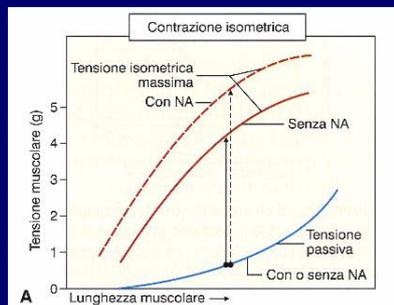
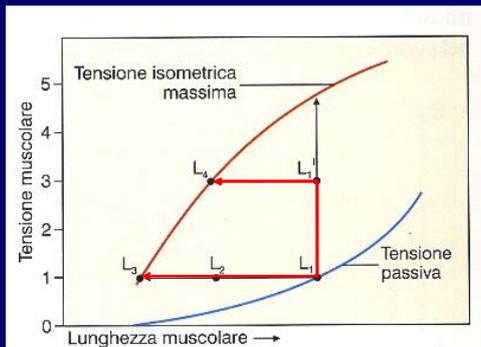


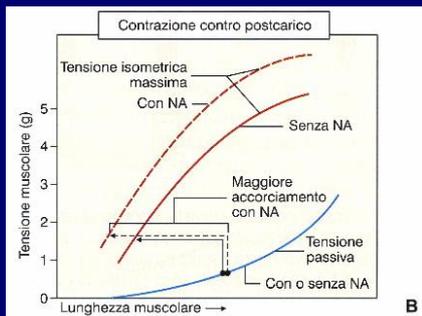
La relazione L-T, oltre ad indicare il livello di tensione isometrica massima che il muscolo può sviluppare a diverse lunghezze, stabilisce anche il livello di accorciamento massimo, per ogni dato carico.

A: Contrazione isotonica con precarico 1g (lunghezza L_1) e postcarico 0. Il muscolo entra subito in contrazione isotonica, cioè si accorcia sviluppando sempre la stessa tensione. L'accorciamento termina quando viene raggiunta la lunghezza (L_3) alla quale la tensione massima isometrica è 1g.

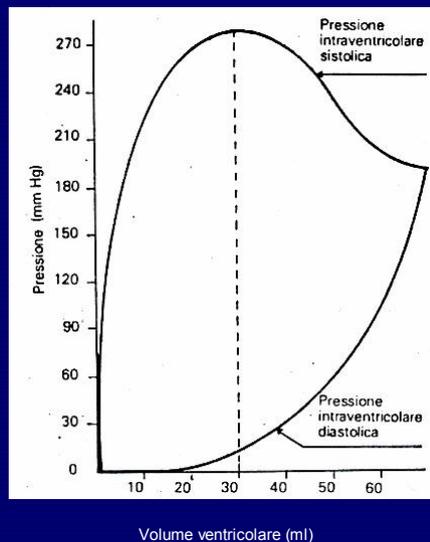
B: Contrazione isotonica con precarico 1g (lunghezza L_1) + postcarico 2g, carico totale 3g. Il muscolo inizia ad accorciarsi solo quando ha sviluppato una tensione di 3g. L'accorciamento termina quando si raggiunge la lunghezza (L_4) alla quale la massima tensione isometrica è 3g.



Aumenti della contrattilità, provocati da sostanze come la noradrenalina, aumentano, a parità di lunghezza iniziale, la tensione isometrica massima che il muscolo può sviluppare



Aumenti della contrattilità aumentano anche l'entità di accorciamento della fibra muscolare



Nel cuore la relazione L-T diventa una relazione V-P

La lunghezza delle fibre muscolari ventricolari è determinata dal volume ventricolare diastolico, e le tensioni passiva ed attiva, alle diverse lunghezze, determinano il valore di pressione che si sviluppa all'interno dei ventricoli durante la diastole e la sistole isometrica

Il **volume telediastolico** determina quindi la tensione passiva delle fibre miocardiche = **PRECARICO**. Esiste un valore ottimale di precarico, a partire dal quale il muscolo cardiaco è in grado di sviluppare il valore più elevato di forza contrattile.

La contrazione cardiaca si sviluppa in condizioni isometriche (isovolumetriche) finché non viene raggiunta la tensione (Pressione) sufficiente a vincere il carico applicato al cuore = **POSTCARICO**, rappresentato dalla **pressione arteriosa diastolica**.

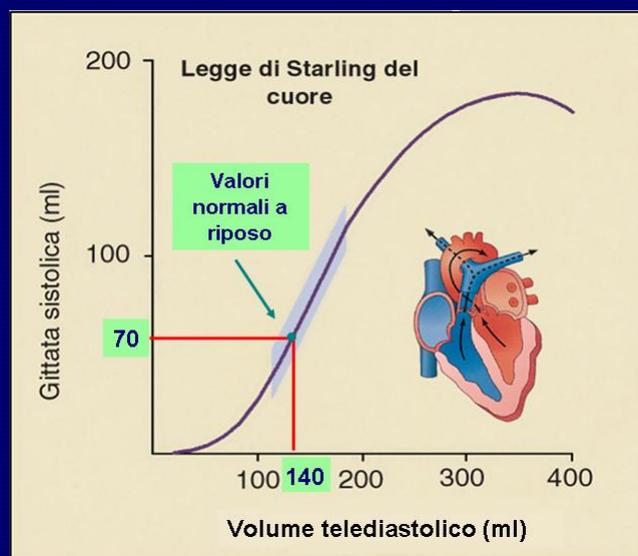
Una volta raggiunta questa tensione, la contrazione diventa isotonica ed è associata ad espulsione del sangue dal ventricolo.

