

# FISIOLOGIA CARDIOVASCOLARE 2

Lezione 3

19/12/17

Argomenti:

- Generalità della meccanica cardiaca
- Ciclo cardiaco
- Onda sfigmica
- Polso arterioso
- Ritorno venoso

## MECCANICA CARDIACA

### 1. Generalità della meccanica cardiaca

L'aspetto principale dell'attività cardiaca è quello meccanico di pompa, nella duplice forma di forza premente e aspirante. La funzione di pompa è possibile grazie alla presenza nel cuore di fasci di fibre muscolari, più o meno potenti, che, contraendosi, causano variazione di volume, prima degli atri e poi dei ventricoli. La contrazioni di quest'ultimi consente l'immissione di sangue nel circolo polmonare (ventricolo destro) e nel circolo sistemico (ventricolo sinistro).

Nell'uomo i volumi dei due atri sono superiori a quelli dei rispettivi ventricoli e ciò assicura il riempimento di questi ultimi da parte della contrazione dei primi.

I ventricoli, inoltre, contraendosi, non si svuotano completamente, ma alla fine della sistole rimane al loro interno un volume residuo di sangue, che in condizioni basali è circa il 50% del volume di fine diastole. Si ha, quindi, una gittata sistemica di circa 75 ml.

#### 1.1 Modalità di contrazione dei ventricoli

Il modo con cui si contraggono i ventricoli è diverso per ciascuno di essi, anche se lo svuotamento dell'uno può influire su quello dell'altro.

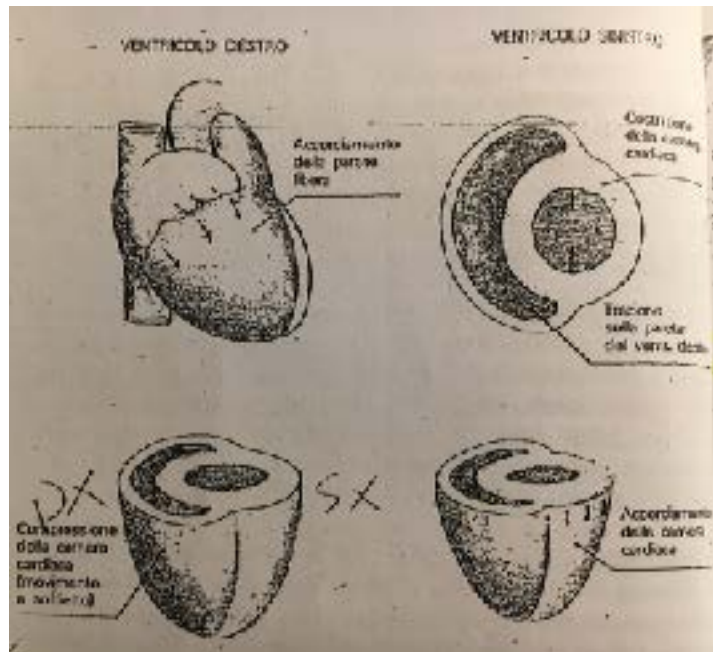
Il *ventricolo destro*, addossato sul davanti e a destra rispetto al ventricolo sinistro, ha una sezione longitudinale approssimativamente triangolare, con apice rivolto verso il basso, ed è compreso tra il setto interventricolare convesso e la parete libera, concava. L'espulsione di sangue si verifica con tre meccanismi separati e contemporanei:

- accorciamento della parete libera, con spostamento della valvola tricuspide verso il basso
- spostamento della parete libera ventricolare verso il setto interventricolare (movimento a *soffietto*, di lieve entità, ma molto efficace)
- trascinarsi della parete libera verso il setto interventricolare per contrazione del ventricolo sinistro.

Il ventricolo destro è adatto ad espellere elevati volumi di sangue, con accorciamenti minimi del miocardio e con scarso sviluppo di pressione intraventricolare: si tratta di una **pompa di volume**, che immette il sangue in un distretto circolatorio (circolo polmonare) a bassa resistenza.

