

فیزیولوژی ورزشی قلب و عروق پیشرفته

ویرایش دوم

دنيس ال اسميت، بو فرنهال

مترجمان

دکتر مهرزاد مقدسی

دانشیار فیزیولوژی ورزشی
و عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز

فروغ مصلحیان

دانشجوی دوره دکتری فیزیولوژی ورزشی
دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز

مژگان حاصلی

دانشجوی دوره دکتری فیزیولوژی ورزشی
دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز

ویراستار علمی:

دکتر مهرزاد مقدسی

فهرست

بخش اول: فیزیولوژی قلب و عروق.....	۱۰
فصل اول: مبانی سیستم قلب و عروق	۱۱
اجزای تشکیل دهنده سیستم قلب و عروق.....	۱۴
پاسخ‌های قلبی عروقی به فعالیت ورزشی.....	۲۰
جمع‌بندی	۲۱
فصل دوم: قلب به عنوان یک پمپ	۲۲
آناتومی کلی قلب	۲۲
دوره قلبی	۲۵
حلقه فشار- حجم بطن	۲۷
برون‌ده قلب	۲۹
توزیع برون‌ده قلب.....	۳۳
تأمین خون عروق کرونر	۳۵
اندازه‌گیری ساختار و عملکرد قلب	۳۸
جمع‌بندی	۴۳
فصل سوم: میوسیت‌های قلب	۴۴
آناتومی میکروسکوپی میوسیت‌های قلب.....	۴۵
واکنش همزمانی تحریک- انقباض	۵۰
مکانیسم‌های انقباض	۵۱
نیازهای متابولیک	۵۴
جمع‌بندی	۵۵
فصل چهارم: فعالیت الکتریکی قلب	۵۷
مبنای یونی فعالیت الکتریکی.....	۵۷
پتانسیل غشاء در حالت استراحت	۵۸
پتانسیل عمل	۵۸
سیستم هدایت قلب	۶۲
خودریتمی سلول‌های هدایت کننده	۶۴
گروه مولد ضربان قلب	۶۵
کنترل ضربان قلب	۶۶
مکانیسم‌های کنترل ضربان قلب به واسطه مغز و گیرنده	۶۸

۷۰	تغییرپذیری ضربان قلب
۷۴	جمع‌بندی
۷۶	فصل پنجم: الکتروکاردیوگرام
۷۶	ردیابی نوار قلب
۷۹	اندازه‌گیری نوار قلب
۸۳	اندازه‌گیری ضربان قلب.....
۸۵	ریتم‌های قلب
۹۰	انسداد در سیستم هدایت کننده قلب
۹۴	هایپرتروفی بطن
۹۵	تغییرات قطعه ST (ایسکمی).....
۹۷	انفارکتوس میوکارد.....
۹۹	ملاحظات تست
۹۹	تغییرات رایج ECG در ورزشکاران
۱۰۰	جمع‌بندی
۱۰۲	فصل ششم: همودینامیک و گردش خون محیطی
۱۰۲	اختلاف فشار
۱۰۴	سرعت جریان
۱۰۴	قانون پوآزی
۱۰۸	جریان خون
۱۱۱	فشار خون شریانی
۱۱۳	موج نبض و امواج بازتابی
۱۱۶	کنترل انقباض و اتساع عروق
۱۲۲	کنترل بازتابی فشار خون و تنگ و گشاد شدن عروق.....
۱۲۵	اندازه‌گیری فشار خون و تجزیه و تحلیل امواج نبض
۱۲۹	جمع‌بندی
۱۳۱	فصل هفتم: ساختار و عملکرد عروق
۱۳۲	ساختار عروق خونی.....
۱۳۴	شبکه عروقی.....
۱۳۵	اندوتلیوم
۱۳۶	ساختار اندوتلیال
۱۴۰	تنظیم تون عروقی توسط اندوتلیوم

۱۴۷	..... مکانیسم‌های استراحت
۱۵۱	..... جمع‌بندی
۱۵۲	..... فصل هشتم: هموستاز: انعقاد و فیبرینولیز
۱۵۷	..... پلاکت‌ها
۱۶۱	..... انعقاد
۱۶۳	..... مسیر بیرونی (عامل بافتی)
۱۶۵	..... فیبرینولیز - انحلال لخته
۱۶۶	..... COVID-19 و رویدادهای ترومبوتیک حاد
۱۶۷	..... ارزیابی هموستاز
۱۶۸	..... جمع‌بندی
۱۷۰	..... بخش دوم: فیزیولوژی ورزشی
۱۷۱	..... فصل نهم: پاسخ‌های قلبی-عروقی به ورزش‌های هوازی حاد
۱۷۱	..... پاسخ‌های قلبی
۱۷۸	..... پاسخ‌های عروقی
۱۹۷	..... پاسخ‌های هموستاتیک
۲۰۳	..... جمع‌بندی
۲۰۵	..... فصل دهم: سازگاری‌های قلبی-عروقی با ورزش‌های هوازی
۲۰۵	..... سازگاری‌های قلبی
۲۱۶	..... سازگاری‌های عروقی
۲۳۱	..... سازگاری‌های هموستاتیک
۲۳۵	..... جمع‌بندی
۲۳۷	..... فصل یازدهم: پاسخ‌های قلبی-عروقی به ورزش‌های مقاومتی حاد
۲۳۸	..... پاسخ‌های قلبی
۲۴۵	..... پاسخ‌های عروقی
۲۵۷	..... حجم خون
۲۶۰	..... جمع‌بندی
۲۶۱	..... فصل دوازدهم: سازگاری‌های قلبی-عروقی با تمرینات مقاومتی
۲۶۱	..... سازگاری‌های قلبی
۲۶۹	..... عملکرد عروقی
۲۷۶	..... سازگاری‌های هموستاتیک با تمرینات مقاومتی
۲۷۷	..... جمع‌بندی

