

## FISIOLOGIA UMANA

---

### 1) L'APPARATO CIRCOLATORIO

#### 1.8. *Gli eventi circolatori*

Nell'introduzione a questi capitoli sulla fisiologia dello apparato circolatorio si è già avuto modo di osservare come il sangue, sotto la spinta della contrazione cardiaca, venga inviato a tutto l'organismo attraverso una serie di vasi di diverso calibro facenti parte, anatomicamente, del grande e del piccolo circolo. A seconda del tipo di circolazione che in essi si attua tali vasi vengono anche raggruppati in: 1) *sistema di distribuzione*: comprende le arterie in cui il sangue va dal cuore alla periferia (direzione centrifuga); 2) *sistema capillare*: comprende una rete di minuscoli vasi a livello dei quali avvengono scambi nutritivi e gassosi tra sangue e tessuti; 3) *sistema di raccolta*: costituito dalle vene in cui il sangue scorre in senso centripeto cioè dalla periferia al cuore.

Giova ricordare che a) il termine "vena" (o arteria) non comporta di necessità che nel vaso scorra sempre sangue venoso (o arterioso rispettivamente): nelle vene polmonari (dai polmoni al cuore) scorre infatti sangue arterioso e nelle arterie polmonari (dal cuore ai polmoni) sangue venoso. La dizione "vena" o "arteria" si riferisce perciò esclusivamente al senso dello scorrimento del sangue in questi vasi.

b) Il termine "sangue venoso" indica il sangue refluo dai tessuti e quindi impoverito di  $O_2$  e arricchito di  $CO_2$ , mentre per "san

gue arterioso" s'intende il sangue proveniente dai polmoni in cui è avvenuta la cessione del  $\text{CO}_2$  e l'assunzione di  $\text{O}_2$ .

Possiamo infine dare uno schema del grande e piccolo circolo:

1) *Grande circolo*: il sangue (arterioso) dal ventricolo sinistro passa nell'arteria aorta che, a sua volta si dirama in varie direzioni suddividendosi in vasi di sempre minor calibro (arterie e arteriole) fino ai capillari; questi si distribuiscono fra le cellule dei tessuti periferici in modo che il sangue in essi contenuto possa cedere l' $\text{O}_2$  e le sostanze nutritive e caricarsi di materiali di rifiuto (prodotti dal metabolismo cellulare); quindi attraverso vasi di sempre maggior calibro (venule e vene) il sangue (venoso) viene convogliato nelle vene cave (superiore e inferiore) che tornano al cuore nell'atrio destro.

2) *Piccolo circolo*: passato dall'atrio destro al ventricolo destro, il sangue (venoso) viene portato ai polmoni dalle arterie polmonari; anche qui i vasi più grossi rapidamente si suddividono a formare una fitta rete di capillari che favoriscono gli scambi alveolo-capillari e quindi si riuniscono nelle vene polmonari (4, nell'uomo) che riportano il sangue (arterializzato) nell'atrio sinistro.

Prima di esaminare in modo più approfondito le modalità di scorrimento del sangue nei vasi dell'apparato circolatorio, è utile ricordare alcune leggi dell'idrodinamica a cui anche il sangue, pur essendo un liquido non perfetto, deve obbedire.

Il sangue è un liquido eterogeneo corpuscolato; esso è costituito infatti da *elementi figurati* (cellule o parti di cellule: globuli rossi, globuli bianchi e piastrine) immersi in una parte liquida detta *plasma*.

In realtà quindi non si possono ricondurre i movimenti del sangue nel circolo sanguigno ai semplici movimenti di un liquido nei tubi rigidi, anche perchè i vasi in cui il sangue scorre hanno pareti a) non rigide, ma distensibili (o elastiche), con distensibilità diversa a seconda delle sedi e b) provviste di una muscolatura che può farne variare notevolmente il calibro; inoltre il tipo di flusso che si realizza praticamente in tutto il sistema vasale non è continuo, ma pulsante. Tutti questi fat

tori complicano perciò in modo notevole le condizioni in cui si svolge la circolazione del sangue nei vasi; tuttavia il ricordare queste leggi dell'idrodinamica ne facilita la comprensione.