Il *ventricolo sinistro*, invece, ha la forma di un cilindro con un segmento apicale conico e nelle sue pareti prevalgono i fasci di fibre muscolari profondi, disposti con andamento obliquo, adatti per sviluppare elevate pressioni durante la contrazione. Quest'ultima avviene essenzialmente per riduzione del diametro trasversale, con lieve accorciamento dell'asse longitudinale.

Si tratta, in questo caso, di una **pompa di pressione**, capace di espellere sangue in un sistema circolatorio (circolo sistemico) ad alta resistenza, contro, quindi, un'elevata pressione.

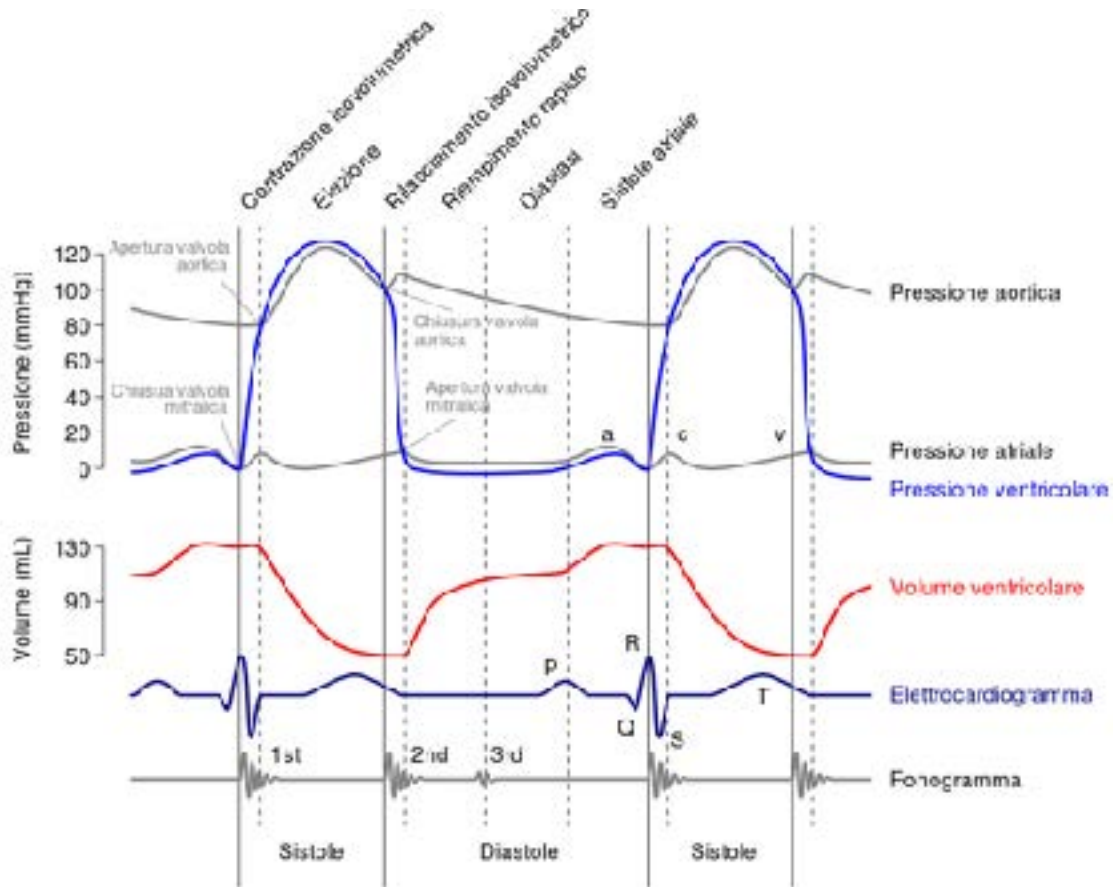


## 2. Ciclo cardiaco

Il ciclo cardiaco è caratterizzato da un'alternarsi di contrazione e rilasciamento delle camere cardiache. Alla contrazione simultanea degli atri (sistole atriale), che causa il passaggio di sangue nei ventricoli, segue quella dei due ventricoli (sistole ventricolare), che causa passaggio di sangue nelle arterie. Alla sistole segue, sia negli atri che nei ventricoli, il rilasciamento, cioè la diastole.

