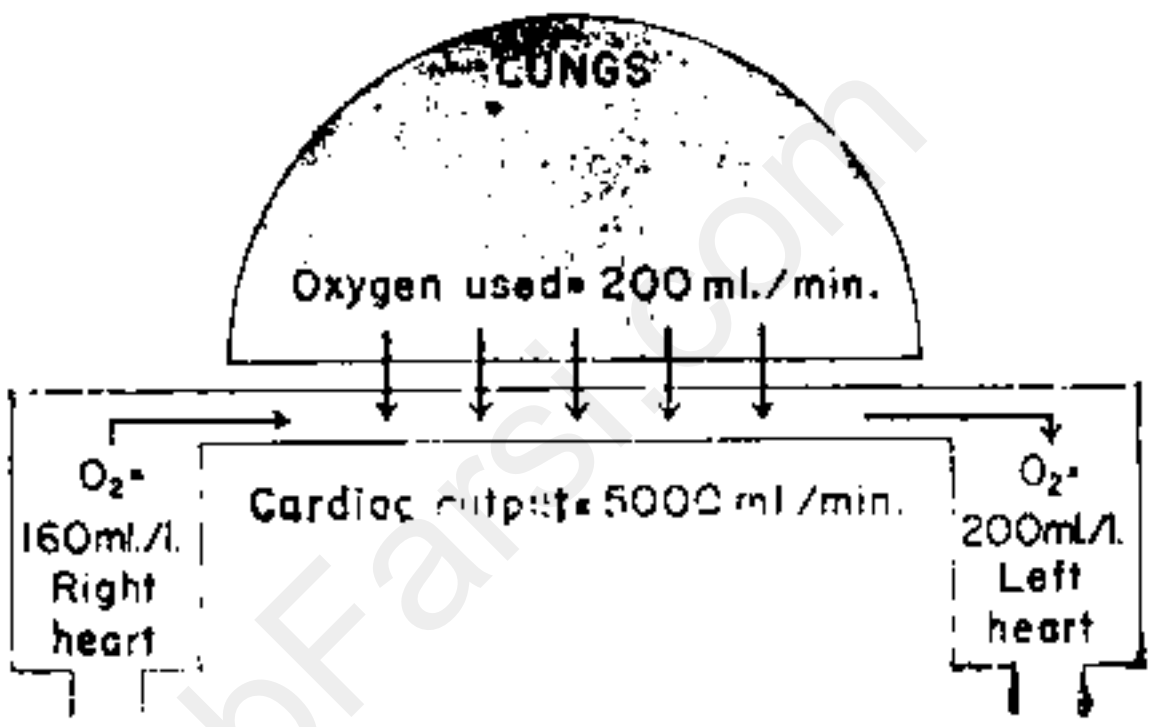
فلومتر الکترو مغناطیسی نشان می‌دهد. این شکل‌نشان می‌دهدکه جریان خون به‌سرعت در جریان سیستول تا یك قله بالا می‌رود و سپس در پـایان سیستول عملا بـرای مدت بسیارکوتاهی معکوس می‌شود. این معکوس‌شدن جریان خون است‌که موجب بسته‌شدن دریچهٔ آئورت می‌گردد. مقدار اندکی جریان خون معکوس در سراسر دیاستول ادامـه می‌یابد تا خون رگهای‌کورونر را تأمین‌کند.

## تعیین برون‌ده قلبی بوسیلهٔ روش اکسیژنی فیك

روش فیك F1ck را می‌توان بوسیلهٔ شکل ۱۶-۲۳ توجیه‌کرد کـه جـذب ۲۰۰




شکل ۱۶-۲۳- اصل‌فیك برای برای تعیین برون‌ده قلبی.

میلی‌لیتر اکسیژن را در هردقیقه از ریه‌ها بداخل خون ریوی نشان مـی‌دهد و همچنین نشان می‌دهدکه غلظت اکسیژن در خونی‌که وارد طرف راست قلب می‌شود حدود ۱۶۰ میلی‌لیتر در هرلیتر خون است در حالیکه غلظت اکسیژن در خونی که طرف چپ قلب را ترك می‌کند حدود ۲۰۰ میلی‌لیتر در هرلیتر خون است. از روی این ارقام می‌توان دیدکه هرلیتر خونی‌که از ریه‌ها عبور می‌کند ۴۰ میلی‌لیتر اکسیژن جذب می‌کند. چون مقدارکل اکسیژنی‌که از ریه‌ها در هردقیقه جذب خون می‌شود ۲۰۰ میلی‌لیتر است لذا ۵ لیتر خون بایستی در هردقیقه از گردش ریوی عبورکند تا بتواند این مقدار اکسیژن را جذب‌کند. بنابراین، مقدار خونی‌که در هردقیقه از ریه‌ها عبورمی‌کند ۵ لیتر است‌که همچنین نموداری از برون‌ده قلبی را بدست می‌دهد. به‌این‌ترتیب، برون‌ده قلبی‌رامی‌توان بوسیلهٔ فرمول زیر محاسبه‌کرد:

$$\text{برون‌ده قلبی (لیتر در دقیقه)} = \frac{\text{اکسیژن جذب شده بوسیلهٔ ریه‌ها در دقیقه (میلی‌لیتر در دقیقه)}}{\text{اختلاف شریانی ـ وریدی اکسیژن (میلی‌لیتر برای هرلیترخون)}}$$

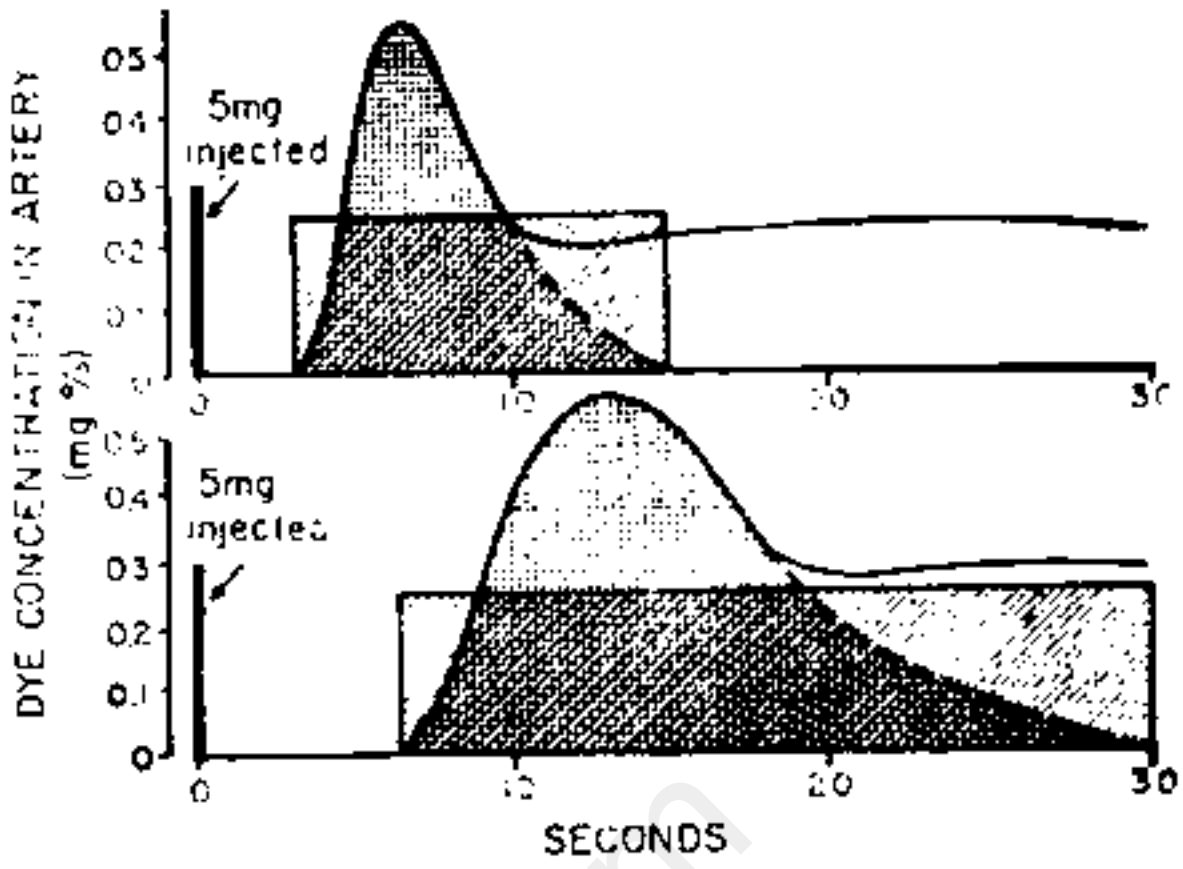
در روش فیك برای بدست آوردن یـك رقم دقیق از غلظت اکسیژن خون وریدی لازم است که نمونهٔ خون مستقیماً از بطن راست و یا بطور ارجح از شریان ریوی گرفته شود زیرا غلظت اکسیژن درخون هروریدعا معمولا با سایروریدعا تفاوت دارد وحتی‌خون در دهلیز راست نیز بطور رضایت بخشی مخلوط نمی‌شود. برای بدست آوردن نمونه‌ای از خون مخلوط وریدی یك کاتتر معمولا از طریق ورید بازوئی و ورید زیرچنبری‌بداخل دهلیز راست و سرانجام بداخل بطن راست یا شریان ریوی رانده می‌شود.