سیستم قلبی - عروقی می‌تواند به محرک‌های محیطی پاسخ‌هایی در همان لحظه و یا در طولانی مدت داشته باشد. افزایش ضربان قلب، افزایش برون‌ده قلب و تغییر قطر عروق ممکن است در پاسخ به تحریکاتی همچون شرایط استرس‌زا و فعالیت بدنی به سرعت رخ دهد. برخی از تغییرات سیستم قلبی - عروقی نیز ممکن است لحظه‌ای نبوده و به دلیل برخورد با محرک‌ها برای مدت طولانی ایجاد شده باشد. کاهش قطر عروق کرونر بر اثر تشکیل پلاک پلاکتی یا رسوب چربی‌ها نمونه‌ای از این پاسخ‌ها هستند. از آنجا که تمرینات ورزشی مختلف محرک‌های متفاوتی را به دنبال دارند، لذا تأثیرپذیری سیستم قلب و عروق از تمرینات هوازی متمایز از تمرینات مقاومتی و تمرینات ترکیبی (هوازی و مقاومتی) است. هر کدام از این تمرینات می‌تواند اثرات کاملاً متفاوتی هم بر ساختار قلب، عروق و خون و هم بر مکانیسم عملکرد آنها داشته باشد. نویسندگان سعی کرده‌اند در فصول ابتدایی این کتاب توضیحات دقیقی از ساختار و عملکرد اجزاء سیستم قلب و عروق ارائه دهند و در بخش دوم کتاب پاسخ‌های آنی و طولانی مدت این سیستم نسبت به تمرینات ورزشی مختلف را بررسی کنند.

مطالب مندرج در این کتاب اطلاعات جدیدی را در اختیار دانشجویان تحصیلات تکمیلی و به خصوص دانشجویان دکتری فیزیولوژی ورزشی قرار می‌دهد و می‌تواند یک منبع درسی مناسب برای واحد سازگاری‌های قلبی عروقی نسبت به فعالیت ورزشی باشد. با مطالعه این کتاب متوجه خواهید شد برخی از سازگاری‌های سیستم قلبی - عروقی نسبت به فعالیت ورزشی که در متون گذشته معرفی شده بودند به چالش کشیده شده و افق جدیدی را پیش روی علاقه‌مندان این حوزه قرار می‌دهد. در این کتاب با جمع‌بندی مطالعات فراتحلیل‌تصوراتی که در مورد مباحثی همچون سوق قلبی - عروقی، هایپرتروفی درون‌گرا و برون‌گرا بر اثر تمرینات هوازی یا مقاومتی، اثرات مانور والسالوا و تغییرات فشار خون بر اثر تمرینات مقاومتی داشتیم مورد نقد قرار گرفته و برخی از آنها تعدیل شده است. از این رو پیشنهاد می‌شود با مطالعه این کتاب از آخرین اطلاعات در زمینه پاسخ قلب و عروق نسبت به تمرینات ورزشی آگاه شوید. بر خود لازم می‌دانم از خانم‌ها حاصلی و مصلحیان دانشجویان دوره دکتری فیزیولوژی ورزشی به دلیل مشارکت فعال در ترجمه این کتاب تشکر نموده و اطمینان دارم در آینده نزدیک خدمات شایانی به ارتقاء سطح دانش حوزه فیزیولوژی ورزشی خواهند کرد. کمی فی السابق از تمام اندیشمندان، اساتید و دانشجویان محترم درخواست دارم پس از مطالعه کتاب نظرات ارزشمند خود را با بنده حقیر در میان بگذارند.

