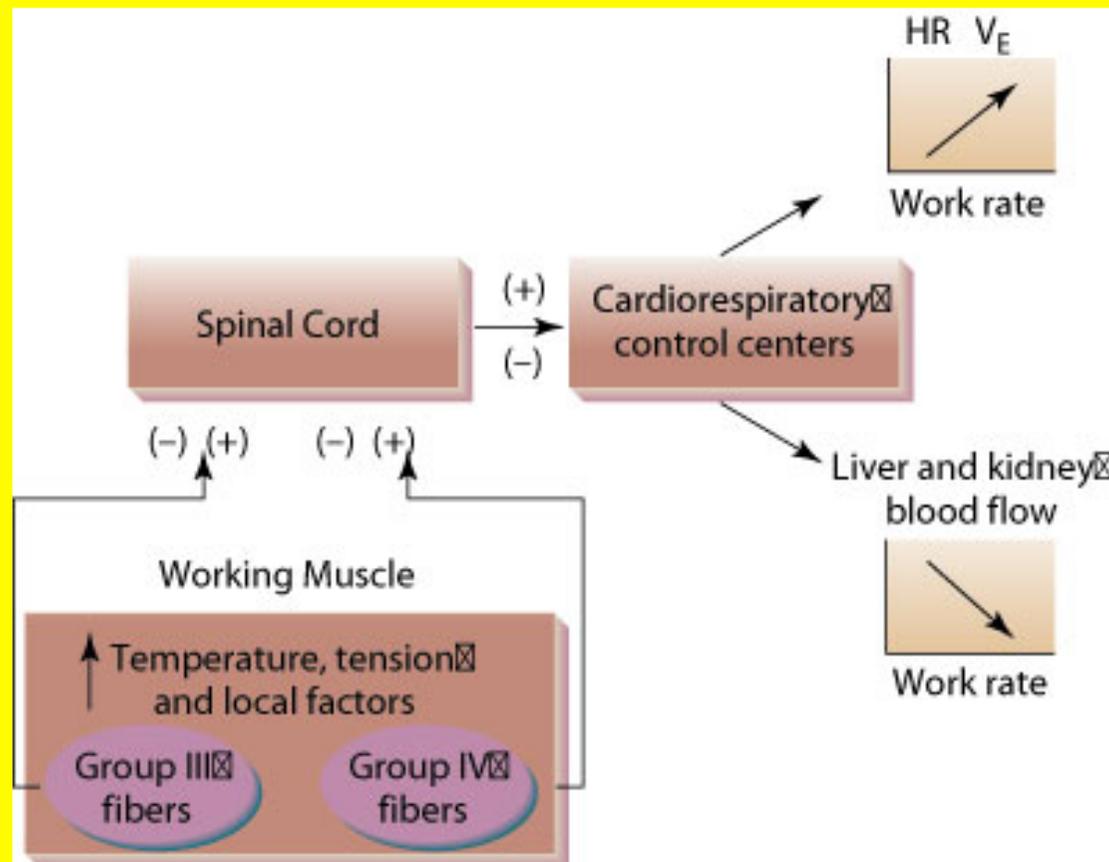
Controllo Centrale delle Risposte Cardiorespiratorie