خون مورد استفاده برای تعیین غلظت اکسیژن در خون شریانی را مـی‌توان از هرشریانی در بدن بدست آورد زیرا تمامی خون شریـانی قبل از آنکه قلب را ترك کند کاملا مخلوط می‌شود و بنابراین دارای غلظت اکسیژن مشابه است.

میزان جذب اکسیژن بوسیلهٔ ریه‌ها معمولا بوسیلهٔ یك اسپیرومتر تعیین مـی‌شود که‌درفصل ۷۱ شرح داده خواهدشد. بطورخلاصه، این‌دستگاه یك‌محفظهٔ محتوی اکسیژن است که برروی آب بحالت شناور قرار دارد وبتدریج که اکسیژن ازآن گرفته می‌شود در آب فرو می‌رود وبه‌این ترتیب می‌توان مقدار اکسیژن جذب شده را از روی‌میزان فرو رفتن آن درآب تعیین کرد.

## روش رقیق کردن مادهٔ نشاندار

برای‌تعیین برون ده‌قلبی بوسیلهٔ مادهٔ نشان‌دارمقدارکمی ازیك‌مادهٔ نشاندار ازقبیل یك مادهٔ رنگی بداخل یك‌وریدبزرگ یا بطور ارجح بداخل طرف‌راست خود قلب تزریق می‌شود. سپس‌این ماده بسرعت ازقلب‌راست، ریه‌ها وقلب چپ می گذرد وسرانجام‌وارد سیستم شریانی‌می‌شود. هرگاه غلظت‌مادهٔ رنگی‌هنگام‌عبور آن ازیکی‌از شریانهای‌محیطی ثبت شود یك منحنی نظیر منحنی‌های ممتدشکل ۱۷-۲۳ بدست می‌آید . درهریك ازاین موارد ۵میلی‌گرم ازمادهٔ رنگی کاردیو-گرین Cardio-Green در زمان صفر تزریق شده است. درمنحنی فوقانی، مادهٔ رنگی‌حدود ۳ثانیه بعداز تزریق وارد درخت شریانی شده اما پس‌ازآن به‌سرعت تقریباً درظرف ۶تا۷ ثـانیه بحداکثر رسیده است. بعدازآن، غلظت مادهٔ رنگی بسرعت سقوط‌کرده است. اما باید توجه‌داشت که قبل‌از رسیدن مادهٔ رنگی به‌نقطهٔ صفر، قسمتی‌ازآن تمام مسیرپاره‌ای از رگهای محیطی را طی‌کرده و پس‌از عبور قلب، برای باردوم به‌درخت شریانی رسیده است. درنتیجه، غلظت مادهٔ رنگی‌در شریان مجدداً شروع به‌بالا رفتن‌کرده است. برای محاسبه، لازم است‌که همانطوریکـه بوسیلهٔ بخش خطچین منحنی نشان داده‌شده ، شیب ابتدای قسمت نزولی منحنی تا نقطهٔ صفر امتداددادهشود. به‌این روش، می‌توان منحنی‌زمان-غلظت مادهٔ رنگی دریك شریان را در قسمت اولش اندازه‌گیری کرد ودر قسمت آخرش بطور قابل‌قبولی تخمین‌زد.




شکل ۱۷ـ۲۳ـ منحنی‌های غلظت مادهٔ رنگی که برای محاسبهٔ برون‌ده قلبی بوسیلهٔ روش رقیق کردن مورد استفاده قرار می‌گیرند (مربع مستطیلها در این شکل نمودار غلظت متوسط محاسبه شده مادهٔ رنگی در خون شریانی در مدت زمان منحنی‌های مربوطه هستند)

پس از بدست آوردن منحنی زمان ـ غلظت مادهٔ رنگی می‌توان غلظت متوسط مادهٔ رنگی درخون شریانی را برای مدت‌زمان منحنی محاسبه کرد. درشکل ۱۷-۲۳ این عمل با تعیین مساحت سطح زیر تمامی منحنی وسپس معدل‌گیری ازغلظت مادهٔ رنگی درمدت زمان منحنی بانجام رسیده‌است. ازروی مستطیل‌هاشور خورده در منحنی بالائی می‌توان دیدکه غلظت متوسط مادهٔ رنگی تقریباً ۰/۲۵ میلی‌گرم درصد میلی‌لیتر خون ومدت زمان منحنی ۱۲ثانیه بوده است. اما کلا ۵میلی‌گرم مادهٔرنگی درشروع تجربه تزریق شده بود. برای اینکه‌خون محتوی ۰/۲۵ میلی‌گرم مادهٔرنگی درهرصد میلی‌لیتر بتواند ۵ میلی‌گرم ماده رنگی را درظرف ۱۲ثانیه ازقلب وریه‌ها عبور دهد لازم است‌که

$$\frac{۵}{۰/۲۵} \times ۱۰۰$$ یا ۲۰۰۰ میلی‌لیترخون درطی این‌مدت ازقلب وریه‌ها عبورکرده‌باشد که‌برابر با برون ده‌قلبی به‌میزان ۲ لیتردر ۱۲ثانیه یا ۱۰لیتردر دقیقه است.

درمنحنی پائینی‌شکل ۱۷-۲۳،عبور خون‌ازقلب بطور قابل ملاحظه‌ای آهسته‌تر بوده ومادهٔ رنگی حدود۶ثانیه بعداز تزریق‌درسیستم شریانی‌ظاهر شده است. آنگاه‌مادهٔ رنگی درمدت ۱۲تا۱۳ ثانیه بحداکثر رسیده ودرمدتی حدود ۳۰ثانیه تاخط صفر امتداد داده‌شده است. بامعدل‌گیری ازغلظت مادهٔرنگی درطی۲۴ثانیه‌مدت منحنی معلوم می‌شود که غلظت متوسط مادهٔ رنگی‌باز ۰/۲۵ میلی‌گرم درهر ۱۰۰ میلی‌لیتر خون اما برای ۲۴ ثانیه فاصلهٔزمانی‌بجای ۱۲ثانیه است. برای انتقال۵میلی‌گرم مادهٔ رنگی می‌بایستی

$$\frac{۵}{۰/۲۵} \times ۱۰۰$$ میلی‌لیتر خون درظرف ۲۴ ثانیه از قلب عبورکرده باشد. بنابراین، برون ده قلبی۲لیتر در۲۴ ثانیه یا۵لیتر در دقیقه بوده است.

بطور خلاصه، برون ده‌قلبی را می‌توان ازروی فرمول زیر تعیین‌کرد:

$$\text{برون ده‌قلبی (میلی‌لیتر در دقیقه)} = \frac{\text{۶۰} \times \text{میلی‌گرم مادهٔ رنگی تزریق شده}}{\left(\begin{array}{c}\text{مدت منحنی}\\ \text{برحسب ثانیه}\end{array}\right) \times \left(\begin{array}{c}\text{غلظت متوسط مادهٔ رنگی}\\ \text{در هرمیلی‌لیتر خون درمدت}\\ \text{ادامهٔ منحنی}\end{array}\right)}$$

**موادی‌که می‌توان‌برای تعیین‌برون ده‌قلبی به روش رقیق کردن مادهٔ نشاندار تزریق کرد** ـ تقریباً هر ماده‌ای‌که بتوان بطور رضایت بخش درخون شریانی تجزیه کرد را می‌توان هنگام استفاده‌ازروش رقیق کردن مادهٔ نشانداربرای تعیین برون‌ده‌قلبی، تزریق‌کرد. اما برای دقت زیاد لازم است‌که مادهٔ تزریق شده درجریان عبورش از ریه واردبافتهای ریوی نگردد. شایعترین ماده‌ای‌که‌بکار می‌رودمادهٔ رنگی کاردیوگرین است که باپروتئینهای خون ترکیب می‌شود وبنابراین ازخون خارج نمی‌گردد.