### 1.8.1. Legge di Poiseuille e principio di Bernoulli

Innanzitutto dobbiamo considerare che il flusso di un liquido in un tubo cilindrico a pareti rigide non avviene a velocità uniforme in tutti i punti delle sue sezioni: infatti se immaginiamo il liquido come composto da tante lamine concentriche ideali che scorrono le une sulle altre (*moto laminare*), è evidente che le lamine più centrali del tubo incontreranno un minor attrito al loro movimento e avranno quindi una velocità maggiore rispetto a quelle più periferiche che risentono maggiormente dell'attrito contro le pareti. Ciò è esemplificato nella Figura 1 in cui le frecce rappresentano i vettori-velocità delle varie lamine.

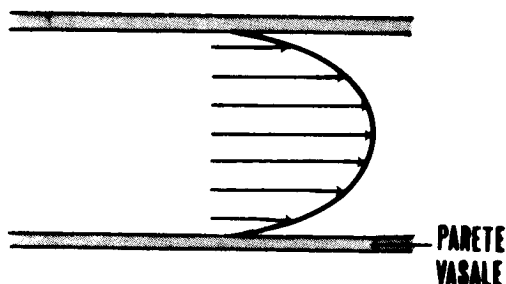


Figura 1

Prendiamo in esame ora le formule che ci permettono di calcolare *il flusso*  $F$  (cioè la quantità di liquido che passa nell'unità di tempo attraverso una sezione del tubo in esame) e *la resistenza al flusso*  $R$ , offerta dal tubo stesso:

$$F = (P_a - P_b) \frac{\pi r^4}{8 \eta l} \quad (1)$$

dove con  $P_a$  e  $P_b$  si indicano le pressioni rilevate all'interno del tubo nei punti distinti a e b (Figura 2);  $r$  è il raggio del tubo,  $\eta$  la viscosità del liquido,  $l$  la distanza fra a e b. (*Legge di Poiseuille*).

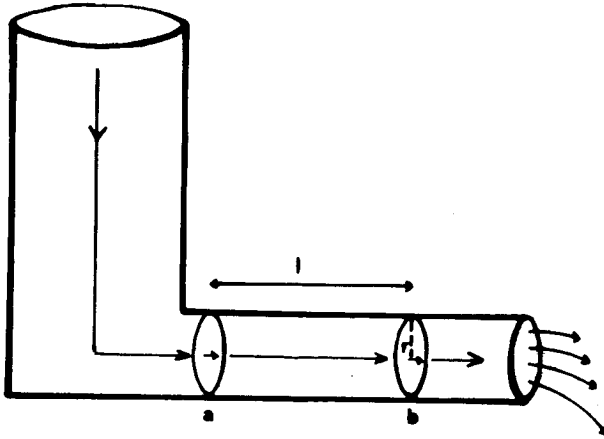


Figura 2

La resistenza al flusso  $R$ , è data dal rapporto fra la differenza di pressione fra a e b e il flusso; cioè:

$$R = \frac{P_a - P_b}{F} = \frac{P_a - P_b}{(P_a - P_b) \frac{\pi r^4}{8 \eta l}} \quad (2)$$

da cui semplificando,

$$R = \frac{l}{\frac{\pi r^4}{8 \eta}} = \frac{8 \eta l}{\pi r^4} \quad (3)$$

Perciò, aumentando il raggio del vaso, la resistenza al flusso diminuisce in ragione della quarta potenza: in altri termini, piccole variazioni del raggio del vaso danno grosse variazioni di flusso.

Dalla (2), un aumento della resistenza, a differenza costante di pressione, fa diminuire il flusso, mentre, a flusso costante, l'aumento della resistenza implica una maggior differenza di pressione, cioè in definitiva una caduta di pressione.

La Legge di Poiseuille è applicabile però solo nei vasi di piccolo calibro, dove si realizzano sia velocità di flusso basse che condizioni di moto laminare.

Più frequentemente, aumentando la velocità del fluido, si possono instaurare condizioni di *moto turbolento*; il liquido cioè è soggetto a movimenti complessi, radiali ed assiali, ad accelerazioni e rallentamenti.