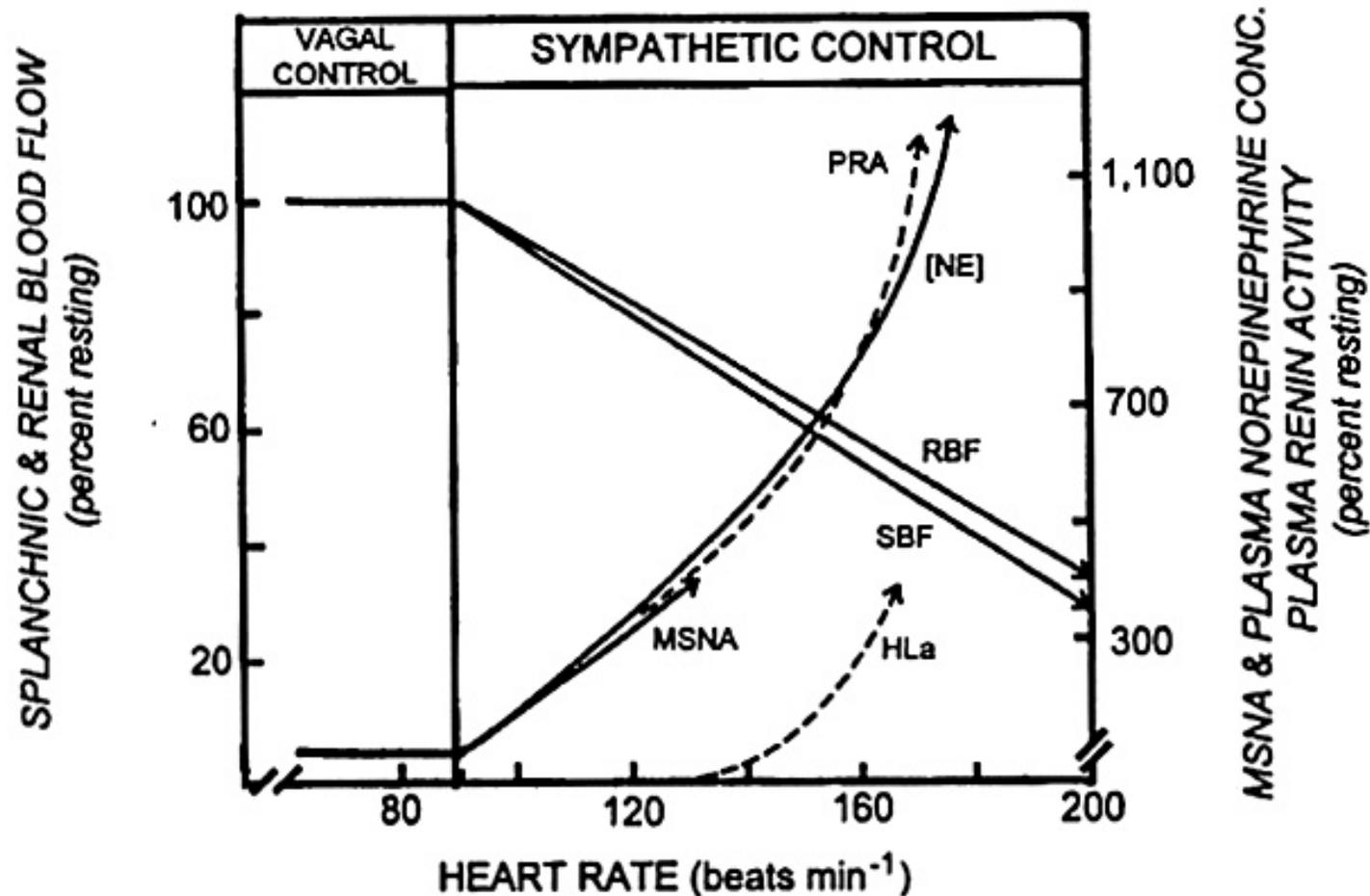
Early Response e Central command



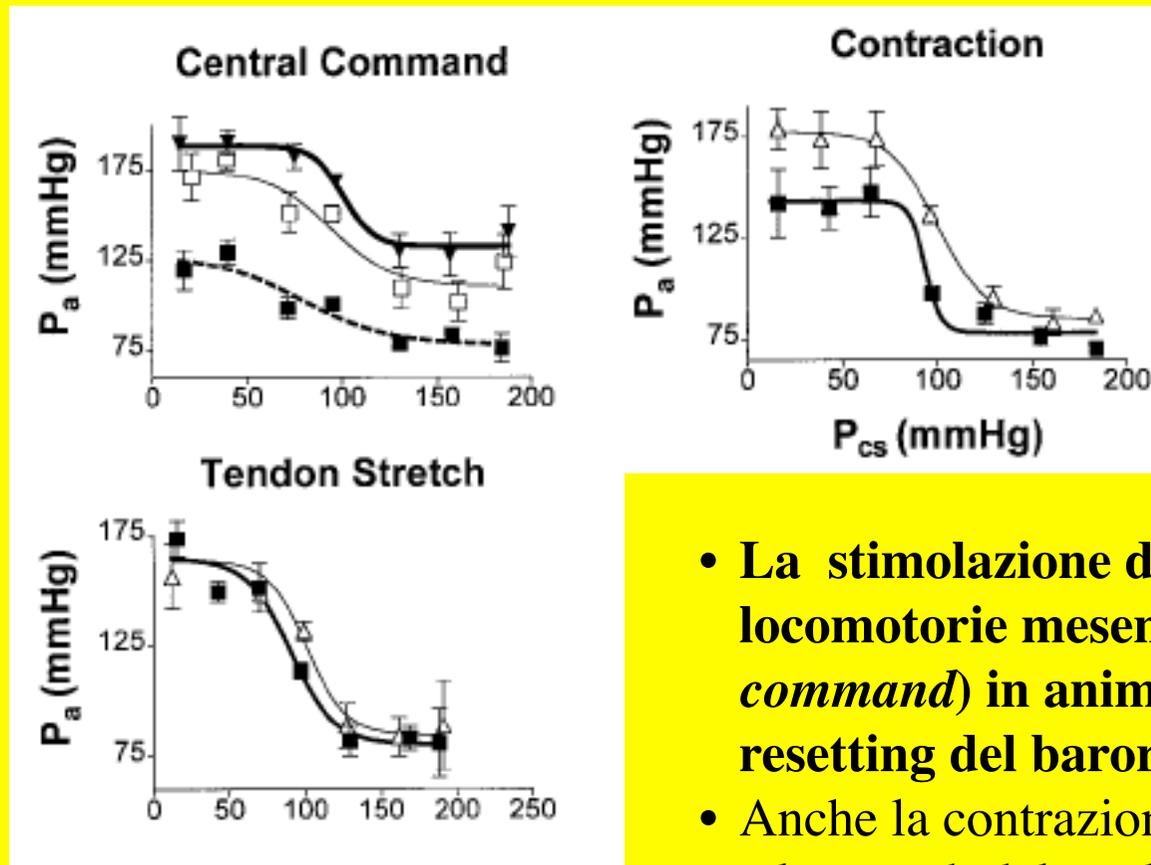
Controllo Periferico di FC, V'_E e Perfusione



Attivazione neuro-umorale



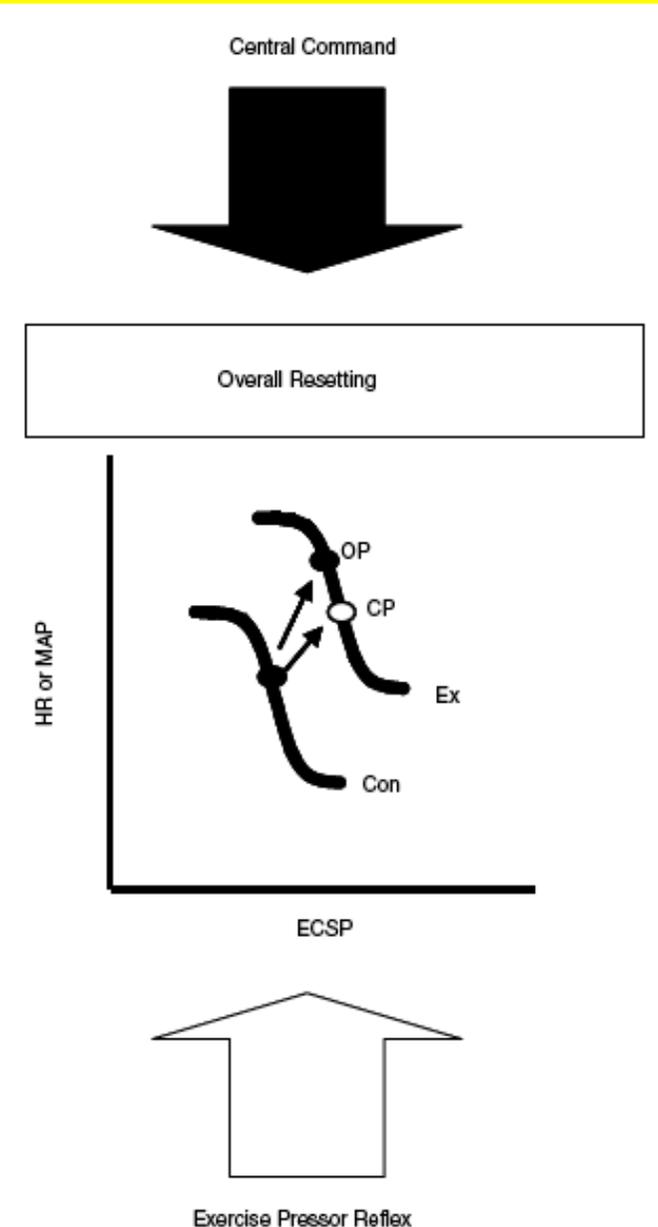
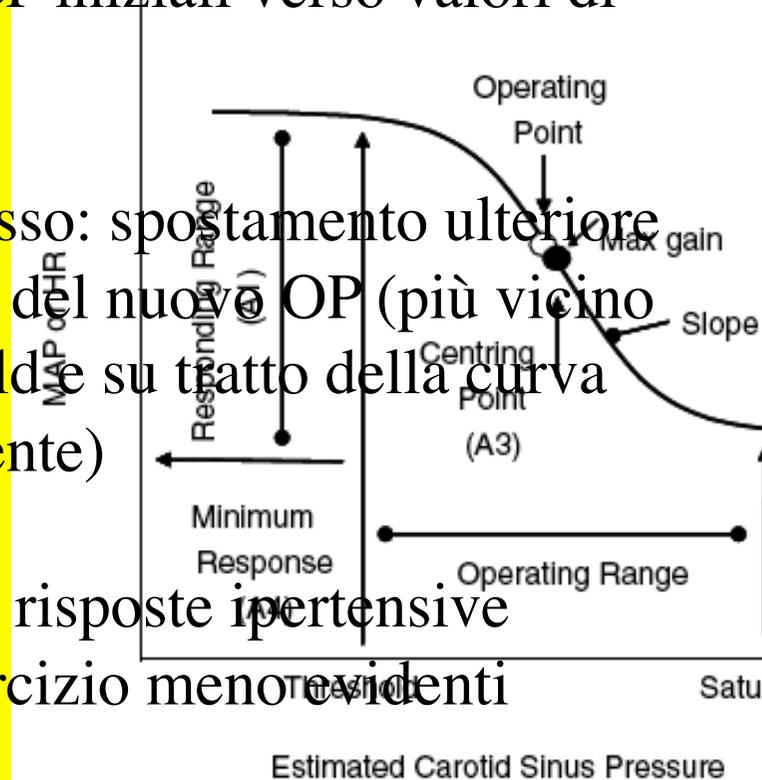
Baroreflex resetting e central command