www.ketabFarsi.com

# فصل ۲۴

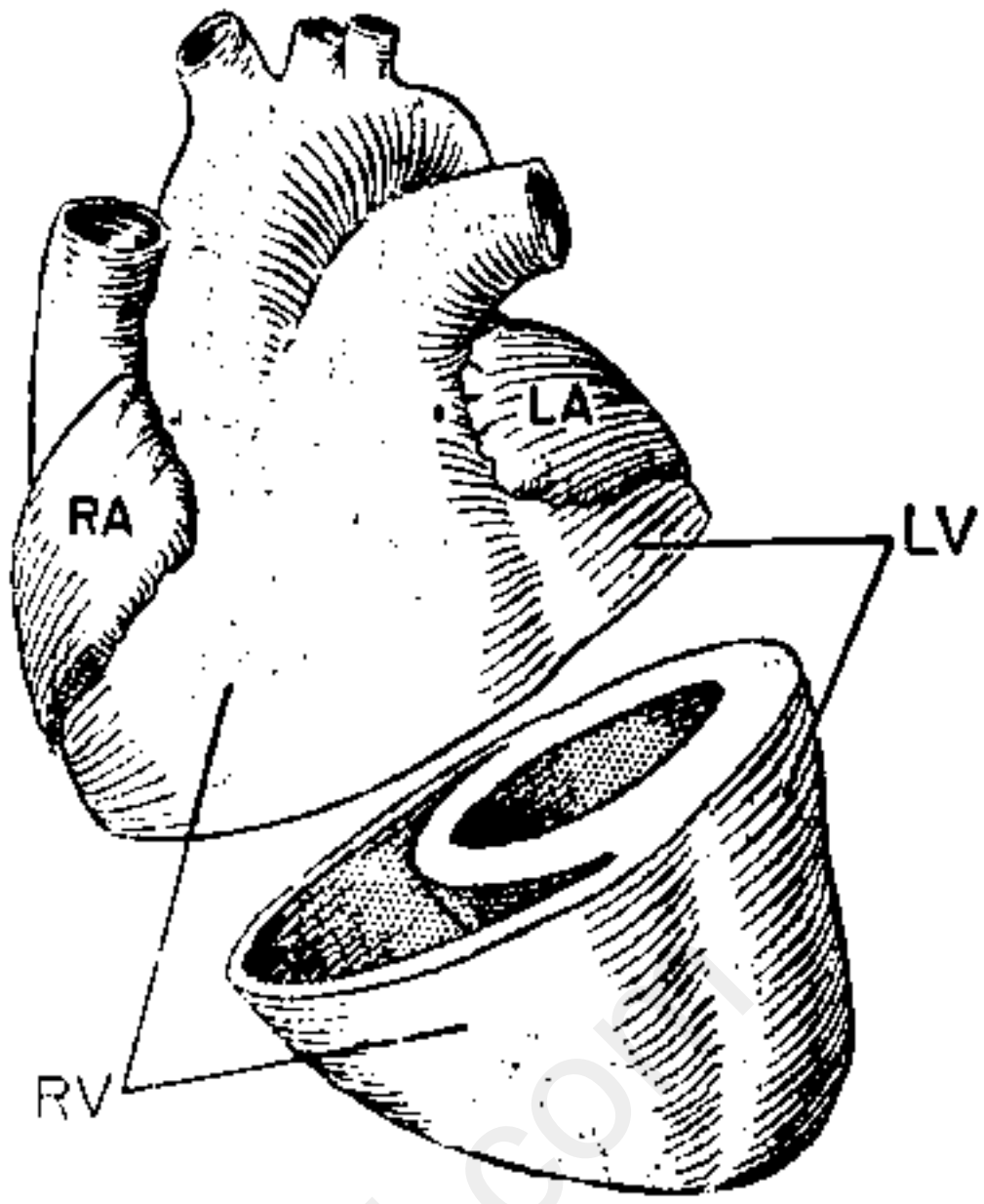
# گردش ریوی

مقدارخونی که از ریه‌ها عبورمی‌کند عملا برابر با مقدار خونی است که درگردش سیستمیك جریان دارد. اما نکاتی از نظر توزیع جریان خون و سایرمسایل همودینامیك وجود دارند کـه خاص گردش ریوی هستند. بنابراین، بحث حاضر بطور اختصاصی بـا خصوصیات جریان خون درگردش ریوی و عمل نیمهٔ راست قلب برای حفظ این جریان خون سروکار دارد.

## تشریح فیزیولوژیك گردش ریوی

**نیمهٔ راست قلب** ـ همانطور که در شکل ۱-۲۴ نشان داده شده بطن راست تـا نیمه بدور بطن چپ پیچیده شده است. علت این‌امر اختلاف در فشار تولید شده بوسیلهٔ دوبطن در جریان سیستول است. چون بطن چپ در مقایسه بـا بطن راست بـا نیروی فوق‌العاده زیادتری منقبض می‌شود لذا بطن چپ یك‌شکل‌کروی بخود گرفته و جـدار بین‌دوبطن بداخل بطن راست برجسته می‌شود، بـا این وجود هرنیمهٔ قلب عملا مقدار برابری خون را تلمبه می‌زند و بنابراین جدارخارجی بطن‌راست برآمدگی زیادی بطرف خارج پیدا کرده و تا حدود زیادی بدوربطن چپ گسترش می‌یابد و ازاین‌راه حدود همان مقدار خون بطن چپ را در خود جای میدهد.

ضخامت عضلهٔ بطن راست اندکی بیشتر از یك‌سوم عضلهٔ بطن چپ است و ایـن موضوع ناشی از اختلاف در فشار بین‌دونیمهٔ قلب است. در واقع، ضخامت جـدار بطن راست فقط حدود سه‌برابر ضخامت جدار دهلیزها است درحالیکه عضلهٔ بطن چپ حدود هشت‌برابر جدار دهلیزها ضخامت دارد.




شکل ۱ـ۲۴ـ رابطهٔ تشریحی بطن راست با بطن‌چپ که شکل کروی بطن چپ و شکل هلالی بطن راست را که بدور بطن چپ قرارگرفته است نشان می‌دهد

**رگهای ریوی** ـ شریان ریوی فقط تا فاصلهٔ چهارسانتیمتری ازقاعدهٔ بطن راست پیش‌رفته وسپس به‌شاخه‌های اصلی راست وچپ‌تقسیم می‌شودکه به‌ریه‌های مربوطه خون می‌رسانند. شریان ریوی نیزنازك بوده و ضخامت جدارآن تقریباً دوبرابر ضخامت جدار وریدهای اجوف و یك‌سوم ضخامت جدار آئورت است. شاخه‌های شریانی ریوی همگی بسیارکوتاه هستند. اما قطر تمام شریانهای ریوی وحتی شریانهای‌کوچك و آرتریولها بزرگتراز قطر شریانهای سیستمیك مربوطه است. این موضوع توأم با این حقیقت که رگهای ریوی بسیار نازك و قابل اتساع هستند به‌درخت شریانی ریوی یك‌کومپلیانس بسیار زیاد می‌بخشد که بطورمتوسط حدود ۳ میلی‌لیتر به‌ازای هرمیلیمتر جیوه بوده و تقریباً برابر با کومپلیانس‌کلیهٔ درخت شریانی‌گردش سیستمیك است. این‌کومپلیانس زیاد به‌شریانهای ریوی اجازه می‌دهد تا حجم ضربه‌ای بطن راست را در خود جای دهد.

وریدهای ریوی نیز مانند شریانهای ریوی‌کوتاه هستند اما قابلیت اتساع آنها نظیر قابلیت اتساع وریدهای گردش سیستمیك است.

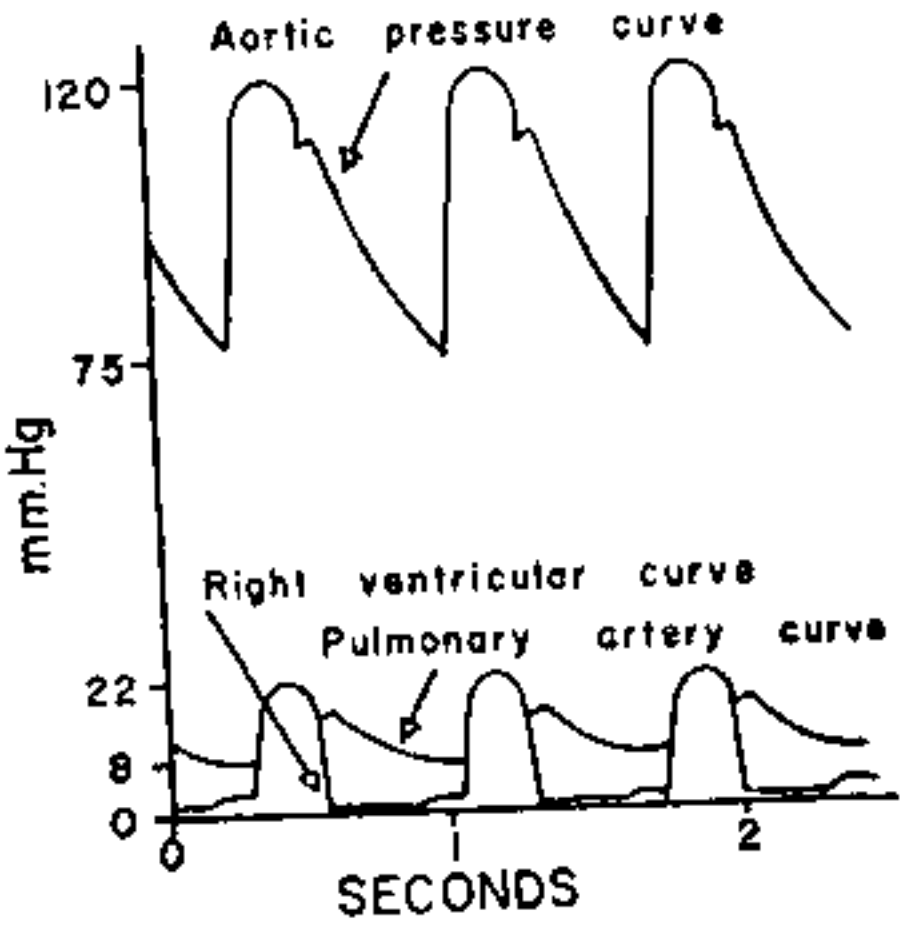
**رگهای برونشی** ـ یك‌جریان خون شریانی‌فرعی‌کوچك مستقیماً ازآئورت ازطریق معمولا یك‌شریان برونشی به‌ریهٔ راست و دوشریان برونشی به‌ریهٔ چپ وجود دارد. خونی‌که در شریانهای برونشی جریان دارد، برعکس خون نیمه اکسیژن‌دار موجود در شریانهای ریوی، خون اکسیژن‌دار است. این‌شریانهای برونشی به‌بافتهای نگاه دارندهٔ ریه شامل‌بافت همبندی، تیغه‌ها و برونشهای بزرگ وکوچك‌خون می‌رسانند. این خون