مهرزاد مقدسی

بهار ۱۴۰۴

در چند دهه اخیر، پیشرفت‌های قابل توجهی در درک علمی ما از عملکرد سیستم قلبی-عروقی صورت گرفته که بسیاری از آنها در نتیجه تحقیقات علمی با هدف درک جنبه‌های سلولی و مولکولی سیستم قلبی-عروقی رخ داده است. علاوه بر درک بهتر مکانیسم‌های عملکرد قلب و عروق، در سال‌های اخیر تحقیقات گسترده‌ای صورت گرفته و درک ما نیز از چگونگی تأثیر ورزش بر سیستم قلبی-عروقی افزایش یافته است. این تلاش‌های تحقیقاتی منجر به درک بهتر مکانیسم‌هایی شده است که به واسطه آنها فعالیت ورزشی از قلب محافظت می‌کند. بنابراین، هدف این کتاب ارائه یک منبع واحد است که (۱) توضیحی واضح و مختصر از هر یک از اجزاء سیستم قلبی-عروقی یعنی قلب، عروق و خون ارائه می‌کند و (۲) به طور سیستماتیک اثرات ورزش حاد (هوازی و مقاومتی) و تمرینات ورزشی مزمن (هوازی و مقاومتی) را بر هر یک از اجزاء سیستم شرح می‌دهد. از دیگر اهداف این کتاب، برجسته کردن تعامل پیچیده اجزاء سیستم قلبی-عروقی در حالت استراحت و حین تمرین است. این کتاب بر آخرین تحقیقات علمی و پزشکی برای توصیف عملکرد فیزیولوژیکی، پاسخ‌های ورزشی و سازگاری‌ها تمرکز دارد. متن کتاب به شکلی غنی با شکل‌هایی برای روشن کردن مکانیسم‌های فیزیولوژیکی نشان داده شده است. تصاویر گرافیکی به طور گسترده برای انتقال اطلاعات علمی و به تصویر کشیدن پاسخ‌ها و سازگاری‌های تمرینی ارائه شده است. اگرچه این کتاب عمدتاً برای دانشجویان تحصیلات تکمیلی در نظر گرفته شده است که در حال مطالعه اثرات ورزش بر سیستم قلبی عروقی هستند، متخصصان مراقبت‌های بهداشتی و پزشکان نیز از این مجموعه تحقیقاتی که اثرات بی‌شمار ورزش را بر این سیستم ارائه می‌کند، می‌توانند بهره‌مند شوند. در کتاب حاضر، توجه ویژه‌ای به اثرات مفید فعالیت ورزشی بر اجزای مختلف سیستم قلبی-عروقی و مکانیسم‌هایی که ورزش منظم به واسطه آنها از قلب محافظت می‌کند، شده است. فرض بر این است که خوانندگان این کتاب دروس پایه آناتومی، فیزیولوژی و فیزیولوژی ورزشی را گذرانده باشند.

این کتاب چگونه سازماندهی شده است

این کتاب به دو بخش تقسیم شده است: بخش اول عمدتاً به توصیف ساختار و عملکرد سیستم قلبی-عروقی اختصاص دارد و بخش دوم به جزئیات اثرات فعالیت ورزشی بر این سیستم می‌پردازد. بخش اول بر فیزیولوژی قلب و عروق متمرکز است و شرح مختصری از ساختار و عملکرد هر یک از اجزای سیستم قلبی-عروقی - یعنی قلب، عروق و خون - ارائه می‌دهد. فصل اول، یک فصل یکپارچه در مورد عملکرد طبیعی سیستم قلبی-عروقی است که مفاهیم پایه و اساسی نظری را برای مباحث بعدی ارائه کرده و بر نحوه عملکرد اجزای مختلف سیستم قلبی-عروقی و ارتباط آنها با یکدیگر هنگام استراحت و حین فعالیت تأکید دارد. فصل دوم، قلب را به عنوان یک پمپ معرفی می‌کند و بر نقش قلب در رساندن خون سرشار از اکسیژن به بدن و همچنین نیاز به تنظیم برون‌ده قلب برای مطابقت با نیازهای متابولیکی بدن تأکید می‌کند. فصل سوم، ساختار و عملکرد سلول‌های میوکارد - میوسیت‌ها - که در نهایت مسئول تولید نیروی انقباضی قلب هستند را توضیح می‌دهد. فصل چهارم به فعالیت الکتریکی قلب یعنی سیستم هدایت تخصصی قلب و فعالیت الکتریکی در میوسیت‌ها می‌پردازد. فصل پنجم به تشریح الکتروکاردیوگرام طبیعی (ECG) پرداخته و رابطه بالینی بین فعالیت الکتریکی قلب و شکل موج‌های قابل مشاهده در ECG را توضیح می‌دهد. فصل ششم به تشریح عملکرد عروق می‌پردازد و در مورد موضوعات مهم همودینامیک به طور کلی و تنظیم جریان و فشار خون به طور خاص بحث می‌کند. فصل هفتم به علم نسبتاً جدید زیست‌شناسی عروق می‌پردازد و جزئیات ساختار و عملکرد اندوتلیوم و عضلات صاف عروق را بررسی می‌کند. این فصل به شدت بر اکتشافات نسبتاً اخیر تمرکز داشته تا توضیح دهد چگونه مواد آزاد شده توسط اندوتلیوم می‌توانند قطر عروق و در نهایت جریان خون را کنترل کنند. فصل هشتم عملکرد هموستاتیک خون، عملکرد پلاکت، انعقاد و فیبرینولیز [تجزیه لخته] را شرح می‌دهد. این فصل بر تعادل ظریفی که باید بین انعقاد و فیبرینولیز حفظ شود تا از لخته شدن غیرضروری خون جلوگیری گردد و همزمان قادر به جلوگیری از دست دادن خون هنگام آسیب دیدگی رگ باشد، تأکید می‌کند.

