

You cannot successfully understand dysfunction unless you understand function.

### Attività multisistemica coordinata

#### SISTEMA RESPIRATORIO

- Preleva ossigeno dall'ambiente
- Elimina anidride carbonica verso l'ambiente

#### SISTEMA DIGERENTE

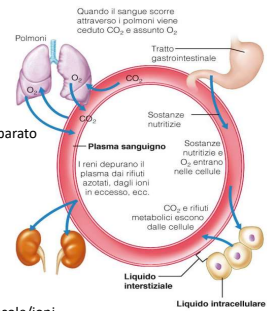
- L'intestino assorbe i nutrienti dal cibo digerito
- Il fegato ne regola la concentrazione a livello dell'apparato circolatorio

#### SISTEMA CARDIOVASCOLARE

- Trasporta nutrienti e ossigeno ai tessuti periferici
- Trasporta anidride carbonica e prodotti di rifiuto ai siti destinati all'escrezione (polmoni, fegato, reni)

#### SISTEMA URINARIO

- Rimuove la maggior parte dei prodotti di rifiuto
- Regola la quantità d'acqua corporea e di molte molecole/ioni

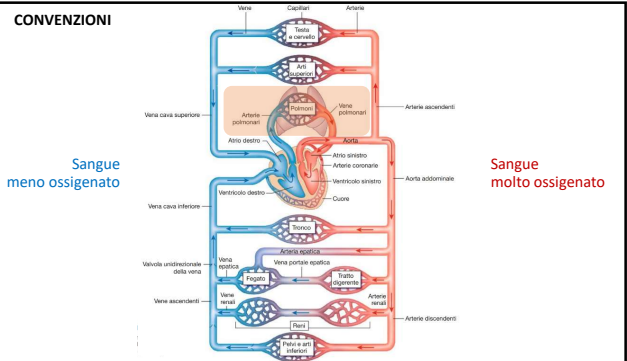
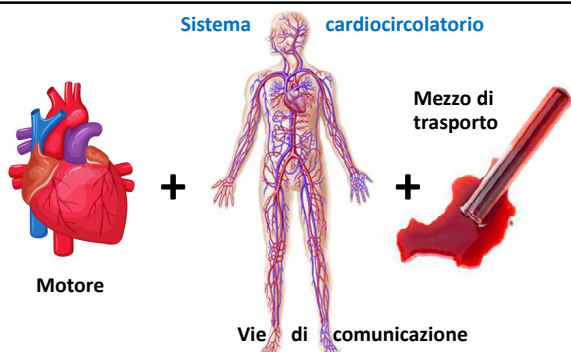


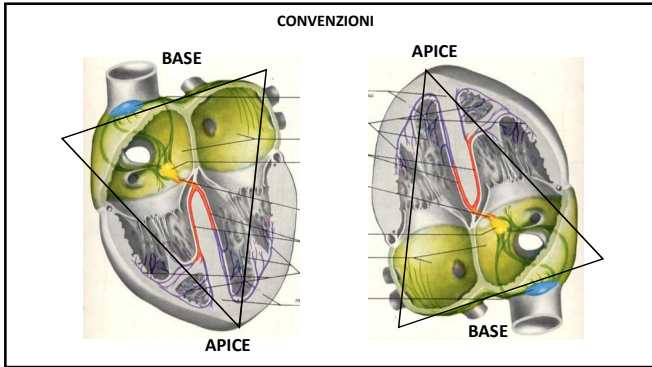
Gianfranco Sanson  
CdL in Infermieristica UniTS – 2025/26

## Sistema cardiocircolatorio

### Principali funzioni del sistema cardiovascolare

- Trasporto di sostanze (con il sangue)** da e verso tutti i distretti corporei
  - Sostanze che entrano nell'organismo dall'ambiente esterno
    - Ossigeno, attraverso la superficie di scambio polmonare
    - Nutrienti e acqua, assorbiti attraverso l'epitelio intestinale
  - Elementi che si spostano all'interno dell'organismo
    - Ormoni secreti dalle ghiandole endocrine verso i loro bersagli
    - Nutrienti dai depositi alle cellule metabolicamente attive
    - Globuli rossi, globuli bianchi, piastrine (funzioni specifiche)
    - Mediatori immunitari (es. citochine, interleuchine, complemento)
  - Cataboliti prodotti dalle cellule
    - Anidride carbonica rilasciata dalle cellule verso i polmoni
    - Cataboliti del metabolismo trasportati ai reni e al fegato
    - Acqua prodotta dalla respirazione cellulare
- Dissipazione di calore (con il sangue)** dai tessuti profondi alla cute





- Il sangue circola grazie al **gradiente di pressione** esistente nel **circuito chiuso** del sistema vascolare
- La **pressione iniziale** è generata dalla **contrazione delle camere cardiache**
- Il sangue esce dal cuore ad alta pressione
- Il flusso non è continuo, ma intermittente (**pulsato**)
- Il cuore si contrae e si rilassa durante un ciclo cardiaco

**Systole (pumping)**                      **Diastole (filling)**

**L'attività elettrica del cuore**  
 Gli impulsi elettrici per indurre la contrazione meccanica

**Nel muscolo cardiaco l'impulso si genera intrinsecamente**

- Contrazione regolata da processo di eccitazione elettrica continua e ripetuta:
  - a ogni evento elettrico corrisponde un evento meccanico
- Cellule autoritmiche** (cellule pacemaker)
  - Il segnale per la contrazione miocardica non viene dal sistema nervoso, ma dalle cellule autoritmiche
  - Cellule specializzate nel generare l'impulso elettrico
  - Concentrate nel nodo senoatriale e atrioventricolare
  - Prive di sarcomeri: non contribuiscono alla forza di contrazione
- Cellule (fibre) di conduzione**
  - Specializzate per la conduzione rapida dell'impulso elettrico
- Cellule contrattili**
  - Composte da muscolatura striata, organizzate in sarcomeri
  - Generano la forza di contrazione del cuore

**Nodo seno-atriale**

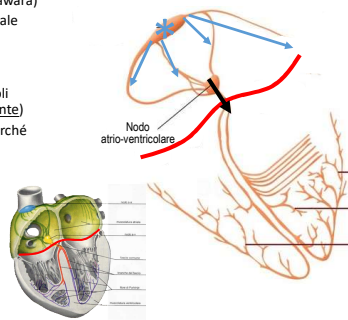
- Struttura localizzata nell'atrio destro, alla base della vena cava superiore
- Formato da un cellule aventi proprietà auto-eccitatorie (cellule pacemaker)
- Possiede intrinseca capacità a emettere ritmicamente impulsi elettrici
- Frequenza influenzata dal SNA:
  - sistema simpatico:
    - ↑ frequenza di attivazione NSA
    - ⇒ ↑ frequenza cardiaca
  - sistema parasimpatico
    - ↓ frequenza di attivazione NSA
    - ⇒ ↓ frequenza cardiaca

**Fasci internodali**

- La corrente originata dal NSA si trasmette agli atri attraverso strutture dedicate:
  - fascio di Bachmann (trasmette gli impulsi a sn attraverso il setto interatriale)
  - fascio anteriore
  - fascio intermedio (di Wenckebach)
  - fascio posteriore (di Thorel)
- potenziali d'azione propagati attraverso gli atri incontrano lo scheletro fibroso del cuore alla giunzione tra atri e ventricoli
- Questa barriera impedisce il trasferimento di segnali elettrici dagli atri ai ventricoli

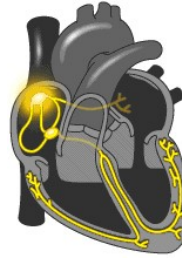
**Nodo atrio-ventricolare (NAV, nodo di Tawara)**

- L'onda di depolarizzazione elettrica atriale viene convogliata al NAV
- Struttura specializzata posta sul piano atrioventricolare
- È l'unica connessione tra atri e ventricoli (che altrimenti sono isolati elettricamente)
- Quindi punto di passaggio obbligato perché l'impulso raggiunga i ventricoli



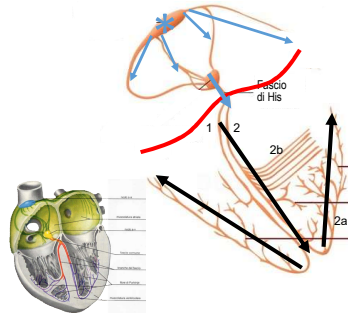
**Perché agli impulsi provenienti dagli atri è impedito di passare direttamente ai ventricoli?**

