

La fluidodinamica nello studio delle procedure chirurgiche ricostruttive per la correzione di cardiopatie congenite

Mauro Grigioni, Antonio Amodeo, Carla Daniele, Giuseppe D'Avenio, Roberto Di Donato e Vincenzo Barbaro

Introduzione

Presso il Laboratorio di Ingegneria biomedica è stato intrapreso uno studio delle condizioni emodinamiche conseguenti a un'importante procedura chirurgica, ampiamente utilizzata nel caso di patologie congenite (ad esempio, ipoplasia) del cuore destro. Tale operazione, detta connessione cavo-polmonare totale (TCPC), viene eseguita specialmente in età pediatrica per permettere un regolare sviluppo polmonare; i pazienti potenzialmente interessati a questo tipo di operazione sono in numero rilevante, infatti circa l'1% dei nati vivi soffre di patologie cardiache congenite e nello 0,8% è interessato il cuore destro.

La connessione cavo-polmonare totale è un'operazione chirurgica largamente impiegata per ristabilire un adeguato flusso polmonare nel caso in cui solo il ventricolo sinistro del cuore del paziente abbia una normale funzionalità. La TCPC consiste nel collegamento diretto delle vene cave (superiore e inferiore, denominate, rispettivamente, SVC e IVC) alle arterie polmonari, in una disposizione a croce che dà luogo ad un'emodinamica particolare: in tale configurazione, possono verificarsi effetti inde-

siderati, quali zone di ricircolazione di fluido oppure eccessive perdite di pressione ai capi della connessione (anastomosi). Il nostro studio si prefigge di indagare i parametri che possono minimizzare le conseguenze negative di tale connessione, in considerazione dell'importanza clinica di assicurare un flusso polmonare quasi fisiologico in molti pazienti di età pediatrica.

In collaborazione con l'Ospedale pediatrico "Bambino Gesù" di Roma si è proceduto quindi allo studio di una particolare configurazione della connessione cavo-polmonare totale (tecnica Fontan), usualmente realizzata presso lo stesso Ospedale. Tale configurazione ha mostrato, nel tempo, una incidenza ridotta di complicanze e risultati soddisfacenti sotto il profilo della riuscita a lungo termine.

Materiali e metodi

Un modello della TCPC è stato realizzato in vetro soffiato, in base a dati di risonanza magnetica nucleare (RMN) relativi a un paziente di 5 anni, precedentemente operato presso l'Ospedale pediatrico "Bambino Gesù" di Roma. Il modello è stato impiegato in un circuito fluidico a

flusso stazionario. Le portate medie in ogni ramo della connessione potevano essere variate indipendentemente, mediante uno spostamento verticale del serbatoio corrispondente. Il sistema permette un'ampia variabilità di impostazione delle pressioni nelle vene cave e nelle arterie polmonari, grazie ad accorgimenti idraulici gravimetrici.

Lo studio si è incentrato sull'analisi quantitativa del campo di velocità della TCPC, ottenuto con una tecnica accurata quale la Particle Image Velocimetry (PIV), basata sulla cross-correlazione dell'intensità delle immagini di particelle, aventi opportune caratteristiche (densità, riflettività) immerse nel flusso da caratterizzare. Un piano di luce laser è stato usato per illuminare il campo di flusso, nel corso della registrazione delle immagini del particolato.

Risultati

Lo studio velocimetrico ha permesso di individuare, al centro della geometria TCPC considerata, la presenza di un largo vortice centrale in situazione fisiologica (40% SVC - 60% IVC, flusso polmonare 50% - 50%). In tali condizioni, i flussi nelle