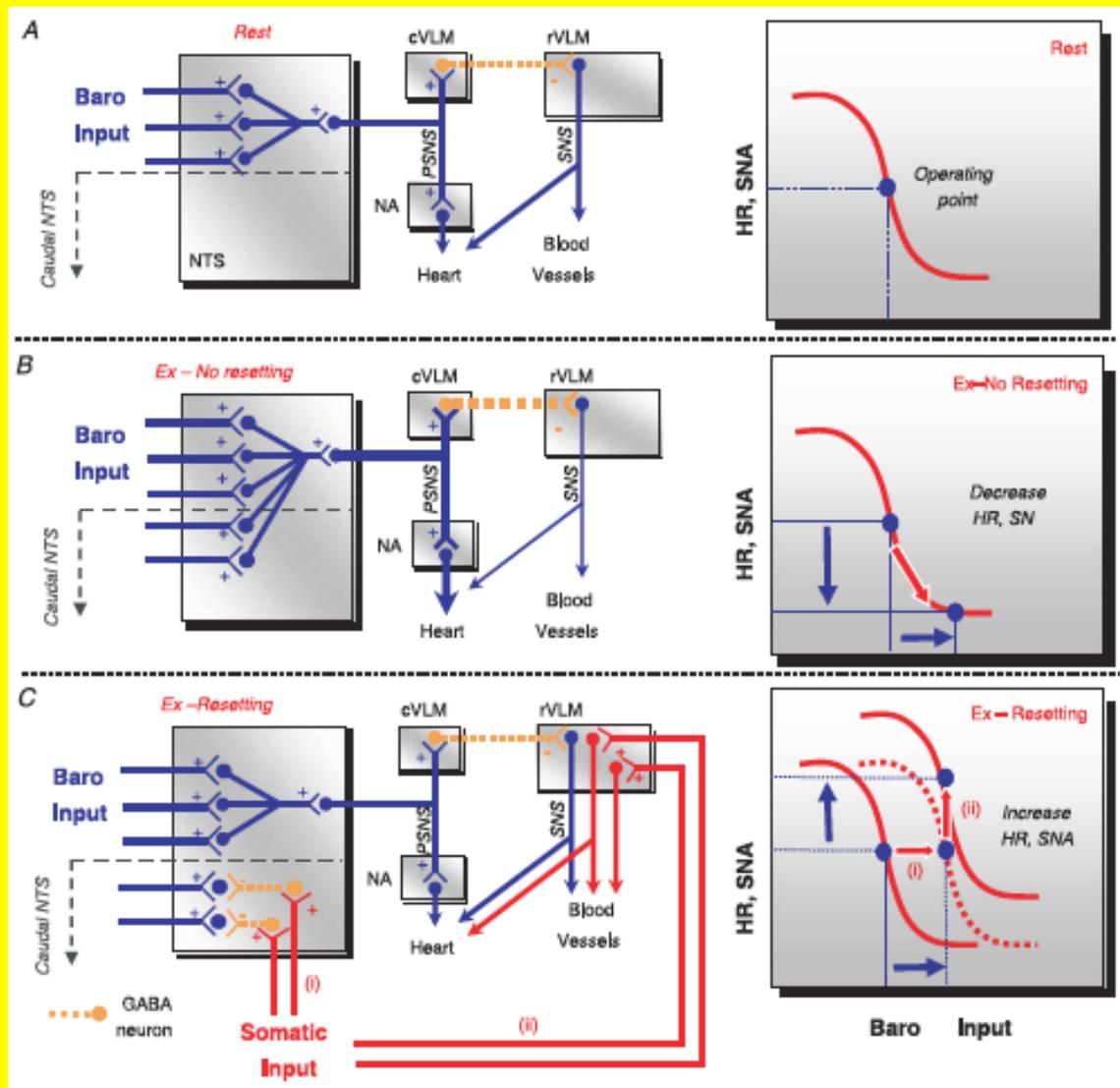
- La stimolazione delle regione locomotorie mesencefaliche (*central command*) in animali paralizzati causa resetting del baroriflesso
- Anche la contrazione del tricipite della sura e lo stretch del tendine calcaneale (effetto meno evidente) sono in grado di resettare il baroreflex

Resetting del baroriflesso

1. Central command: spostamento verso dell' OP e CP iniziali verso valori di PA più alti
2. Metaboriflesso: spostamento ulteriore verso l' alto del nuovo OP (più vicino alla threshold e su tratto della curva meno pendente)
3. Minor gain: risposte ipertensive durante esercizio meno evidenti



Baroreflex resetting exercise pressor reflex: Schema dei circuiti neurali



- A. A riposo.** Le afferenze BC (*baro input*) contraggono sinapsi con neuroni del II ordine del NTS che convergono sul NA e cVLM; l'effetto di questo circuito è quello di stabilire l'*operating point*
- B. No resetting.** L'aumento delle afferenze barocettive porta a \uparrow output NTS con: i) \uparrow dell'attività neurale di NA ed eccitazione del parasimpatico; ii) inibizione (via GABA-ergica) nn. premotori ortosimpatici di cVLM. Diminuzione di FC con lieve aumento di PA per aumento di Q' .
- C. Resetting:** afferenze muscolari inibiscono (via GABA-ergica) l'effetto dell'aumento delle afferenze barocettive. L'attività di NTS si normalizza e si riduce l'entità della baroinibizione. Le afferenze somatiche attivano nn simpatoeccitatori in cVLM. FC e attività simpatica aumentano: *operating point* si resetta verso l'alto e a destra

Risposte pressorie all' Esercizio Isometrico

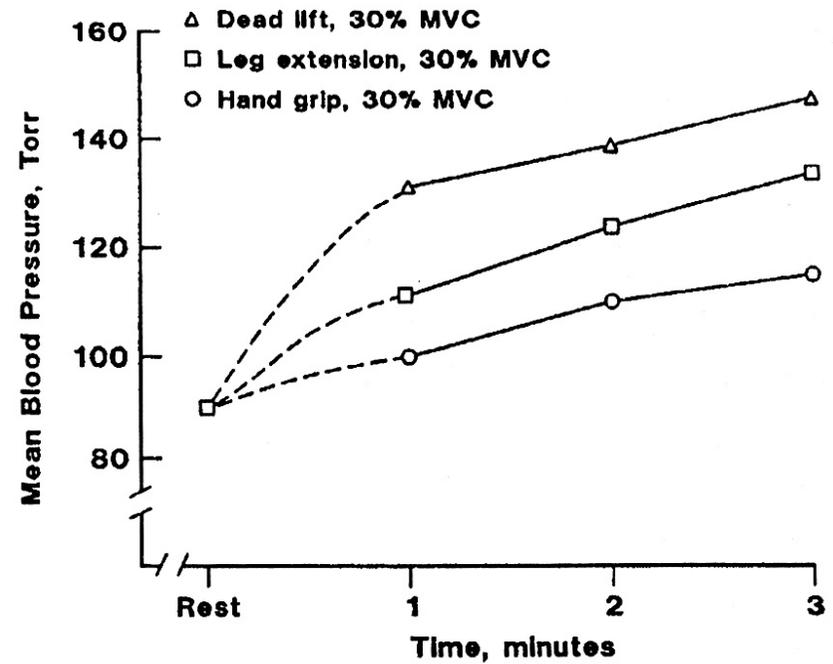
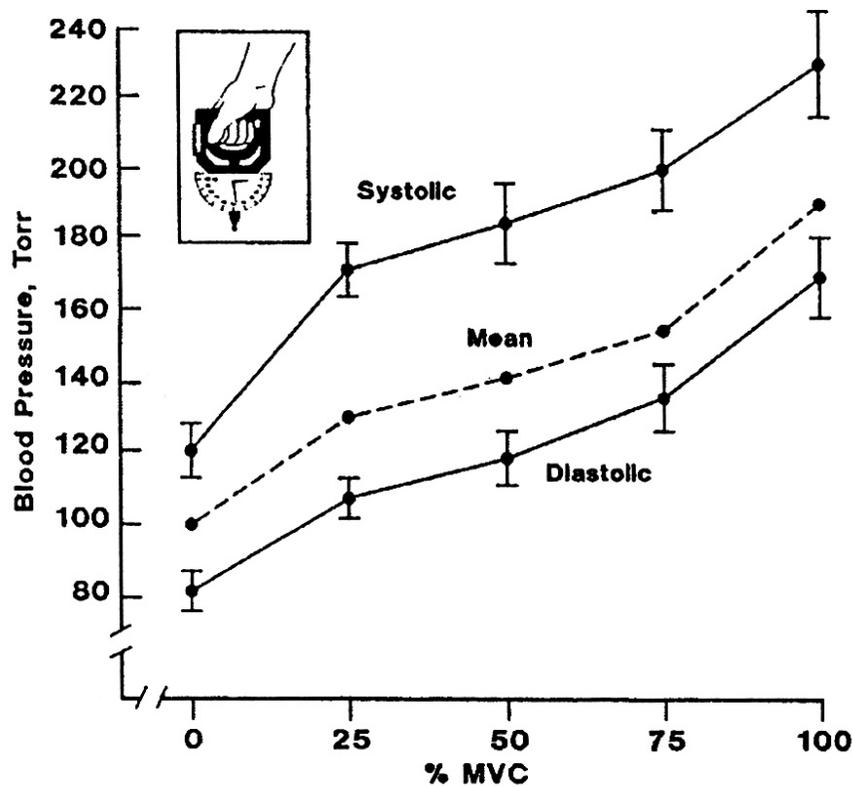
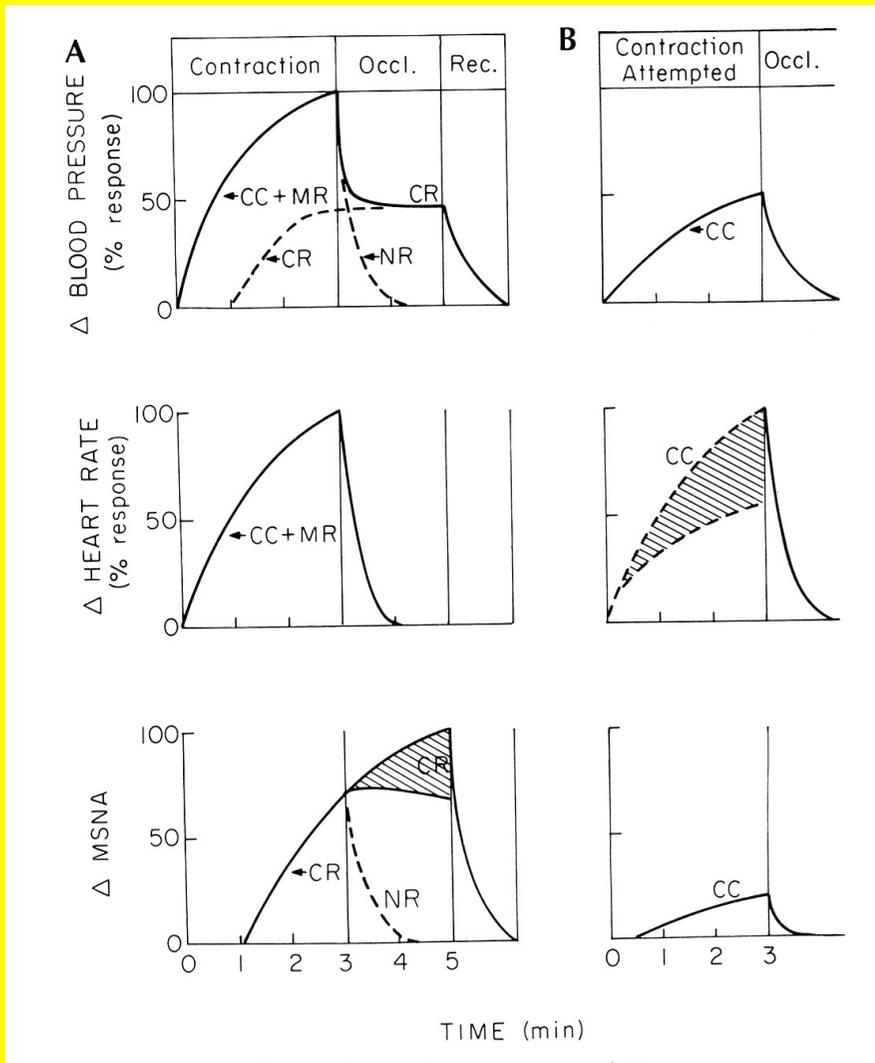