- I segnali devono passare dal nodo AV
- Il NAV ritarda (di circa 20x) la trasmissione dei potenziali d'azione provenienti dagli atri per permettere:
  - agli atri di completare la contrazione prima che inizi la sistole ventricolare
  - ai ventricoli di riempirsi completamente prima della sistole



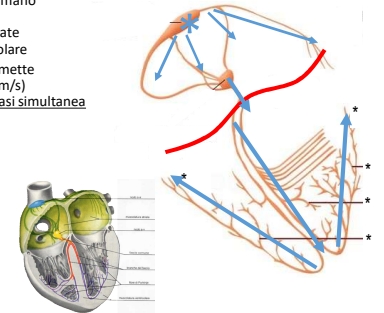
**Fascio di His**

- La propagazione degli impulsi elettrici dal NAV ai ventricoli avviene attraverso un ulteriore sistema di conduzione specializzato (fascio di His)
- All'interno del setto interventricolare, il fascio di His prosegue verso l'apice e si divide in:
  1. Branca destra
  2. Branca sinistra, che si separa in
    - 2a. fascicolo superiore
    - 2b. fascicolo posteriore



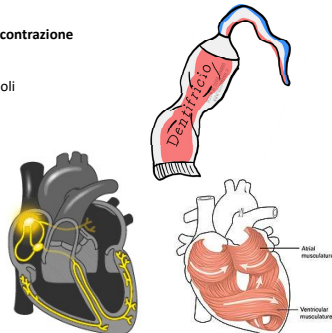
**Fibre di Purkinje**

- Le branche del fascio di His si diramano ulteriormente in una fitta maglia di cellule di conduzione specializzate posta nel sub-endocardio ventricolare
- La rete delle fibre di Purkinje trasmette gli impulsi molto rapidamente (4 m/s) per permettere la contrazione quasi simultanea di tutte le cellule contrattili



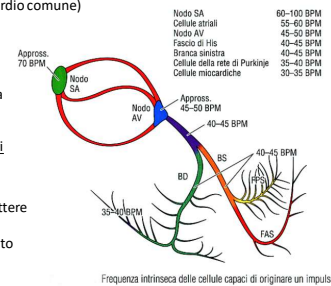
**Perché il sistema di conduzione genera una contrazione dall'apice alla base?**

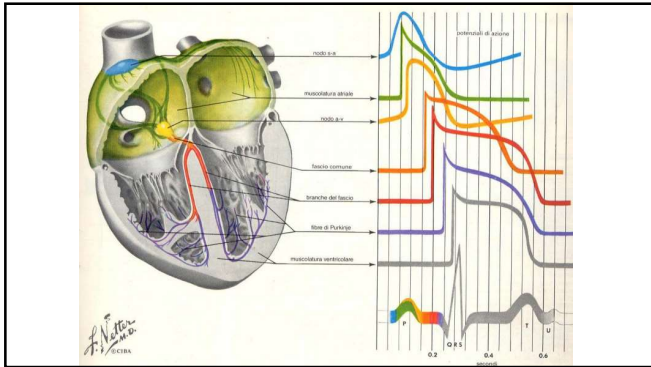
- Gli sbocchi arteriosi (aortico e polmonare) sono posti nella parte superiore dei ventricoli (base del cuore)
- Se la contrazione iniziasse dall'alto, parte del sangue sarebbe intrappolato in fondo ai ventricoli
- L'eiezione del sangue dai ventricoli è facilitata dall'organizzazione a spirale dei muscoli nelle pareti



**La «super-regola» della conduzione dell'impulso elettrico**

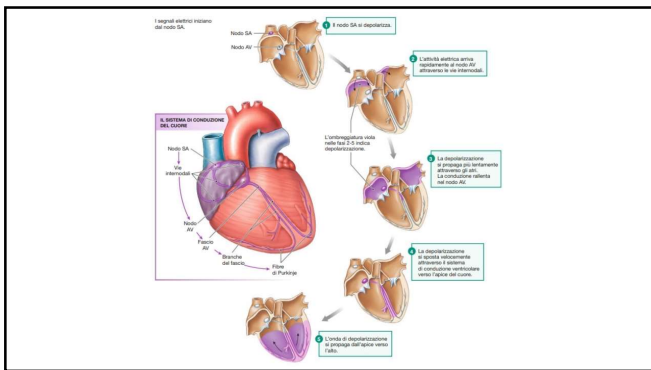
- Ogni cellula (sistema di conduzione e miocardio comune) è capace di generare uno stimolo
- Gli impulsi generati possono propagarsi alle cellule adiacenti e generare contrazione meccanica
- La frequenza fisiologica di scarica è specifica per ciascun tipo di cellula
- Il pacemaker più rapido determina («impone») il ritmo inibendo i PM successivi
  - NSA: frequenza di scarica superiore
  - NAV: centro sussidiario più importante
  - Altre zone, sono in grado di generare e emettere autonomamente impulsi
- Se un pacemaker non si attiva viene sostituito dal successivo più rapido





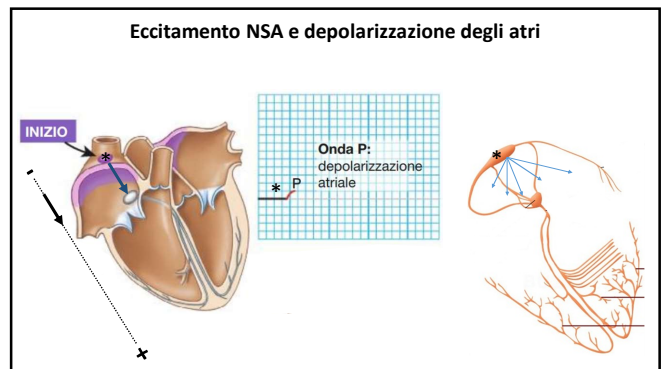
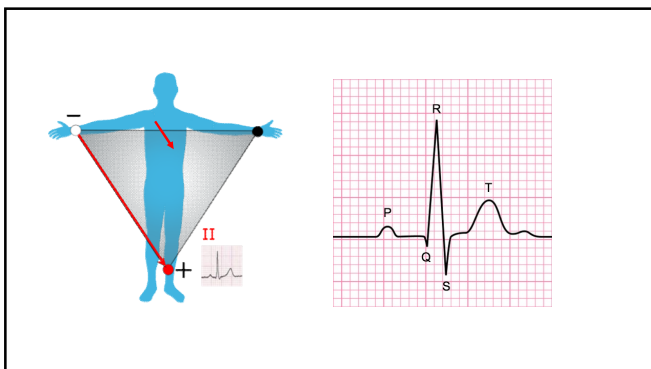
### Conduzione elettrica nelle cellule miocardiche

- Le giunzioni comunicanti nei dischi intercalari connettono elettricamente le cellule adiacenti del miocardio
- Permettono alle onde di depolarizzazione di diffondere rapidamente da cellula a cellula: tutte le cellule del muscolo cardiaco si contraggono quasi simultaneamente
- Una volta depolarizzato, il miocita non è più disponibile a generare o condurre un nuovo impulso fino a che non si sia ripolarizzato.
- Questo periodo (REFRATTARIO) è indispensabile per il funzionamento del cuore

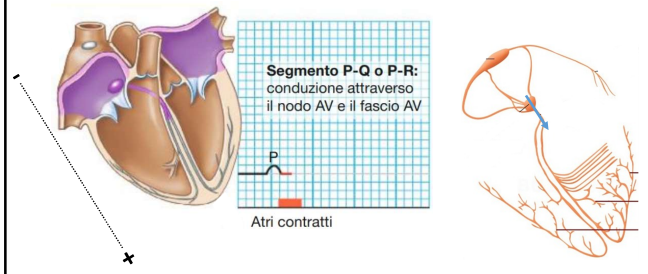


## Visualizzare l'attività elettrica del cuore

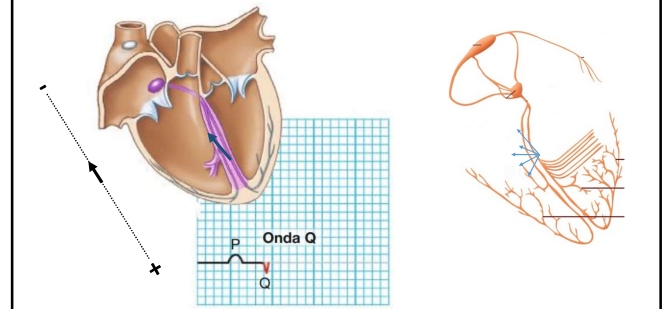
### Pochi, semplici concetti di elettrocardiografia