L'insieme di sistole e diastole costituisce il ciclo cardiaco, la cui durata, nell'uomo a riposo, è di circa **0,8-0,9s**.

E' importante considerare che le singole onde registrate nell'ECG (espressione della depolarizzazione e bipolarizzazione delle membrane cellulari delle varie zone miocardiche) precedono le variazioni pressorie cardiache, che sono, invece, espressione degli eventi meccanici.

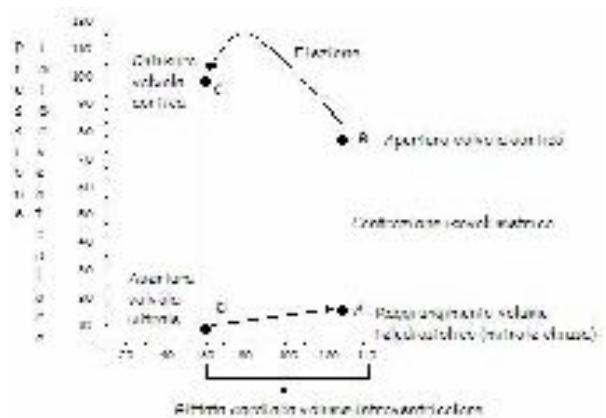


Nella trattazione del ciclo cardiaco si considerano per semplicità gli eventi del *cuore sinistro*, come mostrato nel grafico soprastante.

La sistole atriale causa un aumento di pressione nell'atrio (*onda positiva a* nel grafico) e un lieve aumento di pressione anche nel ventricolo (con un piccolo aumento di volume ventricolare), perché si trova in comunicazione diretta con l'atrio per l'apertura della valvola mitrale e perché si accumula in esso il sangue spinto dalla contrazione atriale.

Quando la pressione ventricolare aumenta e supera quella dell'atrio, si evidenzia la **chiusura della valvola mitrale**: inizia la sistole ventricolare, caratterizzata da un aumento di pressione, prima lento e poi più rapido. In questo momento il ventricolo è una cavità chiusa (sono chiuse mitrale e semilunare aortica), pertanto l'aumento di pressione è dovuto all'incremento di tensione delle fibre ventricolari, senza variazione della loro lunghezza e, quindi, del volume ventricolare; si parla di **CONTRAZIONE ISOMETRICA** o isovolumica.

L'aumento di pressione intraventricolare causa protusione dei lembi della mitrale nell'atrio sinistro, con aumento di pressione (*onda positiva c* nel tracciato pressorio atriale).



Quando la pressione ventricolare supera quella dell'aorta (80 mmHg), si verifica l'**apertura della valvola aortica** e il ventricolo si contrae con accorciamento delle fibre (**CONTRAZIONE ISOTONICA**), immettendo sangue in aorta, con aumento del flusso ematico e della pressione aortica. Inizialmente si nota una piccola riduzione di volume, corrispondente all'espulsione iniziale di sangue, che ha l'effetto di dilatare la parete dell'aorta ascendente; successivamente si ha una rapida e continua riduzione del volume ventricolare. Si evidenziano due fasi nella contrazione isotonica:

- **EFFLUSSO RAPIDO**, finché non si raggiunge il massimo della pressione in aorta (circa 120 mmHg);
- **EFFLUSSO RIDOTTO**, dopo il massimo in aorta.