FIG. 12.

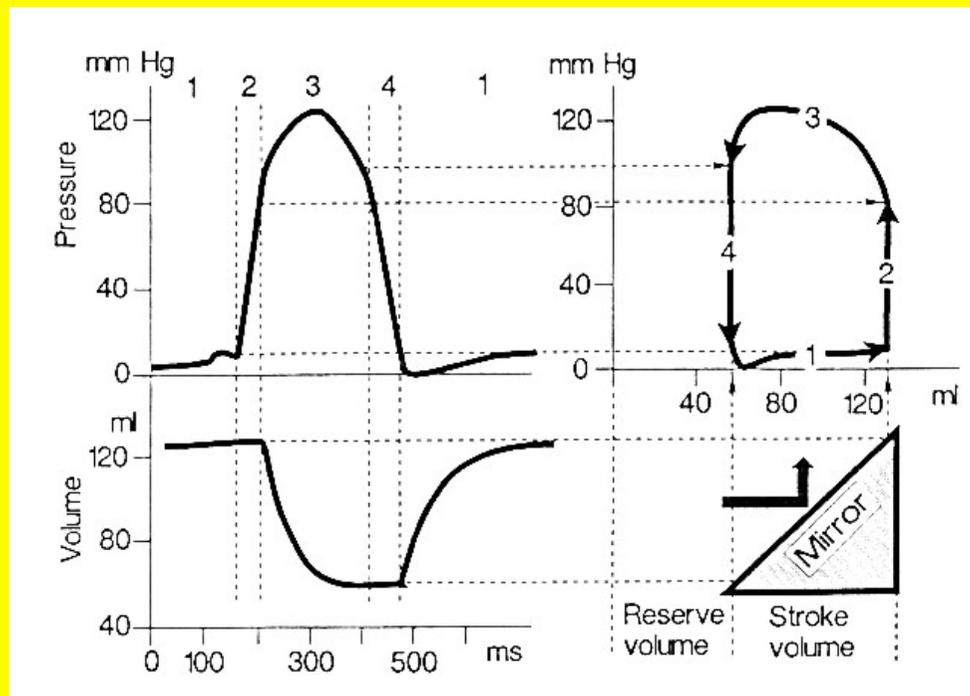
Riflessi neurovascolari ed esercizio isometrico



- L' esercizio isometrico induce un aumento notevole della pressione arteriosa diastolica per occlusione meccanica e cospicua attivazione del **metaboriflesso**

Risposte cardiovascolari all' esercizio ed energetica cardiaca

Lavoro meccanico cardiaco



$$\text{Lavoro (w)} = P \cdot V$$

$$W = \int P_v dV$$

$$W = P_v^{\text{media}} \cdot SV$$

$$W = (P_A^{\text{media}} + 0.5\rho v^2) \cdot SV$$

Lavoro cardiaco

Pressure-volume work

$P \times V$

Left ventricle

$$P = 110 \text{ mm Hg}$$

$$V = 70 \text{ ml}$$

$$= 110 \times 133 \text{ N/m}^2$$

$$= 70 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$P \times V = 1.024 \text{ Nm}$$

Right ventricle

$$P = 15 \text{ mm Hg}$$

$$V = 70 \text{ ml}$$

$$= 15 \times 133 \text{ N/m}^2$$

$$= 70 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$P \times V = 0.140 \text{ Nm}$$

