

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مکانیک

گرایش تبدیل انرژی

شبیه سازی عددی دریچه میترال با جریان پالسی خون با رگ قابل انعطاف به روش SPH

از

بهنام رهبر

استاد راهنما

دکتر نیما امانی فرد

استاد مشاور

دکتر محمد علی صالحی

خرداد ماه ۱۳۹۰

با احترام

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

بمشکر از استاد عزیز و کراتقدر دکتر امانی فرد و مشاور محترم دکتر صالحی که بدون رهنمودهای

این دو عزیز نییتمودن این راه غیر ممکن بود.

فهرست مطالب

ذ	چکیده فارسی.....
ر	چکیده انگلیسی.....
۱	فصل اول: آناتومی دریچه میترال و بیماری‌های مربوط به آن.....
۲	مقدمه.....
۲	۱-۱ آناتومی و فیزیولوژی قلب.....
۳	۱-۱-۱ حفرات قلب.....
۴	۲-۱-۱ دریچه های قلب.....
۵	۳-۱-۱ عضلات پاپیلری و طنابهای وتری.....
۶	۴-۱-۱ عضله قلب.....
۷	۵-۱-۱ گردش خون قلب.....
۸	۶-۱-۱ سیستم هدایتی قلب.....
۸	۷-۱-۱ عملکرد سیستم هدایتی قلب.....
۹	۸-۱-۱ سیکل قلبی.....
۱۰	۹-۱-۱ حجم ضربه (SV).....
۱۰	۱۰-۱-۱ برون ده قلبی (CO) و ایندکس قلبی (CI).....
۱۱	۲-۱ مکانیزم خود تنظیمی عضله قلب (مکانیسم فرانک - ارستارلینک).....
۱۱	۱-۲-۱ کنترل فعالیت قلب بوسیله اعصاب.....
۱۱	۲-۲-۱ اثرات یونهای مختلف روی قلب.....
۱۲	۳-۱ آزمونها و روشهای تشخیصی.....
۱۵	۴-۱ بیماریهای دریچه های قلب.....
۱۶	۱-۴-۱ پرولاپس دریچه میترال (MVP).....
۱۶	۱-۱-۴-۱ شیوع.....
۱۶	۲-۱-۴-۱ پاتوفیزیولوژی.....
۱۶	۳-۱-۴-۱ تظاهرات بالینی.....
۱۷	۴-۱-۴-۱ تشخیص.....
۱۷	۲-۴-۱ تنگی دریچه میترال (MS).....
۱۷	۱-۲-۴-۱ پاتوفیزیولوژی.....
۱۸	۲-۲-۴-۱ تظاهرات بالینی.....
۱۸	۳-۲-۴-۱ تشخیص.....
۱۸	۳-۴-۱ نارسایی دریچه میترال (MI) یا رگورژیتاسیون دریچه میترال (MR).....
۱۸	۱-۳-۴-۱ پاتوفیزیولوژی.....

۲۰	فصل دوم: مفاهیم روش SPH
۲۱	مقدمه
۲۱	۱-۲ شبیه سازی عددی
۲۱	۱-۱-۲ فرایند حل شبیه سازی های عددی
۲۲	۲-۱-۲ گسسته سازی در روش های بدون شبکه
۲۳	۳-۱-۲ دلایل استفاده از روش های بدون شبکه
۲۴	۲-۲ هیدرودینامیک ذره هموار
۲۴	۱-۲-۲ روش هیدرودینامیک ذره هموار
۲۵	۳-۲ تاریخچه روش هیدرودینامیک ذره هموار
۲۵	۱-۳-۲ ابداع
۲۵	۲-۳-۲ توسعه
۲۶	۳-۳-۲ کاربردها
۲۶	۴-۲ ایده اصلی روش هیدرودینامیک ذره هموار
۲۷	۵-۲ فرمول های اساسی SPH
۲۷	۱-۵-۲ ارائه انتگرالی یک تابع
۲۹	۲-۵-۲ بیان انتگرالی مشتق یک تابع
۳۰	۳-۵-۲ تقریب ذره ای
۳۲	۴-۵-۲ تکنیکهای به دست آوردن فرمول های SPH
۳۳	۵-۵-۲ گرادیان و دیورژانس
۳۳	۶-۵-۲ فرمولاسیون لاپلاس
۳۴	۶-۲ تابع کرنل
۳۵	۷-۲ طول هموار سازی
۳۶	۸-۲ انواع روش های جستجوی ذرات
۳۶	۱-۸-۲ روش جستجوی جفتی
۳۷	۲-۸-۲ الگوریتم لیست پیوندی
۳۸	۳-۸-۲ الگوریتم درخت دو تایی
۳۸	۱-۳-۸-۲ ساختار درخت های دوتایی
۴۰	۲-۳-۸-۲ تعریف و قراردعی نقاط
۴۲	۳-۳-۸-۲ جستجوی هندسی
۴۴	۹-۲ همسازی
۴۴	۱۰-۲ خطاها در بیان انتگرالی
۴۵	فصل سوم: الگوریتم روش SPH تراکم ناپذیر
۴۶	مقدمه
۴۶	۱-۳ معادلات ناویر-استوکس در فرم لاگرانژی
۴۶	۱-۱-۳ حجم کنترل محدود و سلول سیال بی نهایت کوچک