La riduzione dell'efflusso ventricolare è conseguente a vari aspetti: il riempimento del bulbo aortico riduce il gradiente pressorio tra ventricolo ed aorta; con la contrazione, le fibre ventricolari si accorciano sviluppando minor forza; inoltre, le fibre entrate per prime in contrazione entrano in riposo, riducendo il numero di quelle attive.

Si avrà, dunque, una graduale riduzione della pressione ventricolare con il ridursi dell'efflusso.

Durante la protodiastole, la pressione ventricolare diminuisce, fino ad essere inferiore a quella aortica, con conseguente **chiusura della valvola aortica** (incisura aortica).

Inizia, quindi, la fase di **RILASCIAMENTO VENTRICOLARE ISOMETRICO** o isovolumico, in cui la pressione ventricolare scende al di sotto di quella atriale e si verifica l'**apertura della valvola mitrale**. Ne consegue il passaggio di sangue dall'atrio al ventricolo (con il ripristino del volume ventricolare iniziale), che consta di tre fasi:

- **RIEMPIMENTO RAPIDO**;
- **RIEMPIMENTO LENTO** o **DIASTASI**;
- **SISTOLE ATRIALE**, che è responsabile del riempimento del ventricolo per un terzo.

Oltre che nel ventricolo, si possono registrare modificazioni pressorie anche nell'*atrio sinistro*.

La sistole atriale e la sistole ventricolare isovolumica causano gli aumenti di pressione corrispondenti, rispettivamente alle **onde positive a e c**.

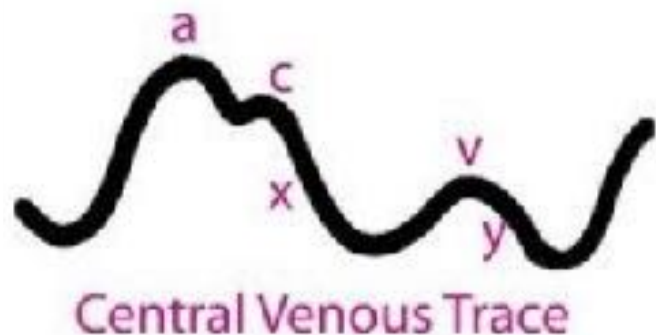
Dopo l'onda c, si verifica un rapido abbassamento della pressione atriale (**onda negativa x**), causato dallo spostamento in basso e in avanti dell'apice cardiaco, durante la sistole ventricolare: si verifica lo stiramento verso il basso del setto fibroso atrio-ventricolare, determinando l'allungamento dell'atrio, il cui volume aumenta e la pressione diminuisce. Ciò favorisce l'afflusso di sangue attraverso le vene polmonari.

Mentre il sangue si accumula nell'atrio, la pressione atriale aumenta e si registra un'**onda positiva v**. In seguito all'onda v, si evidenzierà un'ulteriore riduzione della pressione atriale, in corrispondenza del passaggio di sangue da atrio a ventricolo, in diastole: si tratta dell'**onda negativa y**.

Le variazioni pressorie nell'atrio dentro si evidenziano per trasmissione retrograda a livello delle vene centrali, determinando il polso venoso (nella figura sottostante). La differenza principale si registra in corrispondenza dell'**onda c**, che risulta più accentuata nel polso venoso, dal momento che, in questo caso, si verifica un aumento pressorio a causa della protusione nell'atrio destro dei lembi valvolari della tricuspide (chiusa durante la sistole isovolumica), a cui si sovrappongono le onde dei polsi carotideo, aortico e delle grosse arterie, che si trasmettono alle grosse vene extratoraciche.

