

GITTATA CARDIACA

Volume di sangue espulso dal cuore in un minuto.
Dipende dalle esigenze metaboliche dell'organismo
e quindi dal consumo di O₂

- Condizioni basali: consumo O₂ 250 ml/min

$$\text{GC} = 5 \text{ l/min}$$

- Esercizio fisico: consumo O₂ 3-4 l/min

$$\text{GC} = 25-30 \text{ l/min}$$

$$\text{GC} = F \times Gs$$

Gli aumenti di GC sono possibili grazie ad aumenti della frequenza cardiaca e della gittata sistolica.

Metodi di misurazione

- Principio di Fick (applicazione della legge di conservazione della massa)
- Metodo della diluizione
- Flussimetria Doppler
- Flussimetria elettromagnetica

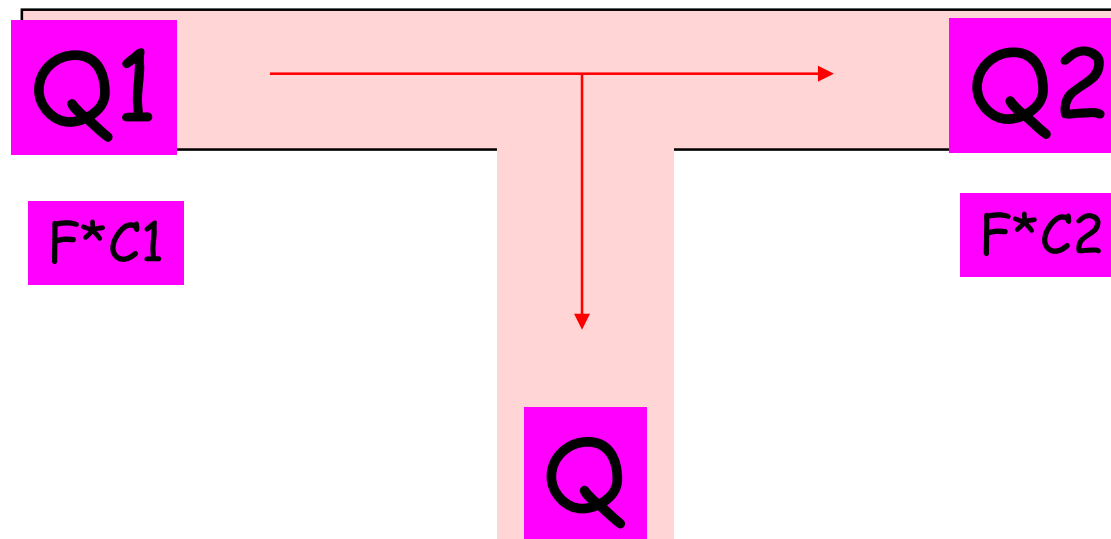
Principio di FICK

- In un organo, la quantità q di sostanza assorbita è uguale alla differenza tra la quantità apportata q_1 e la quantità eliminata q_2 .
- Esprimendo la quantità di sostanza trasportata da un fluido nell'unità di tempo come il prodotto:

flusso (F , **volume/min**) x concentrazione sostanza (C) risulta:

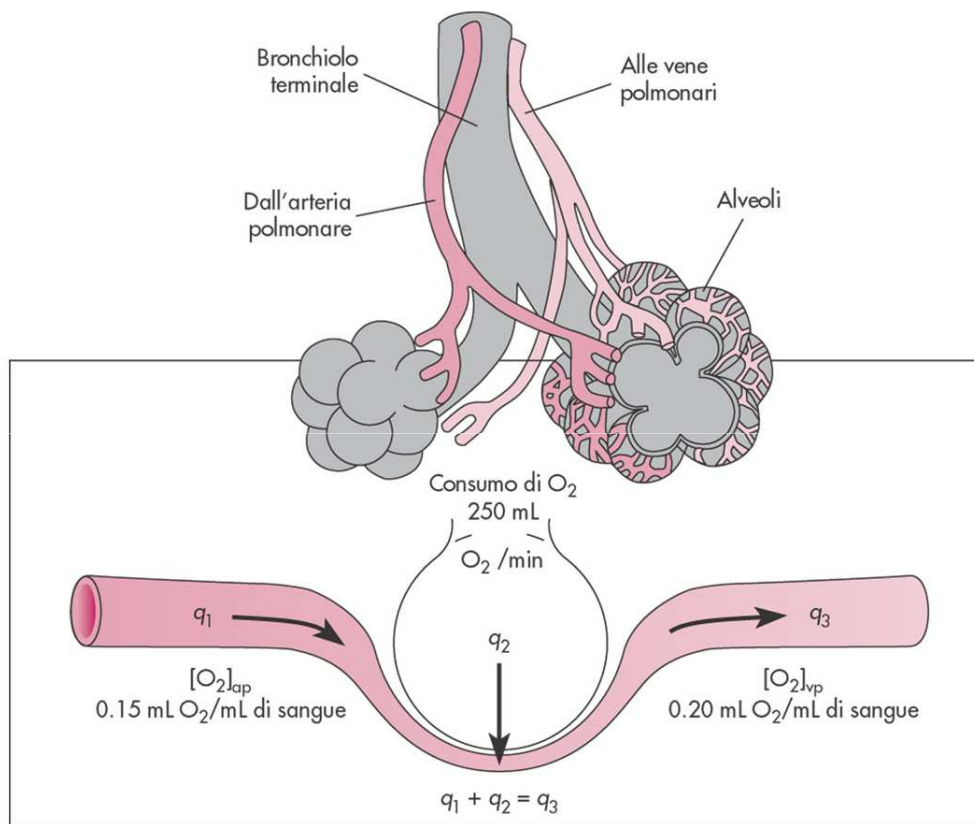
$$Q = Q_1 - Q_2 = FC_1 - FC_2 = F (C_1 - C_2)$$

$$F = Q / (C_1 - C_2)$$



Per determinare GC , questa relazione è applicata per calcolare il flusso di sangue F , che attraversa il polmone, (GC del ventricolo D_s) utilizzando come indicatore naturale l' O_2 .

Quantità O_2 contenuta nei capillari polmonari q_1 + quantità prelevata in un minuto dagli alveoli q_2 , è uguale a quantità trasportata nelle vene polmonari q_3



$$F = Q / (C_1 - C_2)$$

q = Quantità sostanza assorbita, è il volume di O_2 (V_{O_2}) prelevato nell'unità di tempo a livello polmonare (corrisponde al consumo di O_2 misurato con uno spirometro)

$C_1 - C_2$ = differenza concentrazione di O_2 tra sangue arterioso e venoso ($C_{aO_2} - C_{vO_2}$). Per cui:

$$GC = V_{O_2} / (C_{aO_2} - C_{vO_2})$$

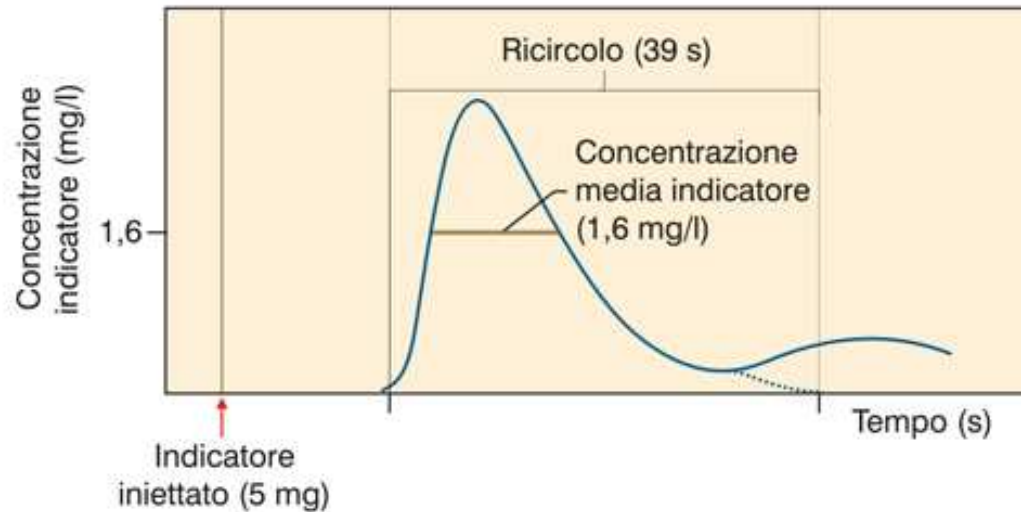
Individuo corporatura media:
consumo O_2 a riposo = 250 ml/min,
 C_{aO_2} e C_{vO_2} = 0.2 e 0.15 ml/ml.