Esiste una velocità critica in cui si ha il passaggio dal moto lineare al moto turbolento, definita dalla *formula di Reynolds*:

$$V_c = \frac{K \eta}{\rho r} \quad (4)$$

in cui  $\eta$  è la viscosità del liquido,  $\rho$  la sua densità, e  $r$  è il raggio del tubo; la velocità critica ( $V_c$ ) dipende quindi anche dalle proprietà chimico-fisiche (densità e viscosità) del liquido. Nell'uomo, il flusso turbolento si manifesta solo nei grandi vasi e, in condizioni di riposo, solo nel momento di massima velocità di efflusso del sangue dal ventricolo sinistro. Condizioni di moto turbolento si instaurano invece permanentemente in soggetti sottoposti a lavoro muscolare intenso, quando la velocità del sangue aumenta notevolmente, o in casi di compressioni artificiali o patologiche (*stenosi*) di un vaso.

Per la legge di Bernoulli l'energia totale  $E_t$  di un liquido ideale (cioè senza attriti interni) che scorra in un tubo, può suddividersi in due forme: energia cinetica ( $E_c$ ) ed energia potenziale ( $E_p$ ), tale per cui in ogni punto del tubo  $E_t = E_c + E_p$ .

L'energia cinetica  $E_c$  è data dalla formula:

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2 \quad (5)$$

da cui, se la velocità  $v$  è costante in ogni punto del tubo anche  $E_c$  sarà costante, ed anche  $E_p$  (energia potenziale), visto che  $E_c + E_p = \text{costante}$ . Ciò però è riferibile ai soli liquidi ideali, in quanto quelli reali, presentando un attrito fra le loro parti

celle, spendono parte della loro energia potenziale per vincersi.

L'energia potenziale  $E_p$  è espressa dalla pressione esercitata dal liquido in ogni punto del tubo (*pressione laterale*), mentre l'energia cinetica si riferisce alla pressione esercitata dal liquido nel senso del proprio scorrimento, immaginando cioè che urti frontalmente contro un ostacolo fisso.

Un liquido che scorra in un tubo esercita quindi una pressione sulle pareti del tubo stesso che però è controbilanciata dalla tensione di tali pareti; in particolare (Teorema di Laplace)

$$T = P \cdot r \quad (6)$$

dove  $T$  indica la *tensione circonferenziale*, cioè quella che si esercita lungo la circonferenza del tubo, insieme a quella longitudinale, che in questo caso è zero,  $r$  è il raggio del tubo, e  $P$  la pressione esercitata dal liquido.

A parità di pressione un vaso di grandi dimensioni (aorta, vene cave, ecc.) deve perciò sviluppare un'elevata tensione, cioè deve possedere pareti molto più robuste di un vaso di piccolo calibro. Il Teorema di Laplace ci fa comprendere come possano dilatarsi fino a rottura quei vasi che già siano patologicamente dilatati: infatti aumentando il raggio del vaso, a parità di pressione  $P$ , si ha un aumento della tensione della parete vasale  $T$ , che comporta la sua ulteriore dilatazione (cioè un aumento di  $r$ ).

Aumentando il calibro del vaso la velocità di scorrimento del sangue diminuisce e, poichè  $E_c = \frac{1}{2} m v^2$ , diminuirà anche  $E_c$ . Per il Teorema di Bernoulli perciò, essendo  $E_c + E_p = \text{costante}$ , aumenterà  $E_p$ , cioè la pressione laterale contro le pareti del vaso, che innalzerà a sua volta la tensione delle pareti.

### 1.8.2. Il grande circolo

Prendiamo ora in considerazione il grande circolo e le modalità con cui esso si compie. Al grande circolo corrisponde circa il 70% della massa totale circolante così suddivisa: il 10-11 % compete alle arterie e alle arteriole; il 5% ai capillari e il 55%

alle vene. Il cuore contiene circa il 12% del sangue circolante e il restante 18% è di competenza del piccolo circolo.

Come si vede la porzione venosa del circolo costituisce un vero e proprio serbatoio in cui il sangue è contenuto sempre in grandi quantità.

Facciamo ora alcune considerazioni di carattere biofisico in relazione ai diversi distretti del grande circolo: sappiamo che la circolazione viene mantenuta per l'attività del cuore che imprime una spinta al sangue: la *velocità* del sangue è però diversa nelle varie parti del circolo. Infatti la velocità di un liquido in movimento in un sistema di tubi, come il sangue nei vasi dell'apparato circolatorio, è inversamente proporzionale all'area della sezione trasversa totale del letto vasale in quel punto.