Nel *cuore destro* le modificazioni pressorie si alternano in modo analogo a quelle del sinistro, ma variano sensibilmente le pressioni raggiunte. Infatti, la pressione massima nell'arteria polmonare, durante il periodo di efflusso, è circa 25-30 mmHg, mentre durante la diastole ventricolare è di circa 10 mmHg. Le pressioni intraventricolari diastoliche sono circa 4 mmHg nel ventricolo destro e 5 mmHg nel sinistro. Inoltre, il periodo di efflusso nel ventricolo destro presenta un *plateau* e non un picco, poiché il sangue si accumula meno nell'arteria polmonare che nell'aorta.

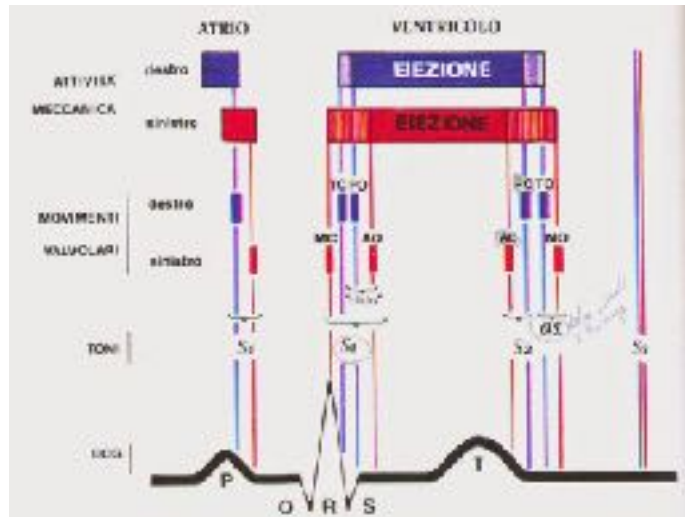
Esistono, infine, alcune differenze temporali negli eventi di cuore sinistro e destro: l'inizio della sistole dell'atrio destro precede di poco quella del sinistro, mentre l'inizio della sistole ventricolare destra segue quella del ventricolo sinistro.



## 2.1 Toni cardiaci

I toni cardiaci sono rumori prodotti dal cuore durante l'attività cardiaca. Essi sono dovuti essenzialmente allo spostamento di sangue (accelerazione) e al suo arresto (decelerazione). Normalmente si riconoscono quattro toni, di cui solo i primi due sono udibili con lo stetoscopio, perché più intensi.

Il **primo tono** è prodotto dalla chiusura della mitrale e della tricuspide e comincia all'inizio della sistole ventricolare per diminuire sin dall'inizio della fase di efflusso. E' il più lungo, della durata di 0,09-0,16 s, ed è espresso come un *lup*. Si percepisce maggiormente in regione apicale cardiaca: i rumori della tricuspide si apprezzano al III-IV spazio intercostale, a sinistra dello sterno; quelli della mitrale sempre al V spazio intercostale, sulla linea apicale.



Il **secondo tono** è prodotto, invece, dalla chiusura delle semilunari aortica e polmonare e segna la fine della sistole ventricolare. E' breve e più acuto del primo, espresso come un *dup*. Il secondo tono causato dalla chiusura della polmonare si sente meglio nel II spazio intercostale sulla linea parasternale sinistra, mentre quello della valvola aortica nello stesso spazio intercostale a destra; in generale, la chiusura di quest'ultima si percepisce su tutti i focolai, come per quanto riguarda la chiusura della valvola mitrale nell'ambito del primo tono.

Durante l'inspirazione è possibile apprezzare un ritardo della componente polmonare nei confronti di quella aortica, a causa di un maggior ritorno venoso nel cuore destro; si parla, quindi, di sdoppiamento fisiologico del secondo tono.

Il **terzo tono** origina alla fine della fase di riempimento rapido. E' apprezzabile quando la quantità di sangue, che all'apertura delle valvole atrioventricolari passa dall'atrio al ventricolo, è aumentata, ovvero quando la distensibilità delle pareti ventricolari è molto bassa. Nel bambino (gittata alta, parete toraciche sottili) e nel giovane può essere apprezzabile in condizioni fisiologiche, così come in caso di donne in gravidanza.