Per cui:

$$GC = \frac{250 \text{ ml/min}}{(0.2 - 0.15) \text{ ml/ml}} = 5000 \text{ ml/min}$$

Tecnica diluizione indicatore

$$F = Q/C$$



$$\frac{\text{Concentrazione indicatore iniettato}}{\text{Concentrazione media} \times \text{durata prima circolazione}} = GC$$
$$\frac{5 \text{ mg}}{1,6 \text{ mg/l} \times 39/60 \text{ min}} = 4,80 \text{ l/min}$$

© 2005 edi.ermes milano

- 1) Iniezione colorante in una vena periferica.
- 2) Misura concentrazione indicatore in campioni di sangue prelevati, a tempi ravvicinati, da arteria periferica.
- 3) Calcolo concentrazione media nel tempo di durata della curva concentrazione-tempo estrapolata a 0 (= 1.6 mg/l).

GC si calcola come rapporto tra la concentrazione del colorante iniettato e la concentrazione media del colorante per il tempo di eliminazione.

Se il sangue trasporta 1.6 mg/l perchè possano passare attraverso il cuore e i polmoni 5 mg in 39 sec è necessario che in questo tempo passino $5/1.6$ l di sangue per $39/60$ min = 4.8 l/min.

Flussimetro Doppler



Si determina la velocità del sangue che attraversa la mitrale, utilizzando un fascio di ultrasuoni. Il suono trasmesso lungo la corrente del flusso sanguigno è in parte riflesso dai globuli rossi (frequenza onde riflesse < frequenza onda trasmessa, perchè i globuli rossi si allontanano: **Effetto Doppler**)

+ Vel del corpo → - Freq

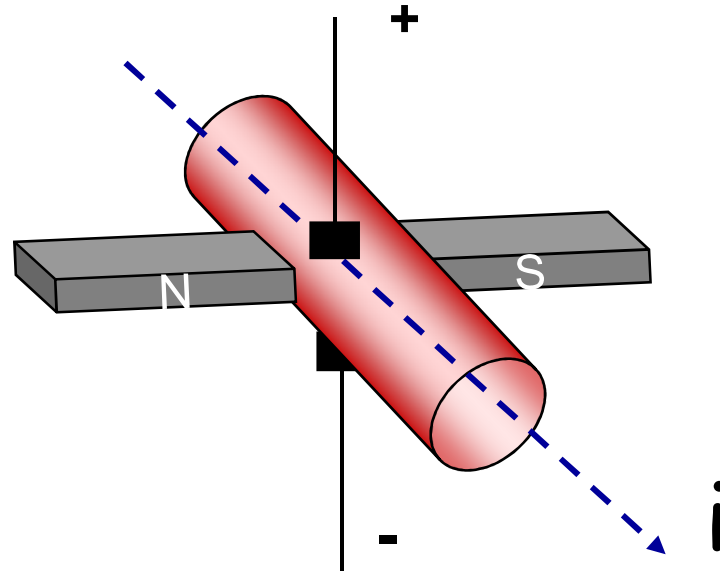
Contemporaneamente, si misura l'area della valvola (ecocardiografia bidimensionale).

Velocità * sezione valvola = Flusso (GC)

Questo metodo è usato per misurare il flusso di sangue in qualsiasi vaso, conoscendo la sezione del vaso

Velocità * sezione vaso = Flusso

Flussimetria elettromagnetica



Un conduttore, che si muove attraverso un campo magnetico (CM), genera un campo elettrico perpendicolare alla direzione del movimento e alle linee di forza del CM stesso.

Vaso sanguigno posto tra due poli di un magnete + due elettrodi collocati ai due lati del vaso, perpendicolarmente alle linee di forza del magnete.

Quando il sangue (conduttore perché contiene elettroliti) scorre attraverso il CM, tra i due elettrodi si genera un voltaggio proporzionale all'entità del flusso.

La GC, in valore assoluto, dipende anche dalle dimensioni corporee del soggetto, e viene quindi espressa in forma normalizzata per la superficie corporea, come:

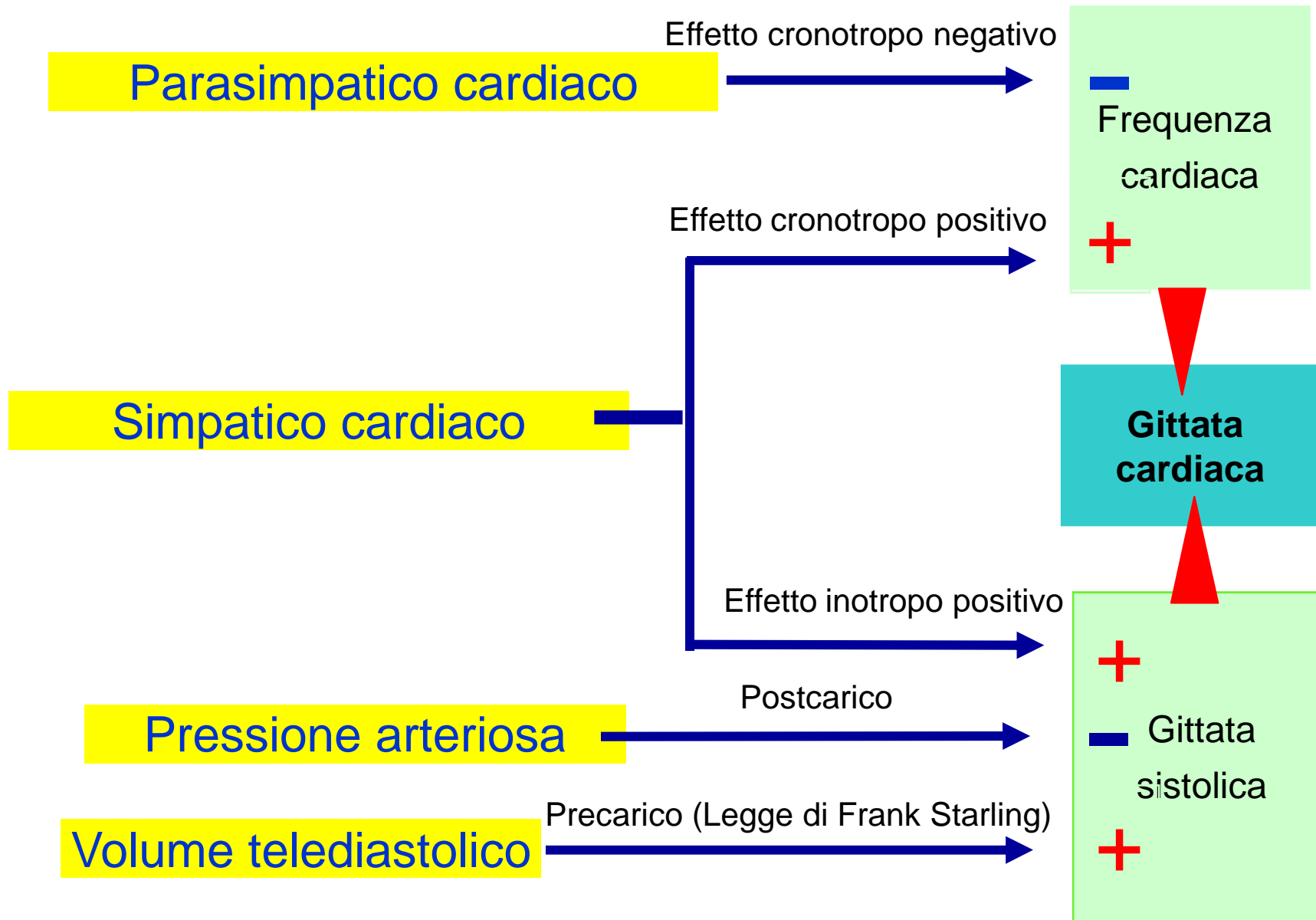
Indice cardiaco

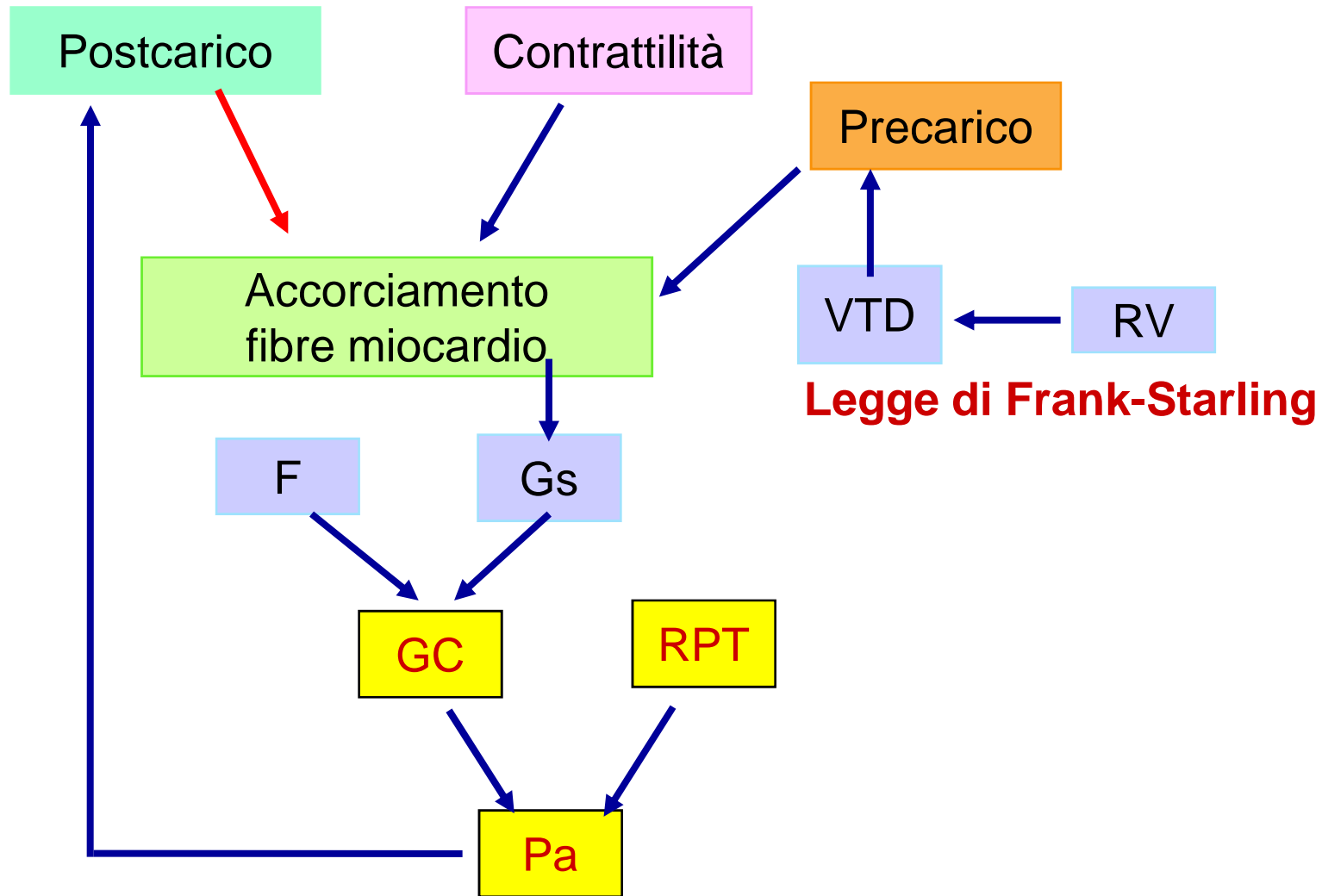
La superficie corporea si calcola usando la formula di Du Bois:

$$\text{SC (cm}^2\text{)} = 94,9 \cdot [\text{massa corporea (Kg)}]^{0.441} \cdot [\text{statura (cm)}]^{0.655}$$

In un soggetto di taglia media (70 Kg, 175 cm) la superficie corporea è 1.8 m² e l'indice cardiaco risulta 2.78 l/min/m²

Gittata Cardiaca = $G_s \times F$





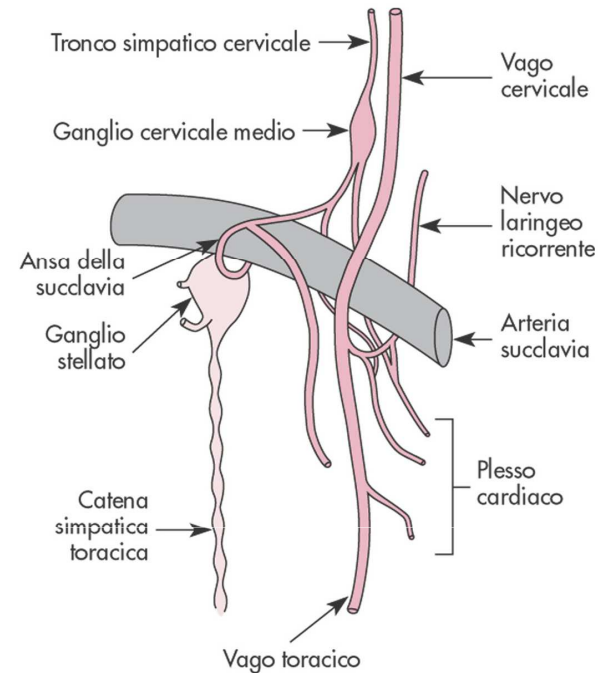
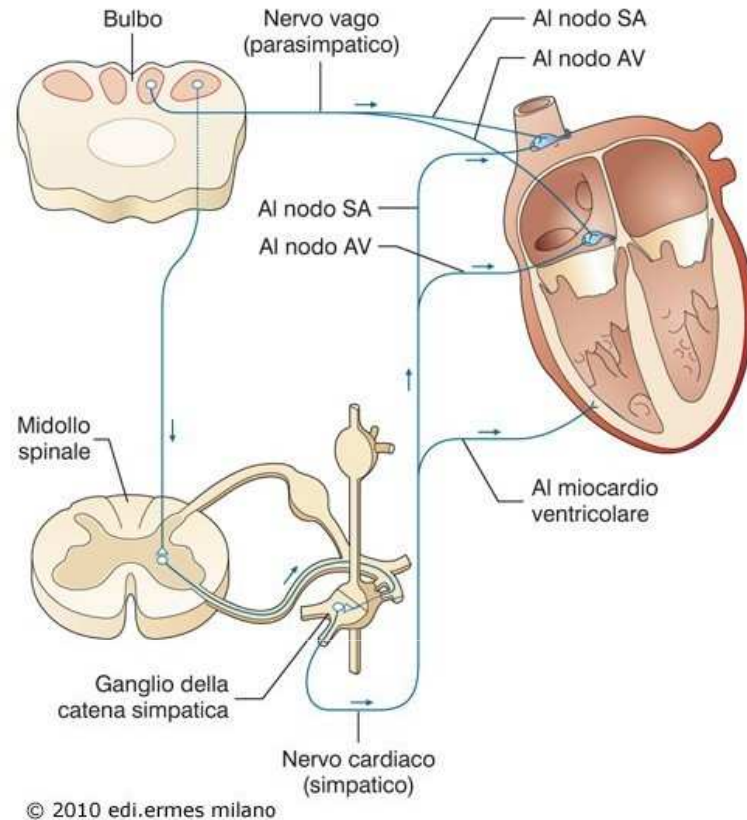
- **Aumento parametro a monte causa diminuzione parametro a valle**
- **Aumento parametro a monte causa aumento parametro a valle**

MODIFICAZIONI FREQUENZA DETERMINATE DA AUMENTI DEL RITORNO VENOSO

↑RV → ↑frequenza cardiaca

- **Riflesso di Bainbridge**
- **Effetto meccanico diretto**

Innervazione cardiaca



Parasimpatico: Neuroni pregangliari: n. motore dorsale del vago e ambiguo, postgangliari: a livello cardiaco vicino nodi SA e AV