Kinetic work

$1/2 m \times v^2$

Left ventricle

$$m = 70 \text{ g}$$

$$v = 0.5 \text{ m/s}$$

$$= 70 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

$$1/2 mv^2 = 0.009 \text{ Nm}$$

Right ventricle

m and v are as in left ventricle

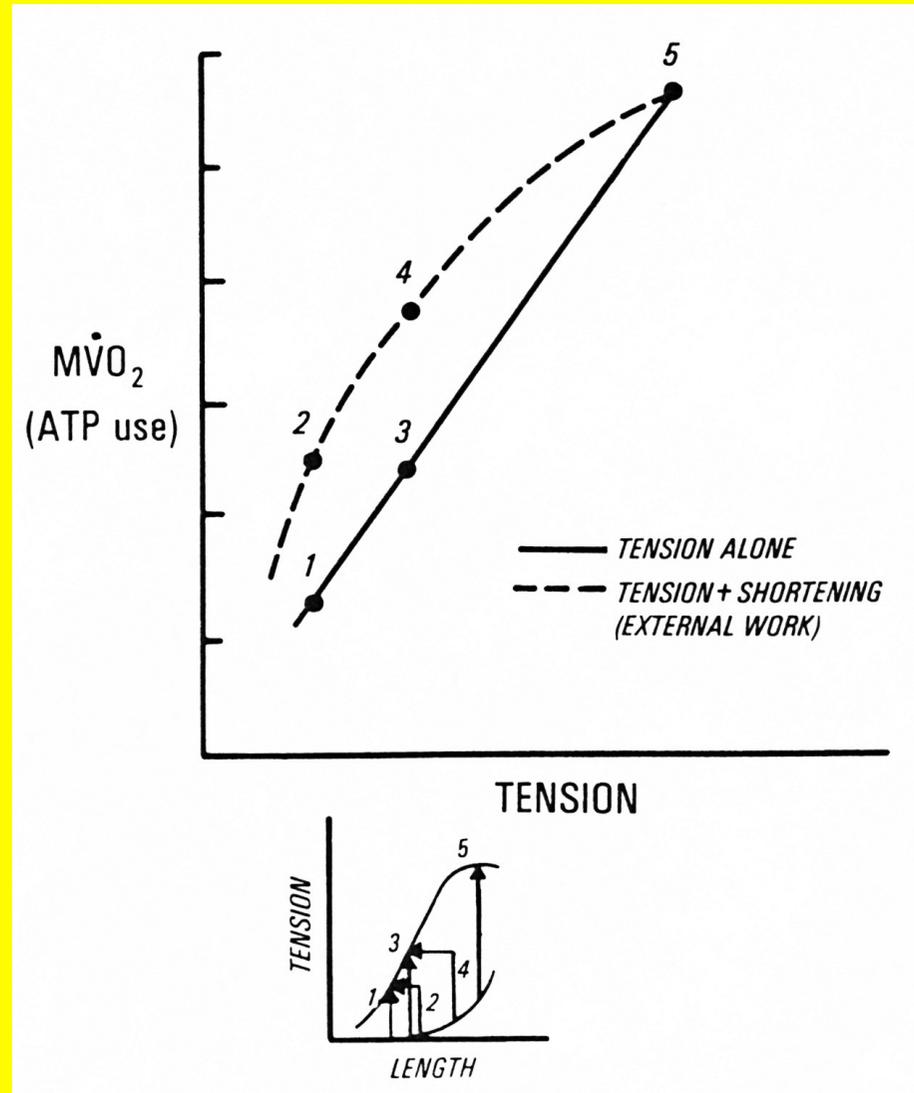
$$1/2 mv^2 = 0.009 \text{ Nm}$$

Total work

$$= 1.182 \text{ Nm}$$

Potenza meccanica: 1 - 1.3 W

Determinanti del $\dot{V}' O_2$



Dispendio energetico totale- rendimento del cuore

E' descritto da:

$$E = \int P_v dV + \alpha \int T dt + a' x$$

A sua volta, il rendimento meccanico è dato da:

$$\int P_v dV / (\int P_v dV + \alpha \int T dt + a' x)$$

Frequenza cardiaca e $mV' O_2$

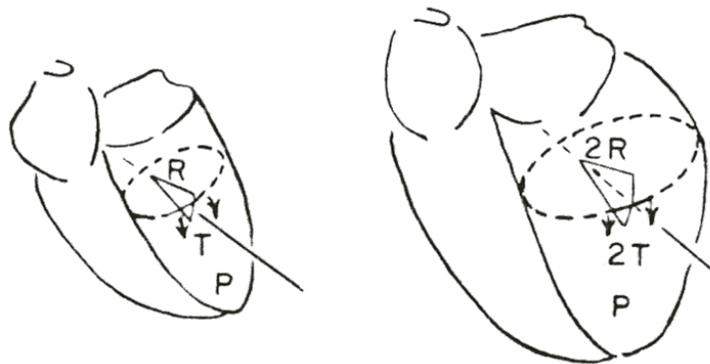
TABLE 14-1.—MEAN Q-T INTERVALS AND PER CENT OF CYCLE THAT IS ELECTRICAL VENTRICULAR SYSTOLE AT DIFFERENT HEART RATES (FOR MEN AND CHILDREN)*

HEART RATE (Beats/ Min.)	TOTAL CARDIAC INTERVAL (Sec.)	Q-T INTERVAL (Sec.)	% VENTRICULAR ACTIVITY	% VENTRICULAR DIASTOLE
40	1.50	0.45	30	70
60	1.00	0.39	39	61
80	0.75	0.35	45	55
100	0.60	0.31	52	48
120	0.50	0.28	56	44
150	0.40	0.25	62	38
180	0.33	0.23	70	30

*Modified from Burch and Winsor (2).

Con l' aumento di FC, aumenta la frazione del ciclo cardiaco occupato dalla sistole meccanica

Postcarico, cardiodilatazione e $mV' O_2$



$$P = T \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

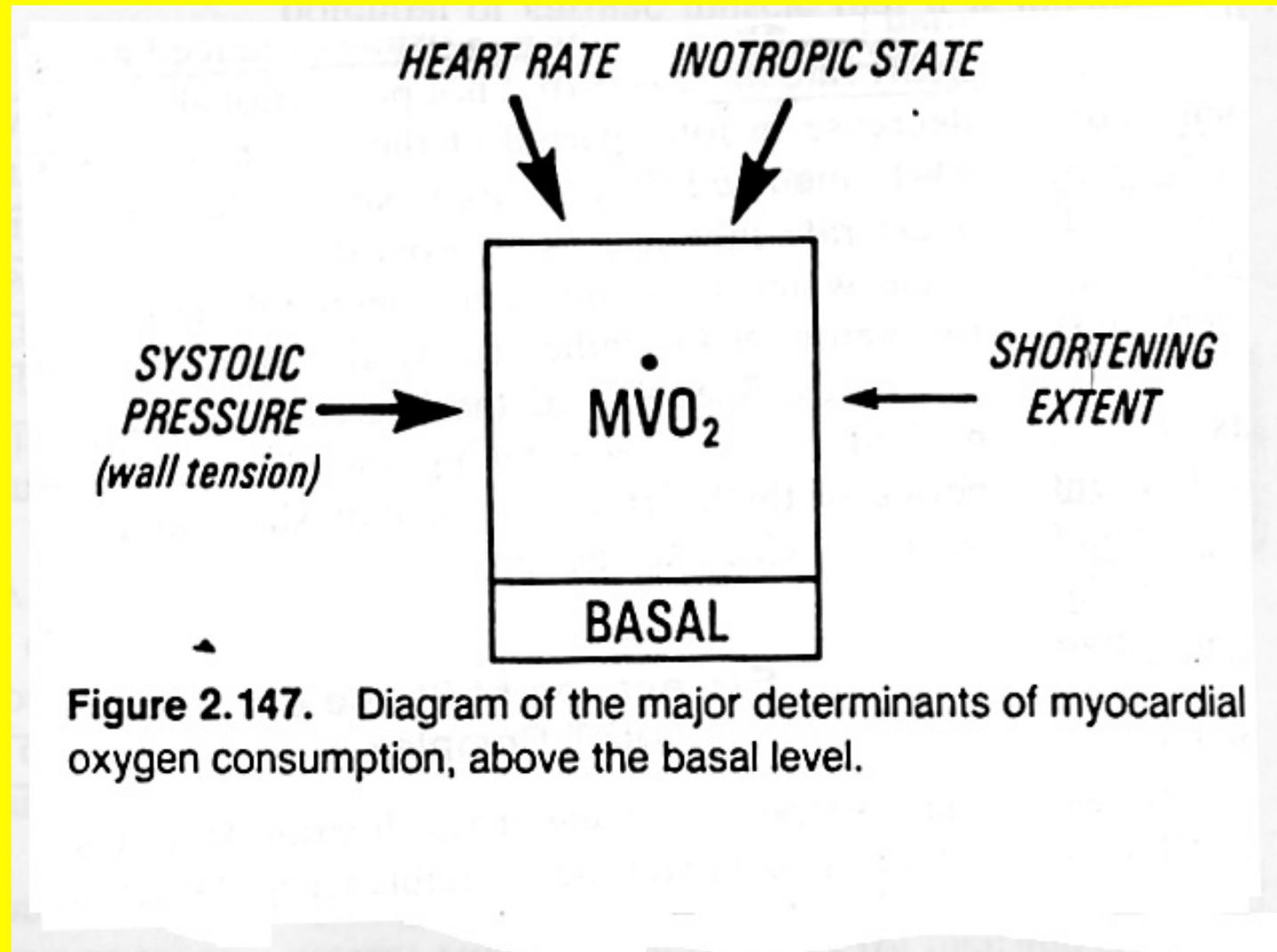
Radii of curvature	<u>X2</u>
Tension dynes/cm	<u>X2</u>
Circumference cm	<u>X2</u>
Force per fiber dynes, to produce the same P	<u>X4</u>

