

## ANATOMIA E FISILOGIA DELL'APPARATO CARDIO- VASCOLARE

Giancarlo GAMBELLI

### Anatomia

L'apparato cardio-vascolare può essere assimilabile ad un sistema chiuso di tubi elastici e muscolari che si origina da una pompa muscolare e che dopo un certo percorso alla pompa ritorna. Questa ha il compito di perfondere ritmicamente con le sue contrazioni il sistema dei tubi espellendovi il sangue contenuto nelle sue cavità; ma vediamo più da vicino prima la struttura e poi il funzionamento di questo apparato.

Il cuore è un organo muscolare cavo seppimentato in 4 cavità: i due atri Dx e Sin ed i due ventricoli Dx e Sin.

Le cavità di destra e di sinistra non comunicano fra di loro poichè i due atri sono divisi dal setto interatriale ed i due ventricoli dal setto interventricolare.

Invece l'atrio Dx comunica col ventricolo Dx attraverso l'apertura a.v. che occupa una parte del c.d. pavimento a.v.; analogamente l'atrio Sin comunica col ventricolo Sin. Queste aperture sono regolate a loro volta da una struttura valvolare: a Dx la valvola tricuspide, fornita appunto da tre pizzi valvolari, a Sin la bicuspidè o mitrale perché costituita da soli due pizzi valvolari.

Le strutture valvolari sono piuttosto complesse: esse si modellano con un margine fisso sull'anello dell'orifizio a.v. e sul margine libero danno inserzione alle corde tendinee che originano dai muscoli papillari ventricolari.

La loro contrazione si trasmette sulle corde che tirano in basso il margine libero dei pizzi valvolari ed in tal modo si apre la comunicazione tra atrio e ventricolo sottostante. Sullo stesso piano degli orifizi a.v. è posto l'anello fibroso dell'ostio aortico da cui origina l'aorta mentre quello dell'ostio polmonare, da cui origina l'arteria polmonare, è situato su un piano leggermente superiore. Su questi anelli prendono inserzione le tre valvole semilunari che determinano l'apertura e chiusura dell'ostio stesso secondo un gioco di modificazioni pressorie come vedremo fra poco.

I due anelli fibrosi degli osti a.v. e quello dell'ostio aortico si toccano in un punto dove talvolta si sviluppa un deposito calcareo detto l'osso del cuore. Essi comunque rappresentano il trigono fibroso del cuore su cui si inseriscono le fibre miocardiche ventricolari.

Infatti il tessuto muscolare dei ventricoli è formato da fibre che sostanzialmente si riuniscono per costituire come 3 sacchi: uno è il ventricolo Dx, uno è il ventricolo Sin e il terzo sacco che li contiene entrambi.

La disposizione delle fibre muscolari che costituiscono i vari sacchi deve essere conosciuta poichè essa rende ragione della modalità di contrazione dei due ventricoli e delle loro diverse sollecitazioni.

I due sacchi costituenti i ventricoli Dx e Sin hanno una forma grossolanamente simile a un tronco di cono, e sono formati da fibre proprie che si distaccano dalle zone fibrose della base e si portano in basso per poi risalire descrivendo varie anse fino alla zona di partenza (muscoli seno e bulbo spirali profondi).

Inoltre i due sacchi presentano un'apertura superiore, che è occupata dal pavimento atrio ventricolare con relativo anello valvolare, ed una apertura inferiore, più stretta che viene riempita dalle fibre comuni del terzo sacco muscolare (muscolo seno e bulbo spirale superficiale) distinte in fibre anteriori e posteriori con andamento obliquo in basso. Riflettendosi su se stesse ad ansa oppure a cifra 8 risalgono poi in alto verso la base sulla superficie interna delle cavità cardiache ed in parte vanno a costituire i muscoli papillari che tramite sottili filamenti tendinei (corde tendinee) regolano l'apertura e la chiusura dei veli delle valvole ventricolari. Gli atri sono costituiti anche essi da fibre proprie a forma di anelli disposti attorno ai vari orifizi che vi si aprono e da fibre comuni che passano invece al di sopra delle precedenti da un atrio all'altro sia sulla superficie anteriore che su quella posteriore.

Così descritti atri e ventricoli sembrerebbero indipendenti gli uni dagli altri, collegati solo dal cosiddetto pavimento oppure setto atrio-ventricolare secondo che esso sia visto dalla cavità atriale o da quella ventricolare.

Invece esiste ancora una piccolissima struttura che collega atri e ventricoli fra loro e che è costituita da un fascetto di tessuto muscolare particolare detto fascio a.v. di Paladino His.

Esso origina dalla parte inferiore del nodo di Tawara, situato nella porzione postero-inferiore del setto interatriale internamente ed a breve distanza dallo sbocco del seno coronarico in atrio Dx.