.....	۲-۱-۳ معادله پیوستگی	.....	۴۸
.....	۳-۱-۳ معادله مومتوم	.....	۴۹
.....	۴-۱-۳ معادله انرژی	.....	۵۱
.....	۵-۱-۳ معادلات ناویر - استوکس	.....	۵۱
.....	۲-۳ روابط SPH برای معادلات ناویر-استوکس	.....	۵۱
.....	۱-۲-۳ تقریب ذره ای پیوستگی	.....	۵۱
.....	۲-۲-۳ تقریب ذره ای مومتوم	.....	۵۲
.....	۳-۳ الگوریتم سه مرحله ای حل سیال به روش SPH تراکم ناپذیر	.....	۵۴
.....	۴-۳ سطح آزاد	.....	۵۶
.....	۵-۳ مرزهای جامد	.....	۵۷
.....	۶-۳ تحلیل همگرایی	.....	۵۷
.....	۷-۳ مثال های عددی	.....	۵۸
.....	۱-۷-۳ شکست سد آب	.....	۵۸
.....	۱-۱-۷-۳ شرایط شبیه سازی بر روی بستر خشک	.....	۵۸
.....	۲-۱-۷-۳ شرایط شبیه سازی روی بستر خیس	.....	۵۹
.....	۲-۷-۳ برخورد دو شکست سد آب	.....	۶۱
.....	فصل چهارم: تعامل سازه-سیال	.....	۶۳
.....	مقدمه	.....	۶۴
.....	۱-۴ معادلات حاکم بر تغییر شکل های الاستیک	.....	۶۴
.....	۱-۱-۴ معادلات و اصول پایه	.....	۶۴
.....	۲-۱-۴ معادلات الاستیک در بیان ذره ای	.....	۶۵
.....	۲-۴ الگوریتم حل الاستیک	.....	۶۶
.....	۳-۴ مسئله باز شدن دریچه الاستیک در اثر نیروی ستون سیال پشت آن	.....	۶۷
.....	فصل پنجم: شبیه سازی دریچه میترال و نتایج	.....	۷۰
.....	مقدمه	.....	۷۱
.....	۱-۵ پیشینه تحقیق	.....	۷۱
.....	۲-۵ جریان پالسی خون در رگ صلب	.....	۷۴
.....	۳-۵ باز شدن دریچه میترال با جریان پالسی خون	.....	۷۸
.....	۴-۵ برگشت جریان خون از بطن به دهلیز زمان بسته بودن دریچه	.....	۸۳
.....	۵-۵ باز شدن دریچه میترال با رگ انعطاف پذیر با جریان پالسی خون	.....	۸۹
.....	۶-۵ نتیجه گیری نهایی و پیشنهاد برای کارهای آینده	.....	۹۲
.....	مراجع	.....	۹۴

فهرست جدولها

- جدول ۴-۱ ابعاد مسئله باز شدن دریچه ۶۷
- جدول ۵-۱ ابعاد مسئله باز شدن دریچه میترال، خواص سیال خون و خواص مکانیکی دریچه ۷۹
- جدول ۵-۲ ابعاد مسئله باز شدن دریچه میترال با رگ انعطاف پذیر، خواص سیال خون و خواص مکانیکی دریچه ۹۰