Il **quarto tono** inizia a metà della sistole atriale e può estendersi all'inizio della fase di contrazione isometrica ventricolare. E' determinato dalle vibrazioni delle pareti ventricolari per afflusso di sangue dall'atrio durante la sua sistole. Può essere fisiologicamente apprezzabile nell'anziano.

## 3. Onda sfigmica

L'onda di pressione che si manifesta sotto forma di aumento del calibro delle arterie in corrispondenza di ogni sistole cardiaca è detta ONDA SFIGMICA. L'introduzione improvvisa di un certo volume di sangue in un punto A di un vaso distensibile ne causa la dilatazione, con aumento di tensione e, quindi, di pressione interna. Quando poi una piccola quota di sangue dal punto A raggiunge il punto B, qui aumenterà la pressione, a causa del rinculo elastico che fa restringere la parete in A. Questa sequenza di eventi si ripete nei segmenti successivi del vaso, determinando un'onda di pressione che si propaga rapidamente lungo la parete del vaso stesso, al cui interno il flusso di sangue è molto più lento. Nell'aorta, infatti, la velocità di scorrimento del sangue è intorno ai 0,5 m/s, mentre la velocità dell'onda sfigmica è di circa 3-8 m/s.

L'onda sfigmica è, dunque, un indice del comportamento elastico delle arterie: se la parete arteriosa è più rigida aumenta la velocità dell'onda sfigmica. Questo fenomeno si evidenzia, per esempio, con l'avanzare dell'età a causa della sclerosi delle pareti arteriose che ne riduce la distensibilità.

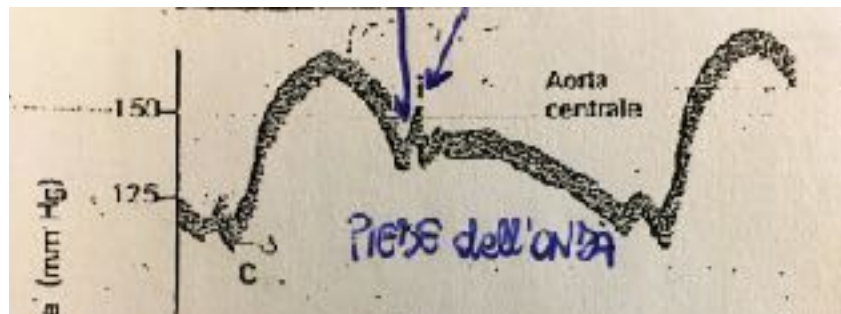
## 4. Polso arterioso

All'apertura della valvola aortica, durante la prima parte della sistole ventricolare, inizia l'efflusso di sangue dal ventricolo all'aorta, con variazioni di pressione in essa, che vengono evidenziate nella curva del polso aortico.

Inizialmente vi è un ramo in rapida ascesa (**ramo anacrotico**), dal momento che, finché non si raggiunge la pressione massima, la maggior parte del sangue eiettato si immagazzina nelle arterie più centrali, che si dilatano con aumento di pressione.

Dopo il picco pressorio (120 mmHg), si evidenzierà un ramo discendente (**ramo catacrotico**), caratterizzato dal fatto che la pressione aortica si riduca sia perché il ventricolo si rilascia sia perché il sangue passa dall'aorta ai vasi periferici.