شریانی برونشی پس‌از عبور ازبافتهای نگاه دارنده، بدرون وریدهای ریوی تخلیه شده وبجای بازگشت به‌دهلیز راست وارد دهلیز چپ میگردد. بنابراین، برونده بطن چپ اندکی بیشتر از برونده بطن راست است.

**رگهای لنفاوی**ـ رگهای‌لنفاوی‌یا لنفاتیکهاازتمام‌بافتهای نگاه دارندهٔ ریه‌سرچشمه می‌گیرند وشروع آنها درفضاهای دور رگی ودور برونشی است‌که در زوایای محلهای تماس بین حبابچه‌ها قراردارند. رگهای لنفاوی بطرف ناف ریه سیر کرده وازآنجا بطور عمده بداخل مجرای لنفاوی راست می‌ریزند. ذراتی که وارد حبابچه‌ها می‌شوند معمولا بسرعت از راه این مجاری بخارج حمل می‌گردند وپروتئین نیز از راه این مجاری از ریه‌ها خارج می‌شودوازاین راه‌از تولید خیز جلوگیری بعمل‌می‌آید.

## فشارها درگردش ریوی

**منحنی موج فشاری دربطن راست** ــ منحنی‌های موج فشاری بطن راست وشریان ریوی درقسمت پائین شکل ۲ ــ ۲۴ تصویر شده‌اند. این امواج بامنحنی موج‌فشاری‌بسیار بالاتر آئورت‌که دربالای شکل نشان داده شده تضاد دارند.فشار سیستولی دربطن‌راست انسان طبیعی بطور متوسط حدود ۲۲ میلیمتر جیوه، وفشار دیاستولی بطور متوسط‌حدود صفر تا یك میلیمتر جیوه است و این ارقام فقط یك پنجم تا یك ششم مقادیر مربوط به بطن چپ هستند.



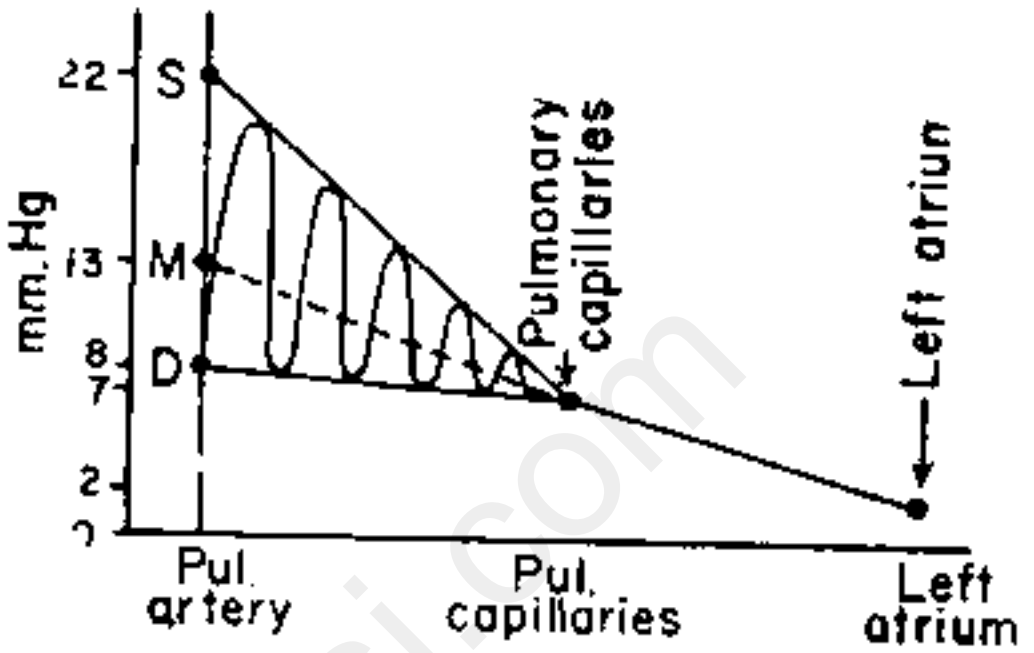

شکل۲-۲۴- شکل‌منحنی‌موج فشاری دربطن راست، شریان‌ریوی، وآئورت

## فشارها درشریان ریوی

در جریان سیستول همانطورکه در شکل ۲-۲۴ نشان داده شده، فشار در شریان ریوی عملا بافشار دربطن راست برابر است. اما بعداز آنکه دریچهٔ شریان ریوی در

پایان سیستول‌بسته می‌شود، فشاربطن راست‌سقوط‌می‌کند درحالیکه فشار شریانی ریوی بالا باقی میماند وسپس بتدریج‌که خون در مویرگهای ریوی جریان می‌یابد به‌آهستگی کم می‌شود.

همانطور که درشکل ۳-۲۴ نشان داده شده ، فشار سیستولیك شریان ریوی در انسان طبیعی بطورمتوسط حدود ۲۲میلیمتر جیوه، فشار دیاستولیك شریان ریوی تقریباً ۸میلیمتر جیوه، وفشار متوسط شریان ریوی ۱۳میلیمتر جیوه است.




شکل ۳- ۲۴ - فشارها در رگهای مختلف‌ریه.

**فشار نبض شریان‌ریوی**- فشار نبض‌در شریانهای ریوی بطور متوسط ۱۴ میلیمتر جیوه یعنی تقریباً دوسوم فشار سیستولی است. دربحثهای گذشته درمورد فشار نبض‌در گردش سیستمیك خاطر نشان‌شدکه هرچه کومپلیانس یك منبع ارتجاعی که خون‌را بطور متناوب دریافت می‌کندکمتر باشد فشار نبض بیشتر خواهد بود. اگر بخاطر کومپلیانس زیاد شریانهای نازك ریوی نبود فشار نبض شریان ریوی از این حد نیز بیشتر می‌شد. علاوه‌برآن، حدود نیمی ازخون اخراج شده بوسیلهٔ بطن راست‌درهمان زمانی‌که درحال اخراج است ازشریانهای ریوی بداخل وریدهای ریوی ودهلیز چپ جریان می‌یابد و این موضوع نیز فشار نبض را پائین نگاه می‌دارد.

## فشار مویرگی ریوی

فشار متوسط مویرگی ریوی تقریباً ۷ میلیمترجیوه است (شکل ۳-۲۴). این‌فشار بعداً به‌تفصیل در این فصل در مورد عمل تبادل مایع‌درمویرگها شرح داده خواهد شد. اما در اینجا بایستی توجه‌کردکه فشارمویرگی ۷ میلیمترجیوه تقریباً بطور دقیق در وسط فشار متوسط شریان ریوی یعنی ۱۳ میلیمترجیوه، و فشار دهلیزچپ یعنی ۲ میلیمترجیوه قرار دارد و نشان می‌دهدکه مقاومتهای شریانی و وریدی ریه‌ها تقریباً برابر هستند. این رابطه تضاد بارزی با گردش سیستمیك داردکه درآن مقاومت شریانی چهار تا هفت برابر مقاومت وریدی است.

## فشار دهلیز چپ و فشار وریدی ریوی

فشار متوسط در دهلیز چپ و در وریدهای بزرگ ریـوی در انسان بطور متوسط تقریباً ۲ میلیمترجیوه است. اما باید دانست‌که فشار در دهلیز چپ حتی در میان افراد طبیعی از یك تا ۴ میلیمترجیوه تغییرمی‌کند.