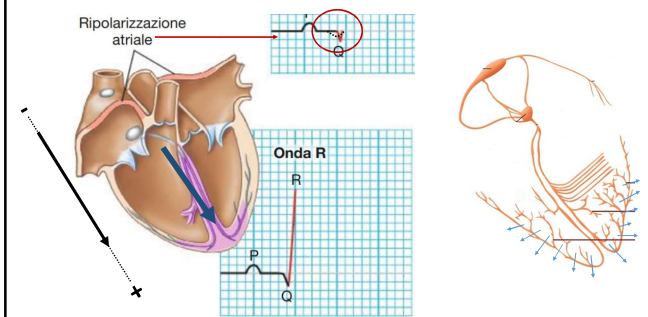
### Depolarizzazione del NAV



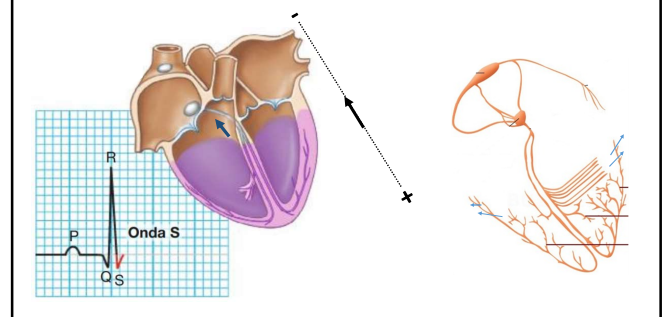
### Depolarizzazione del setto



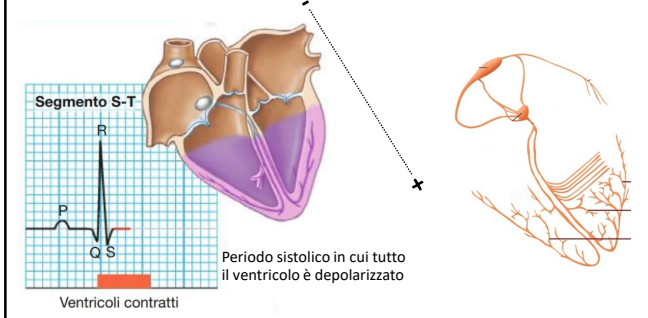
### Depolarizzazione delle pareti libere ventricolari



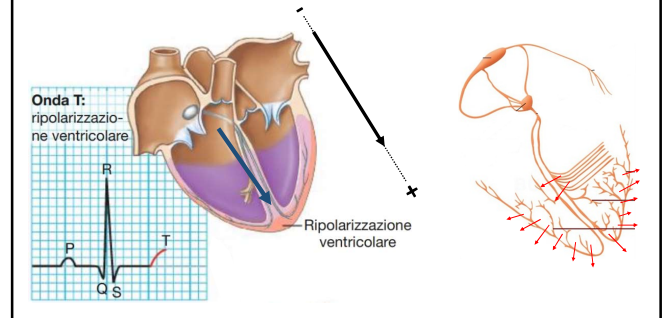
### Depolarizzazione delle basi ventricolari



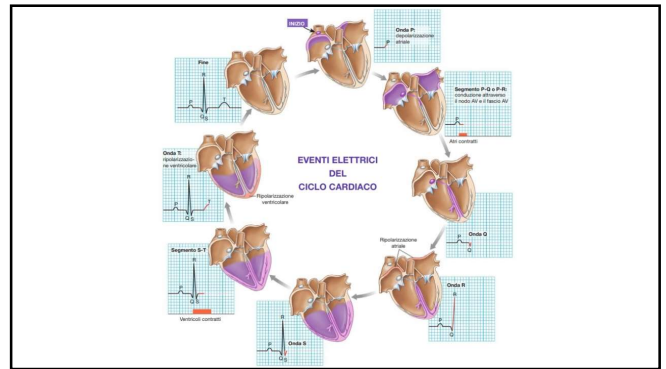
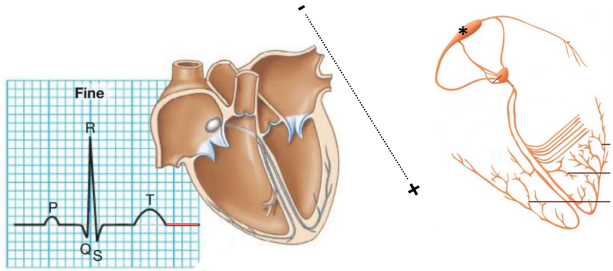
### Plateau



### Ripolarizzazione dei ventricoli

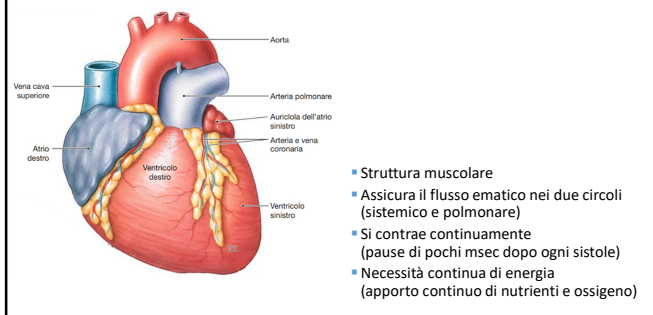


### Fine del ciclo (depolarizzazione del NSA)

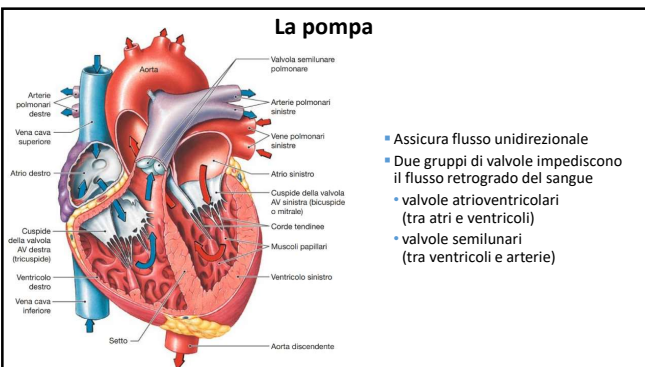


### L'attività di pompa del cuore Le conseguenze meccaniche della propagazione degli stimoli elettrici

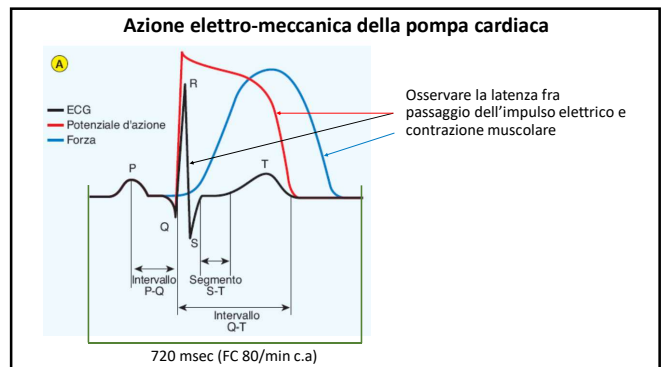
### La pompa



### La pompa



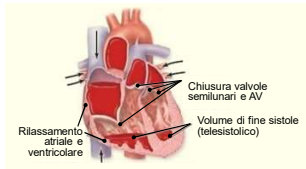
### Azione elettro-meccanica della pompa cardiaca



**Diastole atriale / Diastole ventricolare (a. fase precoce)**

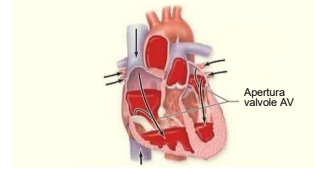
- Non c'è alcuna attività elettrica miocardica
- **I ventricoli**
  - hanno appena completato la contrazione e sono rilassati
  - non si sono svuotati completamente (il sangue rimasto nel ventricolo a fine sistole è detto **volume telesistolico**)\*
  - il sangue è refluito verso i lembi delle semilunari provocandone la chiusura
- **Gli atri** si stanno riempiendo progressivamente di sangue proveniente dalle vene cave

\* Tale: «lontano», «a distanza» (telecomando, telefono, televisione ecc.)