La sezione trasversa è minima a livello dell'aorta (circa 3-4 cm<sup>2</sup> in totale nell'uomo), aumenta fino al doppio nelle vene e diventa addirittura 700 volte più grande nelle arteriole e nei capillari. La velocità del sangue perciò, essendo la portata circolatoria sempre la stessa in ogni parte del circolo, è massima nell'aorta (circa 20 cm/sec), diminuisce continuamente nei vasi più piccoli ed è minima nei capillari.

La *pressione* esercitata dal sangue lungo le pareti dei vasi dipende da numerosi fattori quali la massa del sangue circolante, le caratteristiche di distensibilità dei vasi stessi, e la resistenza che essi offrono al flusso: quando la resistenza è elevata, parte dell'energia immagazzinata dal sangue per effetto della contrazione cardiaca viene spesa per vincerla e quindi il valore effettivo della pressione viene notevolmente ridimensionato.

A parità di flusso, la *resistenza* cresce con il diminuire del calibro dei vasi e decresce con l'aumentare della sezione trasversa totale del letto vasale considerato: così nelle arterie di grande e medio calibro la resistenza è relativamente bassa, poichè il calibro vasale è elevato, e di conseguenza la pressione sanguigna è elevata.

Nelle arteriole, mentre il calibro dei singoli vasi è notevolmente ridotto, la sezione trasversa totale non è aumentata in

proporzione; la resistenza è piuttosto elevata e di conseguenza si ha un notevole abbassamento di pressione.

Nei capillari la resistenza è fortissima, essendo molto elevata la sezione trasversa del letto vasale, e così pure nelle vene, in cui il calibro dei singoli vasi è, come nelle arterie, piuttosto grosso.

Si viene così a determinare nel grande circolo una divisione piuttosto netta fra zone ad alta pressione, rappresentate dalle arterie e dai loro rami, e zone a bassa pressione, rappresentate dalle vene e dai capillari ivi confluenti; la posizione a livello della quale si ha una forte caduta della pressione sanguigna è costituita dall'insieme delle arteriole.

### 1.8.3. *Considerazioni anatomiche*

Prima di considerare il flusso nei diversi distretti dello apparato circolatorio, facciamo alcune precisazioni sulla costituzione anatomica dei vasi arteriosi.

Le pareti dell'aorta e delle arterie di basso calibro sono ricche di tessuto elastico e scarse di tessuto muscolare: la loro distensibilità è quindi limitata ed esclusivamente dovuta alle fibre elastiche.

Le arterie di calibro inferiore presentano invece pareti con un contenuto più elevato di fibre muscolari lisce, per giungere infine alle arteriole caratterizzate da una muscolatura liscia molto sviluppata.

La caratteristica peculiare delle arteriole è quindi proprio la loro parete muscolare ampiamente innervata, in grado di modificare in modo attivo il lume delle arteriole stesse.

### 1.8.4. *Circolazione arteriosa e arteriolare*

Il sangue viene sospinto nell'aorta in seguito alla contrazione sistolica del ventricolo sinistro; la massa di sangue così espulsa dal ventricolo (gettata sistolica) provoca la distensione delle pareti dell'aorta e contemporaneamente fa avanzare il sangue già presente nelle arterie. Poiché il volume di san -



gue che entra nelle arterie supera quello che da esse viene drenato, si ha un eccesso di sangue che fa aumentare la pressione nel distretto arterioso e ne provoca la distensione delle pareti. Il flusso sanguigno ha però carattere intermittente per cui alla fase di distensione succede subito una fase di rilasciamento elastico: il sangue viene così sospinto ad ondate successive verso la periferia e, in particolare, la distensione subita dalle pareti dell'aorta si trasmette lungo le altre arterie sotto forma di un'onda detta *onda sfigmica*. Il propagarsi dell'onda sfigmica può facilmente essere rilevato a livello delle arterie più superficiali mediante la palpazione: tale rilievo prende il nome di *polso arterioso*.

L'immissione del sangue dal cuore al circolo avviene quindi solo durante la sistole e in modo intermittente: se le pareti arteriose non fossero elastiche si passerebbe perciò da valori massimi di pressione al momento dell'immissione a valori azzerati al termine del deflusso del sangue; l'elasticità delle arterie invece garantisce valori di pressione oscillanti entro limiti ben determinati.