معمولا اندازه‌گیری فشار دهلیز چپ بطور مستقیم درانسان عاقلاندوموجه نیست‌زیرا عبور دادن یك‌کاتتر ازطریق‌حفره‌های قلبی‌بداخل دهلیز چپ مشکل است. اما بایددانست که فشار دهلیز چپ را میتوان بکرات بطور تقریبا دقیق با اندازه‌گیری فشار موسوم به فشار وج‌ریوی wedge pressure تخمین زد. این‌کار باواردکردن یك‌کاتتر ازطریق‌قلب راست‌وشریان ریوی بداخل یکی از شاخه‌های‌کوچك شریان‌های ریوی وسپس‌جلوراندن آن تاحدی‌که نوك کاتتر درشریان‌گیر کند بانجام میرسد. فشاری که‌دراینحال ازطریق‌کاتتر اندازه‌گیری میشود وموسوم به‌فشار وج است درحدود ۵ میلیمتر جیوه است. چون‌جریان خون کاملا درشریان‌کوچك متوقف شده ورگهای خونی که از آن شریان منشعب میشوند ازطریق مویرگهای ریوی باخون موجود در وریدهای ریوی ارتباط مستقیم برقرارمیکنند لذا این فشار وج معمولا ۲ تا ۴ میلیمتر جیوه بیشتر ازفشار دهلیز چپ است. وهنگامیکه فشار دهلیز چپ تا مقادیر زیاد بالا میرود فشار وج ریوی نیز افزایش مییابد . این روش غالباً برای مطالعهٔ دینامیك قلب چپ در نارسائی احتقانی قلب مورداستفاده قرار میگیرد.

## حجم خون ریه‌ها

حجم خون ریه‌ها تقریباً ۹ درصد حجم‌کل‌خون موجود درسیستم گردش‌خون‌است. بعبارت دیگر در یك انسان متوسط دو ریه محتوی تقریباً ۴۵۰ میلی‌لیتر خون هستند. حدود ۷۰ میلی‌لیتر این مقدار در مویرگها وجود دارد و باقیمانده آن‌تقریباً بطور برابر بین شریانها و وریدهای ریوی تقسیم می‌شود.

**ریه‌ها بعنوان یك منبع ذخیرهٔ خون** ـ در تحت شرایط متفاوت فیزیـولوژیك و پـاتولوژیك، مقدار خون در ریه‌ها می‌تواند از ۵۰ درصد مقدار طبیعی تا ۲۰۰ درصد مقدارطبیعی تغییرکند. بعنوان مثال، هنگامیکه شخصی مثلا هنگام نواختن شیپور هوارا آنقدر با شدت از ریه‌های خود خارج می‌کند که فشار زیادی در ریه‌های خود بـوجود می‌آورد، تا ۲۵۰ میلی‌لیتر خون می‌تواند ازگردش ریوی بداخل‌گردش سیستمیك‌رانده شود. دفع خون ازگردش سیستمیك براثرخونروی نیزمی‌تواند قسمتی بوسیلهٔ تغییرمحل اوتوماتیك خون از ریه‌ها بداخل رگهای‌گردش سیستمیك جبران شود.

**تغییرمحل خون بین‌گردش ریوی وگردش سیستمیك درنتیجه بیماریهای‌قلبی -** نارسائی نیمهٔ چپ قلب یا افزایش مقاومت در برابر جریان خون از دریچهٔ میترال در نتیجهٔ تنگی میترال یا نارسائی میترال موجب تجمع خون درگردش ریوی شده وبه‌این‌ترتیب گاهی حجم خون ریوی را تا صددرصد افزایش‌میدهد ونیز موجب افزایش‌معادلی درفشارهای عروقی ریوی میشود.

ازطرف دیگر، هنگام‌نارسائی نیمهٔراست قلب دقیقاً اثرات مخالفی ایجادمی‌شوند. چون حجم گردش سیستمیك حدود هفت برابر حجم‌گردش ریوی است، تغییر محل خون از یك سیستم به‌سیستم دیگر تأثیر زیادی برروی گردش ریـوی ایجاد می‌کند در حالیکه فقط اثرات خفیفی برروی‌گردش سیستمیك دارد.

## میزان جریان خون در ریه‌ها و توزیع آن

میزان جریان خون در ریه‌ها عملا با برون‌ده قلبی برابر است. بنابراین ، عواملی که برون‌ده قلبی را کنترول میکنند ــ بطور عمده عوامل محیطی که درفصل ۲۴ شرح‌داده شد ــ میزان جریان خون ریوی را نیز کنترول میکنند. در بیشتر حالات ، رگهای ریوی بصورت لوله‌های پاسیو قابل اتساع عمل میکنندکه باافزایش فشارگشاد وبا کاهش‌فشار تنگ میشوند . اما بمنظور تهویهٔ کافی خون اهمیت دارد که خون به قسمتهائی از ریه‌ها توزیع شودکه حبابچه‌های آنها بیشترین اکسیژن را دارند. این امر بامکانیسم زیر بانجام می‌رسد :

**اثر فشار پائین اکسیژن حبابچه‌ای بـرروی مقاومت رگهای ریـوی ـ کنترول اوتومائیك توزیع میزان جریان خون موضعی ریه‌ـ** هنگامیکه غلظت‌اکسیژن حبابچه‌ای بسیار پائین می‌آید رگهای خونی مجاور در ظرف ۵ تا ۱۰ دقیقهٔ بعد تنگ می‌شوند و مقاومت رگهای ریوی تا دو برابرطبیعی افزایش می‌یابد. باید مخصوصاً توجه داشت‌که این اثرکمبود اکسیژن مخالف اثری است‌که بطـور طبیعی در رگهای گـردش سیستمیك مشاهده می‌شود، وعلت‌آن هنوزمشخص نشده است. اما این اثرتنگ‌کنندهٔ‌کمبود اکسیژن در یك شریان‌کوچك ریوی‌که از ریه مجزا شده باشد بوجود نمی‌آید. بنابراین، تصور می‌شودکه فشار اکسیژن پائین موجب آزاد شدن یك مادهٔ تنگ‌کننده رگی از بافت‌ریوی می‌گردد و این ماده بنوبهٔ خود موجب تنگی شریانهای‌کوچك و آرتریولها می‌شود. متأسفانه پژوهشگران هنوز نتوانسته‌اند مادهٔ تنگ‌کنندهٔ عروقی را مجزا کنند.

این اثر کمبود اکسیژن برروی مقاومت رگی ریوی یك‌هدف مهم دارد وآن‌توزیع جریان خون به‌قسمتهائی است‌که بیشترین اثر را داشته باشد به‌این معنی‌کـه هنگامیکه

بعضی از حبابچه‌ها بطور ناچیزی تهویه می‌شوند و غلظت اکسیژن در آنها پائین است رگهای موضعی نیز تنگ می‌شوند. این امر بنوبهٔ خود موجب می‌شود که قسمت اعظم خون از نواحی دیگری از ریه‌ها که بهتر تهویه می‌شوند عبورکند و بـه‌این‌ترتیب یك سیستم‌کنترول اوتوماتیك برای توزیع میزان جریان‌خون درنواحی مختلف ریه به‌نسبت میزان تهویهٔ آنها بوجود می‌آورد.