Dalla sua origine tale fascetto si inoltra nel setto interventricolare e lo percorre per un breve tratto essendo più vicino alla superficie sinistra del setto stesso.

Quindi esso si divide in due rami: uno destinato al ventricolo destro e l'altro al ventricolo sinistro. Quest'ultimo poi si suddivide in un ramo anteriore ed uno posteriore. Attraverso questo fascio di Paladino His lo stimolo originatosi negli atri si propaga ai ventricoli ed avvia le modificazioni elettrolitiche che determinano la contrazione.

Esso è costituito da fibre diverse da quelle miocardiche del setto, per essere più sottili, colorabili più debolmente, con struttura fibrillare appena accennata nelle zone più periferiche. Tali fibre si connettono poi con cellule simili a quella di Purkinje di alcuni mammiferi.

Infatti il nodo di Keith e Flach, situato in corrispondenza dello sbocco della vena cava superiore in atrio Dx, subito al di sotto del rivestimento epicardico, è la struttura che in condizioni normali governa l'attività cardiaca essendo dotata dell'automatismo più rapido.

Il muscolo cardiaco infine è nutrito dal sistema arterioso coronarico, che si origina subito dopo l'inizio del tronco aortico del cuore stesso ed è costituito da una coronarica Dx o posteriore e da una coronarica Sin o anteriore che risolvendosi in numerosi rami collaterali assicurano una irrorazione sanguigna a tutte le strutture cardiache.

Il sistema venoso raccoglie invece il sangue dopo lo scambio di ossigeno e lo convoglia al seno coronarico che sbocca in atrio Dx vicino al nodo di Tawara e nei pressi del nodo del seno coronarico.

Infine i nervi del cuore traggono origine dal plesso nervoso cardiaco che si pone al di sotto dell'arco aortico e che è composto da rami del simpatico cervicale.

Dagli orifizi arteriosi del cuore partono poi le due arterie del corpo

umano: l'arteria polmonare e l'arteria aorta.

La prima origina dal ventricolo destro ed il flusso attraverso essa è regolato dai tre pizzi valvolari a nido di rondine che costituiscono la valvola polmonare. Dopo un breve percorso essa si divide in due rami, il Dx e il Sin, che divergendo con un angolo di circa 180° dirigono e raggiungono gli ili polmonari.

Qui si suddividono in numerose ramificazioni fino ai capillari polmonari da cui origina poi il circolo venoso di ritorno che si raccoglie nelle 4 vene polmonari (2 per ciascun polmone) tributarie dell'atrio sinistro. E' questo per sommi capi il circolo polmonare la cui funzione precisa è quella di ossigenazione del sangue; è anche detto piccolo circolo per distinguerlo dal grande circolo che invece è deputato alla distribuzione dell'ossigeno e dei materiali nutritivi a tutti i tessuti del corpo. Questo infatti origina dall'orifizio aortico del ventricolo sinistro, regolato, da una valvola a tre pizzi a forma di nidi di rondine.

Dalla origine l'aorta risale un poco verso l'alto descrive un arco a concavità in basso e passa sopra alla biforcazione della polmonare e della trachea dirigendosi verso la colonna vertebrale dorsale. Raggiunta, si pone davanti e a sinistra di essa e scende in basso, attraversa il diaframma e raggiunge la cavità addominale finché all'altezza circa della IV L si biforca ad y rovesciato nei suoi due rami terminali: le arterie iliache comuni, che a loro volta biforcandosi danno origine alle arterie ipogastrica e iliaca esterna. Quest'ultima provvederà alla irrorazione degli arti inferiori.

Durante il lungo decorso l'aorta invia grossi rami a tutti i distretti corporei; le carotidi al capo, le succlavie agli arti superiori, il tripode celiaco al fegato, stomaco, pancreas e milza, le renali ai reni, le mesenteriche all'intestino, le spermatiche interne dell'uomo e le ovariche nella donna al bacino e infine con i suoi rami terminali provvede alla irrorazione degli organi del bacino e delle strutture degli arti inferiori.

In ogni organo si ripete la miriade di suddivisioni in ramuscoli sempre più piccoli, arteriole, metarteriole fino ai capillari per poi dare origine al sistema venoso di ritorno che confluisce nelle due grandi vene cave, definitive tributarie dell'atrio destro.

## Fisiologia

L'attività del cuore è ritmica, caratterizzata da una serie infinita di contrazioni e decontrazioni che si susseguono ritmicamente con una certa frequenza; in media da settanta ad ottanta al minuto.

Tutto ciò avviene per i fenomeni di automatismo o eccitabilità spontanea dal nodo del seno di Keith e Flack che appunto governa l'attività ritmica cardiaca.