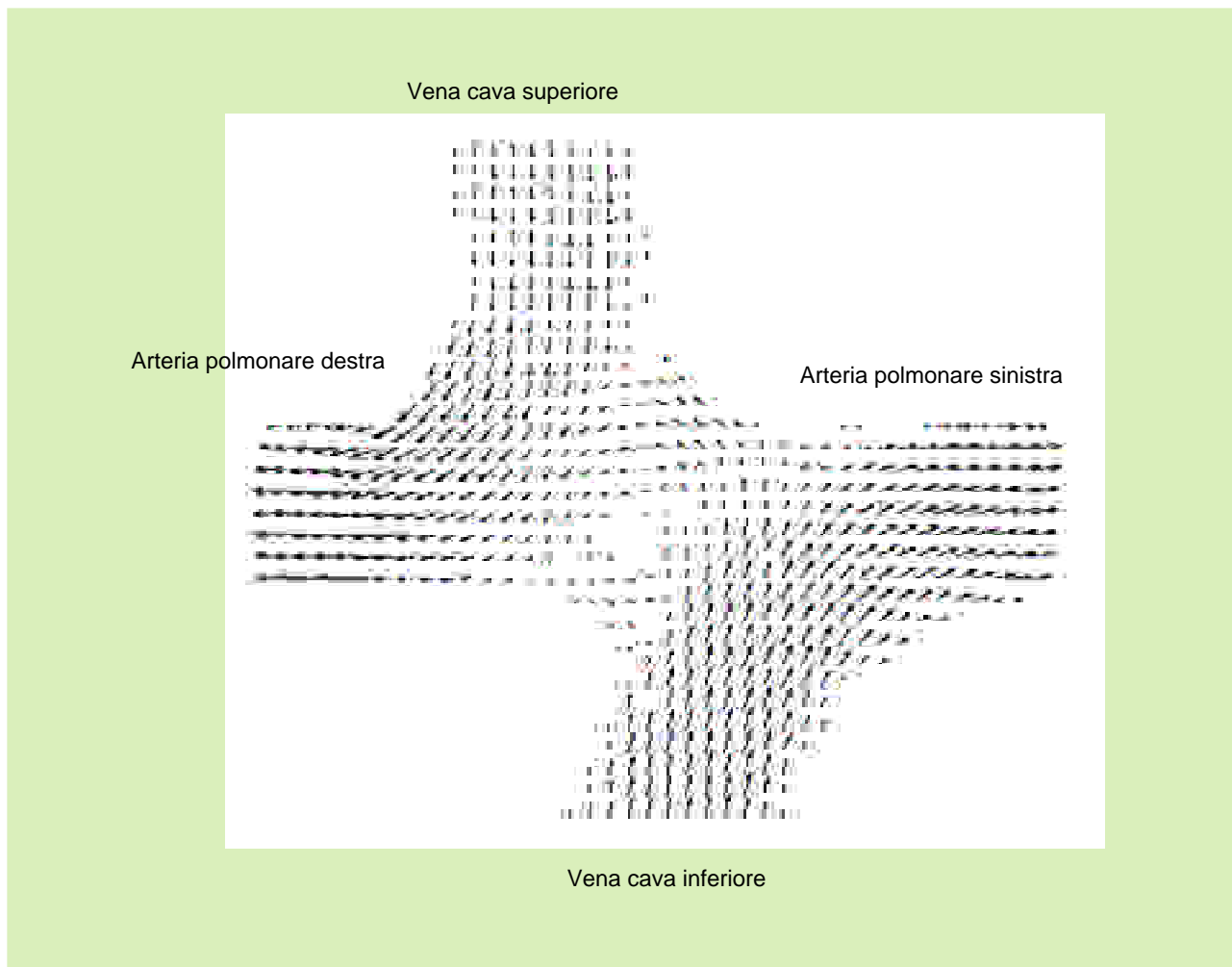


Figura 1 - Rappresentazione vettoriale del campo delle velocità del sangue rilevate mediante tecnica PIV

arterie polmonari sono equilibrati e, come si può riscontrare nella Fig. 1, il contributo della IVC alla portata totale è diretto prevalentemente verso la polmonare sinistra, ma c'è anche una parte di flusso verso l'arteria polmonare destra (RPA). Pertanto, la distribuzione di flusso nelle polmonari indica che il ritorno venoso proveniente dalla parte inferiore del corpo, contenente sostanze di origine epatica, raggiunge anche il polmone destro. In effetti, è stato dimostrato che l'assenza di ritorno venoso epatico dalla circolazione polmonare può causare seri problemi postoperatori.

I risultati sperimentali mostrano che in una connessione cavo-polmonare totale il flusso è caratterizzato dalla presenza di un grande vortice al centro della connessione a croce. La posizione e la forma di questo vortice dipendono dalla divisione di flusso nelle due arterie polmonari. Il vortice si sposta dal centro della connessione quando lo squilibrio del flusso si accentua e oscilla sia durante variazioni di bilancio cavale che a causa di una pulsilità residua nel ritorno venoso; d'altro canto, tale vortice sparisce completamente nel caso patologico di alta resistenza

arteriosa in una delle due arterie polmonari, che sbilancia il ritorno venoso in favore di uno dei due vasi che perfondono i polmoni.

In conclusione, lo studio del campo di velocità nella TCPC realizzata all'Ospedale "Bambino Gesù" di Roma ha evidenziato che la bassa pressione della circolazione venosa è usata efficacemente per ripristinare una soddisfacente circolazione polmonare, e queste caratteristiche, rispetto ai flussi competitivi riscontrati in altre geometrie, giustificano i favorevoli risultati clinici già consolidati.