Relazione V/P in condizioni di isometria nel cuore isolato, fu dimostrata da Otto Frank nel 1884 e successivamente enunciata da Starling nel 1918

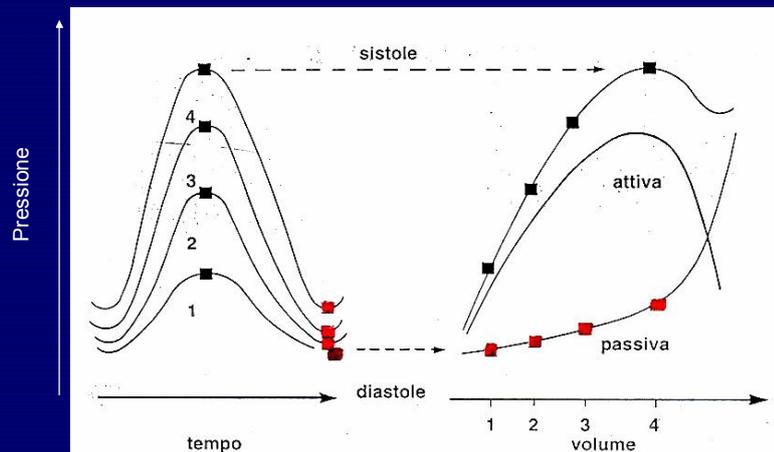
Legge di Frank-Starling o Legge del cuore:

La forza di contrazione sviluppata dalle fibre cardiache durante la sistole e quindi la quantità di sangue espulsa dal ventricolo dipendono dalla lunghezza iniziale delle fibre, cioè dal volume telediastolico.

Il volume telediastolico, che dipende dal ritorno venoso, determina la gittata sistolica.



La curva di funzionalità cardiaca esprime la Legge di Starling. Mette in relazione la Gittata sistolica con il il Volume telediastolico, che dipende dalla pressione nell'atrio destro a sua volta dipendente dal ritorno venoso.



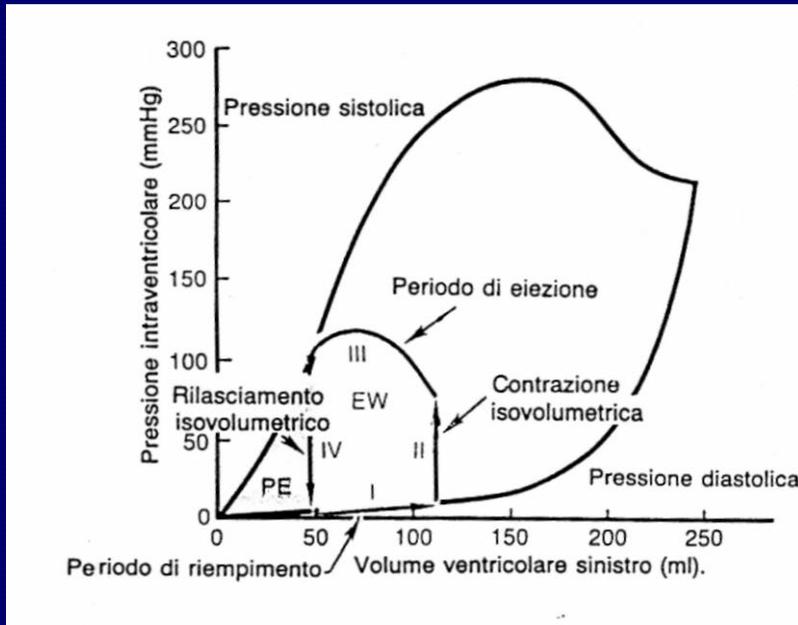
Il maggior riempimento del ventricolo, durante la diastole (maggiore VTD), determina un maggior sviluppo di tensione durante la sistole (maggior Pressione sistolica)

Nel cuore isolato la massima P diastolica = 30 mmHg
(lunghezza sarcomero 2.6 μm)

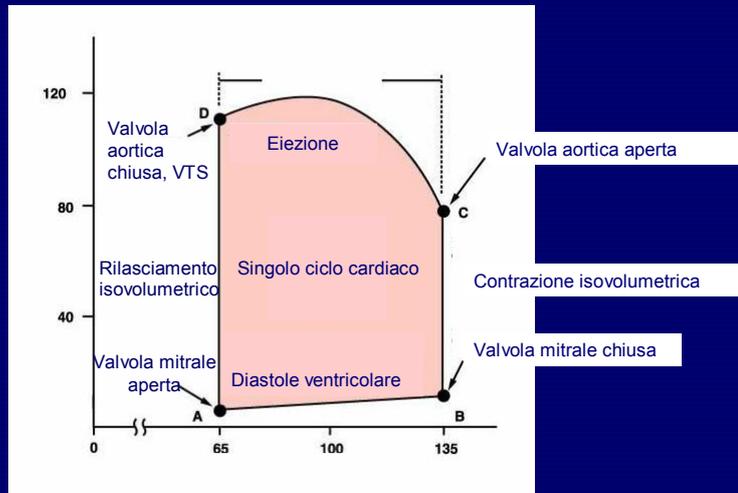
Nel cuore in situ la massima P diastolica = 12 mmHg
(lunghezza sarcomero 2.2 μm)