بخش دوم کتاب به طور سیستماتیک به تشریح تأثیر فعالیت ورزشی بر سیستم قلبی-عروقی - از جمله پاسخ حاد و سازگاری مزمن با تمرینات هوازی و مقاومتی می‌پردازد. فصل نهم به بررسی اثرات ورزش هوازی حاد بر عملکرد قلب، عملکرد عروق و متغیرهای هموستاتیک می‌پردازد. فصل دهم اثر تمرینات هوازی طولانی مدت منظم را بر ساختار و عملکرد قلب، ساختار و عملکرد عروق و متغیرهای هموستاتیک معرفی می‌کند. با پیروی از همین الگو، فصل یازدهم اثر یک دوره تمرین مقاومتی حاد بر عملکرد قلب، ساختار و عملکرد عروق و متغیرهای هموستاتیک را توصیف می‌کند. در نهایت، فصل دوازدهم اثر برنامه‌های تمرینی مقاومتی طولانی مدت منظم را بر ساختار و عملکرد قلب، ساختار و عملکرد عروق و متغیرهای هموستاتیک مشخص می‌کند.

تشکر و قدردانی

افراد زیادی هستند که در تألیف این کتاب کمک کردند و ما مدیون همه آنها هستیم، اما به چند مورد اشاره ویژه‌ای لازم است. تهیه‌کننده کتاب حاضر، ایمی توکو، ما را تشویق کرد که ویرایش دوم کتاب را آغاز کنیم و پشتیبانی ثابت در طول آماده‌سازی نسخه خطی این کتاب بود. ایده‌پرداز ما، جودی پارک، با دیدگاه ما هماهنگ بود و بر سازماندهی و جزئیات لازم برای تکمیل نسخه خطی تمرکز داشت. بحث و گفتگو با تام رولند به شکل‌گیری تفکر ما در مکان‌های مختلف کمک کرد، و او با مهربانی به عنوان داور چندین فصل عمل کرد. هانا سگرو در تهیه نسخه اول بسیار کمک کرد؛ مهارت‌های او نسخه خطی را تقویت کرد و شوخ‌طبعی او پروژه را بسیار سرگرم‌کننده‌تر نمود. دانیل ویگمور و دن دروری در تهیه پیش‌نویس فصل‌های نسخه اول با ما همکاری کردند و ما از آنها به خاطر مشارکتشان تشکر می‌کنیم. وسلی لغرتس عکس‌های کلیدی را برای کمک به توضیح متن برای ویرایش دوم تهیه کرد و ما از کمک او سپاس‌گزاریم.

می‌خواهیم نقش دانشجویانمان را در سوق دادن ما به ایجاد یک رویکرد منطقی در درک اجزای پیچیده سیستم قلبی-عروقی و اثرات فعالیت ورزشی بر این مؤلفه‌های مختلف تصدیق کنیم. علاوه بر این، ما با قدردانی از نقش محوری دانشجویانمان در ارائه الهام و انگیزه برای پیگیری وظیفه دلهره‌آور نگارش این کتاب آگاه هستیم. در پایان، مایلیم از خانواده‌هایمان برای حمایت و تشویق بی‌دریغشان در طول روند طولانی آماده‌سازی این کتاب تشکر کنیم، روندی که ما را بیش از آنچه دوست داشتیم از آنها دور نگه داشت.

بخش اول:

فیزیولوژی قلب و عروق

سیستم قلبی - عروقی از قلب، عروق و خون تشکیل شده است. سیستم قلبی - عروقی به فعالیت ورزشی به شکلی پیچیده و یکپارچه پاسخ داده و به آن اجازه می‌دهد تا نیازهای متابولیکی عضلات فعال را برآورده کرده، سطوح مورد نیاز هموستاز را برای عملکرد بدن حفظ کند و به تهدیدات بالقوه بدن پاسخ دهد. بخش اول توضیح مختصری از ساختار و عملکرد هر یک از اجزای سیستم قلبی - عروقی (قلب، رگ‌ها و خون) ارائه می‌کند و تأکید قابل توجهی بر نحوه عملکرد سلول‌های اندام‌ها و نحوه کنترل عملکرد آنها دارد. بخش دوم کتاب توضیح می‌دهد که چگونه اجزای سیستم قلبی - عروقی به طور یکپارچه به ورزش‌های هوازی و مقاومتی پاسخ می‌دهند. شایسته است که پاسخ یکپارچه به استرس ناشی از ورزش را در کل هر فصل از بخش اول کتاب در ذهن داشته باشید.

فصل اول

مبانی سیستم قلب و عروق

اهداف یادگیری

- آناتومی قلب را توضیح دهید.
- مسیر خون را از طریق گردش خون ریوی شرح دهید.
- گردش خون عمومی، گردش خون قلب و همچنین تغییرات غلظت اکسیژن خون از طریق سیستم گردش خون را توضیح دهید.
- $VO_2 \max$ و ارتباط آن با برون‌ده قلبی را شرح دهید.
- سه نوع سرخرگ و سه نوع عروق را نام برده و خصوصیات ساختاری آنها را شرح دهید.
- توضیح دهید که چگونه تغییرات ساختاری در دیواره رگ‌ها به عملکرد آنها کمک می‌کند.
- اجزای مختلف خون و نسبت آنها با یکدیگر را مشخص کنید.
- عناصر تشکیل شده خون و نقش آنها در سیستم قلبی-عروقی را شرح دهید.