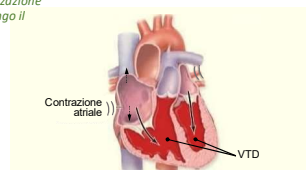
**Diastole atriale / Diastole ventricolare (b. fase tardiva)**

- Riempimento passivo dei ventricoli
- Si aprono entrambe le valvole AV: il sangue fluisce per gradiente di pressione dagli atri ai ventricoli (la pressione negli atri è maggiore di quella nei ventricoli)
  - Progressivo riempimento ventricolare (70% del volume)



**Sistole atriale / Diastole ventricolare (b. fase tardiva)**

- Il nodo seno-atriale genera un impulso elettrico che viene condotto attraverso le camere atriali
- Si genera la contrazione simultanea degli atri
- L'aumento di pressione atriale spinge il sangue nei ventricoli, completandone il riempimento (20-30%)
- Alla fine della diastole i ventricoli contengono il massimo volume di sangue (**volume telediastolico**)
- Mentre gli atri si contraggono, l'onda di depolarizzazione rallenta attraversando il NAV, quindi prosegue lungo il fascio di His e raggiunge l'apice del cuore



**Diastole atriale / Sistole ventricolare (a. contrazione isovolumetrica e S1)**

- L'onda di depolarizzazione induce la contrazione muscolare dei ventricoli
- I fasci muscolari disposti a spirale spingono il sangue dall'apice verso la base
- Il sangue spinge contro le valvole AV forzandole a chiudersi (le vibrazioni generano il primo tono cardiaco, S1)
- I ventricoli si contraggono con le valvole semilunari chiuse: la pressione aumenta ma il sangue non esce



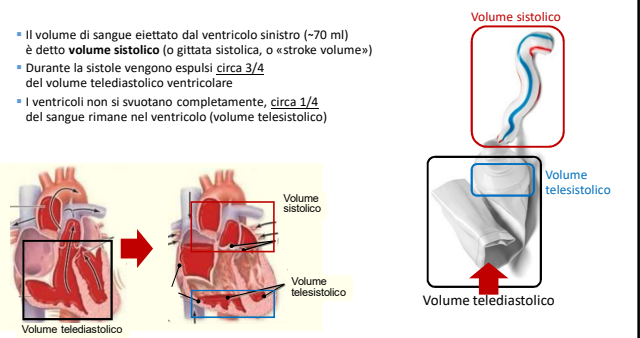
**Diastole atriale / Sistole ventricolare (b. fase eiettiva)**

- La pressione generata dalla contrazione dei ventricoli apre le valvole semilunari
- Il sangue fluisce in arteria polmonare e in aorta
- I ventricoli iniziano a ripolarizzarsi



**Diastole atriale / Sistole ventricolare (b. fase eiettiva)**

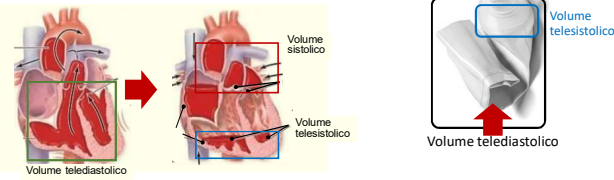
- Il volume di sangue eiettato dal ventricolo sinistro (~70 ml) è detto **volume sistolico** (o gittata sistolica, o «stroke volume»)
- Durante la sistole vengono espulsi circa **3/4** del volume telediastolico ventricolare
- I ventricoli non si svuotano completamente, circa **1/4** del sangue rimane nel ventricolo (volume telesistolico)



**Diastole atriale / Sistole ventricolare (b. fase eiettiva)**

- Frazione di eiezione (ejection fraction):  
% del VTD eiettata da un ventricolo in una sistole

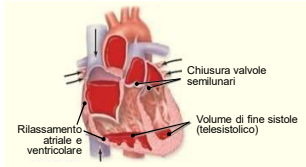
$$FE = VS/VTD$$



**Diastole atriale / Diastole ventricolare (a. fase precoce)**

- Alla fine dell'eiezione i ventricoli si rilasciano (diastole ventricolare precoce)
- Quando la pressione ventricolare scende al di sotto di quella nelle arterie (polmonare e aorta), il sangue refluisce verso il cuore
- Il reflusso del sangue spinge le valvole semilunari in posizione di chiusura
- Le vibrazioni generate dalle valvole semilunari che si chiudono costituiscono il **secondo tono cardiaco (S2)**

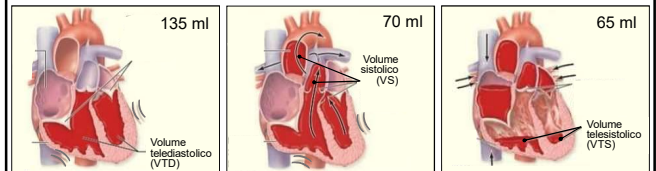
**Il ciclo ricomincia**



Le performance del sistema cardiocircolatorio  
I fattori che influenzano la capacità del sistema di trasportare il sangue

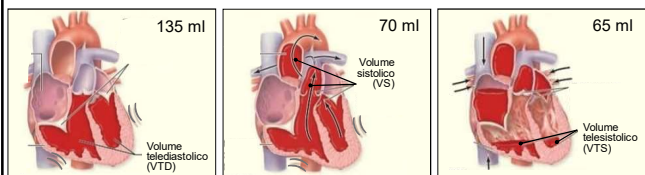
**Le performance**

- Volume telesistolico**  
Volume di sangue (ml) che rimane nel ventricolo alla fine della sistole
- Volume telediastolico**  
Volume di sangue (ml) contenuto dal ventricolo alla fine della diastole
- Gittata sistolica (stroke volume)**  
Volume di sangue (ml) eiettato da un ventricolo in una sistole



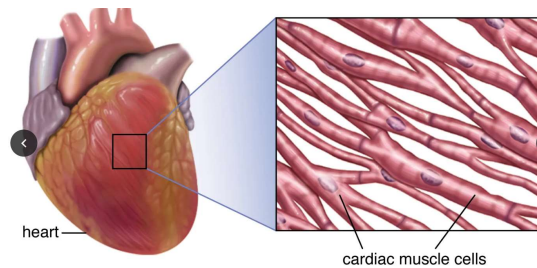
**Le performance**

- Gittata sistolica (stroke volume)**  
Volume di sangue (ml) eiettato da un ventricolo in una sistole  
 $VS = VTS - VTD$  (v.n. ~ 70 ml/sistole)
- Frazione di eiezione (ejection fraction)**  
percentuale del VTD eiettata dal ventricolo sinistro\* in una sistole  
 $FE^* = VS/VTD$  (v.n. 50-70%)



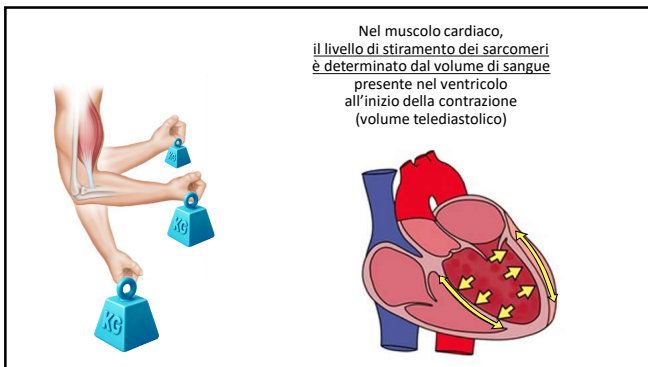
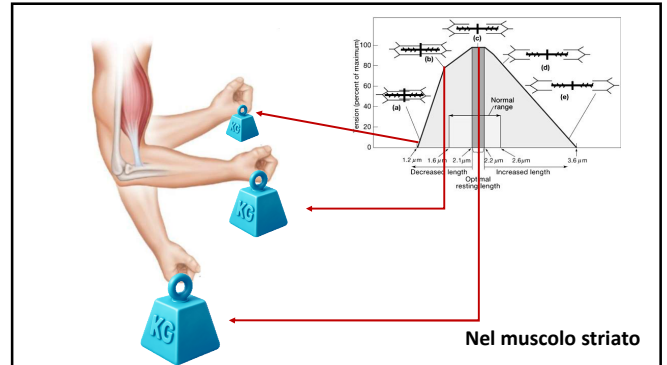
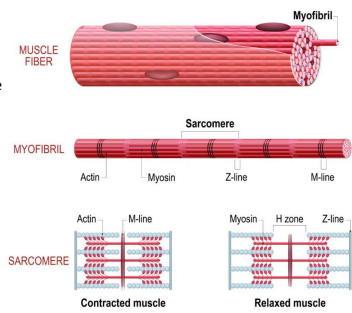
**Ripassino**