Vago Ds: innervazione prevalente nodo SA (effetto cronotropo negativo)

Vago Sn: innervazione prevalente tessuto di conduzione e nodo AV

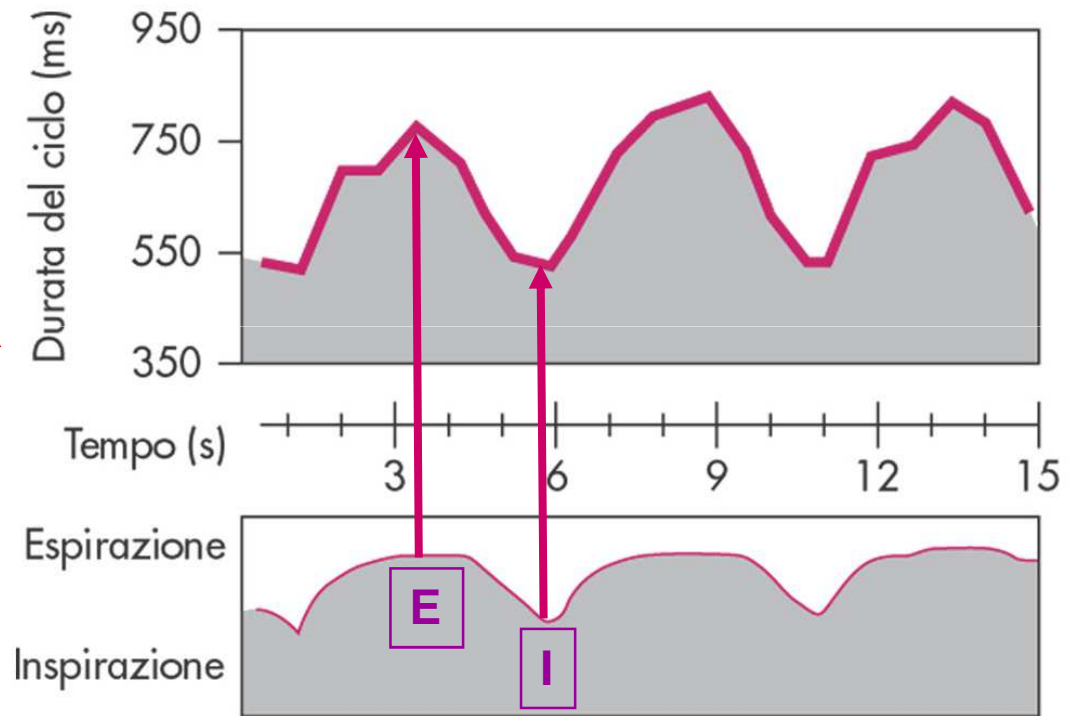
Simpatico: Neuroni pregangliari: colonna intermedio-laterale midollo spinale (C5-C6, T1-T5-6). Neuroni postgangliari: ganglio stellato o cervicale medio. **Simpatico**

Ds: prevalente su nodo SA (effetto cronotropo positivo). **Simpatico Sn:** prevalente su nodo AV e camere cardiache (effetto inotropo positivo)

Riflesso di Bainbridge:

Provocato da stimolazione recettori da stiramento atriali: afferenze vagali inibiscono centralmente il tono vagale ed aumentano quello simpatico. Responsabile dell'aritmia respiratoria.

Aritmia respiratoria
Inspirazione → ↑frequenza
(↓durata ciclo cardiaco)
Espirazione → ↓frequenza
(↑durata ciclo cardiaco)



Effetto meccanico diretto:

Stiramento cellule nodo seno atriale facilita depolarizzazione.

Aumento Gittata sistolica:

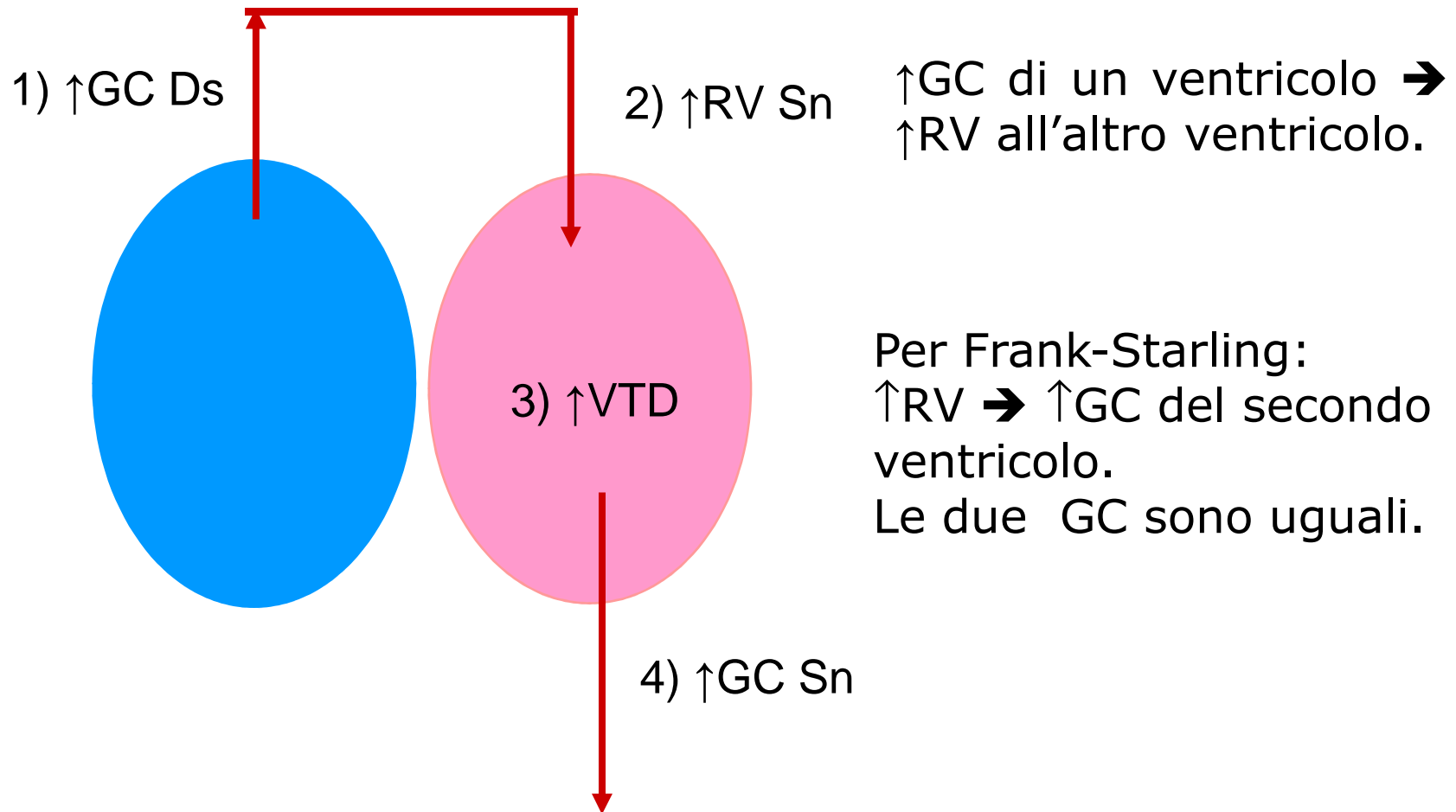
- Meccanismo di Frank-Starling

↑RV → ↑VTD (precarico) → ↑GC

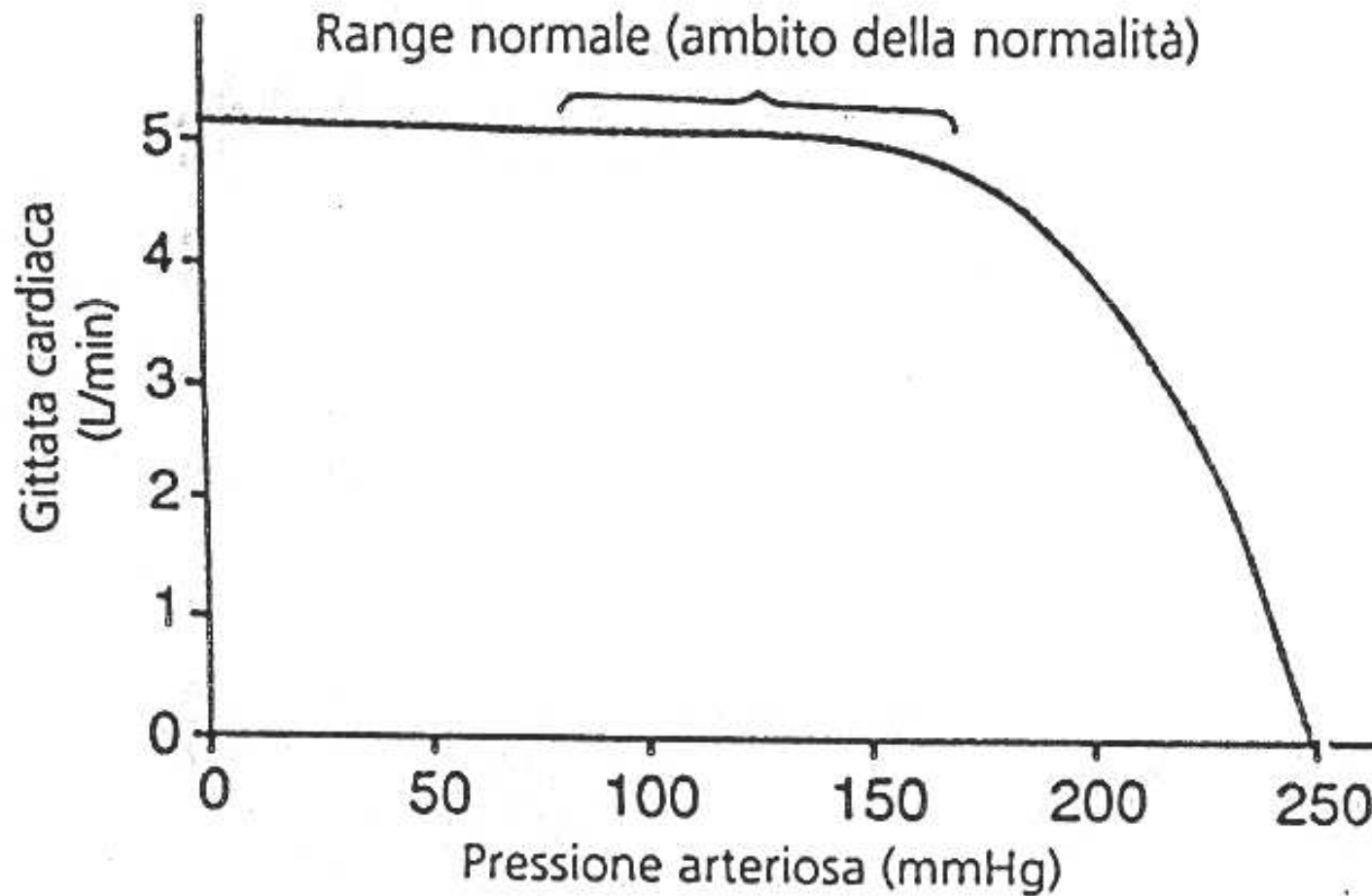
- Aumento della contrattilità

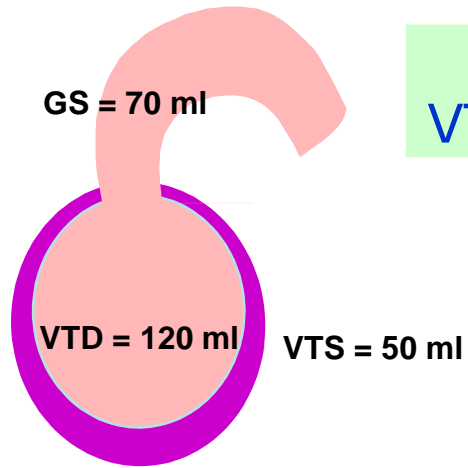
↑attività simpatica cardiaca → ↑contrattilità → ↑GC

Il meccanismo di Frank-Starling permette di equilibrare la GC con il RV e mantenere uguali le GC dei ventricoli Ds e Sn.



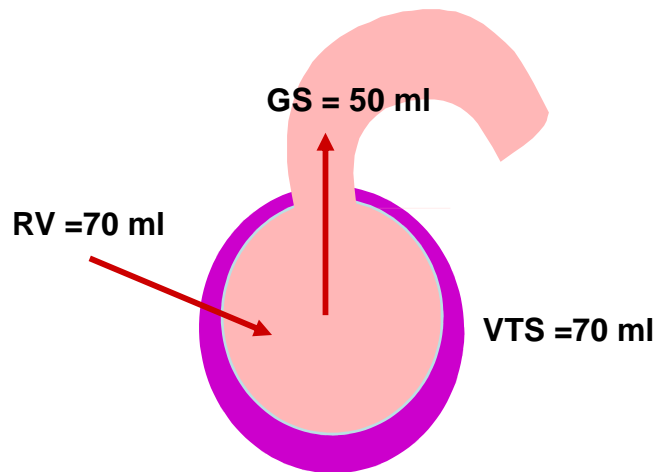
Il meccanismo di Frank-Starling permette di mantenere costante la GC in caso di aumento della pressione arteriosa (POSTCARICO).



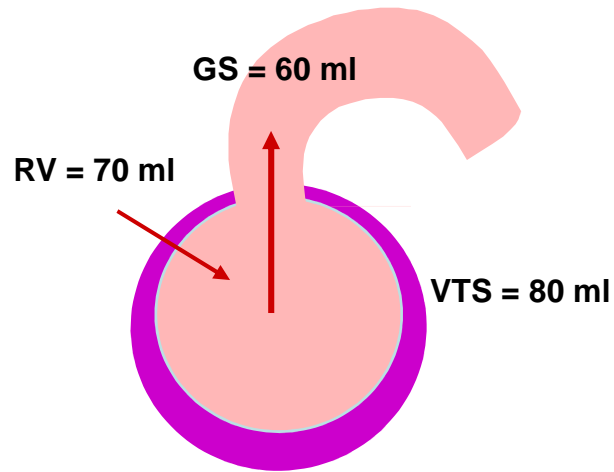


Condizioni iniziali
 VTD = 120 ml, GS = 70 ml, VTS = 50 ml

↑**Pa**: ↓GS (da 70 a 50 ml), RV rimane costante = 70 ml



Condizione 1
 ↓GS → ↑VTS
 $VTS = VTD - GS = 120 - 50 = 70 \text{ ml}$
 Poichè RV rimane costante → ↑VTD
 $VTD = VTS + RV = 70 + 70 = 140 \text{ ml}$



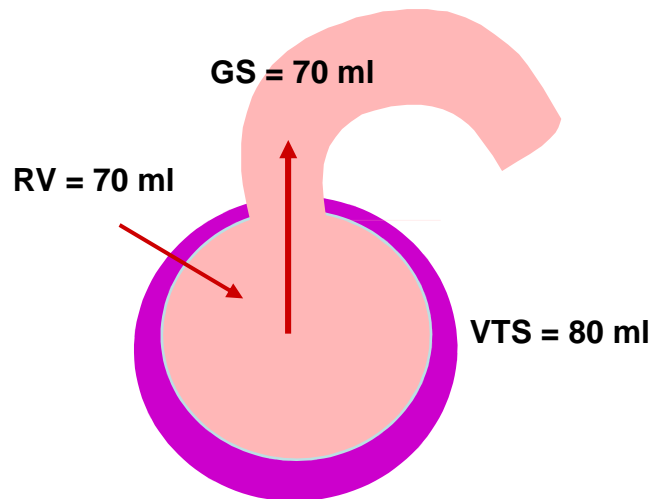
Condizione 2

Frank-Starling: \uparrow VTD \rightarrow \uparrow GS (50 \rightarrow 60 ml)
quindi:

$$\mathbf{VTS = VTD - GS = 140 - 60 = 80 \text{ ml}}$$

Con RV costante \rightarrow ulteriore \uparrow VTD

$$\mathbf{VTD = VTS + RV = 80 + 70 = 150 \text{ ml}}$$



Condizione 3

$\uparrow\uparrow$ VTD \rightarrow $\uparrow\uparrow$ GS (torna a valori normali)
Permane aumento VTS e VTD

$$\mathbf{VTS = VTD - GS = 150 - 70 = 80 \text{ ml}}$$

$$\mathbf{VTD = VTS + RV = 80 + 70 = 150 \text{ ml}}$$

Grazie al meccanismo di Frank-Starling, aumenta la T attiva sviluppata dal ventricolo e quindi aumenta la GS.