فهرست شکلها

- شکل ۱-۱ نمای از قرار گیری قلب در فضای مدیاستن ۲
- شکل ۲-۱ حفرات و دریچه های قلب ۵
- دیاگرام ۱-۲ فرایند شبیه سازی عددی ۲۲
- شکل ۲-۲ گسسته سازی دامنه در روش المان محدود ۲۲
- شکل ۳-۲ گسسته سازی دامنه در روش های بدون شبکه ۲۳
- شکل ۴-۲ دامنه حمایتی تابع همواری W و دامنه مسئله. دامنه حمایتی درون دامنه مسئله قرار گرفته است بنابراین انتگرال سطحی سمت راست معادله (۱۰-۲) صفر میشود ۳۰
- شکل ۵-۲ دامنه حمایتی تابع همواری W و دامنه مسئله. دامنه حمایتی با دامنه مسئله برخورد می کند. بنابراین تابع همواری W مرز را قطع می کند و انتگرال سطحی سمت راست معادله (۱۰-۲) صفر نمیشود ۳۰
- شکل ۶-۲ روش جستجوی جفتی برای یافتن نزدیکترین ذرات همسایه در فضای دو بعدی ۳۷
- شکل ۷-۲ روش لیست پیوندی برای جستجوی نزدیکترین ذرات همسایه در فضای دو بعدی ۳۷
- شکل ۸-۲ نمایش ریشه و زیر شاخه در یک درخت دوتایی ساده ۳۸
- شکل ۹-۲ نمای یک درخت دوتایی ساده ۳۹
- شکل ۱۰-۲ ارتباط بین درخت دوتایی و پروسه نصف کردن متوالی ۴۰
- شکل ۱۱-۲ ایجاد یک درخت ADT ۴۱
- شکل ۱۲-۲ الف) شماتیک یک درخت نامتعادل، ب) شماتیک یک درخت متعادل ۴۲
- شکل ۱۳-۲ مراحل جستجو در یک مسئله دو بعدی ۴۳
- شکل ۱-۳ حجم کنترل محدود لاگرانژی V با یک سطح کنترل S ۴۶
- شکل ۲-۳ سلول سیال بینهایت کوچک در توصیف لاگرانژی ۴۷
- شکل ۳-۳ تغییر حجم کنترل لاگرانژی ۴۸
- شکل ۴-۳ نیروهای در جهت X بر روی یک سلول سیال بینهایت کوچک ۴۹
- شکل ۵-۳ هندسه دوبعدی شکست سد آب (همه ابعاد بر حسب متر هستند) ۵۸
- شکل ۶-۳ شکست سد آب بر روی بستر خشک، الف) نتایج آزمایشگاهی، ب) نتایج حاصل از روش SPH . از بالا به پایین زمان فیزیکی $0.156s$ ، $0.219s$ ، $0.281s$ ، $0.343s$ و $0.406s$ است ۵۹
- شکل ۷-۳ هندسه شکست سد آب در بستر خیس ۵۹
- شکل ۸-۳ شکست سد آب بر روی بستر خیس با ارتفاع بستر $d=0.018m$ ، الف) نتایج آزمایشگاهی، ب) نتایج حاصل از روش SPH . از بالا به پایین زمان فیزیکی $0.156s$ ، $0.219s$ ، $0.281s$ ، $0.343s$ ، $0.406s$ ، $0.468s$ ، $0.531s$ است ۶۰
- شکل ۹-۳ شکست سد آب بر روی بستر خیس با ارتفاع بستر $d=0.035m$ ، الف) نتایج آزمایشگاهی، ب) نتایج حاصل از روش SPH . از بالا به پایین زمان فیزیکی $0.156s$ ، $0.219s$ ، $0.281s$ ، $0.343s$ ، $0.406s$ ، $0.468s$ ، $0.531s$ است ۶۰
- شکل ۱۰-۳ چیدمان اولیه ذرات دو شکست سد آب ۶۱
- شکل ۱۱-۳ برخورد شکست دو سد آب در زمان های مختلف ۶۲
- شکل ۱-۴ شکل شماتیک مسئله باز شدن دریچه در اثر نیروی سیال پشت آن ۶۷

- شکل ۴-۲ تصاویر تجربی و شبیه سازی شده باز شدن دریچه الاستیک در زمان های 0.5 ، 0.4 ، 0.12 و 0.36 ، الف- شبیه سازی به روش SPH ب-نتایج تجربی ۶۸
- شکل ۴-۳ مقایسه مکان انتهای دریچه الاستیک در راستای x ۶۹
- شکل ۴-۴ مقایسه مکان انتهای دریچه الاستیک در راستای y ۶۹
- شکل ۵-۱ چیدمان اولیه ذرات ۷۴
- شکل ۵-۲ تعریف بردارهای مماسی و عمودی در ذرات مرزی جامد ۷۵
- شکل ۵-۳ شبیه سازی دو بعدی رگ، الف-سرعت عمودی، ب-سرعت محوری ۷۷
- شکل ۵-۴ مقایسه نتایج سرعت محوری در امتداد رگ در زمان $t=0.1 T$ ۷۷
- شکل ۵-۵ مقایسه نتایج سرعت محوری در امتداد رگ در زمان $t=0.3 T$ ۷۸
- شکل ۵-۶ نمایش شماتیک دریچه با پارامترهای هندسی مربوط ۷۸
- شکل ۵-۷ نمایش شماتیک دریچه به همراه دامنه های سیال و دیواره ۷۹
- شکل ۵-۸ چیدمان اولیه ذرات مسئله باز شدن دریچه میترال ۸۰
- شکل ۵-۹ شبیه سازی دو بعدی دریچه میترال، الف-سرعت عمودی، ب-سرعت محوری ۸۰
- شکل ۵-۱۰ شبیه سازی دو بعدی دریچه میترال، ترسیمه فشار ۸۱
- شکل ۵-۱۱ پروفیل های سرعت در زمان های مختلف در فاصله 31 میلیمتری قبل از دریچه ۸۲
- شکل ۵-۱۲ پروفیل های سرعت در زمان های مختلف در فاصله 31 میلیمتری بعد از دریچه ۸۲
- شکل ۵-۱۳ مکان انتهایی دریچه در راستای x ۸۳
- شکل ۵-۱۴ مکان انتهایی دریچه در راستای y ۸۳
- شکل ۵-۱۵ نمایش شماتیک دریچه به همراه دامنه های سیال و دیواره ۸۳
- شکل ۵-۱۶ شبیه سازی دو بعدی دریچه، ترسیمه ذره ای ۸۴
- شکل ۵-۱۷ شبیه سازی دو بعدی دریچه میترال، الف-سرعت عمودی، ب-سرعت محوری ۸۵
- شکل ۵-۱۸ شبیه سازی دو بعدی دریچه میترال، ترسیمه فشار ۸۶
- شکل ۵-۱۹ پروفیل های سرعت در زمان های مختلف در فاصله 31 میلی متری قبل از دریچه ۸۶
- شکل ۵-۲۰ پروفیل های سرعت در زمان های مختلف در فاصله 31 میلی متری بعد از دریچه ۸۷
- شکل ۵-۲۱ مکان انتهایی دریچه در راستای x ۸۷
- شکل ۵-۲۲ مکان انتهایی دریچه در راستای y ۸۸
- شکل ۵-۲۳ خطوط جریان در مسئله پرولاپس دریچه میترال ۸۹
- شکل ۵-۲۴ نمایش شماتیک دریچه با پارامترهای هندسی مربوط ۹۰
- شکل ۵-۲۵ شبیه سازی دو بعدی دریچه با رگ قابل انعطاف، الف-سرعت عمودی، ب-سرعت محوری ۹۱
- شکل ۵-۲۶ مکان انتهایی دریچه در راستای x ۹۱
- شکل ۵-۲۷ مکان انتهایی دریچه در راستای y ۹۲