TABLE 12-1.—RADII OF CURVATURE (R_1 AND R_2) AND THICKNESS OF VENTRICULAR WALL (t) IN AN ADULT HEART*

LABEL OF POINT CHOSEN	R_1 (Mm)	R_2 (Mm)	t (Mm)	$t \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$
RIGHT VENTRICLE				
z_1	60	60	1.5	0.050
c_2	65	80	2.0	0.055
d_2	32	75	1.25	0.055
a_2	75	90	2.2	0.054
e_2	30	45	1.0	0.055
f_2	55	90	2.0	0.058
			Av.	0.055 ± 0.013 S.D.
LEFT VENTRICLE				
p_1	36	60	8.0	0.35
z	32	80	8.5	0.37
x_1	70	36	9.5	0.39
r_1	30	80	8.5	0.38
o_1	28	60	7.0	0.36
s_1	70	40	8.5	0.38
m_1	80	40	10.0	0.37
w_1	32	80	8.5	0.34
f_1	55	16	5.0	0.40
t_1	70	24	6.0	0.33
v_1	24	70	6.5	0.36
n_1	60	24	6.0	0.35
			Av.	0.36 ± 0.023 S.D.

*From Woods (5) with statistics added.

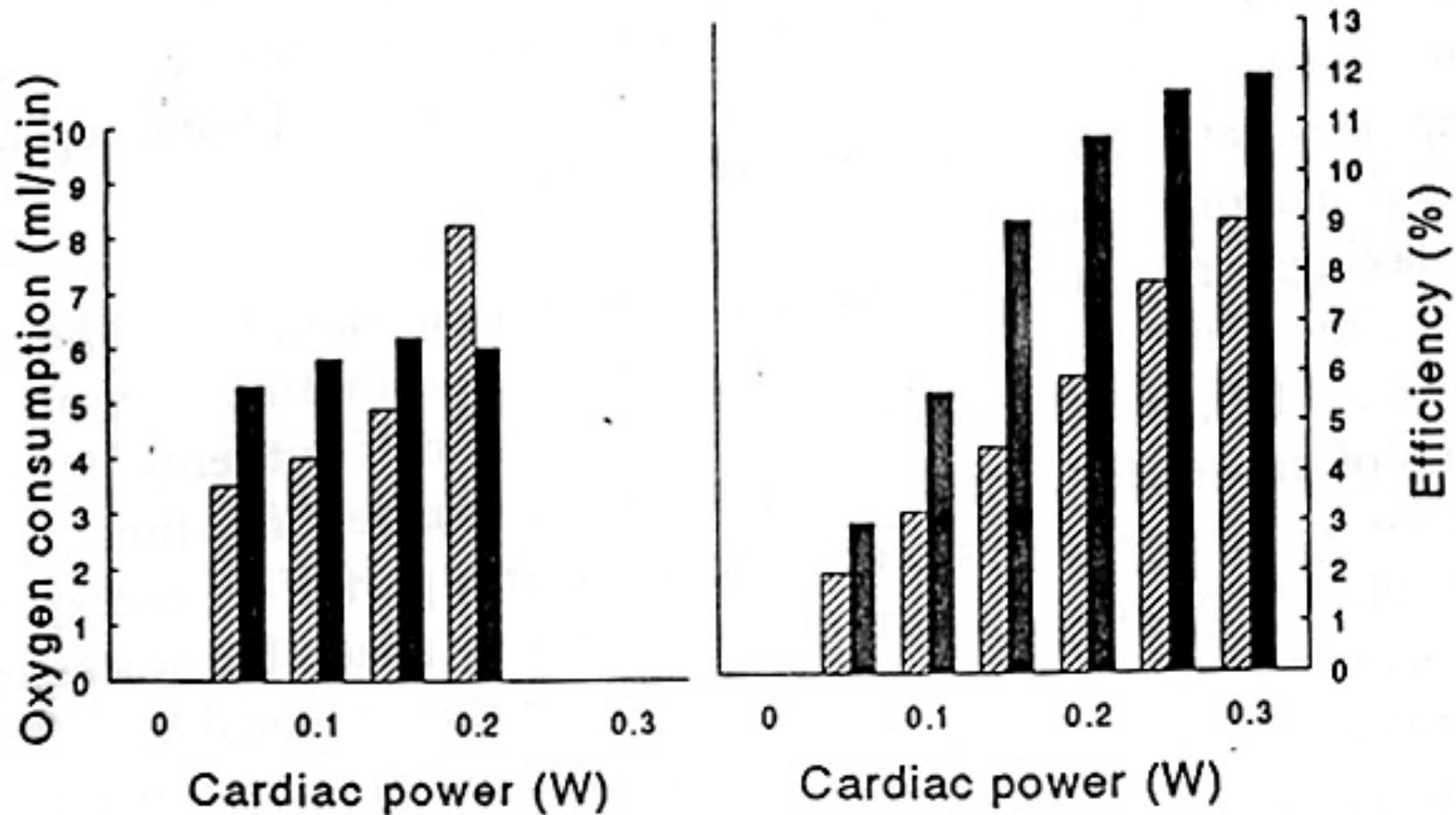
Fattori determinanti $mV' O_2$



Esercizio isometrico e esercizio dinamico

- L' esercizio isometrico induce un aumento notevole della pressione arteriosa diastolica per occlusione meccanica ed attivazione del **metaboriflesso**
- Ciò comporta un **incremento**: i) del **postcarico**, e della tensione nella fase isovolumetrica della sistole, con scarso aumento della gettata cardiaca e; ii) della **pressione arteriosa media**
- L' attivazione del sistema ortosimpatico, mediata dal metaboriflesso, induce una cospicua **tachicardia**
- **mV' O₂ aumenta** a dismisura e il **rendimento diminuisce**