Lo stimolo si propaga per contiguità alla muscolatura degli atri che si contraggono nella fase terminale della diastole e spingono il sangue contenuto nei rispettivi ventricoli attraverso il relativo orifizio atrio-ventricolare.

Nel frattempo lo stimolo depolarizzante attraversa il nodo a.v. di Tawara percorre il fascio di Paladino His e le sue branche per attivare le fibre ventricolari.

Allorchè esse iniziano a contrarsi, per prima cosa si ha la chiusura della valvola a.v.; per la fase di contrazione isometrica in cui la pressione endoventricolare uguaglia quella vigente nel sistema circolatorio con cui il ventricolo è connesso (circolo polmonare per il ventricolo Dx e grande circolo per il ventricolo Sin).

A questo punto il muscolo ventricolare inizia la contrazione isotonica e contemporaneamente, essendosi aperte le valvole semilunari aortiche e polmonari, il sangue defluisce nel sistema circolatorio.

Completata tale fase, detta *sistole*, le valvole aortiche e polmonari si chiudono (poichè la pressione vigente a valle torna ad essere superiore a quella intraventricolare che sta a monte). Inizia così la *diastole* ventricolare.

Durante la sistole ventricolare gli atri si erano rilasciati ed il sangue era giunto loro dalle vene cave a Dx e dalle vene polmonari a Sin. Esiste così al loro interno una pressione superiore anche entro i ventricoli: le valvole a.v. si aprono ed inizia la fase di riempimento diastolico ventricolare durante la quale concomita per un certo tempo anche la diastole atriale; solo un tempuscolo più tardi le pareti degli atri si contrarranno per forzare il riempimento ventricolare e inizieranno la sistole atriale.

Da queste osservazioni risulta che esiste un certo intervallo di tempo in cui atri e ventricoli sono

entrambi in diastole ed esso costituisce la fase di riempimento ventricolare rapido. Inoltre si può dedurre che non è vero che atri e ventricoli siano alternativamente in sistole e diastole per lo stesso periodo di tempo, poichè la diastole atriale è sensibilmente più lunga di quella ventricolare mentre la sistole è più breve.

Il sangue lanciato nel sistema arterioso lo deve percorrere fino ai territori capillari più lontani e più sottili per poi ritornare al cuore attraverso il sistema venoso. Ne consegue che a grosse linee il sistema arterioso e quello venoso rappresentano dei tubi con funzione conduttrice; essi servono a distribuire il sangue nei vari territori e a permettergli di arrivare ai capillari che invece presentano caratteristiche atte allo scambio di sostanze con i tessuti e quindi presentano funzioni prettamente nutrizionali.

La cessione di ossigeno e di principi nutritivi da parte del sangue e l'assorbimento di scorie metaboliche da allontanare dai tessuti avviene attraverso la sottilissima parete dei capillari grazie all'intervento di complessi meccanismi fisici e biochimici. La estensione del capillare infatti, per quanto brevissima è formata da un'ansa arteriosa e da un'ansa venosa in cui vigono regimi pressori diversi, i quali comunque tendono a far fuoriuscire il plasma dall'interno del capillare verso l'interstizio. A questa forza si oppone la pressione oncotica che è rappresentata dalle capacità che hanno le proteine del plasma a trattenere il liquido all'interno del capillare stesso.

Ora avviene che nell'ansa arteriosa la pressione sanguigna supera quella oncotica, sicchè liquidi e sostanze nutritive si verseranno nei tessuti. Invece nell'ansa venosa è la pressione oncotica a prevalere e di conseguenza i liquidi saranno riassorbiti dai capillari e avviati nel circolo venoso.

Vi è poi il problema del trasporto e della cessione dell'ossigeno e del CO<sub>2</sub> che sono possibili anche grazie alle particolari caratteristiche dell'emoglobina, il pigmento contenente ferro che si trova nei globuli rossi.

L'Hb presenta una particolare affinità verso l'ossigeno trasformandosi nella sua forma ossidata: ossi-Hb (Hb O<sub>2</sub>), sicchè essa aumenta la

sua percentuale di ossidazione in presenza di aumento della pressione parziale di  $O_2$  ( $PO_2$ ), mentre la sua dissociazione in  $O_2$  e Hb ridotta aumenta quando la  $PO_2$  cala.

Al livello del mare, la  $PO_2$  è di 160 mm Hg e quasi tutto l'Hb è ossidato.

Diminuendo la  $PO_2$  diminuisce anche la quantità di  $HbO_2$ , ma non in maniera linearmente proporzionale, bensì secondo un andamento particolare che appunto è chiamato curva in dissociazione della Hb; si vede infatti che la dissociazione dell'Hb dall' $O_2$  dapprima procede in maniera molto più lenta della diminuzione della  $PO_2$ , mentre a bassi valori di  $PO_2$ , la dissociazione dell'ossiemoglobina è molto più rapida.