سیستم قلبی و عروق انسان یک سیستم شگفت‌انگیز است که صدها سال باعث حیرت و برانگیختن تحقیقات جدی در میان پزشکان و محققان شده است. در زمان‌های قدیم قلب به عنوان جایگاه احساسات ما تلقی می‌شد و حتی امروزه نیز تصویر قلب با مفهوم احساسات عاطفی گره خورده است. در سال ۱۶۲۸، ویلیام هاروی پیشنهاد کرد که قلب از طریق یک مسیر عروقی بسته، خون را به حرکت در می‌آورد. امروزه، هر دانش‌آموز دبیرستانی درک ساده‌ای از نقش سیستم قلبی-عروقی در حفظ زندگی دارد. با این وجود، محققان هر روز به اکتشافات جدید هیجان‌انگیزی در مورد سیستم قلبی-عروقی ادامه می‌دهند و اکتشافات اخیر عمدتاً بر جنبه‌های سلولی و مولکولی عملکرد قلب و عروق متمرکز شده است.

سیستم قلبی-عروقی یک سیستم پیچیده است که با چندین سیستم فیزیولوژیکی دیگر به روشی یکپارچه همکاری می‌کند. سیستم قلبی-عروقی از سه جزء مرتبط با هم تشکیل شده است: قلب، عروق و خون. این اجزاء در کنار یکدیگر، عملکرد اساسی سیستم قلبی-عروقی یعنی رساندن اکسیژن و مواد مغذی به سلول‌های بدن و دفع مواد زائد از سلول‌ها را ایجاد می‌کنند. سیستم قلبی-عروقی عملکردهای متعددی را انجام می‌دهد که ممکن است به چند دسته عمده طبقه بندی شود و گاهی اوقات همپوشانی دسته‌ها به شرح زیر است:

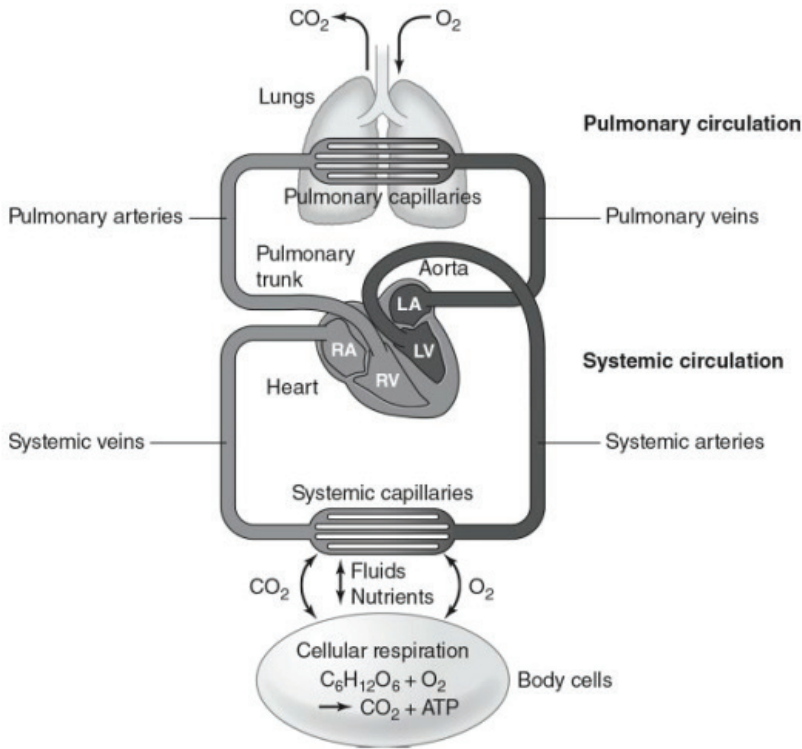
۱. حمل و نقل و تحویل

▪ انتقال و تبادل گازهای تنفسی (اکسیژن و دی‌اکسید کربن)

- انتقال و تبادل مواد مغذی و مواد زائد
- انتقال هورمون‌ها و سایر پیام رسان‌های شیمیایی
- ۲. تنظیم همئوستاز
- تعادل مایعات بین قسمت‌های مختلف
- حفظ تعادل pH
- حفظ تعادل حرارتی
- تنظیم فشار خون
- ۳. حفاظت

- پیشگیری از از دست دادن خون به واسطه مکانیسم‌های هموستاتیک
- پیشگیری از عفونت از طریق گلبول‌های سفید و بافت لنفاوی