Esercizio isometrico-dinamico e rendimento meccanico cardiaco



Circolazione coronarica e O₂ delivery al miocardio

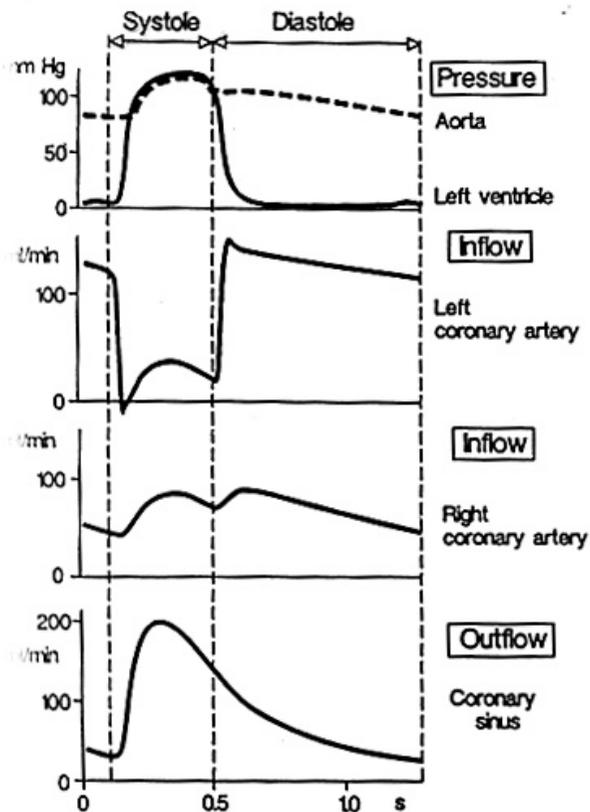


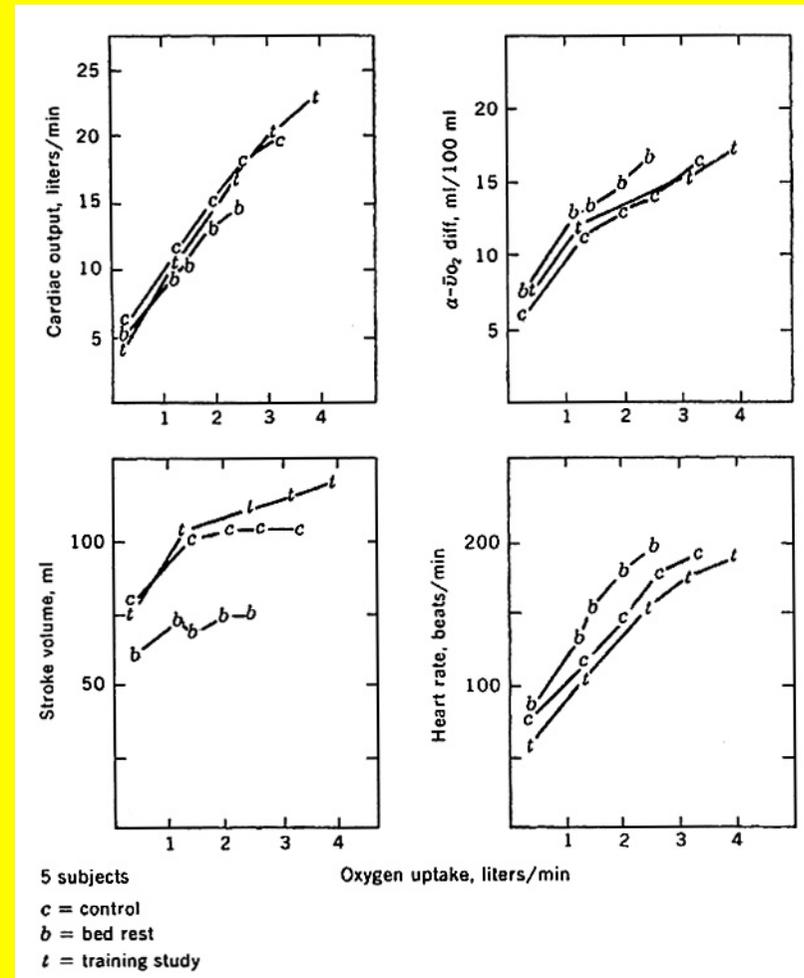
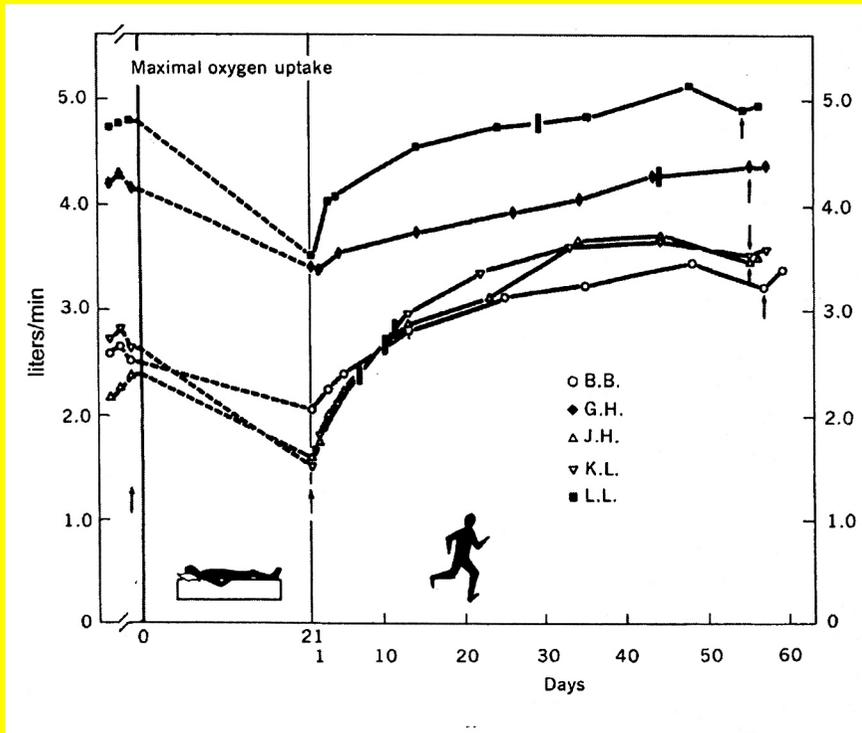
Fig. 90.16. Variations in coronary blood flow in relation to systole, diastole and left ventricular and aortic pressure

Table 90.3. Coronary blood flow and artery-coronary vein O₂ difference (avD_{O₂}) of the human heart at rest and under workload. (Data from [48])

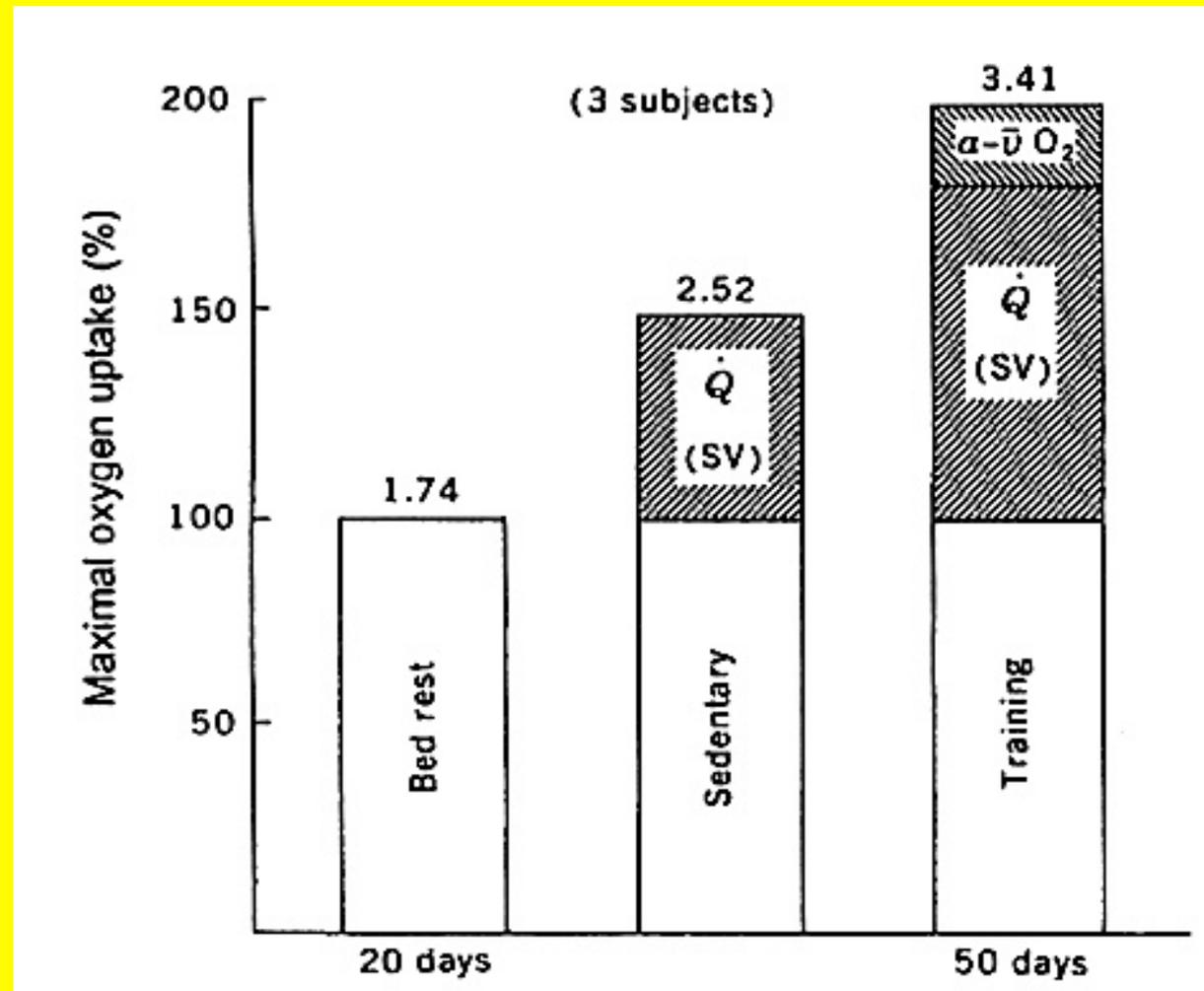
	Rest	Work
Coronary blood flow (ml/g·min)	0.8	3.2
avD _{O₂} (ml/l of blood)	140	160
Coronary venous O ₂ content (ml/l of blood)	60	40