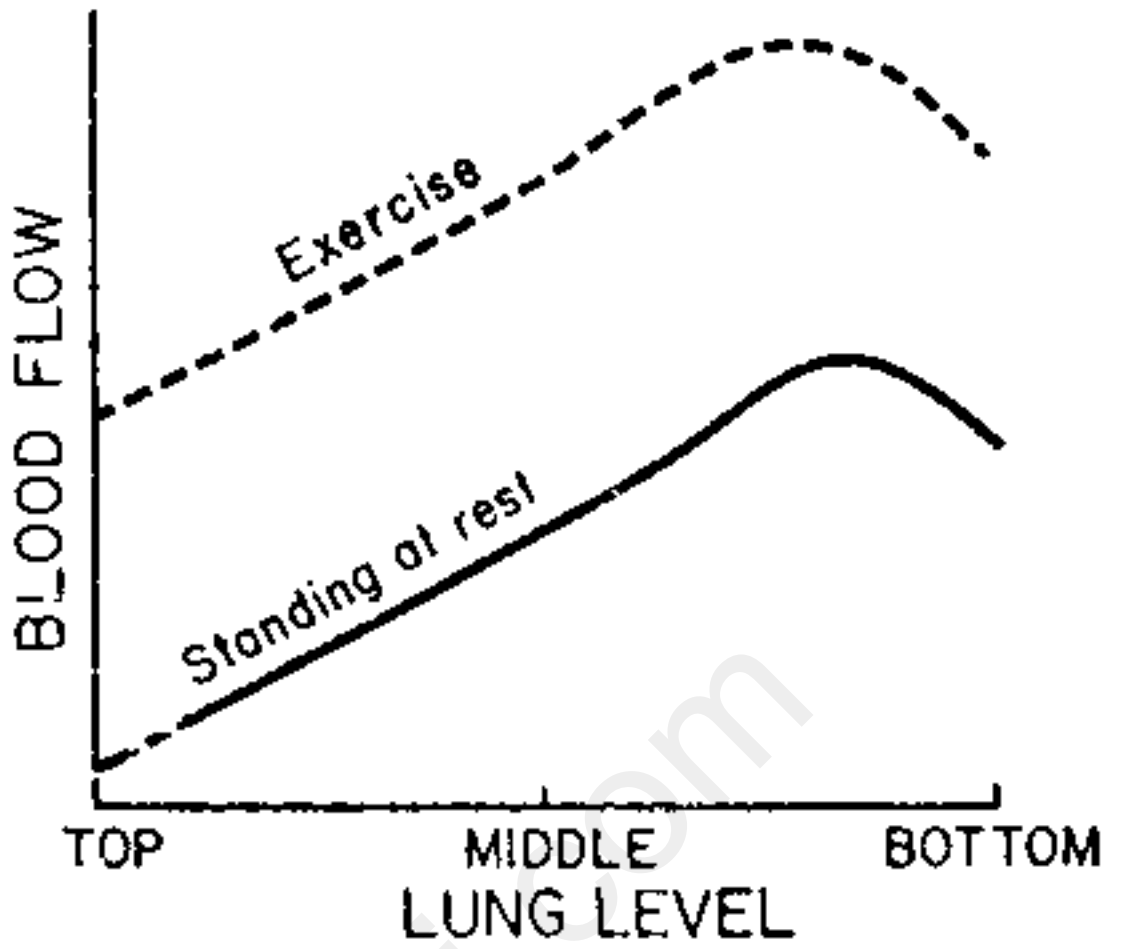
**ناچیزبودن‌کنترول میزان‌جریان‌خون در ریه‌هابوسیلهٔ سیستم عصبی خودمختار.** اگرچه اعصاب بطور فراوان،ومنتشر، بافتهای ریه را عصبی می‌کنند تردید وجود دارد که این اعصاب عمل عمده‌ای درکنترول طبیعی میزان جریان خون ریوی داشته باشند. در حال طبیعی، تحریك فیبرهای ریوی عصب واگ موجب یك‌کاهش مختصر درمقاومت رگی ریوی و تحریك اعصاب سمپاتیك موجب یك افزایش مختصر درمقاومت می‌شود بهمین‌ترتیب، تزریق استیل‌کولین بطور طبیعی یك‌کاهش مختصر در مقاومت و تـزریق نوراپینفرین یا اپینفرین موجب یك افزایش مختصر در مقاومت می‌شود. اما این‌اثرات آنقدر خفیف هستندکه نشان دادن‌آنها درحیوانات‌آزمایشگاهی یا درانسان مشکل است.

غالباً محققین رفلکسهائی درسیستم رگی‌ریوی شرح می‌دهندکه ممکن است اهمیت بالینی داشته باشند. بعنوان مثال، ادعا شده‌که آمبولیهای‌کوچکی‌که شریانهای کوچك ریوی را مسدود می‌کنند رفلکسی ایجاد می‌کنندکـه موجب تنگ شدن سمپاتیکی رگها در سراسر ریه‌ها می‌شود و سپس این تنگ شدن رگها منجر به‌یك افزایش شدید در فشار شریانی ریوی میگردد. اما باید دانست که اهمیت این رفلکس هنوز بطور قاطع روشن نیست.

## اثر گرادیانهای فشار هیدروستاتیك در ریه‌ها بر روی جریان خون منطقه‌ای ریه

درفصل ۱۹ خاطرنشان شدکه فشار درپای یك شخص ایستاده می‌تواند تا ۹۰میلیمتر جیوه بالاتر ازفشار درسطح قلب باشد. این امرازفشار هیدروستاتیك یعنی از وزن خود خون ناشی میشود. همین اثر اما بدرجهٔ کمتری در ریه‌ها بوجود میآید. درشخص بالغ طبیعی درحال قائم ، پائین‌تری نقطهٔ ریه‌ها حدود ۳۰ سانتیمتر در زیر بالاترین نقطه قرار دارد. این رقم نمودار ۲۳ میلیمتر جیوه اختلاف فشار است است که حدود ۱۵ میلیمتر جیوهٔ آن بالای قلب و ۸ میلیمتر آن در پائین قلب است . این بدان معنی است که فشار شریانی ریوی دربالاترین قسمت ریهٔ یك شخص ایستاده حدود ۱۵ میلیمتر جیوه کمتراز فشار متوسط شریان ریوی وفشار در پائین‌ترین قسمت ریه‌ها حدود ۸ میلیمتر جیوه بیشتر است. این قبیل اختلاف فشارها اثرات عمیقی برروی‌میزان جریان خون درنواحی‌مختلف

ریه‌ها دارد که توسط پائین‌ترین منحنی در شکل ۴ ــ ۲۴ نشان داده شده است که در آن میزان جریان خون درمحور مختصات دربرابر سطح هیدروستاتیك‌در ریه قرار داده‌است.



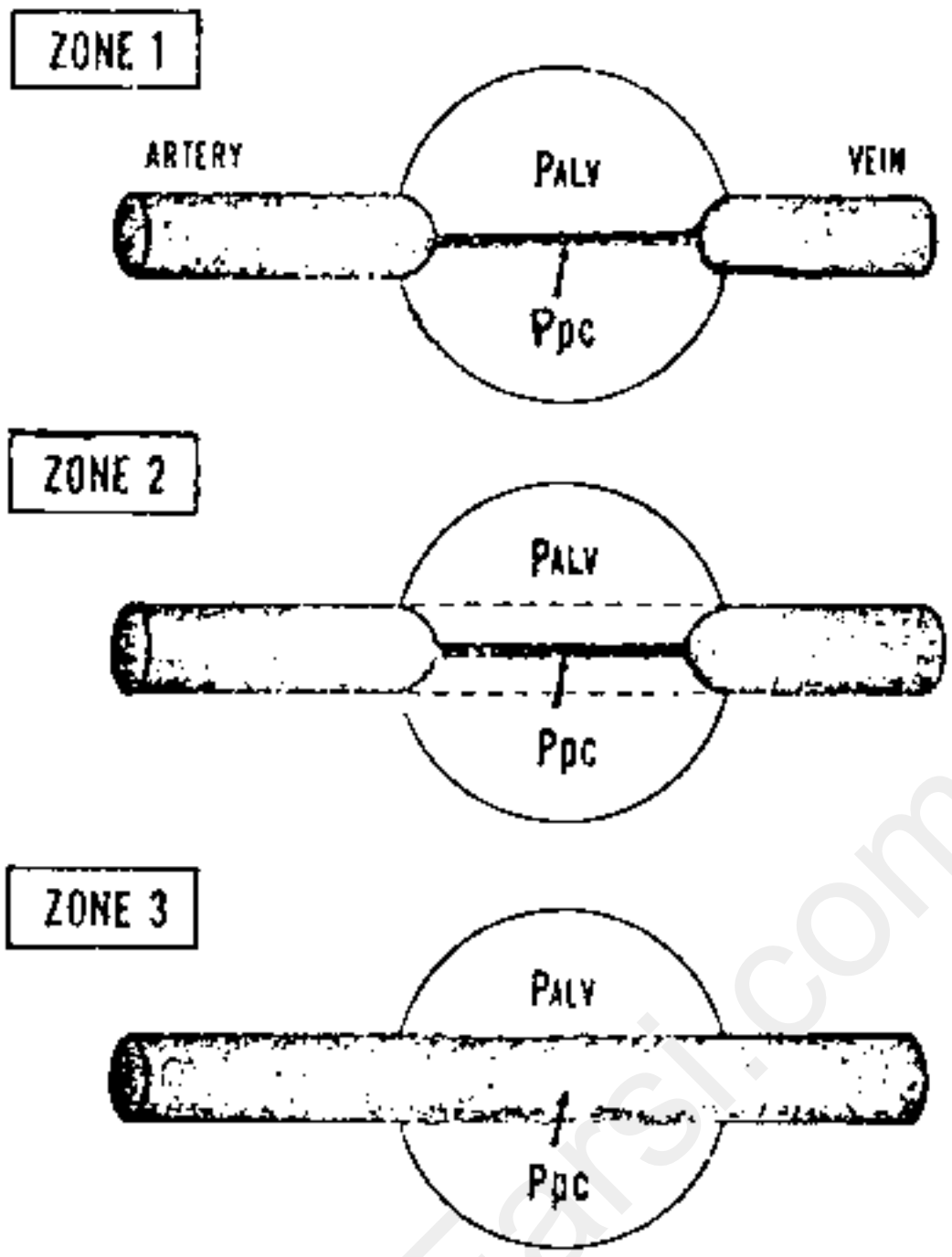

شکل ۴ـ۲۴ـ میزان‌جریان خون در سطوح مختلف در ریهٔ یك شخص قائم درحال استراحت و درفعالیت‌عضلانی. توجه‌کنید هنگامیکه شخص در حال استراحت است میزان جریان خون‌در قلهٔ ریه‌ها تقریباً صفر است و قسمت اعظم جریان‌خون از قاعدهٔ ریه‌هاعبور می‌کند.