این عملکردهای اساسی به دلیل روابط عملکردی نزدیک بین سیستم قلبی-عروقی و سایر سیستم‌های اصلی بدن، به ویژه سیستم‌های عصبی، تنفسی، غدد درون‌ریز، ایمنی، گوارشی، ادراری، اسکلتی و پوششی به دست می‌آیند. همانطور که در شکل ۱,۱ مشاهده می‌شود، قلب خون را از طریق گردش خون ریوی و گردش خون عمومی به جریان می‌اندازد. گردش خون ریوی، خون تا حدی بدون اکسیژن را از بطن راست به مویرگ‌های ریوی - جایی که اکسیژن‌دار می‌شود رسانده و سپس به دهلیز چپ باز می‌گردد. گردش خون ریوی بیانگر ارتباط متقابل مهم بین سیستم قلبی-عروقی و سیستم تنفسی است. به طور خلاصه، سیستم تنفسی وظیفه رساندن اکسیژن به کیسه‌های هوایی را بر عهده دارد. اکسیژن از طریق مویرگ‌های خونی با دیواره نازک به خون پخش می‌شود و سپس قلب نیرویی را برای توزیع خون اکسیژن‌دار به سلول‌های بدن فراهم می‌کند. به همین ترتیب، سیستم قلبی-عروقی دی‌اکسیدکربنی را که در سطح سلولی تولید می‌شود به مویرگ‌های ریوی می‌رساند و در آنجا به ریه‌ها منتشر می‌شود تا از طریق بازدم خارج شود. گردش خون عمومی، خون را در تمام سیستم‌ها و بافت‌های اصلی بدن توزیع کرده و به طور گسترده با سایر سیستم‌های بدن، به ویژه سیستم‌های گوارشی، ادراری و پوششی برای انجام وظایف اصلی سیستم قلبی-عروقی و پشتیبانی از عملکرد آن سیستم‌ها، تعامل دارد.

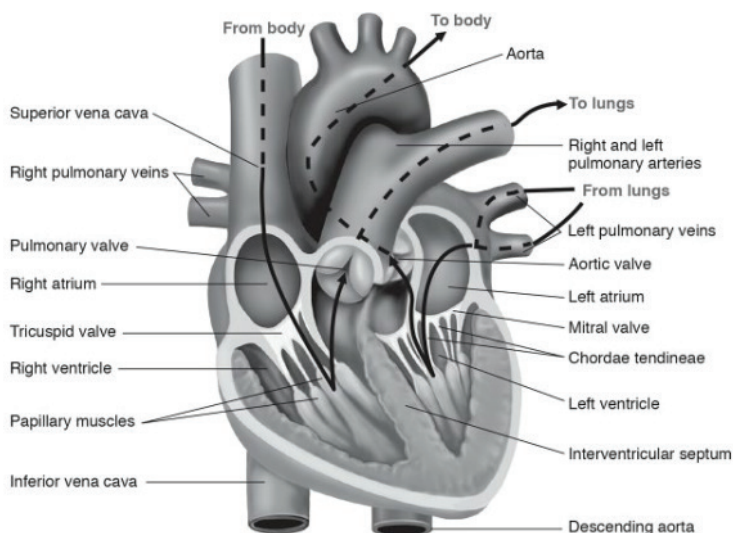


شکل ۱-۱. نمای کلی از گردش خون ریوی و عمومی. گردش خون ریوی، خون را به مویرگ‌های ریوی که کیسه‌های هوایی را احاطه کرده‌اند می‌رساند تا دی‌اکسیدکربن را دفع و اکسیژن را به هموگلوبین منتقل کند. گردش خون عمومی، خون اکسیژن‌دار را به مویرگ‌های عمومی می‌رساند تا اکسیژن را به سلول‌های بدن برساند و دی‌اکسیدکربن را از سلول‌های بدن دفع نماید.

سیستم قلبی-عروقی چندین نقش مهم در حفظ تعادل همئوستاز از جمله حفظ فشار خون کافی برای پرفیوژن بافت‌های بدن و در نتیجه تأمین سطح بهینه اکسیژن؛ حفظ تعادل pH در محدوده باریک؛ تنظیم حرارت از طریق تشکیل عرق (که از پلاسمای خون ناشی شده است) و از طریق افزایش جریان خون پوستی و تنظیم متابولیسمی به ویژه از نظر سطح گلوکز خون ایفا می‌کند. توانایی خون برای لخته شدن و جلوگیری از دست دادن خون هنگام آسیب دیدن رگ خونی یکی از ویژگی‌های مهم محافظتی سیستم قلبی-عروقی است. با این حال، ایجاد لخته‌های خون در مواقعی که نیازی به آنها نیست، می‌تواند چالش‌های تهدیدکننده‌ای برای زندگی ایجاد کند. اندوتلیوم عروقی در شرایط استراحت، یک محیط ضد ترومبوتیک تولید می‌کند اما زمانی که پوشش اندوتلیال مختل شود، می‌تواند به سرعت فعال گردد. گلبول‌های سفید به تنظیم پاسخ‌های ایمنی کمک می‌کنند و به طور گسترده با پروتئین‌های منتقل شده از خون برای کمک به پاسخ التهابی و محافظت در برابر مهاجمان خارجی تعامل دارند.