- Nel corso di esercizio isometrico: i) diminuisce la frazione di tempo occupato dalla diastole e disponibile per la perfusione coronarica e; ii) aumenta $mV' O_2$
- Rischio di ischemia (angina, IMA)

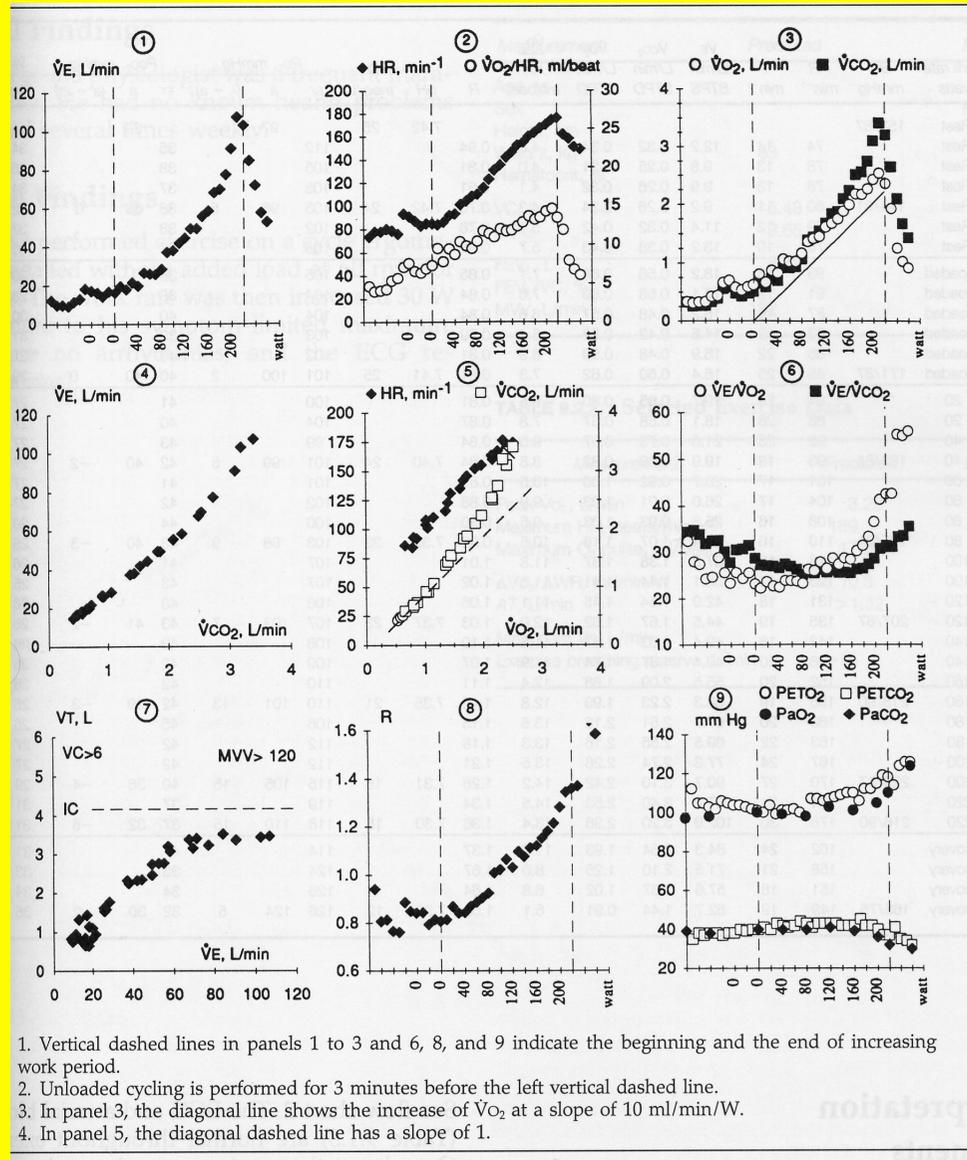
Inattività ed Allenamento



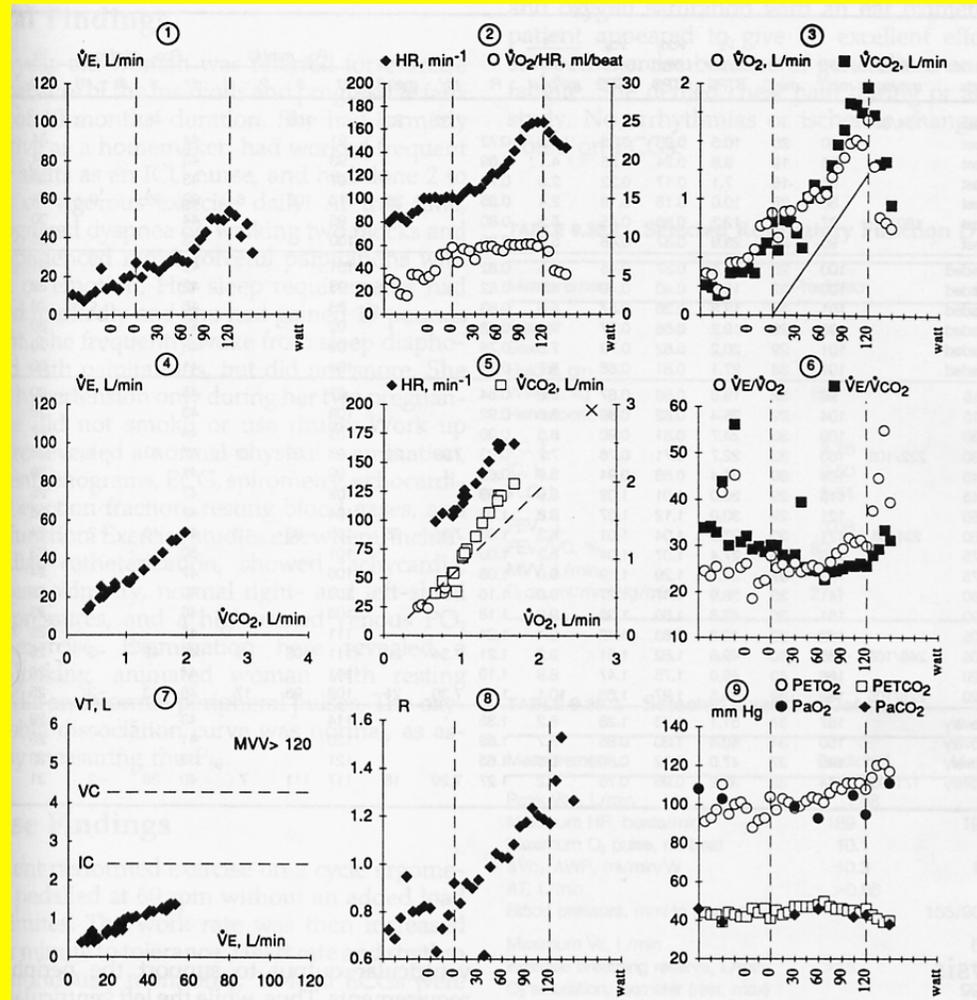
Inattività ed Allenamento: la distribuzione di \dot{Q} '



Valutazione indiretta della risposta cardiovascolare allo sforzo



Valutazione indiretta della risposta cardiovascolare allo sforzo



Bibliografia

- **Fisiologia dell'Uomo, autori vari, Edi.Ermes, Milano**
- **Capitolo 22: Enegetica del lavoro muscolare**
- **Fisiologia medica**
- **Capitolo 72: Fisiologia dell'esercizio fisico: adattamenti cardiorespiratori**
- **Cardiovascular responses to exercise, Laughlin MH, JAP 22: S244, 1999**