- Il miocardio è un muscolo striato involontario



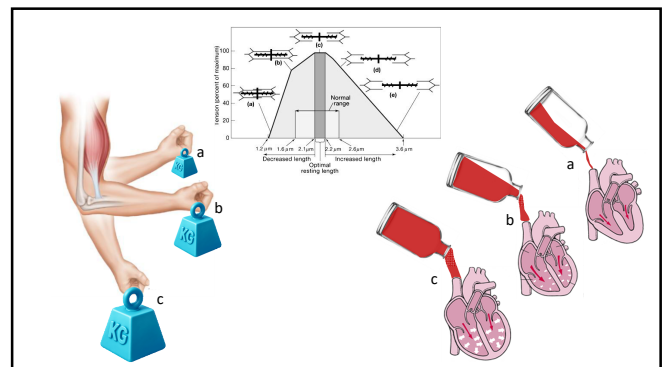
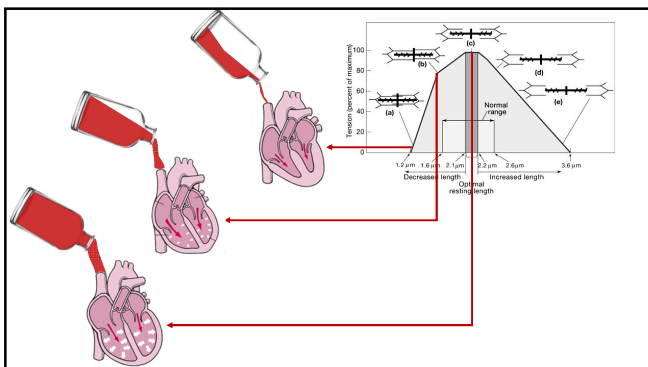
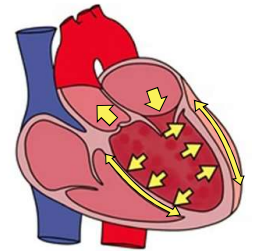
## Ripassino

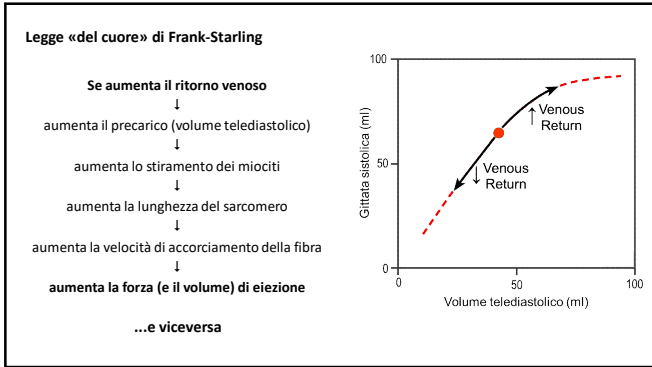
- Il sarcomero è l'unità strutturale e funzionale che forma le miofibrille delle cellule muscolari striate
- L'allungamento della fibra muscolare corrisponde all'allungamento del sarcomero



## Pre-carico

- Stiramento delle fibre muscolari cardiache prima della contrazione
- Lo stiramento della parete ventricolare dipende soprattutto dal volume telediastolico
- Il principale determinante del volume telediastolico ventricolare è il ritorno venoso
- All'aumentare dello stiramento della parete ventricolare, aumenta la forza di contrazione del miocardio
- Quando entra una quantità maggiore di sangue, il cuore si contrae con maggiore forza ed espelle più sangue





### Fattori che influenzano la gittata sistolica ventricolare: l'INOTROPISMO

#### Contrattilità miocardica intrinseca (inotropismo)

- Capacità intrinseca del muscolo cardiaco di sviluppare forza contrattile e di variarla indipendentemente dalla lunghezza iniziale delle fibre muscolari
- Dipende da numero e velocità delle interazioni actina-miosina (nel muscolo scheletrico la contrazione è «tutto-o-nulla»)
- È proporzionale al numero di ponti trasversali attivi, determinato dalla quantità di  $Ca^{2+}$  legata alla troponina

- La concentrazione intracellulare del  $Ca^{2+}$  aumenta.
- $Ca^{2+}$  si lega alla troponina (TN).
- La troponina si sposta, liberando i siti di legame sull'actina.
- Il complesso  $Ca^{2+}$ -troponina allontana la tropomyosina dal sito di legame dell'actina.
- La testa della miosina si lega fortemente all'actina e completa il colpo di forza.
- Il filamento di actina scorre.

### Fattori che influenzano la gittata sistolica ventricolare: l'INOTROPISMO

- Bassa concentrazione intracellulare di  $Ca^{2+}$ 
  - pochi ponti trasversali attivati
  - piccola forza di contrazione
- Alta concentrazione intracellulare di  $Ca^{2+}$ 
  - più ponti trasversali attivati
  - maggiore forza di contrazione

### Fattori che influenzano la gittata sistolica ventricolare: l'INOTROPISMO

#### Contrattilità miocardica intrinseca (inotropismo)

- Influenzata dall'azione del sistema nervoso autonomo

Adrenalina non-enzimatica si legano a Recettori  $\beta_1$  che attivano Sistema di secondo messaggero dall'AMPc che determina la fosforilazione di

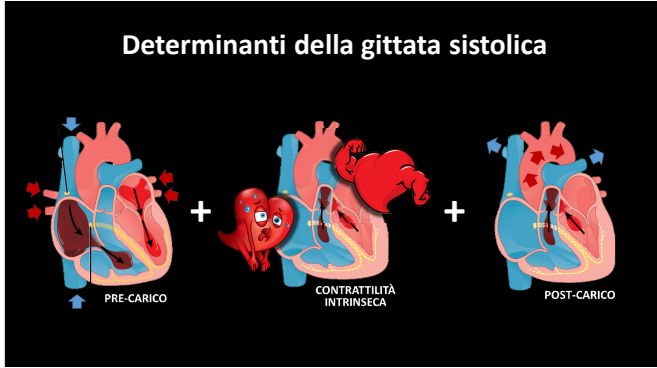
- Canali del  $Ca^{2+}$  voltaggio-dipendenti → Aumento del tempo di apertura → ↑ Ingresso di  $Ca^{2+}$  dal LEC
- Fosfolambano → ↑  $Ca^{2+}$ -ATPasi sul RS → ↑  $Ca^{2+}$  accumulato nel RS → ↑  $Ca^{2+}$  rilasciato
- Recettori  $\beta_1$  → Sistema di secondo messaggero dall'AMPc → ↑  $Ca^{2+}$  rilasciato più velocemente dal citosol → Minor tempo per il legame  $Ca$ -troponina → Minor durata della contrazione

LEGENDA  
 RS = Reticolo sarcoplasmatico  
 LEC = Liquido extracellulare

### Fattori che influenzano la gittata sistolica ventricolare: il POST-CARICO

#### Post-carico

- Carico contro cui viene esercitata la forza di contrazione durante l'intera sistole
- È la tensione ventricolare durante la sistole, cioè la somma di tutte le resistenze che si oppongono allo svuotamento.
- Aumenta in caso di
  - ipertensione arteriosa (sistemica o polmonare)
  - aumento delle resistenze periferiche
  - aumento del volume ematico a valle
  - aumento della resistenza offerta dalle valvole semilunari
- Maggiore il postcarico, maggiore diviene il lavoro cardiaco.

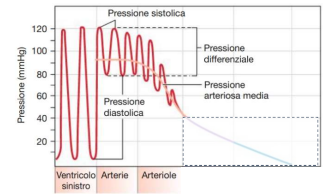


Obiettivo: perfusione  
Pressione, volume, flusso e resistenza  
nel circuito circolatorio