علايم اختصاری

زمان	t
گام زمانی	dt
اپراتور مشتق کلی	$\frac{D}{Dt}$
اپراتور مشتق جزئی	$\frac{\partial}{\partial t}$
تابع کرنل	W
طول همواری	h
چگالی	ρ
سرعت های اسکالر	u, v
تابع دلتای دیراک	$\delta(\cdot)$
انرژی مخصوص	e
جرم ذره i	m_i
اپراتور همواری	$\langle \cdot \rangle$
تانسور تنش	σ_{ij}
تانسور تنش انحرافی	S_{ij}
بردار عمود بر المان سطح	\vec{n}
فشار	P
دوره تناوب	T
مدول برشی	G
ویسکوزیته	μ
تانسور نرخ کرنش	$\dot{\epsilon}_{ij}$
تانسور نرخ دوران	$\dot{\omega}_{ij}$
شتاب گرانشی	g

شبیه سازی عددی دریچه میترال با جریان پالسی خون با رگ قابل انعطاف به روش SPH .

بهنام رهبر

دریچه میترال در هنگام دیاستول جریان خون به داخل بطن را کنترل و از برگشت جریان به درون دهلیز جلوگیری می-کند. عملکرد طبیعی این دریچه تاثیر زیادی بر روی فرایندهای پاتوفیزیولوژی در سیستم گردش خون دارد. در نتیجه شبیه سازی دریچه میترال یک حوزه تحقیقاتی فعال به شمار می-رود.

در این رساله، شبیه سازی عددی رفتار مکانیکی دریچه میترال توسط یک رویکرد ذره‌ای با نام روش هیدرودینامیک ذره هموار (SPH) صورت گرفت. این روش برای این نمونه به عنوان یک کاربرد مهم مسایل اثر متقابل سازه و سیال توسعه داده شد. در روش SPH، سیال و سازه الاستیک با یک رویکرد عددی یکپارچه اما صریح کوپل می-شوند. روش ارائه شده از سه گام تشکیل شده است. دو گام ابتدایی نقش پیش بینی را بازی می کنند در حالی که در گام سوم معادله پواسون فشار برای هر دو محیط سازه و سیال حل می شود تا قید تراکم ناپذیری اعمال گردد. سادگی و برخی توانایی‌های این روش که در نتایج نشان داده شده است، اطمینان لازم را برای استفاده از SPH به عنوان یک ابزار ساده و کارآمد در گستره وسیعی از مسایل همودینامیک می دهد.

کلید واژه: دریچه میترال، روش هیدرودینامیک ذره هموار، جریان پالسی

Abstract

Numerical simulation of mitral valve in pulsatory blood flow conditions with flexible artery by SPH method.

Behnam Rahbar

The mitral valve controls the flow of blood into ventricle during diastole and prevents backflow into the atrium in systole. Normal function of this valve has a great impact on the pathophysiological processes in the cardiovascular system. Thus, simulation of mitral valve is an active research area.