Questa differenza è dovuta al pericardio, che a volumi di circa 250 ml, diventa rigido ed impedisce l'ulteriore distensione delle fibre cardiache

Il cuore normale si muove nella parte bassa della curva V/P



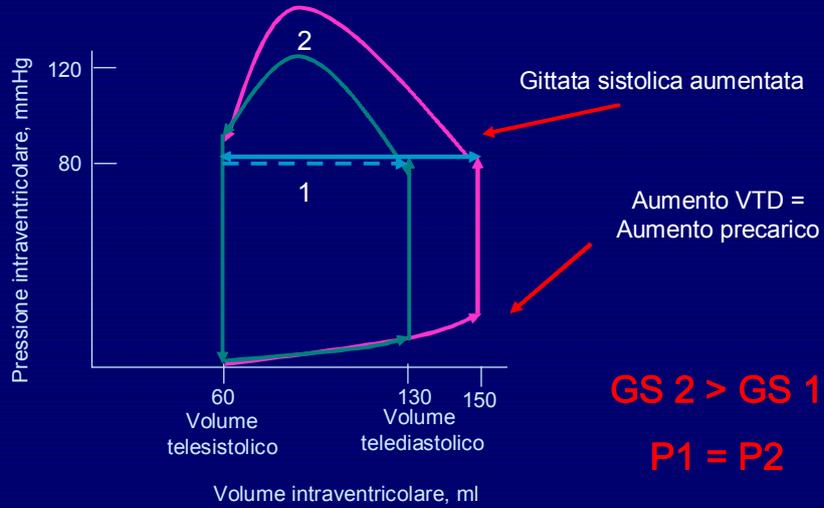
ANDAMENTO V-P DURANTE IL CICLO CARDIACO



- A - B, Riempimento passivo e conseguente alla contrazione atriale
- B - C, Sistole isovolumetrica
- C - D, Sistole isotonica, Espulsione del sangue in aorta
- D - A, Rilasciamento isovolumetrico

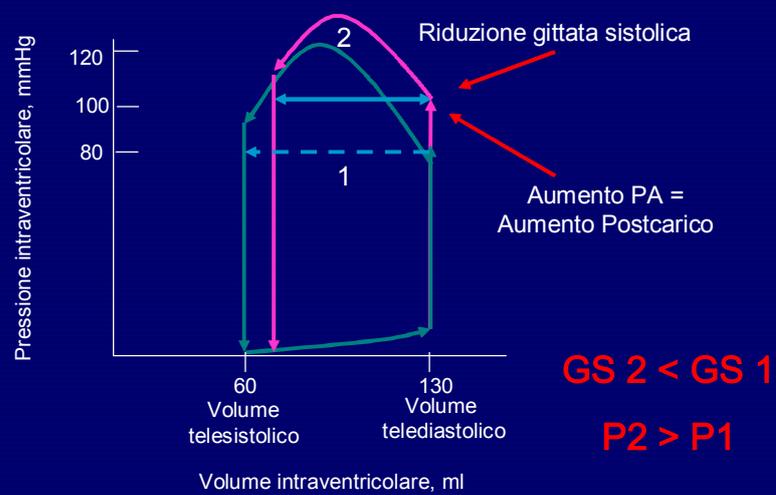
ADATTAMENTO AD UN CARICO ACUTO DI VOLUME