La pressione arteriosa subisce quindi ritmiche oscillazioni in relazione al ciclo cardiaco. E' possibile perciò distinguere una *pressione sistolica o massima* da una *pressione diastolica o minima* i cui valori, nell'uomo adulto e sano, si aggirano rispettivamente intorno a 120-140 mm Hg per la massima e 70-90 mm Hg per la minima.

La pressione arteriosa è determinata dalla gettata cardiaca (quantità di sangue immesso in circolo nell'unità di tempo) e dalla resistenza periferica (soprattutto a livello delle arteriole) e pertanto è influenzata da tutte le condizioni che modificano questi due parametri: le emozioni per esempio, aumentano la gettata cardiaca e conseguentemente possono aumentare la pressione arteriosa. In genere un aumento della gettata cardiaca provoca un aumento della pressione sistolica, mentre un aumento delle resistenze periferiche un aumento della pressione diastolica. Solitamente, a parità di gettata sistolica, la pressione sistolica aumenta con l'età, a causa del progressivo irrigidimento delle pareti arteriose che si lasciano perciò distendere meno rispetto a quelle dei soggetti in giovane età.

La resistenza offerta dalle arteriole, che comporta una ca-

duta di pressione pari al 40% della pressione arteriosa, è dovuta alla loro parete prevalentemente muscolare ed alla conseguente capacità di modificare attivamente il proprio lume: in questo modo le arteriole funzionano come un rubinetto che regola l'afflusso di sangue ai capillari.

In genere, la pressione arteriosa si misura con il metodo ascoltorio usando come strumento di misura lo *sfigmomanometro*. Questo apparecchio è costituito da un bracciale cavo (manicotto) a pareti di gomma. Una delle due pareti del bracciale (quella esterna) è rivestita da uno strato di tela inestensibile. La cavità del bracciale è connessa al manometro a mercurio (sfigmomanometro) e ad una peretta di gomma che consente di introdurre aria nel manicotto. Il bracciale viene legato intorno a un braccio e gonfiato progressivamente finché la sua pressione raggiunge un livello presumibilmente più alto di quello dell'arteria radiale del braccio. Se ciò avviene, l'arteria compressa dal bracciale risulta occlusa, il sangue non vi fluisce e lo stetoscopio posto sulla arteria a valle del manicotto non rileva alcun rumore. Abbassando lentamente la pressione nel bracciale, quando la pressione sistolica dell'arteria risulterà appena superiore a quella del bracciale, un po' di sangue riuscirà a fluire attraverso il tratto compresso e, per ogni onda sistolica di contrazione, si udirà attraverso lo stetoscopio un leggero rumore (rumore di Korotkow). La pressione dell'aria nel bracciale (segnalata dal manometro) a livello della quale si cominciano a sentire i rumori caratteristici indicherà il valore della *pressione arteriosa sistolica*. Continuando a desufflare il bracciale (cioè facendo scendere il livello della pressione) si potrà giungere a determinare anche il valore della *pressione diastolica*. Questa sarà direttamente rilevabile sul manometro nel momento in cui il suono udito, diventato via via sempre più intenso, si smorzerà improvvisamente.

#### 1.8.5. *Circolazione nei capillari*

In ogni momento, solo il 5% del sangue circolante si trova nei capillari: è quindi una piccola frazione della massa sanguina

gna circolante, ma ne rappresenta la parte più importante in quanto è a livello delle pareti dei capillari che si possono realizzare gli scambi dei gas, delle sostanze nutritizie e di quelle di rifiuto fra il sangue e il liquido interstiziale. Le arteriole infatti si suddividono in vasi microscopici: sono appunto i capillari, che formano una fitta rete intorno agli elementi cellulari dei tessuti.

La particolare struttura delle pareti capillari e soprattutto la loro superficie totale è tale da garantire tutti gli scambi necessari per la vita dei tessuti dell'organismo. La parete dei capillari è formata da un unico strato di cellule (chiamato *endotelio*), appiattite e giustapposte, costituenti una lamina continua, e tenute insieme fra loro da una sostanza cementante ricca di Ca.

E' stato postulato, e poi confermato, che la parete capillare presenti dei pori le cui dimensioni tuttavia sarebbero tali da consentire esclusivamente il transito di acqua e di piccole molecole, e non di molecole colloidali, quali le proteine plasmatiche del sangue.