Si raggiunge un equilibrio tra GS e RV mantenendo però il ventricolo in uno stato di dilatazione.

Effetti positivi



Sistema nervoso simpatico
Catecolamine circolanti
Regolazione omeometrica
Glicosidi cardioattivi

Inotropismo cardiaco

Effetti negativi



Sistema nervoso parasimpatico
Barbiturici
Ipossia, Ipercapnia
Insufficienza cardiaca

REGOLAZIONE OMEOMETRICA

La contrattilità cardiaca varia al variare della frequenza cardiaca.

Variazioni frequenza → variazioni concentrazione Ca^{2+} intracellulare → variazioni contrattilità.

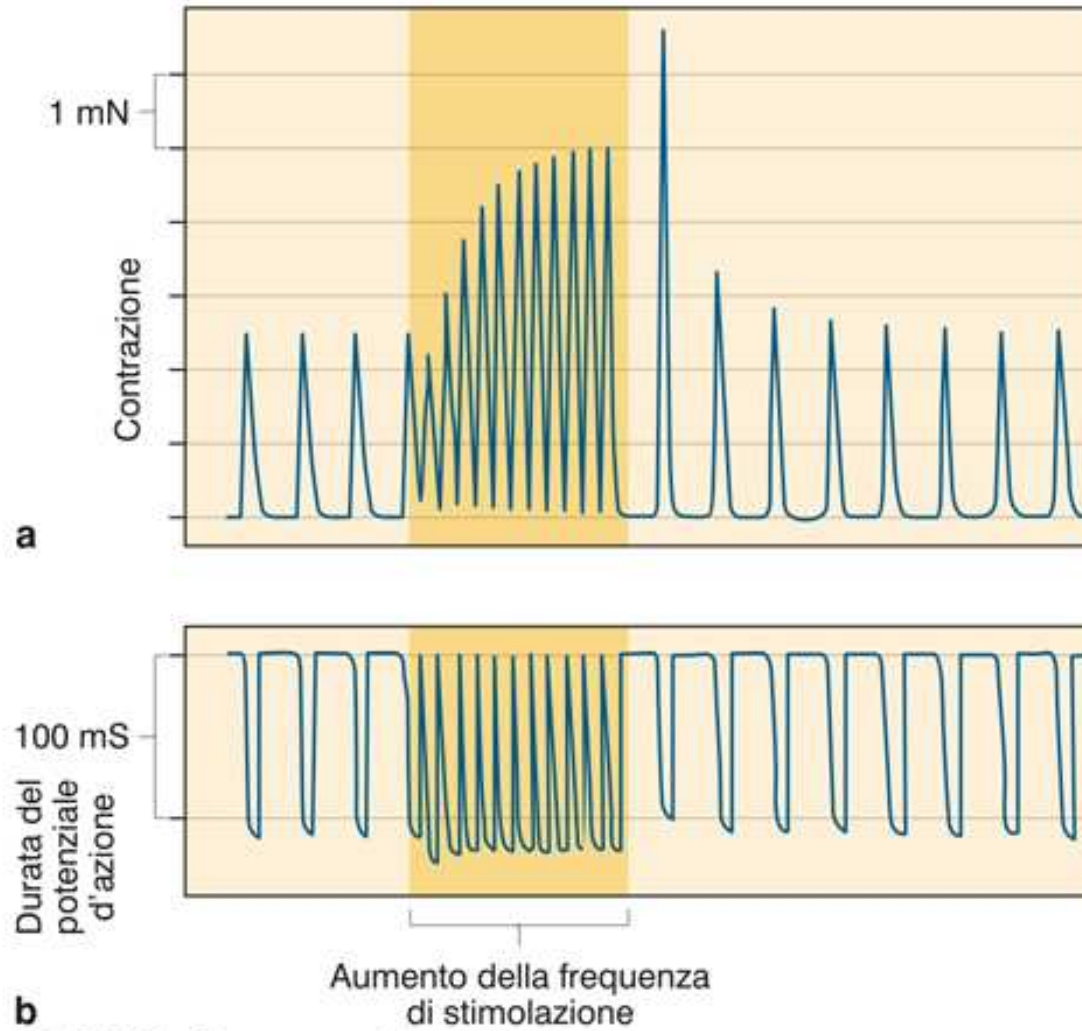
Effetto Bowditch o fenomeno della scala:

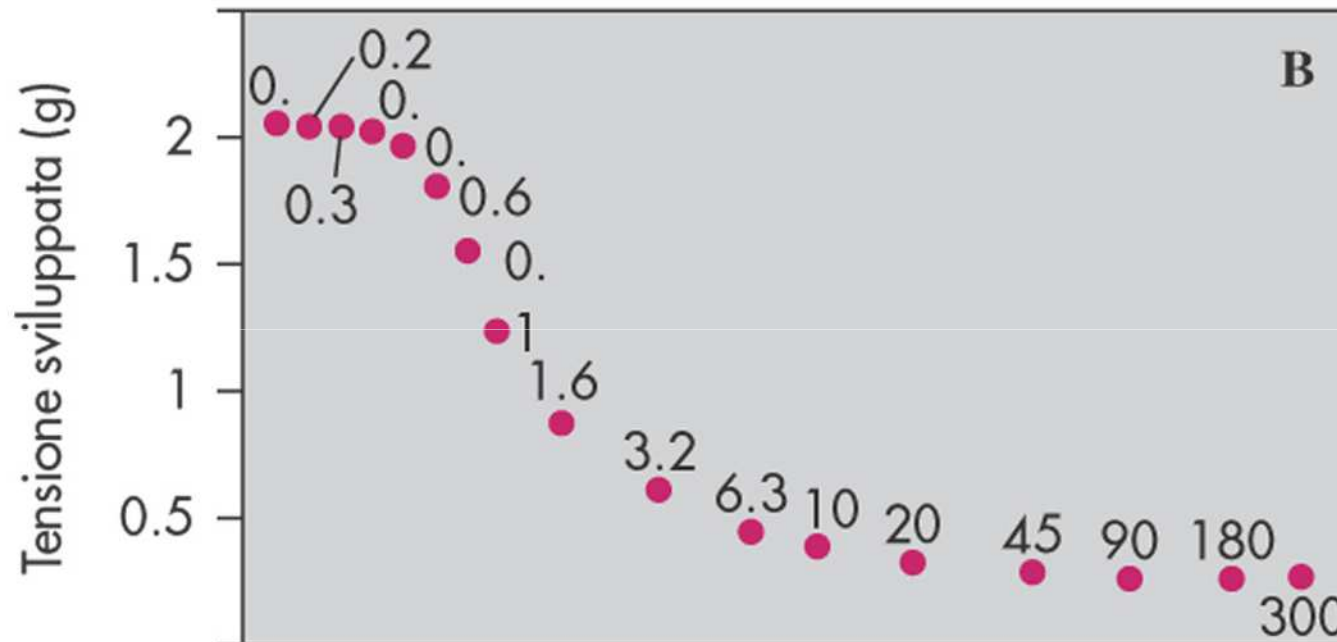
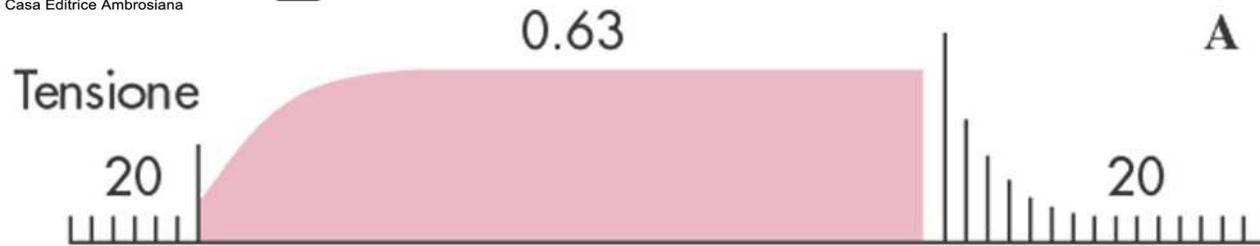
↑Frequenza → ↑contrattilità.