Variazione del precarico

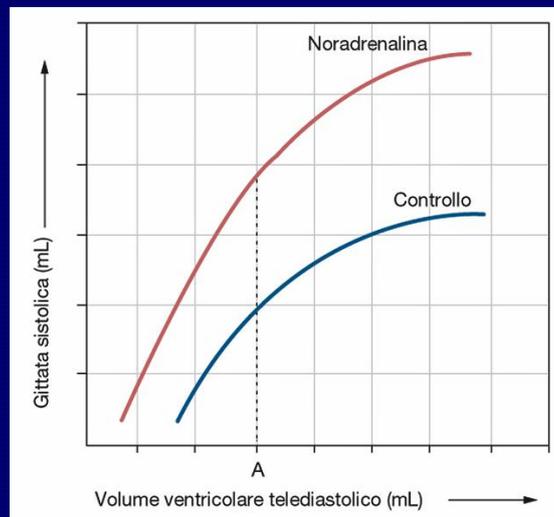
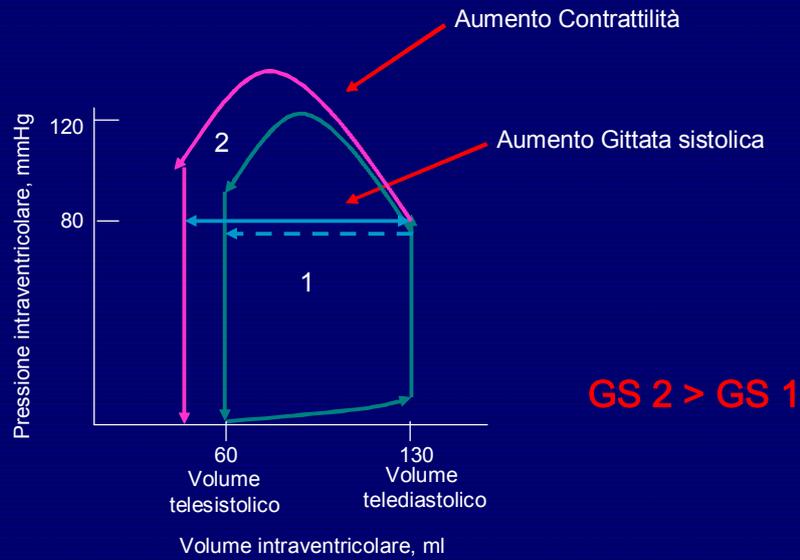


ADATTAMENTO AD UN CARICO ACUTO DI PRESSIONE

Variazione del post-carico



EFFETTO INOTROPO POSITIVO



L'effetto inotropo positivo del simpatico, aumentando la contrattilità cardiaca, rende il cuore capace di espellere un maggior volume di sangue a parità di volume telediastolico

L'effetto inotropo positivo del simpatico, aumentando la contrattilità cardiaca, rende il cuore capace di espellere un maggior volume di sangue, o di espellere lo stesso volume di sangue contro una pressione più elevata, senza aumento del riempimento diastolico

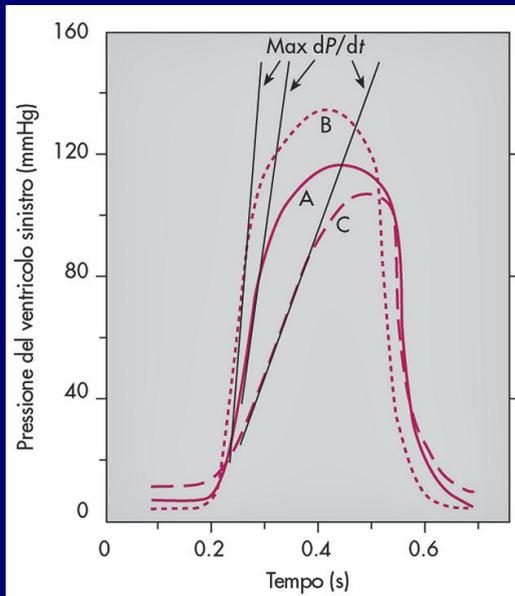
Indici della contrattilità:

- Velocità massima di ascesa della pressione nella fase di contrazione isovolumetrica (dP/dt max)

Valori normali 1.500-2.000 mmHg/sec

- Frazione di eiezione GS/VTD

Valori normali 0.5-0.7



Le tangenti condotte per il punto di massima pendenza della porzione ascendente della curva di pressione ventricolare, indicano i massimi valori di dP/dT , indice di contrattilità

A: Controllo

B: Cuore iperdinamico, con aumentata contrattilità per somministrazione di noradrenalina

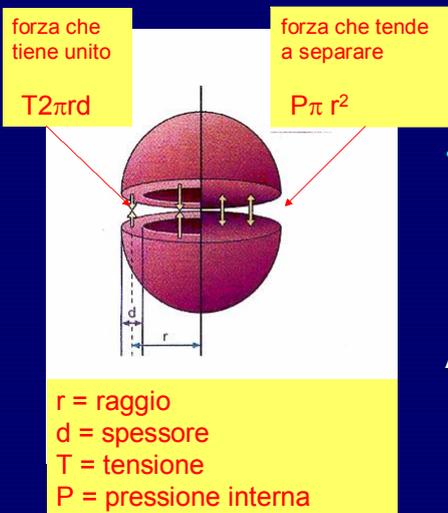
C: Cuore ipodinamico, come in presenza di scompenso cardiaco

- La pressione P, che si sviluppa all'interno delle cavità cardiache, origina dalla tensione T sviluppata dalla parete muscolare.
- La P intracavitaria dipende non solo dalla T sviluppata ma anche dalla geometria delle camere cardiache (raggio e spessore della parete).
- Il valore di P è espresso dalla Legge di Laplace:

$$P = 2Td/r$$

LEGGE DI LAPLACE

$$P = 2Td/r$$



$$F = P \cdot s$$

Se si paragona il ventricolo ad una sfera:

- la forza (F_s) che tende a separare le due semisfere, spingendo contro la parete, è la pressione P che si esercita sulla sezione πr^2 . Per cui
- la forza (F_c) che tiene unite le due semisfere, avvicinando e restringendo la parete, è la Tensione (T) che si sviluppa nell'ambito della superficie laterale della sfera $2\pi rd$. Per cui:

$$F_s = P\pi r^2$$

$$F_c = T2\pi rd$$

All'equilibrio:

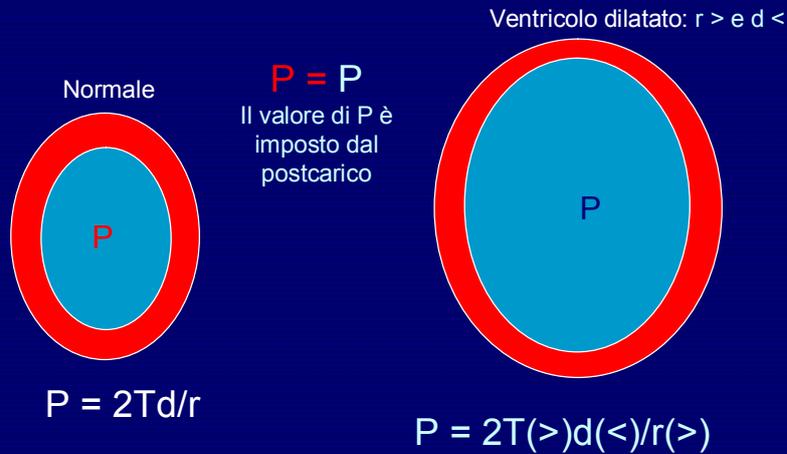
$$F_s = F_c$$

$$P\pi r^2 = T2\pi rd$$

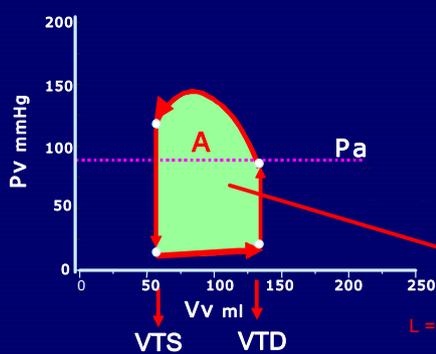
Risolviendo per P:

$$P = 2Td / r$$

Il ventricolo per produrre al suo interno una certa **P** deve quindi sviluppare una tensione **T** nella parete, il cui valore dipende dallo spessore **d** e dal raggio **r** della camera ventricolare. La **legge di Laplace** spiega perché, nel caso di dilatazione ventricolare ($r >$ e $d <$), il cuore sia meccanicamente svantaggiato. Infatti per ottenere la stessa **P** deve sviluppare una **T** maggiore.



LAVORO CARDIACO



Il cuore per spostare un certo volume di sangue durante la sistole sviluppa lavoro esterno, divisibile, per entrambi i ventricoli, in:

- lavoro di pressione-volume
- lavoro di accelerazione

• La quota di lavoro PV (A) può essere calcolata dall'integrale della curva PV del ciclo cardiaco

$$L = \int_{VTS}^{VTD} P \cdot dV$$

Valore medio durante l'elezione

Sommatoria dei dV espulsi

$$L = (\bar{P}_{VT}) \cdot GS$$

• Il Lavoro cinetico o di accelerazione, svolto per imprimere una velocità v alla massa di sangue m , viene calcolato con la formula dell'Ec = $1/2 mv^2$

Calcolo del lavoro cardiaco

Lavoro pressione-volume (P.V)

Ventricolo Sinistro $1\text{mmHg} = 133\text{ N/m}^2$ (Pascal)

- $P_m = 110\text{ mmHg} \cdot 133\text{ N/m}^2 = 14630\text{ N/m}^2$
- $G_s = 70\text{ ml} = 70 \cdot 10^{-6}\text{ m}^3$
- $L = 14630 \cdot 70 \cdot 10^{-6} = 1,024\text{ Nm (Joule)}$

Ventricolo Destro

- $P_m = 15\text{ mmHg} \cdot 133\text{ N/m}^2 = 1995\text{ N/m}^2$
- $G_s = 70\text{ ml} = 70 \cdot 10^{-6}\text{ m}^3$
- $1995 \cdot 70 \cdot 10^{-6} = 0,140\text{ Nm (Joule)}$

Lavoro di accelerazione (uguale per ventricolo Destro e Sinistro)
($1/2mv^2$)

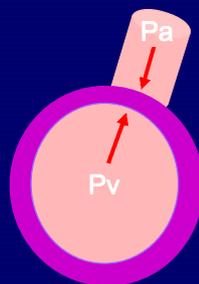
- $m = 70\text{ gr} = 70 \cdot 10^{-3}\text{ Kg}$
- $v = 0,5\text{ m/s}$
- $0,009\text{ Nm (Joule)}$

Lavoro Totale = $L_{pv_{Sn}} + L_{pv_{Ds}} + L_{a_{Sn}} + L_{a_{Ds}} = 1,024 + 0,140 + 0,009 + 0,009 = 1,182\text{ Joule}$

A riposo L_a è solo 1% del lavoro esterno, quindi trascurabile.