In this thesis, a numerical simulation for mechanical behavior of mitral valve was prepared by a particle approach: Smoothed Particle Hydrodynamics. This method was developed for this case as an important application of fluid-structure interaction problems. In SPH method, fluid and elastic structure continua are coupled using a monolithic but explicit numerical scheme. The proposed method consists of three steps. The first two steps play the role of prediction, while in the third step a Poisson equation is used for both fluid and structure to impose incompressibility constraint. The simplicity and some capabilities in this method which have been shown in results highlighted the required assurance of using the SPH as reliable and simple tools for wide range of hemodynamic problems.

Key words: Mitral valve- blood flow- SPH

فصل اول

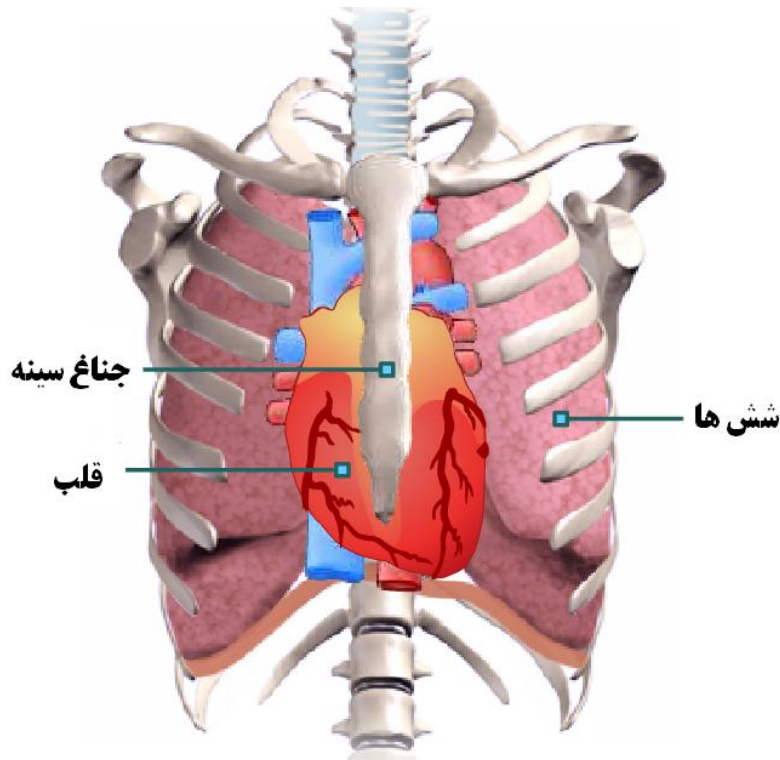
آناٹومی دریچہ میترال و بیماری های مربوط به آن

در این فصل به طور اجمالی به آناتومی قلب و دریچه های آن پرداخته شده است. در ادامه این فصل به معرفی بیماری های دریچه میترا به عنوان یکی از شایع ترین بیماری های قلب پرداخته شده است.

۱-۱ آناتومی و فیزیولوژی قلب

قلب یک پمپ عضلانی است که در داخل قفسه سینه و در ناحیه مدیاستن قرار دارد. فضای مدیاستن (میان سینه ای) در قفسه سینه بین دو ریه واقع شده و قسمت عمده این فضا به وسیله قلب، شریانها و وریدهای بزرگی که از قلب شروع و به قلب منتهی می شود اشغال شده است.

از نظر آناتومیک، قلب در مدیاستن، در پشت استخوان جناق، جلوی مری و ستون مهره ها، و روی پرده دیافراگم قرار دارد. قلب در فضای مدیاستن طوری قرار گرفته که نسبت به خط میانی بدن حدود $\frac{2}{3}$ آن در سمت چپ و $\frac{1}{3}$ آن در سمت راست قرار گرفته است. قلب به صورت مخروطی شکل می باشد و در داخل قفسه سینه طوری چرخیده که دیواره بطن راست در قسمت جلو و دیواره بطن چپ در قسمت پهلو و عقب قرار گرفته، و حدود قلب به طرف جلو، پایین، و سمت چپ می باشد به طوری که نوک آن بطرف پایین و قاعده آن در بالاست (شکل ۱-۱).



شکل ۱-۱ نمایی از قرار گیری قلب در فضای مدیاستن

قلب به اندازه مشت بسته هر فرد می باشد و حدود ۳۰۰ گرم وزن دارد. اندازه و وزن قلب با توجه به سن، جنس، وزن بدن، بیماری، و غیره در افراد مختلف متفاوت می باشد.