↑concentrazione Ca^{2+} dipende da:

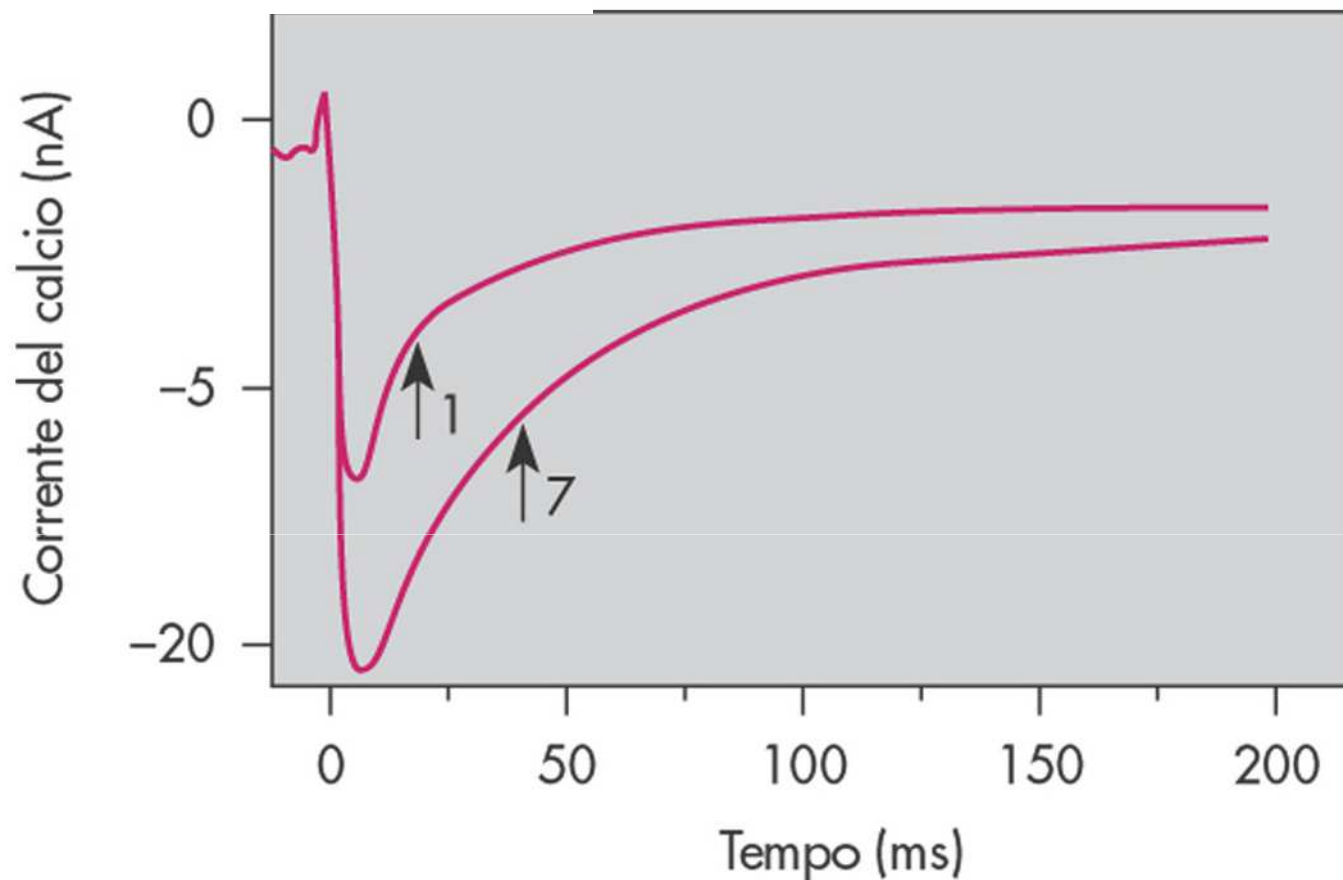
- ↑Numero PA al minuto → ↑corrente di Ca^{2+}
- ↓durata diastole → ↓tempo disponibile alla ↓ Ca^{2+} intracellulare (espulsione dalla cellula e rientro nel reticolo sarcoplasmatico).

Effetto Bowditch

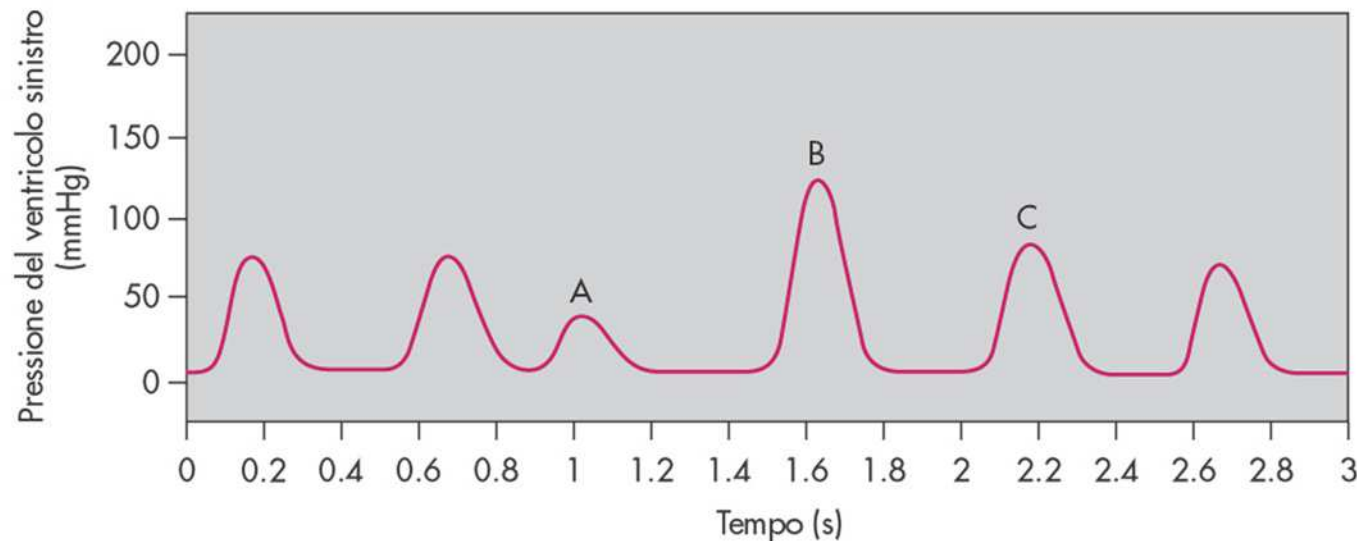




- (A) Variazioni dello sviluppo di tensione in un muscolo papillare isolato di gatto quando l'intervallo tra le contrazioni variava da 20 a 0.63 sec e poi riportato a 20 sec.
- (B) I punti rappresentano la tensione sviluppata dallo stesso muscolo papillare per ogni intervallo tra le contrazioni.



Correnti Ca^{2+} indotte in un miocita durante la prima (1) e settima (7) depolarizzazione. Corrente entrante Ca^{2+} maggiore e decadimento corrente (inattivazione) più lento, alla settima depolarizzazione.