Sale al 15% durante l'esercizio fisico

Lavoro PV comprende:

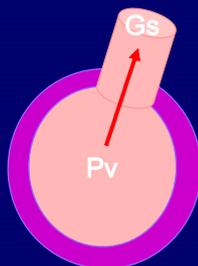


$P_v < P_a$

Valvola semilunare chiusa:
SISTOLE ISOMETRICA
Pv sale fino a superare Pa

LAVORO
PRESSORIO

1) Energia necessaria per sviluppare la tensione richiesta per creare una pressione intraventricolare (P_v) superiore alla pressione aortica (P_a): dipende dalla tensione sviluppata e dalla durata della sistole



$P_v > P_a$

Valvola semilunare aperta:
SISTOLE ISOTONICA
Si genera la G_s

LAVORO
VOLUMETRICO

2) Energia necessaria per spingere il sangue nel sistema circolatorio vincendo le resistenze periferiche

L'energia spesa per eseguire il lavoro cardiaco si valuta misurando il consumo di O_2

Consumo di O_2 medio 0.08-0.10 ml/gr/min.

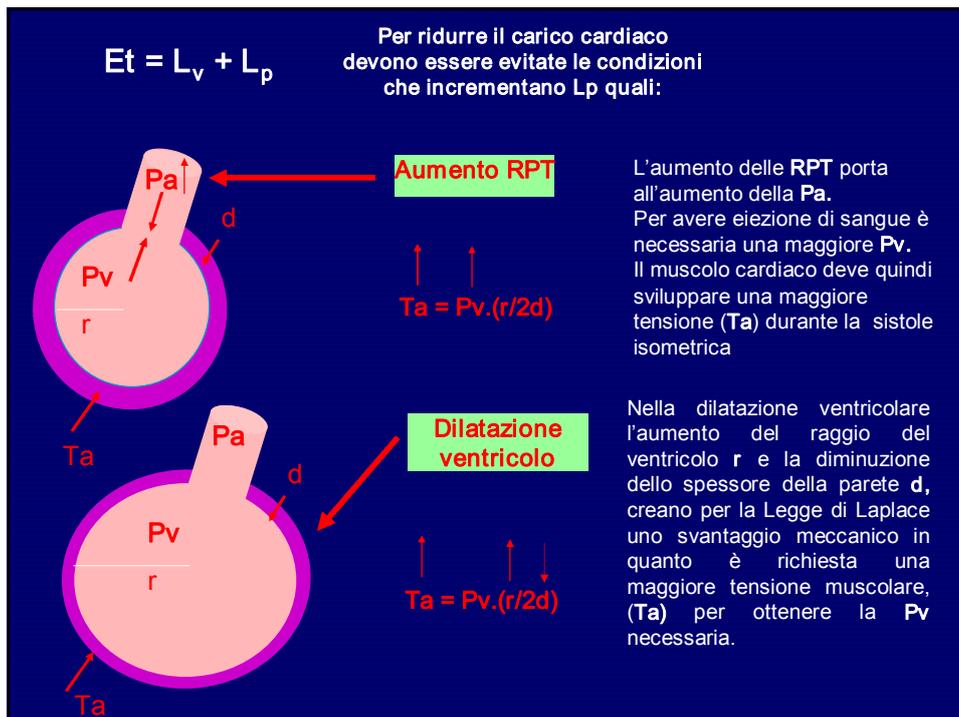
Un cuore di 300 gr consuma 24 -30 ml O_2 /min

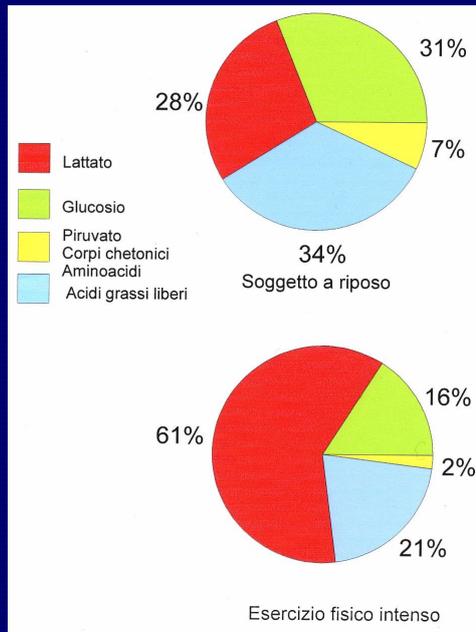
Per misurare la reale efficienza cardiaca, si valuta il rapporto tra il lavoro esterno (volumetrico) e il consumo totale di energia (espressa come consumo di O_2), cioè il:

RENDIMENTO CARDIACO = Lavoro esterno/consumo O_2

Rendimento 15%-40%

- Quando aumenta il lavoro esterno (volumetrico) il consumo di O_2 varia poco, il rendimento è quindi elevato.
- Quando aumenta il lavoro interno (pressorio), il consumo di O_2 sale proporzionalmente al lavoro compiuto, il rendimento rimane costante o diminuisce.