اجزای تشکیل دهنده سیستم قلب و عروق

این فصل به طور مختصر ساختار و عملکرد اجزای سیستم قلبی-عروقی را مرور می‌کند تا خواننده با تمام اجزای این سیستم برای دستیابی به عملکردهایی که بعداً توضیح داده خواهد شد، آشنا گردد. فصل‌های بعد ساختار و عملکرد هر جزء را با جزئیات بیشتری مورد بحث قرار خواهد داد و توضیح می‌دهد که چگونه هر جزء به استرس ناشی از تمرین پاسخ می‌دهد.



شکل ۱-۲. ساختار قلب. دریاچه‌ها نقش مهمی در تضمین جریان یکطرفه خون در قلب دارند.

قلب

سیستم قلبی-عروقی از قلب، عروق و خون تشکیل شده است. قلب به عنوان پمپ سیستم عمل کرده و نیروی انقباضی لازم برای توزیع خون در اندام‌های مختلف را فراهم می‌کند (شکل ۱-۲). نمایی از ساختار قلب را ارائه می‌دهد. دهلیزها به عنوان حفره‌های دریافت کننده خون عمل می‌کنند. دهلیز راست خون را از سیاهرگ اجوف فوقانی و تحتانی و دهلیز چپ خون اکسیژن‌دار را از سیاهرگ‌های ریوی دریافت می‌کنند. بطن راست خون را به ریه‌ها (گردش خون ریوی) پمپاژ می‌کند، در حالی که بطن چپ خون را به کل بدن پمپ می‌نماید (گردش خون عمومی). دیواره عضلانی قلب را میوکارد به معنی «عضله قلب» می‌نامند. عملکرد صحیح دریاچه‌ها، موجب جریان یک طرفه خون در قلب می‌شود. اگر چه قلب اندام نسبتاً کوچکی با وزن تقریبی ۳۰۰ تا ۳۵۰ گرم در بزرگسالان سالم است، اما حدود ۴ درصد از کل جریان خون حالت استراحت و حدود ۱۰ درصد از اکسیژن حالت استراحت را مصرف می‌کند.

برونده قلب مقدار خونی است که در هر دقیقه از بطن‌ها خارج می‌شود. این مقدار بیان‌گر توانایی قلب در پمپاژ خون برای تأمین نیازهای بدن در هر دقیقه است. برونده قلب از حاصل ضرب ضربان قلب (تعداد ضربان قلب در دقیقه) در حجم ضربه‌ای (مقدار خون خارج شده از قلب در هر ضربان) به دست می‌آید. در شرایط عادی و استراحت، برونده قلب تقریباً ۵ لیتر در دقیقه است که تا حد زیادی به اندازه بدن بستگی دارد؛ اما این



مقدار می‌تواند به سرعت تغییر کند تا نیازهای در حال تغییر بدن را برآورده نماید. به عنوان مثال، هنگام ورزش شدید، برون‌ده قلب ممکن است پنج تا هفت برابر افزایش یابد تا نیازهای متابولیک عضلات فعال را برآورده کند.

عروق

رگ‌ها مسئول توزیع خون و اکسیژن، مواد مغذی و مواد بسیار زیاد دیگری هستند که خون در سراسر بدن حمل می‌کند. شکل ۳,۱ نمایی کلی از سیستم گردش خون را ارائه می‌دهد. اگرچه گردش خون در بیشتر اندام‌ها به صورت موازی است، اما گردش خون توبول‌های کبد و کلیه به صورت سری و پشت سر هم هستند. توزیع نسبی خونی که به واسطه گردش خون تحویل داده می‌شود، به طور پیچیده توسط میزان انقباض یا اتساع سرخرگ‌هایی که خون اندام‌ها را تأمین می‌کنند، کنترل می‌گردد. درجه انقباض عضلات صاف به نوبه خود با کنترل بیرونی (نوروهورمونال) و موضعی (یعنی نیازهای متابولیکی بافت) تعیین می‌شود.

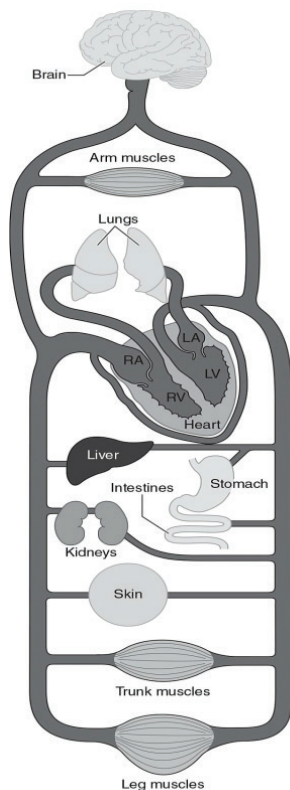
رگ‌ها تنها یک مجرای ساده نیستند، بلکه اندام‌های پویایی هستند که دائماً قطر خود را تغییر می‌دهند تا جریان خون را برای رفع نیازهای بافت متناسب سازند. علاوه بر این، دیواره رگ‌ها تعدادی واسطه شیمیایی آزاد می‌کند که در لخته شدن خون و پاسخ التهابی نقش دارند. درونی‌ترین لایه رگ‌های خونی یعنی اندوتلیوم، نقش مهمی در حرکت مواد بین فضای عروقی و بافت زیرین، تنظیم تون عروق (انقباض و اتساع عروق)، لخته شدن خون و فیبرینولیز، و پاسخ‌های التهابی ایفا می‌کند. بحران اخیر COVID-19 نقش‌های مختلف اندوتلیوم را برجسته کرده است زیرا بسیاری از اختلالات بالینی مرتبط با پیامدهای شدید، با واکنش‌های اندوتلیال از جمله انتشار سایتوکین‌های التهابی (طوفان سیتوکین)، افزایش نفوذپذیری منجر به احتقان در اندام‌های مختلف و افزایش پتانسیل انعقاد (میکروترومبی) همراه است. از آنجا که اندوتلیوم می‌تواند در هر اندامی تحت تأثیر قرار گیرد، نتایج بالینی متعددی می‌تواند با این اختلالات اندوتلیالی همراه باشد.