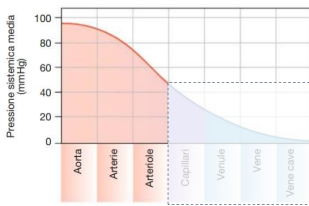
### La pressione nel circuito arterioso

- La funzione di pompa è pulsatile: la pressione arteriosa è diversa in fase sistolica e diastolica
- L'andamento continuo della pressione è rappresentato dalla pressione arteriosa media (PAM)
- La PAM è più vicina alla PAD che alla PAS (la diastole dura un tempo circa doppio della sistole)

$$PAM = (PAS + 2PAD) / 3$$



### La pressione arteriosa media nel circolo sistemico

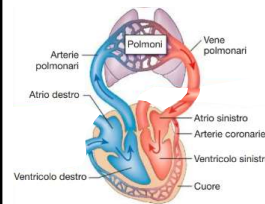


- Il sangue circola grazie all'esistenza di un **gradiente di pressione** nel **circolo chiuso** del sistema vascolare
- La pressione iniziale è **generata dalla contrazione del ventricolo sinistro**
- Il sangue entra in aorta ad alta pressione
- Lungo il sistema arterioso si verifica una **progressiva perdita di pressione**

v.n. 70-100 mmHg

### La pressione arteriosa media nel circolo polmonare

#### Nel circolo polmonare



- Il sangue circola grazie all'esistenza di un **gradiente di pressione** esistente nel **circolo chiuso** del sistema vascolare
- La pressione iniziale è **generata dalla contrazione del ventricolo destro**
- Il sangue entra in a. polmonare a bassa pressione
- Lungo il sistema arterioso si verifica una **progressiva perdita di pressione**

v.n. 9-16 mmHg

PASP: 15-30 mmHg  
PADP: 4-14 mmHg

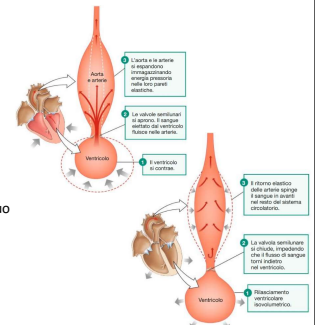
### VASI DEL SISTEMA CIRCOLATORIO: CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE E FUNZIONI

	Aorta	Arterie	Arteriole	Sistema precapillare	Capillari	Venule	Vene	Vena cava
Diametro	25 mm	4 mm	30 µm	35 µm	8 µm	20 µm	5 mm	30 mm
Spessore della parete	2 mm	1 mm	20 µm	30 µm	1 µm	2 µm	0,5 mm	1,5 mm
Endotelio	[Bar chart showing thickness across vessel types]							
Tessuto elastico	[Bar chart showing thickness across vessel types]							
Muscolo liscio	[Bar chart showing thickness across vessel types]							
Tessuto fibroso	[Bar chart showing thickness across vessel types]							

© 2010 ed. ermes milano

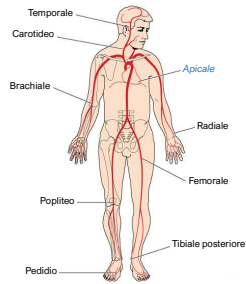
### Le arterie: un serbatoio di pressione

- La forza propulsiva che spinge il sangue attraverso il sistema arterioso è la contrazione ventricolare
- Questa forza non sarebbe sufficiente ad assicurare un adeguato apporto di sangue ai tessuti periferici
- Le grandi arterie si espandono per accogliere il sangue eiettato dal cuore
- Dopo l'espansione, il ritorno elastico delle pareti arteriose spinge via via il sangue nelle arterie di calibro minore
- In questo modo viene mantenuto un flusso continuo di sangue anche durante la diastole ventricolare



### Le arterie: un serbatoio di pressione

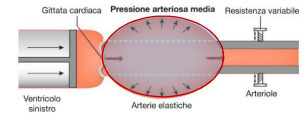
- L'onda di pressione, che si propaga attraverso le arterie piene di sangue in seguito alla sistole ventricolare può essere percepita a distanza
- La palpazione delle arterie più superficiali rappresenta un importante dato semeiotico («polso arterioso»)



### La pressione nel circuito arterioso

La pressione arteriosa (media) è influenzata da:

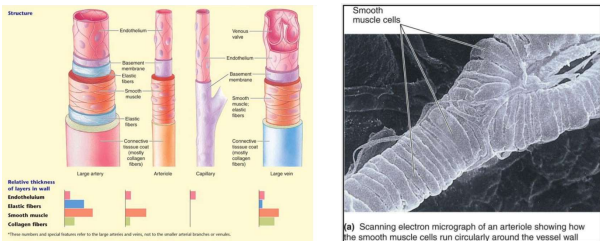
- **Forza di contrazione del miocardio** (inotropismo)
- **Resistenze periferiche** (post-carico)
- **Volume ematico circolante** (pre-carico), che dipende da
  - volume totale di sangue (volemia)
  - distribuzione relativa del sangue nella circolazione sistemica



### La pressione nel circuito arterioso

#### Resistenze periferiche

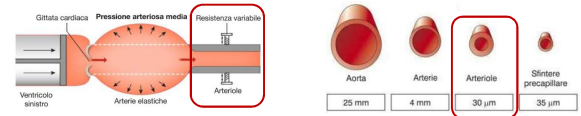
- Il sangue scorre in un sistema chiuso di «tubi»
- I vasi sanguigni sono in grado di modificare il proprio calibro (vasocostrizione/vasodilatazione)
- La modifica del calibro modifica la resistenza e, quindi, il flusso



### La pressione nel circuito arterioso

#### Resistenze periferiche

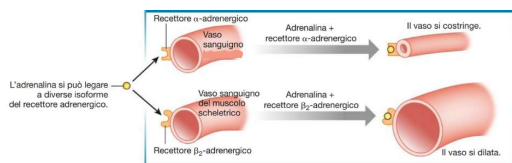
- Le **arteriole** sono le principali responsabili delle variazioni di resistenza nella circolazione sistemica
- Contribuiscono per più del 60% alla resistenza totale al flusso nel sistema
- Capaci di modificare il loro diametro per modulare (adeguare) il flusso ematico - contrazione/rilassamento della muscolatura liscia (autoregolazione miogena) - attività regolata da ormoni, sistema nervoso autonomo, agenti paracrini (prodotti localmente)



### La pressione nel circuito arterioso

#### Resistenze periferiche

- Le arteriole si dilatano o costringono in funzione del tipo di recettore che esprimono
- Ad esempio, l'adrenalina
  - legandosi ai recettori  $\alpha$  determina vasocostrizione
  - legandosi ai recettori  $\beta_2$  determina vasodilatazione



### La pressione nel circuito arterioso

#### Sostanze chimiche che modulano le resistenze periferiche

Sostanza chimica	Ruolo fisiologico	Origine	Tipo
<b>Vasocostrizione</b>			
Noradrenalina (recettore $\alpha$ )	Riflesso barocettivo	Neuroni simpatici	Neurotrasmettitore
Serotonina	Aggregazione piastrinica, contrazione del muscolo liscio	Neuroni, apparato digerente, piastrine	Segnale paracrino, neurotrasmettitore
Endotelina	Controllo locale del flusso ematico	Endotelio vascolare	Agente paracrino
Vasopressina	Aumenta la pressione arteriosa durante l'emorragia	Ipotofisi posteriore	Neuroormone
Angiotensina II	Aumenta la pressione arteriosa	Ormone plasmatico	Ormone

## La pressione nel circuito arterioso

Sostanze chimiche che modulano le resistenze periferiche

Sostanza chimica	Ruolo fisiologico	Origine	Tipo
<b>Vasodilatazione</b>			
Adrenalina (recettori $\beta_2$ )	Aumenta il flusso ematico alla muscolatura scheletrica, al cuore, al fegato	Midollare del surrene	Neuroormone
Acetilcolina	Riflesso di erezione (indiretto attraverso la produzione di NO)	Neuroni parasimpatici	Neurotrasmettitore
Ossido nitrico (NO)	Controllo locale del flusso ematico	Endotelio	Segnale paracrino
Bradicinina (attraverso NO)	Aumenta il flusso ematico	Numerosi tessuti	Segnale paracrino
Adenosina	Aumenta il flusso ematico per soddisfare le esigenze metaboliche	Cellule in ipossia	Segnale paracrino
$i O_2$ , $1 CO_2$ , $1 H^+$ , $1 K^+$	Aumenta il flusso ematico per soddisfare le esigenze metaboliche	Metabolismo cellulare	Segnale paracrino
Istamina	Aumenta il flusso ematico	Mastociti	Segnale paracrino
Peptidi natriuretici (esempio: ANP)	Riduzione la pressione sanguigna	Miocardio atriale, cervello	Ormone, neurotrasmettitore
Peptide intestinale vasodilatante	Secrezione digestiva, rilassamento della muscolatura liscia	Neuroni	Neurotrasmettitore, neuroormone

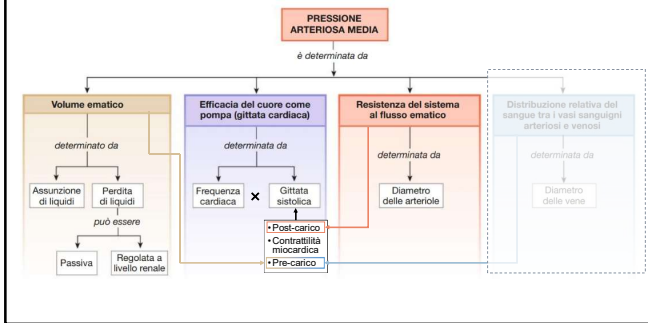
## La pressione nel circuito arterioso

### Volume del sangue circolante (volemia)

- La pressione esercitata sulle pareti arteriose è proporzionale al volume ematico in esse contenuto
  - se la volemia aumenta, la PAM aumenta
  - se la volemia diminuisce, la PAM diminuisce
- Dipende essenzialmente dal bilancio idrico (assunzione vs eliminazione di liquidi)
- La volemia è fisiologicamente costante (controllo dei meccanismi omeostatici)