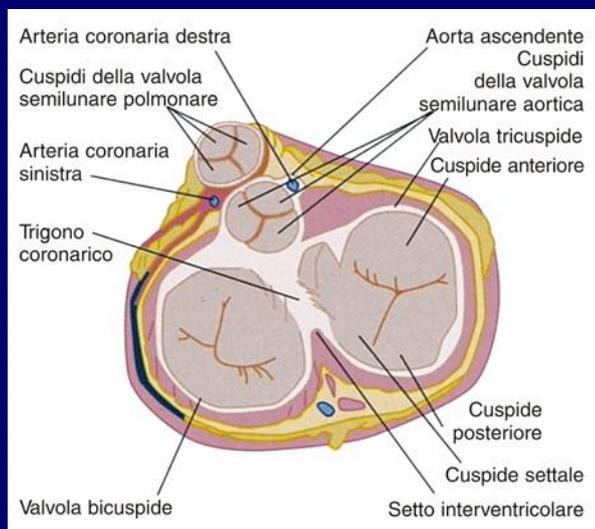


L'ATP consumato per fornire energia al miocardio, viene ricostituito mediante la fosforilazione ossidativa a partire da substrati energetici diversi.

Il miocardio non è in grado di utilizzare, se non per tempi brevi, la glicolisi anaerobica.

Il metabolismo miocardico dipende quindi da un'adeguata e continua fornitura di O_2

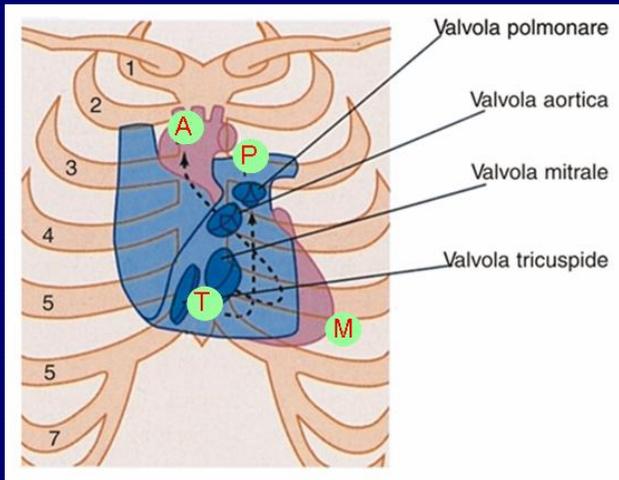
L'ossigeno è fornito dal circolo coronarico, la cui efficienza rappresenta un fattore critico. Una richiesta di O_2 maggiore può essere soddisfatta solo attraverso un aumento di flusso coronarico.



Quando le valvole cardiache si chiudono, si crea turbolenza del sangue. In corrispondenza con la chiusura delle valvole atrio-ventricolari e semilunari, si possono auscultare due suoni (Toni) il I ed il II tono cardiaco.

Il suono prodotto da ogni valvola può essere sentito in punti del torace che non sono direttamente sopra le valvole, ma in zone lievemente distanti dalla proiezione anatomica della valvola sul torace, detti **focolai di auscultazione**





1° TONO dovuto alla chiusura delle valvole atrio-ventricolari (mitrale e tricuspide). Coincide con l'inizio della sistole ventricolare.

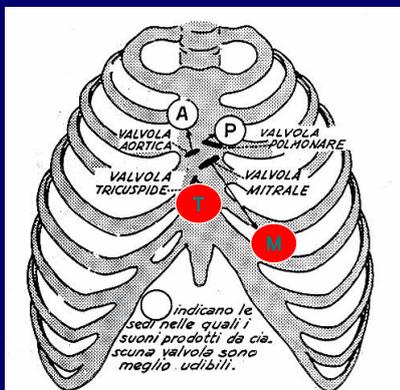
Basso e prolungato

2° TONO dovuto alla chiusura delle valvole semilunari (aortica e polmonare). Coincide con la fine della sistole ventricolare.

Breve ed acuto



TONI CARDIACI



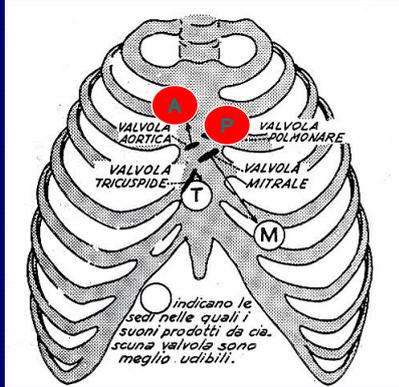
1° TONO Coincide con l'inizio della sistole ventricolare e presenta 3 componenti:

- Vibrazioni a bassa frequenza che originano nel miocardio ventricolare all'inizio della sistole
- Due vibrazioni di maggior ampiezza: M1 e T1 dovute alla chiusura della valvola mitrale (M) e tricuspide (T). In condizioni fisiologiche M1 precede T1.

Frequenza media 25-45 Hz.
Durata media 0.15 sec

Onomatopeicamente rappresentato da:

"LUBB"



2° TONO Coincide con la fine della sistole ventricolare.

Vibrazioni ad alta frequenza A2 e P2 dovuti alla chiusura delle valvole semilunari aortica (A) e polmonare (P).