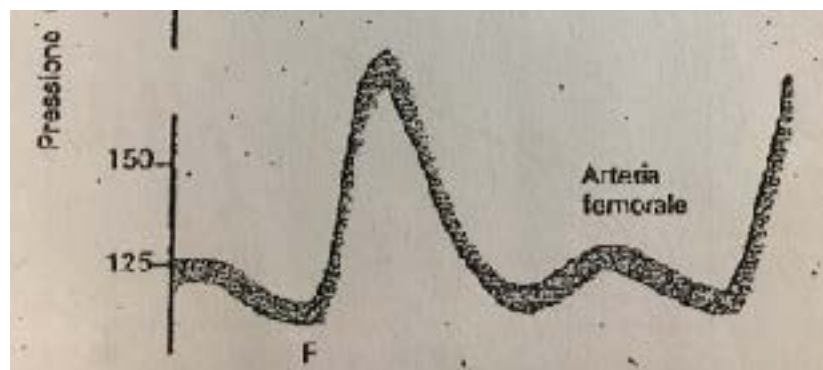
La chiusura della valvola semilunare causa una rapida interruzione del calo della pressione, evidenziabile come una rapida oscillazione negativa (**incisura dicrota**), seguita da una **gobba positiva**, legata all'urto di sangue sulla valvola aortica. La parte di curva seguente, che precede il ramo anacroto successivo, prende il nome, invece, di **piede dell'onda**.



Il grafico del polso arterioso tende, poi, a modificarsi passando dall'aorta alle arterie periferiche, poiché variano la distensibilità dei vasi e la velocità di scorrimento del sangue, ma anche a causa dell'attrito. Oltre a ciò, bisogna considerare che le modifiche più notevoli del profilo pressorio sono causate dalle **onde riflesse** dei vasi arteriosi. Si verifica, infatti, l'urto dell'onda sfigmica avanzante contro le biforcazioni e le ramificazioni delle arterie di grosso e medio calibro, generando la suddetta onda riflessa, che, propagandosi dalla periferia verso l'aorta, si sovrappone all'onda sopravveniente, durante la diastole.

Quindi, i cambiamenti che si verificano nella curva del polso arterioso sono i seguenti:

- aumento dell'ampiezza del picco sistolico (aumento della pressione sistolica);
- riduzione dell'incisura fino alla sua sostituzione con il cosiddetto **incavo dicroto**;
- amplificazione del ramo catacroto fino alla comparsa di una seconda onda (**onda dicrota**);
- abbassamento del tratto finale del tracciato pretorio (riduzione della pressione diastolica)



## 5. Ritorno venoso

Il ritorno venoso all'atrio destro è regolato da una serie di meccanismi che agiscono o spingendo il sangue (agente *da dietro*), o richiamandolo verso il cuore (*dal davanti*).

- La **VIS A TERGO** è la differenza di pressione tra i compartimenti arterioso e venoso del circolo sistemico ed è ascrivibile all'azione di pompa premente del cuore.
- La **POMPA MUSCOLARE** non è altro che la contrazione dei muscoli scheletrici, specialmente delle gambe, che sprema il sangue dai capillari muscolari fino alle vene più grosse; ciò viene favorito anche dalla presenza delle valvole venose, che impediscono il flusso in senso opposto.
- La **VIS A FRONTE** o **POMPA ASPIRANTE** è dovuta al fatto che la contrazione del miocardio in sistole, causando lo spostamento del setto atrioventricolare verso il basso, determina l'allargamento dei grandi serbatoi venosi (atri e vene cave) e l'aspirazione del sangue dalle grosse vene negli atri. In diastole, invece, l'apertura delle valvole atrio-ventricolari determina un improvviso calo pressorio negli atri che accelera il flusso del sangue agli atri stessi. Si possono distinguere, quindi, un'aspirazione ventricolare sistolica e una diastolica. L'aumento della frequenza cardiaca, riducendo la durata della diastole, riduce il tempo di riempimento diastolico ed esalta l'aspirazione sistolica.

—> frequenza cardiaca

- La **POMPA RESPIRATORIA**, infine, risulta uno dei meccanismi più efficaci nel garantire il ritorno venoso. Durante l'inspirazione, la riduzione della pressione intratoracica e l'aumento di quella intraddominale, per abbassamento del diaframma, favorisce il ritorno venoso. Quest'ultimo, invece, in espirazione diminuisce, dal momento che si verificano i fenomeni opposti.