## La pressione nel circuito arterioso

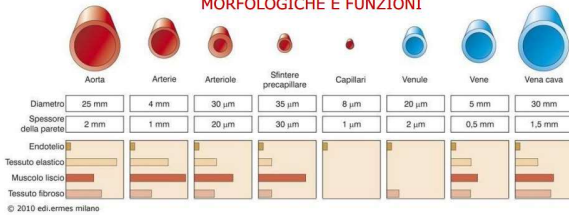


## La microcircolazione

La perfusione tissutale come premessa agli scambi metabolici

## Micro... in che senso?

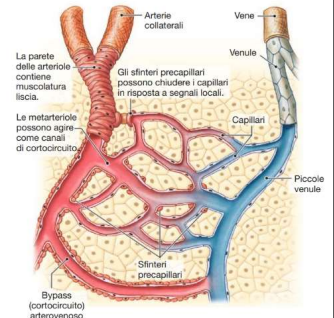
### VASI DEL SISTEMA CIRCOLATORIO: CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE E FUNZIONI

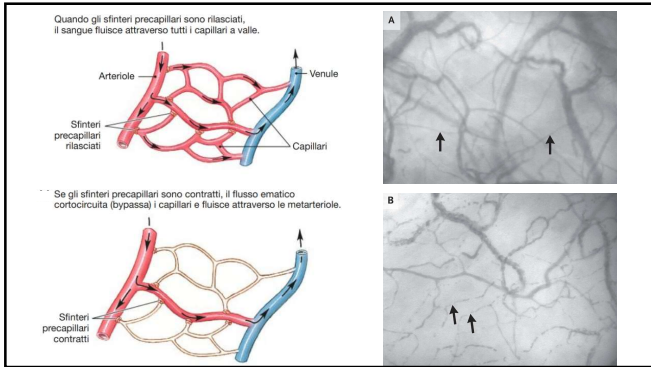


## La microcircolazione

- Quando il sangue raggiunge i capillari, la pressione è molto diminuita a causa della resistenza: non si ha più un'onda pressoria
- La PAM è un ottimo proxy (surrogato) della perfusione tissutale
- Gli sfinteri precapillari\* possono modulare localmente il flusso arterioso (la perfusione)
- La perfusione è soggetta a un continuo controllo da parte di segnali biochimici (es.  $PaO_2$ ,  $PaCO_2$ )

\* Anelli di fibre muscolari lisce posti fra arteriole/metarteriole e capillari





### Il microcircolo

- I capillari sono costituiti da un singolo strato di cellule endoteliali (parete = 1  $\mu\text{m}$ )
- Costituiscono una rete estremamente estesa (~600  $\text{m}^2$ ) che favorisce una stretta prossimità dei GR ai tessuti
- Ogni capillare è così stretto che i GR sono costretti a passare a bassa velocità e in fila indiana
- La densità dei capillari in un determinato tessuto è direttamente proporzionale alla sua attività metabolica: i tessuti con metabolismo più elevato (necessità di più ossigeno e nutrienti) hanno densità capillare maggiore

(a) Capillary bed

(b) Cross section of a capillary

### Il microcircolo

- Diffusione rapida: la maggior parte delle cellule è localizzata entro 0,1 mm dal capillare più vicino
- $\text{O}_2$  e  $\text{CO}_2$  diffondono facilmente attraverso la membrana in base al gradiente di pressione (la  $\text{CO}_2$  circa 20 volte più velocemente dell' $\text{O}_2$ )
- L'endotelio dei capillari è dotato di pori\* che permettono il passaggio di sostanze idrosolubili di basso PM
- Le molecole ad alto PM (es. proteine) rimangono confinate all'interno dei capillari

\* Alcune sostanze (es. istamina) possono dilatare i pori e alterare la permeabilità capillare

Endothelial cell, Pore, Active transport, Interstitial fluid, Capillary, Blood plasma, Blood cells, Tissue cell, Intracellular fluid, Protein,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$

### Il microcircolo

- Il microcircolo deve garantire una pressione di perfusione in grado di mantenere a livelli sufficientemente elevati gli scambi plasma/interstizio e l'ultrafiltrazione renale

Pressione (mmHg)

Pressione sistolica, Pressione differenziale, Pressione arteriosa media, Pressione diastolica

Ventricolo sinistro, Arterie, Arteriole, Capillari, Venule, vene, Atrio destro

Active transport, Interstitial fluid, Capillary, Blood plasma, Blood cells, Tissue cell, Intracellular fluid, Protein,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$

Area a bassa pressione, Area ad alta pressione

La circolazione venosa  
Come torna il sangue al cuore dopo aver perfuso i tessuti?

### La circolazione venosa

- Il sistema cardiovascolare è un circolo chiuso
- Le vene sono più numerose delle arterie e hanno un diametro maggiore, quindi il sistema venoso
  - contiene più della metà di tutto il sangue del sistema circolatorio
  - rappresenta la riserva di volume del sistema circolatorio

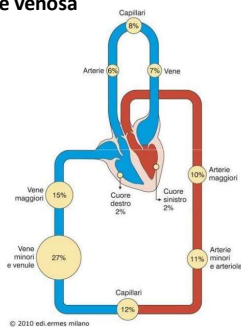
Capillari 6%, Arterie 6%, Vene 7%, Vene maggiori 19%, Vene minori e venule 27%, Capillari 12%, Arterie minori e arteriole 11%, Vene 10%, Cuore destro 2%, Cuore sinistro 2%

© 2010 ed. ermes milano

## La circolazione venosa

### Ritorno venoso

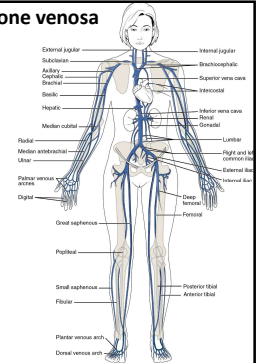
Volume di sangue che passa dalle vene cave all'atrio destro in un minuto



© 2010 ed. ermes milano

## Meccanismi della circolazione venosa

- Il flusso del sangue venoso è continuo (non pulsatile)
- Inizialmente il sangue venoso fluisce sospinto dal flusso del sangue proveniente dal microcircolo: forza insufficiente ad assicurare il ritorno venoso
- Il ritorno venoso è possibile grazie a:
  - pompa respiratoria
  - pompa muscolare
  - presenza delle valvole (venose)
  - compliance (capacitanza) venosa
  - (meccanismo del piano valvolare cardiaco)

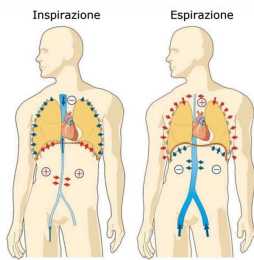


## Meccanismi della circolazione venosa

### Pompa respiratoria

Variazione della pressione intra-toracica e intra-addominale durante la fase inspiratoria

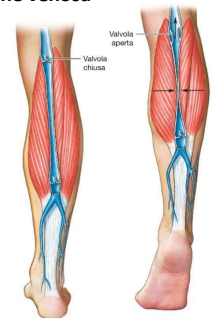
- Il diaframma si abbassa
  - i visceri addominali sono compressi
  - aumenta la pressione nelle vene addominali (vena cava inf., tratto addominale)
- La gabbia toracica si espande
  - si sviluppa una pressione sub-atmosferica
  - diminuisce la pressione nella vena cava inferiore (tratto toracico) e nelle camere cardiache
  - una maggior quantità di sangue è richiamata dalle vene addominali



## Meccanismi della circolazione venosa

### Pompa muscolare scheletrica

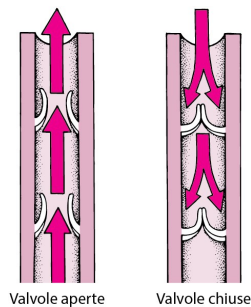
- Effetto della contrazione dei muscoli scheletrici sulle vene
- Fornisce il contributo più importante al RV, soprattutto dalle vene degli arti inferiori
- Ogni compressione determina una spinta del sangue verso il cuore (il reflusso è impedito dalle valvole venose)
- Durante periodi di inattività, la pompa muscolare scheletrica non contribuisce al ritorno venoso