توجه‌کنید که درشخص ایستاده جریان خون بسیار اندکی در قلهٔ ریه اما ۵ تا ۱۰ برابر آن درپائین ریه وجود دارد. برای کمك به‌توجیه دلایل این اختلافات ، همانطورکه در شکل ۵ ــ ۲۴ دیده میشود ریه غالباً به‌سه‌ناحیهٔ‌مختلف تقسیم‌میشودکه درآنها طرح‌جریان خون کاملا متفاوت است. حال به‌توجیه این اختلافات میپردازیم.

**ناحیهٔ ۱**ــهنگامیکه فشار شریانی ریوی بسیار پائین بوده وشخص‌درحال ایستاده باشد فشار درمویرگها درقلهٔ ریه‌ها ممکن است کمتر ازفشار حبابچه‌های ریوی(که بطور طبیعی بطور متوسط صفر میلیمتر جیوه است) باشد. در چنین حالتی مویرگها در تمامی اوقات بحال رویهم خوابیده باقی میمانند زیرا فشار مویرگی ریوی آنقدر زیاد نیست که در برابر تمایل فشار حبابچه‌ای برای رویهم خواباندن مویرگها ایستادگی کـند . بنابراین، میزان جریان خون‌صفر خواهدبود. باین ترتیب ، ناحیهٔ ۱ ناحیه‌ای فاقدجریان خون است .

اما توجه داشته‌باشیدکه ناحیهٔ ۱ درریهٔ طبیعی بوجود نمی‌آید بلکه فقط درحالات غیرطبیعی بوجودمیآید که دریك قسمت بعدی شرح داده خواهد شد.

**ناحیهٔ ۲**ــبخاطر بیاورید که فشار طبیعی شریانی ریوی درمحدودهٔ۸ میلیمترجیوه درزمان دیاستول و۲۲میلیمتر جیوه درزمان سیستول قرار دارد . چون قسمتهائی از ریهٔ قائم طبیعی دریك سطح‌فشار هیدروستاتیك به‌میزان ۱۵ میلیمتر جیوه دربالای سطح‌متوسط قلب قرار دارند لذا در جریان دیاستول فشار شریانی ریوی نمیتواند خون را بداخل




شکل ۵ــ۲۴ــمکانیك جریان خون در سه ناحیهٔ متفاوت از نظر جریان خون درریه. ناحیهٔ ۱، فاقد جریان خون، زیرا فشار حبابچه‌ای از فشار شریانی بیشتر است. ناحیهٔ ۲، جریان خون منقطع، زیرا فشار شریانی سیستولی از فشار حبابچه‌ای بالاتر رفته اما فشار دیاستولی از فشار حبابچه‌ای کمتر می‌شود. ناحیهٔ ۳، جریان مداوم خون، زیرا فشار شریانی در تمامی اوقات از فشار حبابچه‌ای بالاتر است.

قسمتهای فوقانی ریهٔ طبیعی برسانند. اما درطی مرحلهٔ سیستول خون واقعاً جریان میابد. بنابراین، همانطورکه درقسمت وسط شکل ۵ ــ ۲۴ تصویر شده، مویرگهای حبابچه‌ای درجریان بخش دیاستولی دورهٔ قلبی رویهم میخوابند اما در جریان سیستول باز میشوند. باین ترتیب، درناحیهٔ ۲، خون بطور منقطع جریان میابد.

در ریهٔ طبیعی در حالت ایستاده، بخش تحتانی ناحیهٔ ۲ از ۷ تا ۱۰ سانتیمتری بالای سطح قلب شروع میشود و تا قلهٔ ریه‌ها گسترش میابد.

**ناحیهٔ ۳ــ** در قسمت تحتانی ریه، فشارهای عروقی ریوی همیشه وحتی در زمان دیاستول بالاتر از فشار حبابچه‌های ریوی هستند. بنابراین، همانطورکه درقسمت تحتانی شکل ۵ ــ ۲۴ تصویر شده، مویرگهای حبابچه‌ای درتمامی اوقات متسع هستند و خون بطور مداوم از شریانها بهوریدها جریان می‌یابد.

ناحیهٔ ۳ ریه یعنی ناحیه‌ای که در آن مویرگهای ریوی در تمامی اوقات بازمیمانند بطور طبیعی از ۷ تا ۱۰ سانتیمتری بالای سطح قلب شروع شده وتا پائین‌ترین قسمتهای ریه گسترش می‌یابد.

**عواملی‌که میتوانند محل نواحی ۱ ، ۲ و۳ را در ریه‌ها تغییر دهند** ــ اگرچه بطور طبیعی ناحیهٔ ۱ در ریه‌ها وجود ندارد اما هنگامیکه فشار شریانی ریوی سقوط میکند بکرات بوجود میآید. این موضوع دردنبال خونریزیها بسیار شایع است. اما باید دانست که شایعترین علت پیدایش ناحیهٔ ۱ در ریه‌ها تنفس دربرابر فشار هوای زیاداست مثلا مانند هنگامیکه شخص یك آلت موسیقی بادی را می‌نوازد . در تحت این شرایط ، فشار حبابچه‌ای بحد بسیار زیادی بالا میرود . آنقدر زیاد که فشار سیستولی شریانی ریوی طبیعی نمیتواند براثرات رویهم خوابانندهٔ فشار حبابچه‌ای بر روی مویرگها غلبه کند. درنتیجه ، هیچگونه خونی نمیتواند دراینحال ازاین بخش ریه عبور کند.

عامل دیگری که برروی این نواحی اثر دارد وضع قرارگرفتن بدن است.

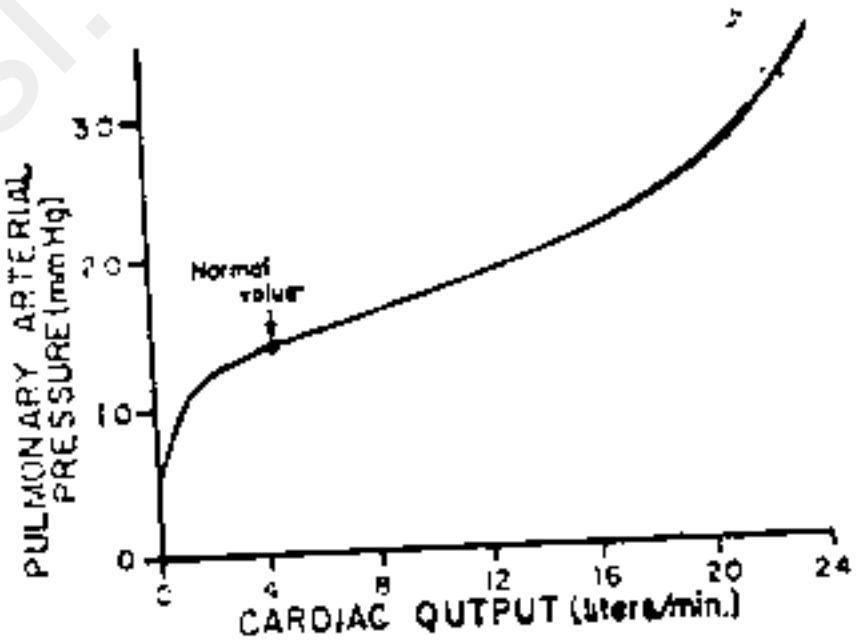
دروضع خوابیده . تمام قسمتهای ریه بصورت ناحیهٔ ۳ درمیآیند ودراینحال‌جریان خون درقسمتهای مختلف ریه بطور تقریبا یکسان توزیع میشود. در وضع بالانس زدن ، جریان خون درقله‌ها میتواند عملا بیشتر ازجریان خون درقاعدهٔ ریه باشد.

**اثر فعالیت عضلانی برروی جریان خون درریه‌ها** ــ با مراجعهٔ مجدد به شکل ۵ ــ ۲۴ دیده میشود که جریان‌خون درجریان‌فعالیت‌عضلانی درتمام قسمتهای ریه‌افزایش مییابد. اما باید دانست که افزایش جریان خون درقلهٔ ریه ممکن است تاهزار درصدباشد درحالیکه افزایش جریان خون درقسمت پائین ریه ممکن است بیش‌ازصد در صد نباشد. دلیل بروز این اثرات آن است که فشارهای ریوی درجریان فعالیت عضلانی بطور قابل ملاحظه‌ای بالا میروند و این امر عملا تمامی ریه را بصورت طرح جریان خون ناحیهٔ ۳ درمیآورد.