دیواره قلب از سه لایه آندوکارد^۱، میوکارد^۲، و اپیکارد^۳ تشکیل شده است. آندوکارد داخلی ترین لایه دیواره قلب است که از بافت آندوتلیال پوشیده شده است. این لایه سطح داخلی قلب و دریچه ها را می پوشاند. میوکارد، لایه وسطی دیواره قلب بوده که از فیبرهای عضلانی تشکیل شده و مسئول پمپاژ قلب می باشد. اپیکارد، خارجی ترین لایه دیواره قلب می باشد. قلب از خارج بوسیله یک کیسه فیبری نازک به نام پریکارد پوشیده شده است. پریکارد شامل دو لایه احشایی و جانبی می-باشد. پریکارد احشایی به لایه اپیکارد دیواره قلب می چسبد، پریکارد جداری یا قشری روی پریکارد احشایی قرار می گیرد. بین این دو لایه پریکارد را فضای پریکارد می گویند که حاوی حدود ۲۰-۱۰ میلی لیتر مایع می باشد. این مایع با مرطوب نمودن سطوح پریکارد و قلب سبب کاهش اصطکاک بین دو لایه پریکارد در حین فعالیت و ضربان قلب می شود. عمل قلب، پمپاژ خون اکسیژن دار به سیستم شریانی، خون رسانی به سلول ها، جمع آوری خون فاقد اکسیژن از سیستم وریدی و تخلیه آن به ریه ها برای گرفتن اکسیژن می باشد.

۱-۱-۱ حفرات قلب

قلب دارای دو بخش راست و چپ می باشد. در مجموع قلب دارای چهار حفره می باشد که سیستم پمپاژ قلب را تشکیل می دهند. دیواره مشترک بین حفرات راست و چپ قلب، سپتوم نامیده می شود.

قلب راست از دهلیز و بطن راست تشکیل شده است که خون کم اکسیژن را به داخل ریه ها برای اکسیژن گیری مجدد پمپاژ می کند. دهلیز راست خون بازگشتی از بدن را از دو رگ مهم دریافت می کند. یکی ورید اجوف فوقانی^۴ است که خون سر و گردن و اندام فوقانی، و دیگری ورید اجوف تحتانی^۵ است که خون اندام تحتانی و تنه را به قلب باز می گرداند. همچنین گردش خون عروق کرونری از راه سینوس کرونر به دهلیز راست ریخته می شود. قلب چپ از دهلیز چپ و بطن چپ تشکیل شده است که وظیفه آن پمپاژ خون سرشار از اکسیژن به داخل آئورت و گردش خون سیستمیک است. دهلیز چپ خون اکسیژن دار را از گردش خون ریوی از طریق ورید های ریوی دریافت می کند.

ضخامت هر یک از حفرات چهارگانه قلب متناسب با فعالیت آنها می باشد. دهلیز ها دارای دیواره نازک می باشند زیرا خون بازگشتی به هر دو دهلیز دارای فشار کمی است، در عوض دیواره عضلانی بطن دارای ضخامت بیشتری است زیرا باید محتمل

¹ Endocard

² Myocard

³ Epicard

⁴ Superior Vena Cava

⁵ Inferior Vena Cava

فشار زیادی در هنگام سیستول بشود. بطن چپ خون را در مقابل فشار سیستولیک بالا (120 mmHg) تخلیه می کند، در حالیکه بطن راست، خون درون خود را به داخل سیستم عروقی کم فشار ریوی (حدود 25mmHg) تخلیه می کند. بنابراین ضخامت جدار بطن چپ بدلیل کار بیشتر قلب چپ (با ضخامت حدود 1cm) تقریباً ۲/۵ برابر ضخامت جدار بطن راست است. به دلیل چرخش قلب در قفسه سینه، بطن راست در جلو (بلافاصله زیر استخوان جناق) و بطن چپ در عقب قرار می گیرد. ضربان نوک قلب یا نقطه حداکثر ضربان قلب (PMI)^۱ مربوط به بطن چپ است که معمولاً در سمت چپ قفسه سینه می توان آن را مشاهده کرد.

۱-۱-۲ دریچه های قلب

دریچه های قلب طوری عمل می کنند که خون فقط در یک جهت جریان پیدا می کند. دریچه های قلب از برگه های نازک بافت فیبری تشکیل شده اند و در پاسخ به تغییرات فشار و حرکت خون، بطور غیرفعال باز و بسته می شوند. وقتی این دریچه ها باز می شوند خون از دهلیز به بطن ها و از بطن ها به شریانهای مربوطه جریان می یابد. وقتی این دریچه ها بسته می شوند از بازگشت خون به حفرات قلب جلوگیری می شود. دریچه های قلب به دو نوع زیر می باشد:

۱. دریچه های دهلیزی بطنی: این دریچه ها بطن ها را از دهلیز جدا می کنند. دریچه تریکوسپید از سه لت

(کاسپ یا برگه) تشکیل شده و دهلیز راست را از بطن راست مجزا می کنند. دریچه میترا ل یا دریچه دولتی (کاسپ یا