## Meccanismi della circolazione venosa

### Funzione delle valvole venose

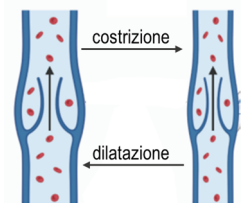
- Molte vene posseggono valvole interne che facilitano il ritorno venoso al cuore
- Assicurano un flusso venoso unidirezionale
  - quando il sangue è spinto verso il cuore, costringe i lembi ad aprirsi
  - se il flusso si arresta o si genera un reflusso temporaneo (es. forza di gravità), i lembi si chiudono impedendo il reflusso di sangue



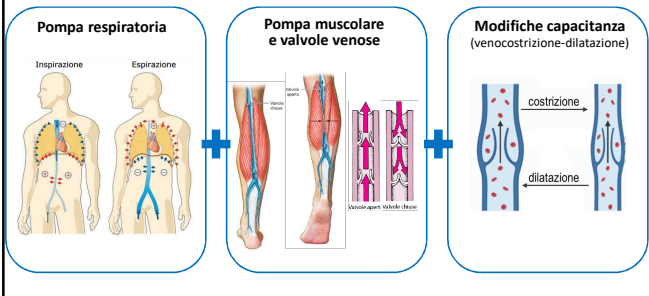
## Meccanismi della circolazione venosa

### Capacitanza (distensibilità, compliance) dei vasi

- Proprietà delle vene di contrarsi e rilassarsi in risposta alle variazioni di pressione esercitata dal sangue al loro interno
- Influenzata dall'attività del sistema ortosimpatico, che agisce sulla tonaca muscolare modificando il tono delle pareti e, quindi, il calibro delle vene
- Venocostrizione:
  - ↓ capacitanza ⇒ ↑ pressione nel circolo venoso
- Venodilatazione:
  - ↑ capacitanza ⇒ ↓ pressione nel circolo venoso
- Capacitanza sistema venoso:
  - 20-25 volte maggiore di quello arterioso (riserva di volume)



## Meccanismi della circolazione venosa

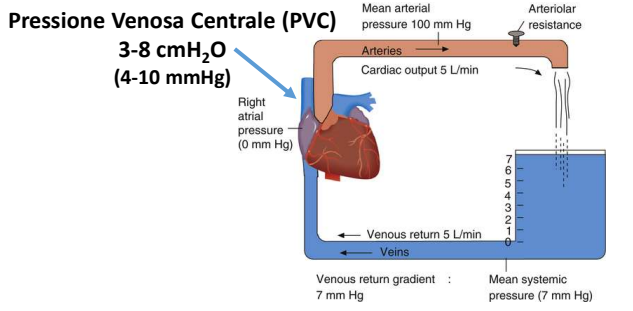


## La pressione nel circolo venoso



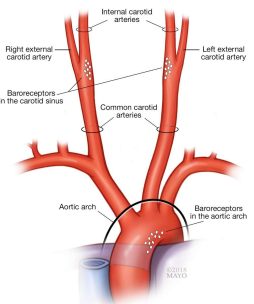
- Il ritorno venoso avviene a bassa pressione
- pressione più bassa nelle vene cave alla confluenza con l'atrio destro
- In atrio destro la pressione è prossima allo 0

## La pressione nel circolo venoso



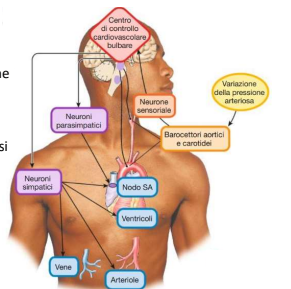
## La regia del sistema cardiovascolare

- I sensori: barocettori aortici e carotidi**
- Meccanocettori sensibili allo stiramento delle pareti arteriose
  - Producono continuamente potenziali d'azione, anche con PAM normale
    - PAM normale
      - normale produzione di potenziali d'azione
      - nessun effetto sul sistema cardiovascolare
    - Diminuzione PAM
      - minore stiramento pareti arteriose
      - diminuzione frequenza scarica potenziali d'azione
      - aumento GC, FC e resistenze periferiche
    - Aumento PAM
      - maggiore stiramento pareti arteriose
      - aumento frequenza scarica potenziali d'azione
      - diminuzione GC, FC e resistenze periferiche



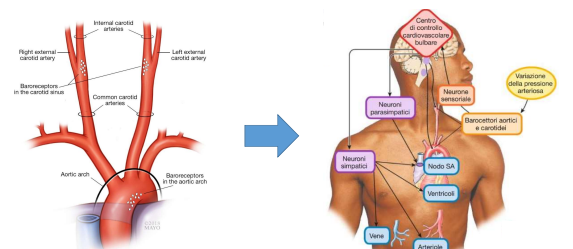
## La regia del sistema cardiovascolare

- L'effettore: centro di controllo bulbare**
- Principale centro di integrazione cardiovascolare
  - Funzione principale: garantire un'adeguata perfusione a cervello e cuore attraverso il mantenimento di un'adeguata PAM
  - Riceve informazioni da altri centri cerebrali (es. ipotalamo) e periferici per mantenere l'omeostasi
  - Ha la capacità di modificare la perfusione in alcuni organi o tessuti lasciandola immutata in altri



## La regia del sistema cardiovascolare

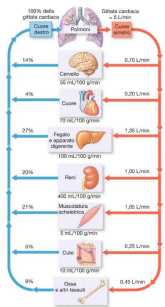
- I sensori: barocettori aortici e carotidi**      **L'effettore: centro di controllo bulbare**



## La regia del sistema cardiovascolare

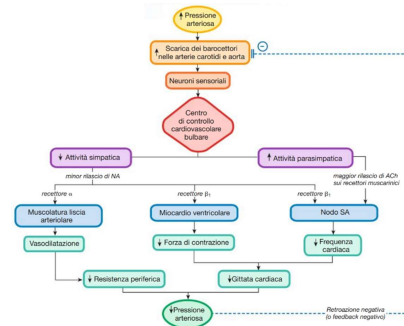
### Controllo selettivo del flusso arterioso (perfusione)

- Il sistema nervoso è in grado di **modificare selettivamente la perfusione ai singoli organi**, principalmente variando la **resistenza delle arteriole**
- Le variazioni di flusso ematico ai singoli tessuti sono possibili perché le arteriole sono disposte in parallelo, cioè ricevono tutte contemporaneamente sangue dall'aorta
- Il sangue viene dirottato dalle arteriole ad alta resistenza verso le arteriole a bassa resistenza
- Varia in dipendenza del fabbisogno metabolico dei singoli organi (es. muscoli scheletrici: a riposo 20% della GC, durante attività fisica fino all'85%)
- Cervello e cuore sono altamente dipendenti dal costante rifornimento di ossigeno, quindi il controllo nervoso del tono vascolare è marginale



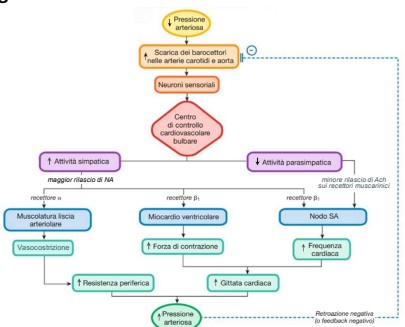
## La regia del sistema cardiovascolare

Riflesso barocettivo in risposta a un aumento della PAM

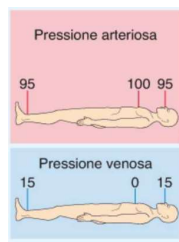


## La regia del sistema cardiovascolare

Riflesso barocettivo in risposta a una diminuzione della PAM

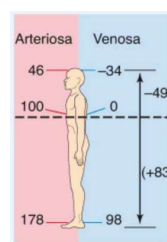


## La regia del sistema cardiovascolare – Un esempio



### Variazione posturale

- Effetto della forza di gravità: redistribuzione della volemia
- ↑ volemia arti inferiori
- ↓ volemia tronco superiore e capo
- Si modificano PAM e PV nei diversi distretti



Pressioni in mmHg

## La regia del sistema cardiovascolare – Un esempio

### Riflesso barocettivo rapido

- Attivazione simpatico
  - Vasocostrizione arteriole → ↑ resistenze periferiche
  - Venocostrizione → ↑ RV
  - ↑ FC + ↑ GS → ↑ GC
- ↑ PAM