## اثرافزایش برون ده قلبی برروی‌گردش ریوی درجریان فعالیت عضلانی شدید

درجریان فعالیت عضلانی شدید و سنگین، ریه‌ها غالباً تا ۲۰ برابر مقدار طبیعی اکسیژن جذب می‌کنند. این جذب از دو راه بانجام می‌رسد: (۱) با افزایش تعداد مویرگهای باز بطوریکه اکسیژن می‌تواند با سرعت و سهولت بیشتر بین‌گاز حبابچه‌ای وخون انتشار یابد (مکانیسمی‌که قبلا دراین فصل شرح داده شد) و (۲) با افزایش برون ده‌قلبی و درنتیجه افزایش میزان جریان خون ازریه‌ها که موجب می‌شود ناخون مقادیر بیشتری اکسیژن را درهر دقیقه جذب‌کند.

خوشبختانه، برون‌ده قلبی می‌تواند بدون بالارفتن بیش ازحد فشار شریانی ریوی به‌چهار تا شش برابر طبیعی افزایش یابد. این اثر درشکل ۶-۲۴ نشان داده شده است. بتدریج که میزان جریان خون در ریه‌ها افزایش می‌یابد آرتزیولها و مویرگهای ریوی گشاد شده وبه‌مازاد خون اجازه می‌دهند تا بدون افزایش بیش ازحد فشار شریانی ریوی از سیستم مویرگی عبور کنند. قبلا خاطر نشان شدکه در حالی استراحت قطعات بزرگی از بستر مویرگی ریوی کاملا فاقد جریان خون هستند و در واقع تعداد زیادی از مویرگها و مخصوصاً مویرگهای قسمتهای فوقانی ریه‌ها تقریباً دارای هیچگونه خونی در داخل خود نیستند. درصورتیکه فشار شریانی ریوی حتی بطور مختصر با زیاد شدن برون‌ده قلبی در جریان فعالیت عضلانی افزایش یابد، قسمت اعظم این مویرگها باز می‌شوند و درنتیجه، مقاومت‌رگی ریوی بمقدار زیادی کاهش می‌یابد. به‌این دلیل، فشار شریانی ریوی حتی در جریان فعالیت فوق‌العاده سنگین عضلانی بمقدار نسبتاً کمی افزایش می‌یابد.




شکل ۶-۲۴- اثر افزایش برون‌ده قلبی برروی فشار شریانی ریوی.

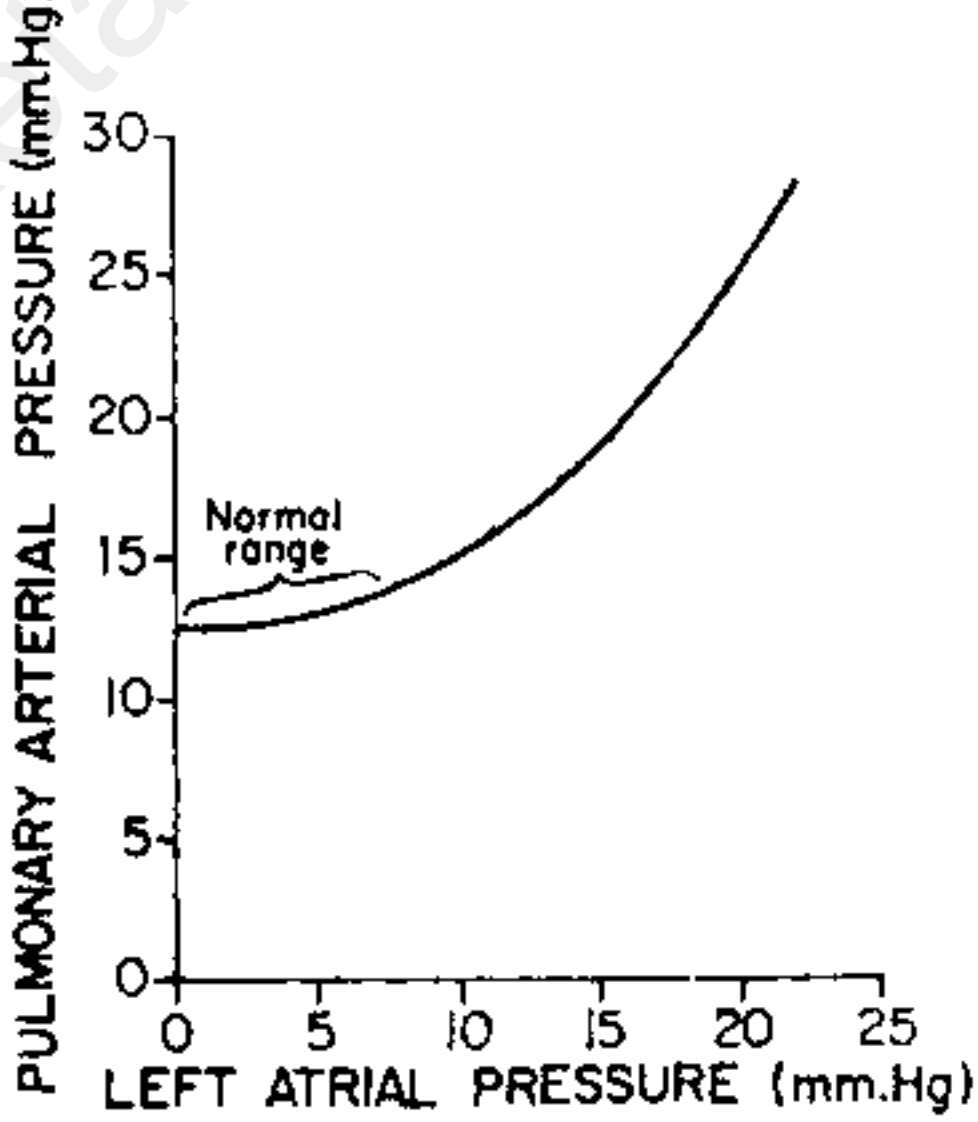
این قدرت ریه‌ها برای جادادن به‌مقداربسیار زیاد جریان خون درفعالیت عضلانی با افزایش نسبتاً کمی درفشار رگی ریوی، لااقل بـه دو دلیل اهمیت دارد: (۱) بدیهی است کـه در انرژی قلب راست صرفـه‌جوئی می‌کند و (۲) از بالا رفتن قابل ملاحظهٔ فشار مویرگی ریوی و بنابراین از پیدایش خیز ریوی در جریان افـزایش برون‌ده قلبی جلوگیری می‌کند.

## عمل گردش ریوی هنگامیکه فشار دهلیزچپ درنتیجهٔ نارسائی قلب چپ بالا می‌رود

هنگامیکه قلب چپ نارسا میشود یا هنگامیکه بیماریهای دریچهٔ میترال از خروج خون از دهلیز چپ جلوگیری میکنند فشار دهلیز چپ افزایش مییابد و خون در سیستم گردش خون ریوی تجمع پیدا میکند. اثر اولیهٔ این موضوع زیادکردن حجم‌خون در

وریدهای ریوی است. آنگاه با زیادترشدن فشار دهلیز چپ ، مویرگهاوشریانهای‌ریوی نیز بمقدار بیش ازاندازه‌ای ازخون‌پرمیشوند واین تجمع خون درشریانهای‌ریوی‌سرانجام فشار شریانی ریوی را بالا میبرد . یك اثر مهم بالا رفتن فشار مویرگی خروج مایع از مویرگها بداخل‌بافتها وحبابچه‌های ریوی است که خیز ریوی نامیده میشود و بعداً شرح داده خواهد شد.

**رابطهٔ کمّی بین فشار دهلیزچپ و فشار شریانی ریوی** ـ شکل ۷ـ۲۴ رابطهٔ تقریبی بین میزان فشار دهلیز چپ و اثر آن برروی فشار شریانی ریوی را بشرطی‌که میزان جریان خون ریوی طبیعی باشد نشان می‌دهد. این شکل نشان می‌دهدکه افزایش فشار دهلیز چپ از صفر تا حدود ۷ میلیمتر جیوه اثر نسبتاً کمی بـرروی فشار شریانی ریوی دارد. دلیل این مطلب آن است‌که این افزایش متوسط درفشار دهلیزچپ موجب بازشدن بیشتر و بیشتر وریدها، مویرگها و شریانهای کوچك می‌گردد. این باز شدن رگهای خونی مقاومت رگی ریوی را کاهش می‌دهد و این امر بطور عمده اثر پس زدن فشار ناشی از افزایش فشار دهلیز چپ را جبران می‌کند. اما همینکه تمام این رگها باز شدند به‌آسانی‌گشادتر نمی‌شوند. بنابراین، هرگونه افزایش‌بیشتری در دهلیزچپ موجب یك افزایش بارز در فشار شریانی ریوی می‌شودکه درشکل ۷ـ۲۴ با زیادتر شدن فشار دهلیزچپ از ۷ میلیمتر جیوه نشان داده شده است.




شکل ۷ـ۲۴ـ اثر فشار دهلیز چپ برروی فشار شریانی ریوی

**عدم تاثیر قابل ملاحظهٔ باربطن چپ برروی‌گردش ریوی** ـ هنگامیکه باربطن چپ در نتیجهٔ افزایش فشارگردش سیستمیك یا درنتیجهٔ افزایش کار قلب، بمقدار زیادی