نکته کلیدی

سیستم قلبی-عروقی یک سیستم پیچیده متشکل از قلب، عروق و خون است که به ورزش پاسخ می‌دهد تا نیازهای متابولیکی عضلات فعال را برآورده سازد.

حداکثر اکسیژن مصرفی ($\dot{V}O_{2max}$)

حداکثر اکسیژن مصرفی ($\dot{V}O_{2max}$) معیار سنجش آمادگی جسمانی کلی هر فرد است. همچنین یک معیار عملکردی برای کل سیستم قلبی-عروقی به شمار می‌رود. حداکثر اکسیژن مصرفی نشان دهنده ظرفیت سیستم قلبی-عروقی در رساندن خون (و اکسیژن موجود در آن) به عضله فعال و توانایی آن عضله برای استفاده از اکسیژن تحویلی است. این امر مستلزم افزایش مقدار کل خون پمپاژ شده توسط قلب (افزایش برون‌ده قلب) و توزیع مجدد خون است به طوری که درصد بیشتری به عضله فعال و درصد کمتری به عضله غیرفعال و اندام‌هایی که در آن زمان به اکسیژن زیادی نیاز ندارند (به عنوان مثال کلیه و سیستم گوارش)، هدایت شود. برون‌ده قلب در حالت استراحت تقریباً ۵ لیتر در دقیقه است؛ در طول تمرین بیشینه ممکن است مقدار آن به بیش از ۳۰ لیتر در دقیقه افزایش یابد. این مقدار حاکی از اهمیت تطبیق برون‌ده قلب با نیاز بدن هنگام ورزش است. در حالت استراحت، تقریباً ۲۰ درصد برون‌ده قلب (یا ۱ لیتر در دقیقه) به عضلات اسکلتی اختصاص می‌یابد. حین تمرین بیشینه، حدود ۹۰ درصد برون‌ده قلب (یا ۲۷ لیتر در دقیقه) به سمت عضلات اسکلتی هدایت می‌شود.



شکل ۱-۳. نمایی کلی از سیستم قلبی-عروقی. گردش خون در اکثر اندام‌های بدن موازی اما در توپول‌های کبد و کلیه به صورت سری هستند.

سرعت و فشار خون در سیستم عروقی

شکل ۴،۱ از سرعت، فشار و مقاومت جریان خون در گردش خون عمومی و ارتباط آنها با سطح مقطع رگ را نشان می‌دهد. برای نمونه، آنورت (بزرگ‌ترین سرخرگ بدن) دارای سطح مقطع بزرگ‌تری نسبت به دیگر سرخرگ‌ها دارد. به همین ترتیب، سرخرگ‌ها سطح مقطع بزرگ‌تری نسبت به شریانچه‌ها و شریانچه‌ها سطح مقطع بزرگ‌تری نسبت به مویرگ‌ها دارند. با این حال، با توجه به انشعاب گسترده سیستم عروقی، مویرگ‌ها بیشترین سطح مقطع کل را دارند زیرا تعداد زیادی از آنها وجود دارد. سرعت خون در سرخرگ‌های بزرگ به دلیل نیروی انقباض بطنی و به دلیل اینکه آنها هنوز با مقاومت مواجه نشده‌اند، بیشترین است. فشار خون به دلیل دوره‌های متناوب انقباض میوکارد (سیستول) و استراحت (دیاستول) در سرخرگ‌های بزرگ دارای ضربان است. اگرچه فشار در بطن‌ها در طول دیاستول به صفر میلی‌متر جیوه کاهش می‌یابد، فشار در سرخرگ‌ها معمولاً به کمتر از ۷۰ میلی‌متر جیوه نمی‌رسد، زیرا فشاری در طول دیاستول بر اثر خاصیت ارتجاعی رگ‌ها ایجاد می‌شود که به آن اثر ویندکسل^۱ می‌گویند. با ورود خون به شریانچه‌ها (رگ‌های مقاوم)، فشار و سرعت خون به شدت

1. Windkessel effect