La membrana capillare costituisce così il mezzo di separazione fra il liquido interstiziale, praticamente privo di proteine, ed il sangue, che ne contiene circa l'8%. La differente concentrazione di queste sostanze tra sangue e liquido interstiziale determina la *pressione osmotica-colloidale* o *pressione oncotica* del sangue che raggiunge i 25 mm Hg. Per effetto di questa pressione si verifica un richiamo di acqua dai tessuti all'interno dei capillari.

I capillari rappresentano il tramite fra le arteriole e le venule: la pressione, dall'estremità arteriosa a quella venosa, varia da 35 a 12 mm Hg. Perciò all'estremità arteriosa la pressione del sangue supera di circa 10 mm Hg quella oncotica: si stabilisce un flusso di acqua dall'interno del capillare verso gli spazi interstiziali, come si può vedere dalla Figura 3 in cui le frecce indicano approssimativamente la grandezza e la direzione del movimento d'acqua. All'estremità venosa si verifica il flusso opposto: l'acqua passa dall'esterno all'interno dei capillari: infatti fra la pressione del sangue nella venula (12 mm Hg) e quel

la oncotica (25 mm Hg) c'è una differenza di 13 mm Hg, questa volta però diretta verso l'interno. Si instaura a volte un accumulo d'acqua nei tessuti (edema), dovuto ad un ostacolato ritorno dell'acqua nei capillari; ciò può accadere quando, ad esempio, la pressione oncotica si abbassi oppure quando risulti aumentata la pressione venosa.

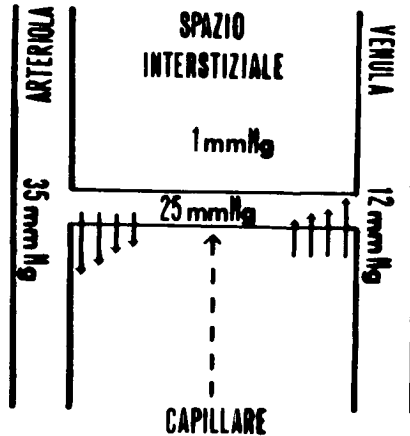


Figura 3

In particolar modo si possono manifestare edemi a carico degli arti inferiori, in cui il refluire in circolo dell'acqua è ostacolato anche dalla gravità.

Oltre ai capillari, esistono altre vie di collegamento fra arterie e vene; queste sono costituite dalle *anastomosi* artero-venose: nelle dita, nel palmo della mano, nei lobi dell'orecchio e nei muscoli dell'uomo e di altri vertebrati, esistono questi vasi di comunicazione diretta che hanno un diametro superiore ai capillari e che "saltano" i capillari stessi (Fig. 4).

La presenza di questi vasi, insieme all'attività degli sfinteri (anelli muscolari) situati all'imbocco dei capillari, consente la regolazione del flusso sanguigno attraverso la rete capillare.

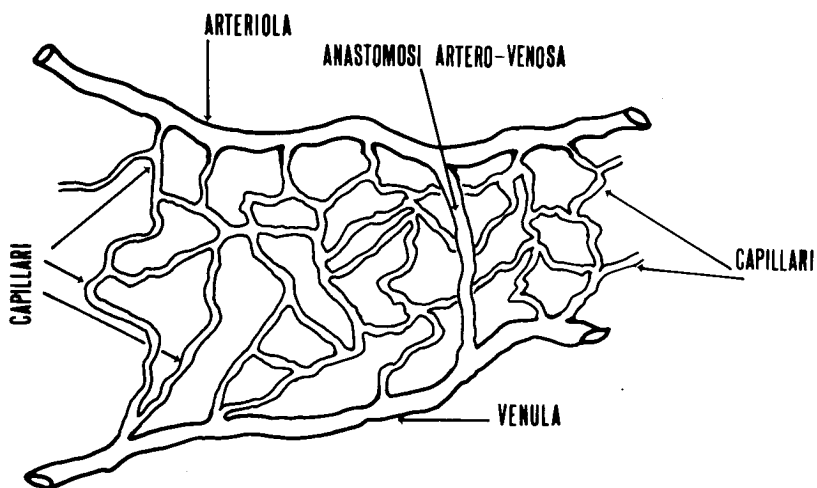


Figura 4

#### 1.8.6. Circolazione nelle vene

Dai capillari il sangue passa nelle venule e quindi nelle vene che fanno parte entrambe del cosiddetto sistema di raccolta.