L'andamento di tale grafica è sensibilmente influenzata da molti fattori. Vale la pena di ricordare come l'aumento della temperatura favorisce la dissociazione dell' $HbO_2$  come pure una reazione tissutale che si sposta verso l'acidosi.

Al contrario naturalmente agiranno la diminuzione della temperatura e l'alcalinità.

Inoltre appare interessante l'azione specifica che il  $CO_2$  svolge sulla dissociazione dell' $HbO_2$ : a parità di pH, quando aumenta il  $PCO_2$  diminuisce la capacità dell'Hb ad ossidarsi; se invece il  $PCO_2$  diminuisce aumenta la affinità dell'Hb per l' $O_2$ .

Ma va anche precisato che il trasporto del  $CO_2$  avviene per i 2/3 ad opera del plasma e solo per 1/3 ad opera degli eritrociti. Per quanto riguarda poi il trasporto emoglobिनico del  $CO_2$ , a parità del  $PCO_2$  la capacità di fissare  $CO_2$  è maggiore per Hb ridotta che per quella ossidata.

Questi fenomeni possono renderci conto meglio di quanto av-

viene ad esempio in un muscolo che lavora e nel polmone. Infatti nel tessuto muscolare in esercizio vi sarà un accumulo di cataboliti acidi, un aumento del  $PCO_2$  ed un aumento di temperatura per cui verrà favorita la cessione di  $O_2$  dall'emoglobina ai tessuti.

Viceversa, negli alveoli polmonari, dove la  $CO_2$  viene eliminata, quindi la  $PCO_2$  nettamente diminuisce ed esiste uno spostamento verso l'alcalinità, l'Hb ritrova esaltata l'affinità verso l'ossigeno.

Questo sangue ossigenato, attraverso il circolo polmonare viene avviato all'atrio sinistro, ventricolo sinistro e quindi alla circolazione sistemica.

Tutti questi fenomeni che abbiamo descritto possono realizzarsi solo in quanto il circolo periferico si dispiega nei letti capillari nel cui attraversamento i globuli rossi sono disposti in fila, l'uno dopo l'altro, a stretto contatto con le pareti del capillare stesso, in maniera da risentire al massimo delle modificazioni biochimiche locali.

Ma non tutti i distretti capillari dell'organismo sono contemporaneamente perfusi dal torrente circolatorio, anzi questi rappresentano una netta minoranza, poichè la loro distribuzione è strettamente più fitta di quanto il metabolismo tissutale richieda, in condizioni abituali, fisiologiche.

La esclusione di un distretto capillare del circolo avviene attraverso la chiusura di uno sfintere muscolare detto precapillare; il sangue per raggiungere il sistema venulare, situato dopo i capillari, prende la via di una anastomosi a.v., una sorta di scorciatoia che collega la meta-arteriola alla vena.

Lo sfintere muscolare precapillare è particolarmente sensibile

all'accumulo di cataboliti acidi, sicchè come essi aumentano per l'accentuato metabolismo locale tissutale lo sfintere si rilascia e il sangue perfonde quel distretto capillare apportando  $O_2$  e i principi nutritivi e lavando le scorie metaboliche.

Diminuita l'acidità tissutale locale lo sfintere torna a contrarsi e il sangue riprende la via dell'anastomosi a.v.

In questo modo è assicurato prontamente un maggiore flusso ematico laddove i processi metabolici sono più intensi, cioè nei tessuti in maggiore attività.

Per quanto riguarda invece il circolo polmonare dobbiamo dire che pur essendo sostanzialmente analogo il funzionamento, varia invece la natura dello stimolo. Infatti nel piccolo circolo si ha un maggiore flusso di sangue nelle zone meglio aerate, poichè in questa sede è l'ossigeno dell'aria ispirata che rappresenta lo stimolo valido a favorire l'irrorazione dei distretti capillari e quindi l'ossigeno del sangue stesso.

Abbiamo considerato alcune notizie di anatomia e fisiologia cardiovascolare. Tutti voi sapete come tali strutture siano validamente stimolate da un certo tipo di allenamento che ben conoscete. Un sistema cardio-vascolare ben allenato riesce a rifornire l'ossigeno necessario ai muscoli per il loro lavoro e tale funzione può essere migliorata grazie ad un intelligente ed adeguato esercizio.

Mi piace qui sottolineare come il fisico dei giovani si trovi nelle condizioni ottimali per essere validamente stimolato, anche sotto il profilo cardiocircolatorio, sempre alla condizione di essere seguiti da persone competenti ed informate. L'improvvisazione è sempre nemica dei buoni risultati, in ogni settore.