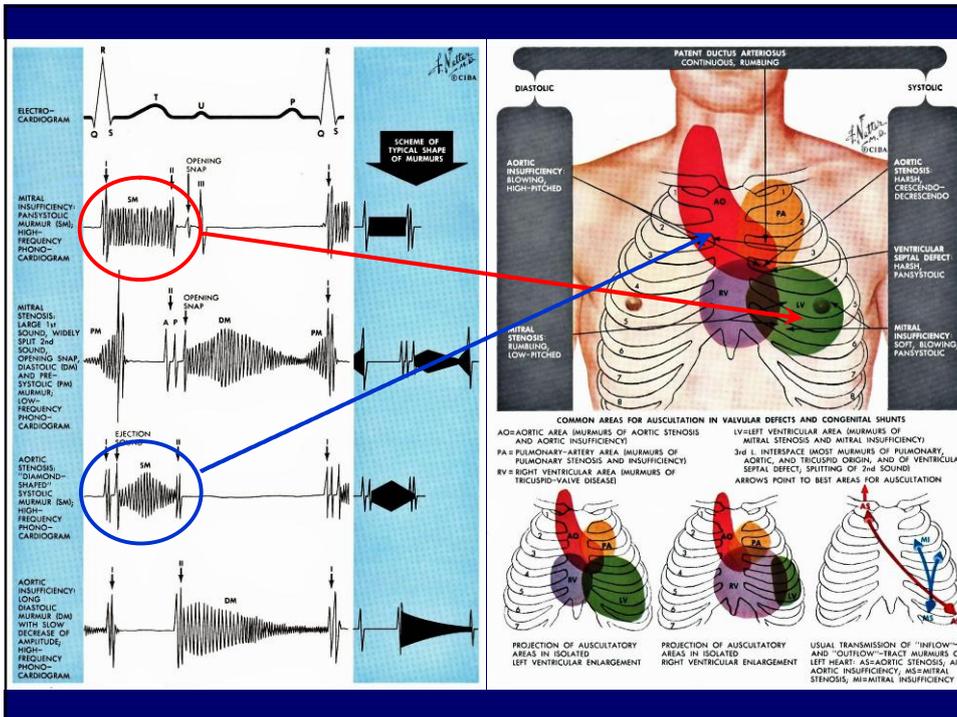
In condizioni fisiologiche A2 precede P2.

Frequenza media 50 Hz.

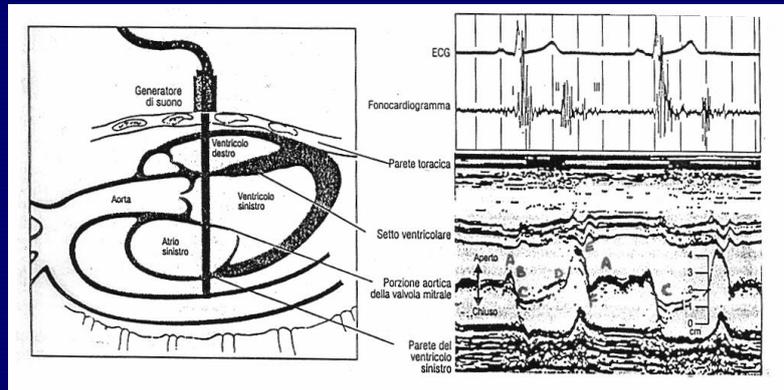
Durata media 0.12 sec

Onomatopeicamente rappresentati da:

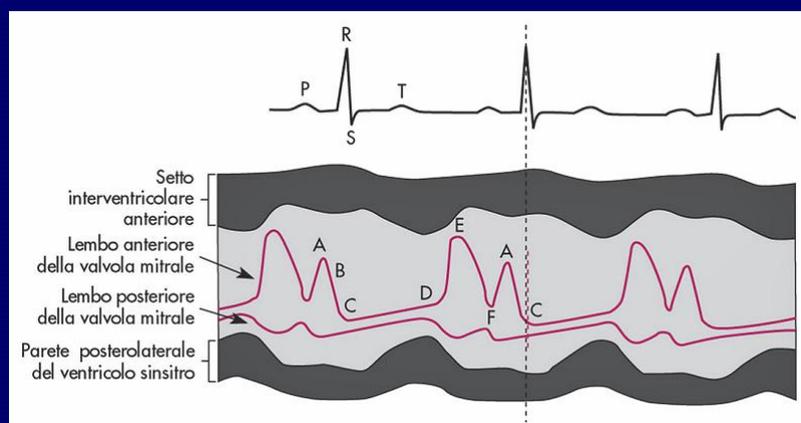
“DUP”



ECOCARDIOGRAFIA



Ultrasuoni attraverso la parete toracica vengono riflessi come echi dalle strutture interne. La sequenza e le caratteristiche delle onde riflesse danno informazioni sul diametro delle cavità, spessore della parete e movimento delle valvole cardiache.



D = Apertura valvola, i lembi si allontanano

D-E = Riempimento rapido

E-F = Riempimento lento. I lembi valvolari si avvicinano

F-A = Sistole atriale, I lembi valvolari si allontanano

A-C = Chiusura valvola (C), i lembi si avvicinano. Inizia la sistole ventricolare.

Si osserva ispessimento del setto e della parete ventricolare