Il numero delle vene, per ciascuna regione, è più elevato del numero delle arterie, soprattutto negli strati superficiali in cui infatti non sono reperibili vasi venosi che abbiano un corrispondente arterioso.

A parte la variabilità del lume, il calibro delle vene che affluiscono ad ognuna delle vene più grandi è nell'insieme superiore a quello di quest'ultime: ne risulta che l'ampiezza del letto venoso decresce dalla periferia al cuore in modo esattamente opposto a quanto si verifica per le arterie a partire dall'aorta. Le vene hanno, in genere, configurazione meno flessuosa delle arterie; le vene profonde decorrono più spesso contigue alle arterie rispetto alle quali però sono come si è detto più superficiali.

Le pareti delle vene sono sottili e molto distensibili; of

frono quindi poca resistenza alla pressione del sangue e di qui si deduce la necessità della presenza delle *valvole venose*, cioè di quelle ripiegature della tunica più interna della parete venosa.

Le valvole infatti interrompono la continuità della colonna di sangue e quindi, soprattutto nella stazione eretta, evitano che si stabilisca nelle vene una situazione di pressione troppo elevata. Le valvole venose sono generalmente disposte a coppie, una di fronte all'altra; quando sono distese delimitano all'interno delle vene la *cavità valvolare*, aperta verso il cuore; sono più numerose nelle vene di medio calibro e si trovano soprattutto nelle vene degli arti inferiori e, fra queste, in quelle più profonde.

Compete alle valvole venose la funzione di regolare il flusso del sangue dalla periferia al cuore che, negli arti inferiori e nella stazione eretta, si attua contro la gravità. È stato calcolato che in un individuo in stazione eretta le vene periferiche sarebbero sottoposte, se la colonna di sangue fosse continua, ad un aumento di pressione pari a 0,77 mm Hg per ogni centimetro al di sotto dell'atrio destro; ciò significa che 1 m al di sotto del cuore le vene dovrebbero sopportare un carico pari a 77 mmHg. Le pareti venose non potrebbero sopportare tale pressione che, del resto, sarebbe troppo superiore al normale gradiente venule-atrio destro che garantisce il ritorno di sangue al cuore. In realtà però il peso della colonna sanguigna è sopportato dalle valvole venose che lo frazionano così per tratti successivi; un eventuale reflusso è impedito dai lembi interni delle valvole che, collabendo, costituiscono una barriera praticamente invalicabile: il sangue può quindi fluire in direzione contraria alla gravità, anche per effetto delle periodiche contrazioni dei muscoli scheletrici che circondano le vene che spingono il sangue da ogni segmento di vena verso il cuore (Fig. 5). Si è detto che il sangue scorre nei vasi sanguigni per effetto della spinta che riceve dal cuore (vis a tergo); nelle vene il movimento è aiutato dalla pressione negativa intratoracica che si stabilisce appunto nella cavità toracica (vis a fronte) e, come si è visto, dalla contrazione dei muscoli scheletrici che comprimono le vene stesse (effetto chiamato *pompa muscolare*).

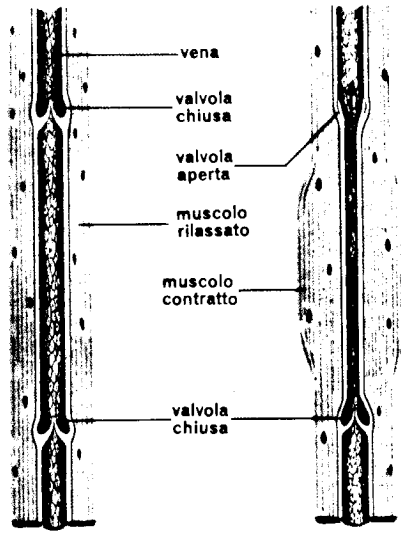


Figura 5

La pressione, dalle venule alle vene più grandi, va lentamente decrescendo fino a raggiungere, allo sbocco delle vene nell'atrio destro, i 4,6 mm Hg. Durante l'inspirazione la pressione intrapleurica passa da -2 mm Hg a -6 mm Hg: questa caduta di pressione si trasmette alle grandi vene, cosicchè la pressione venosa centrale, diminuendo dall'espirazione all'inspirazione, aiuta il ritorno venoso al cuore.