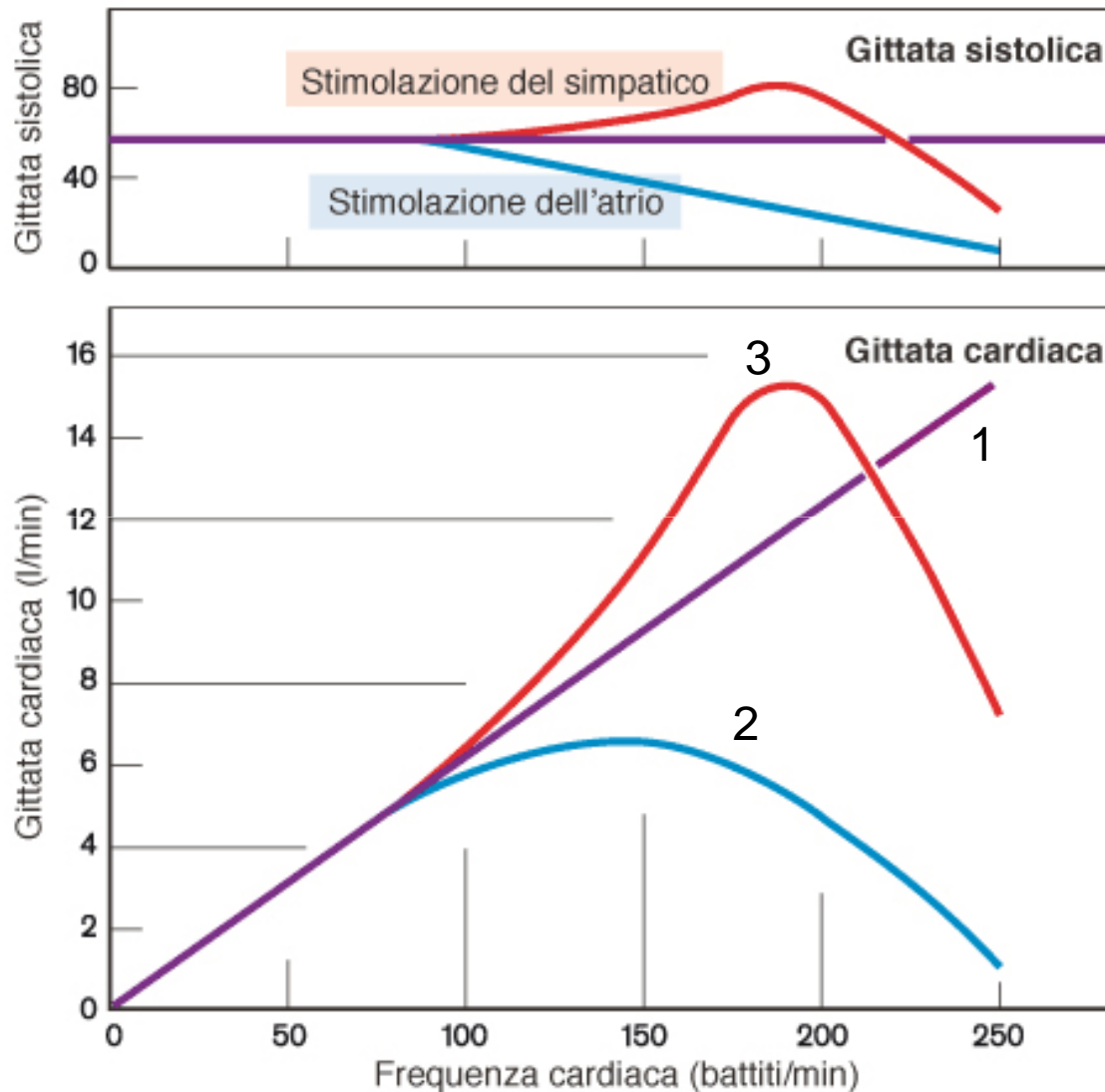
Pressione sviluppata in un preparato di ventricolo Sn isolato, durante una extrasistole (A) e la contrazione post-extrasistolica (B).

A: contrazione debole (il Ca^{2+} ricaptato nel reticolo sarcoplasmatico, durante il rilasciamento precedente, non è immediatamente disponibile).

B: contrazione più intensa della sistole normale (durante la pausa compensatoria un'elevata quantità di Ca^{2+} è stata captata dal reticolo sarcoplasmatico).

Nel cuore intatto, il potenziamento post-extrasistolico è in parte dovuto al meccanismo di Frank-Starling (maggior riempimento ventricolare durante la pausa compensatoria).

Effetto aumento frequenza cardiaca sulla gittata cardiaca

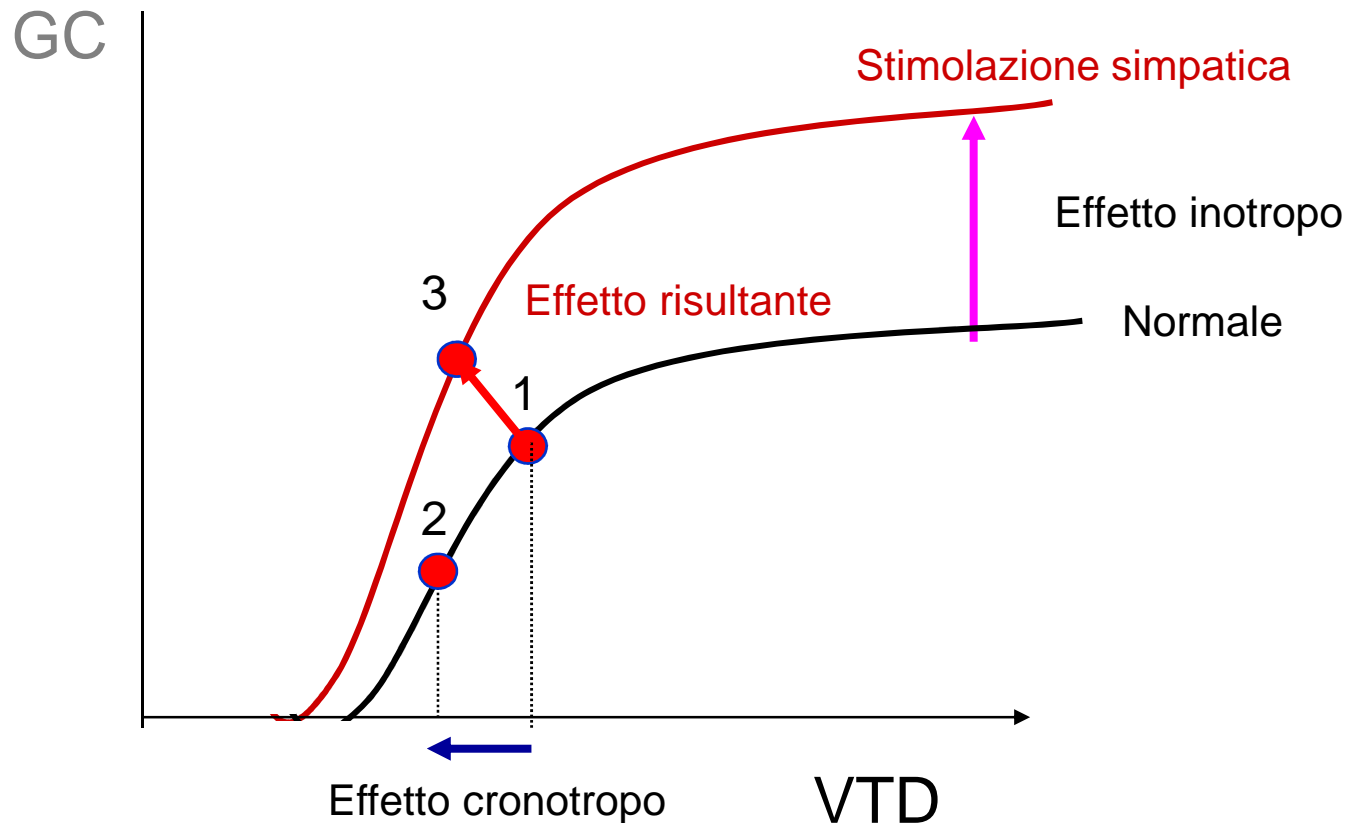


1. Situazione teorica:
↑Frequenza (GS costante)
→ ↑GC proporzionale

2. Cuore isolato
stimolazione artificiale dell'atrio:

↑Frequenza → ↑GC fino ad un limite (~130/min), oltre il quale la GC diminuisce per riduzione GS (accorciamento diastole).

3. Cuore stimolato dal simpatico: La GC si riduce per frequenze maggiori (> 180/min) perchè l'effetto della riduzione della diastole è controbilanciato dall'aumentata contrattilità (maggiore GS).



L'aumento solo di frequenza, riduce il tempo di diastole e quindi il VTD. Questo comporterebbe riduzione della GC, **spostamento sulla curva normale da 1 a 2**

Il contemporaneo aumento di contrattilità, dovuto alla stimolazione del simpatico, sposta la curva verso l'alto, permettendo di compensare la riduzione del VTD, **spostamento da 1 (curva normale) a 3 (curva di maggior contrattilità)**