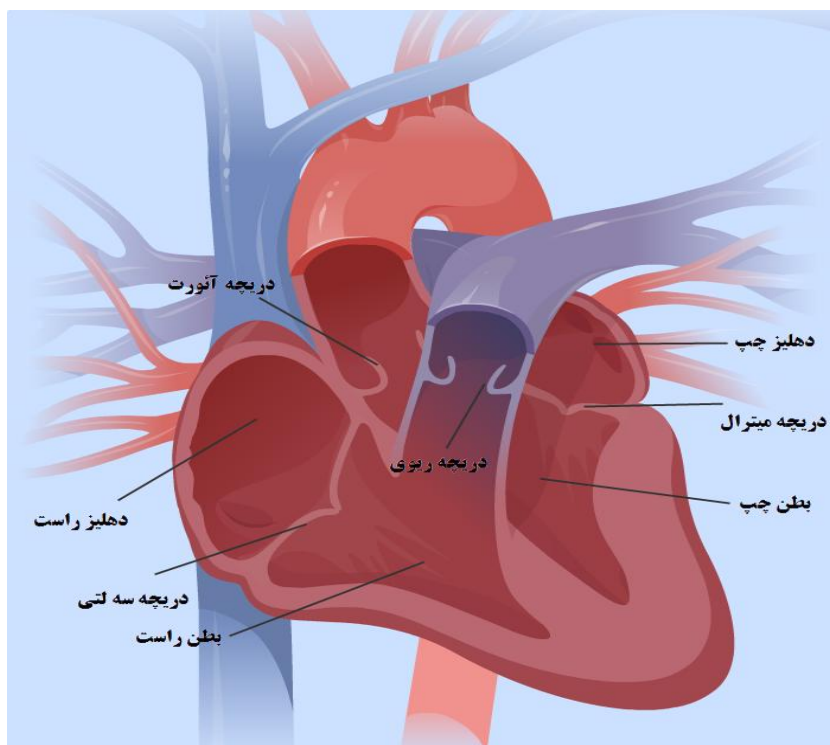
برگه) بین دو دهلیز و بطن چپ قرار دارد.

۲. دریچه های هلالی: این دریچه ها بین بطن ها و سرخرگهای مربوطه قرار دارند. دریچه بین بطن راست و

سرخرگ ریوی را دریچه پولمونری (ریوی) گفته، و دریچه بین بطن چپ و آئورت را دریچه آئورتی می نامند. هر دو

این دریچه ها دارای سه لت (کاسپ) می باشند (شکل ۱-۲).

¹ Point Maxical Impulse

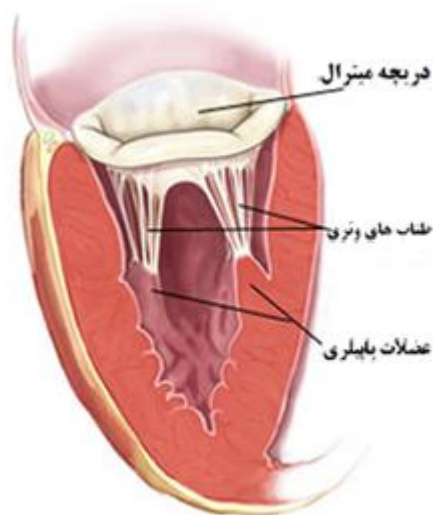


شکل ۱-۲ حفرات و دریچه های قلب

۱-۱-۳ عضلات پاپیلری و طنابهای وتری

عضلات پاپیلری و طنابهای وتری، دریچه های دهلیزی بطنی را در حین سیستول و دیاستول در موقعیت مناسب نگه می-دارند. در حالت طبیعی هنگامی که بطن منقبض می شود، فشار بطنی لتهای دریچه دهلیزی بطنی را به سمت حفره دهلیز می-راند. اگر فشار زیاد باشد، خون از بطن بداخل دهلیز تخلیه می شود. وظیفه حفظ جریان خون یکطرفه (از طرف بطن ها به دهلیزها) از خلال دریچه های دهلیزی بطنی به عهده عضلات پاپیلری و طنابهای وتری است.

عضلات پاپیلری، ستونهای گوشتی هستند که در طرفین جدار بطنی قرار دارند. طنابهای وتری، رشته های فیبری هستند که از رأس عضلات پاپیلری تا لبه لتهای دریچه ای امتداد دارند و لبه های آزاد دریچه را به سمت جدار بطن می-کشند. انقباض عضلات پاپیلری باعث سفتی طنابهای وتری می شود. این عمل دریچه وتری بطنی را در هنگام سیستول بسته نگه می دارد و از جریان خون بطن به سمت عقب (به حفره دهلیز) جلوگیری می کند. دریچه های هلالی به عضلات پاپیلر و طنابهای وتری نیاز ندارند.



شکل ۱-۳ عضلات پاپیلری و طناب های وتری

۱-۱-۴ عضله قلب

قلب از سه نوع عضله تشکیل شده است که عبارتند از: (۱) عضله دهلیزی، (۲) عضله بطنی، (۳) رشته های عضلانی تخصص عمل یافته تحریکی و هدایتی (که سیستم هدایتی قلب را تشکیل می دهند) می باشد. این سه نوع عضله تفاوت هایی با هم دارند. عضله دهلیز و بطن از نظر ساختمانی شبیه به عضلات اسکلتی مخطط بوده که دارای میوفیبریل های حاوی فیلامانهای اکتین و میوزین بوده که در حین انقباض در هم فرو رفته و روی همدیگر می لغزند. فعالیت عضله قلب تحت کنترل ارادی نمی باشد. فیبرهای عضله قلب بصورت شبکه هستند بطوریکه تقسیم می شوند، به هم متصل شده، و مجدداً تقسیم می شوند. از آنجایی که این نواحی اتصال سلولها قابل نفوذ نسبت به انتشار یونها می باشد لذا پتانسیل عمل یک سلول به راحتی به سلول های دیگر منتقل می شود و شبیه سنسیتوم^۱ عمل می کنند. در این حالت وقتی یک سلول تحریک می شود این تحریک سریعاً به سلولهای دیگر منتقل شده و سبب می شود که عضله قلب مانند یک واحد عمل نموده و بطور هماهنگ با هم منقبض و منبسط شود.

قلب از دو سنسیتوم عملی جداگانه دهلیزی و بطنی تشکیل شده است. این دو سنسیتوم توسط بافت فیبری اطراف دریچه ها از هم جدا می شوند. این بافت فیبری مانع هدایت پتانسیل عمل از عضله دهلیز به عضله بطنی می گردد. در حالت طبیعی، پتانسیل عمل تنها از راه سیستم هدایتی دهلیز بطنی از دهلیز به بطن منتقل می شود.

عضله قلب به علت فعالیت زیاد نیازمند یک منبع بسیار زیاد انرژی می باشد لذا عضله قلب نسبت به عضله معمولی دارای تعداد بسیار زیادتر میتوکندری می باشد.

¹ Syncytium

۱-۱-۵ گردش خون قلب

عضله قلبی نیاز به اکسیژن رسانی فراوان برای برآوردن نیازهای متابولیک دارد بطوریکه عضله قلب در حدود ۶۵٪ از اکسیژن موجود در سرخرگ کرونر را مصرف می کند در حالی که سایر بافتهای بدن حداکثر ۲۵٪ اکسیژن موجود در خون سرخرگ مربوطه را مصرف می نمایند. همچنین برعکس بافتهای دیگر بدن، ۷۵٪ خون میوکارد در مرحله استراحت قلب یا دیاستول تأمین می شود.

شریانهای کرونری (راست و چپ) وظیفه خون رسانی میوکارد را بر عهده دارند. شریانهای کرونری از شریان آئورت (درست در بالای دریچه آئورت) منشعب شده، میوکارد را سوراخ نموده و وارد عضله قلب می شود.

شریان کرونر چپ پس از منشعب شدن از آئورت قسمت کوتاهی را بنام ساقه اصلی^۱ چپ را تشکیل می دهد که در قسمت پروگزیمال انشعابی ندارد ولی در قسمت دیستال به دو شاخه نزولی قدامی چپ (LAD)^۲ و شریان سیرکومفلکس (CA)^۳ تقسیم می شود. شریان نزولی قدامی چپ وارد شیار بطنی قدامی می شود که جریان خون میوکارد بطن چپ، سپتوم، عضله پاپیلر قدامی، و قسمتهایی از بطن راست را تأمین می کند. شریان سیرکومفلکس چپ در جهت مخالف از شاخه اصلی کرونر چپ جدا می شود و زاویه ای ۹۰ درجه با آن می سازد. این شریان جریان خون قسمت اعظم دهلیز چپ و قسمت طرفی بطن چپ و قسمتی از دیواره خلفی بطن چپ را تأمین می کند.

شریان کرونر راست پس از جدا شدن از شریان آئورت بدخل شیار دهلیزی بطنی قدامی راست وارد می شود و از آنجا وارد شیار دهلیزی بطنی خلفی می شود. این شریان جریان خون دیواره بطن راست، و دیواره خلفی و تحتانی قلب را تأمین می کند.

گره SA در ۵۵٪ افراد توسط شاخه ای از شریان کرونر راست و در ۴۵٪ افراد از شریان کرونر چپ خون رسانی می شود. گره AV در ۸۵-۹۰ درصد افراد توسط شریان کرونر راست و در ۱۵-۱۰ درصد افراد از شریان کرونر چپ خون رسانی می شود. سپتوم بین دو بطن توسط شاخه های شریان کرونر راست و چپ خون رسانی می شود. عضله پاپیلر قدامی از شریان کرونر چپ و عضله پاپیلر خلفی از هر دو شاخه شریان کرونر خون می گیرد.

¹ Main Stem

² Left Anterior Descending

³ Circumflex Artery