بنام خدا

# فیزیک دستگاه قلب و رگها

## فصل هشتم



## مقدمه

- اجزای سازنده بدن انسان سلول ها هستند.
- **شرایط لازم برای متابولسیم سلول ها**

  ۱- تأمین سوخت

  ۲- تأمین اکسیژن

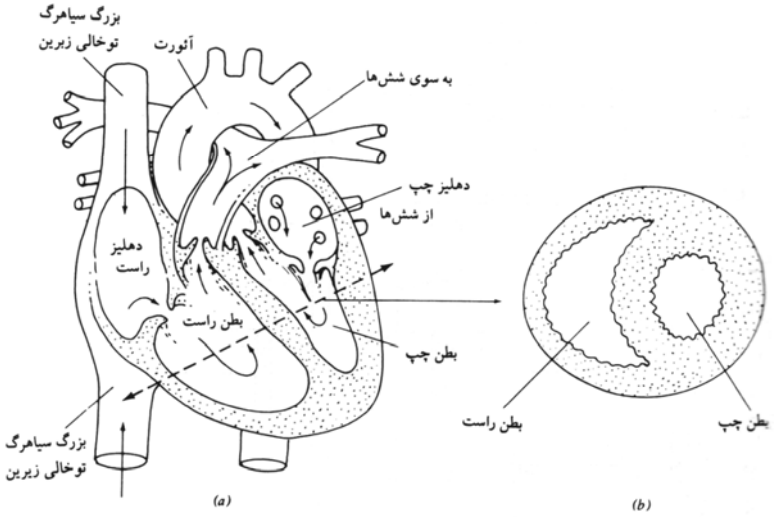
  ۳- وجود راهی برای دفع مواد زاید
- انجام این وظایف بر عهده **خون** است.

# مقدمه

- **دستگاه قلبی عروقی (CVS) شامل:**
  - خون
  - رگ های خونی
  - قلب

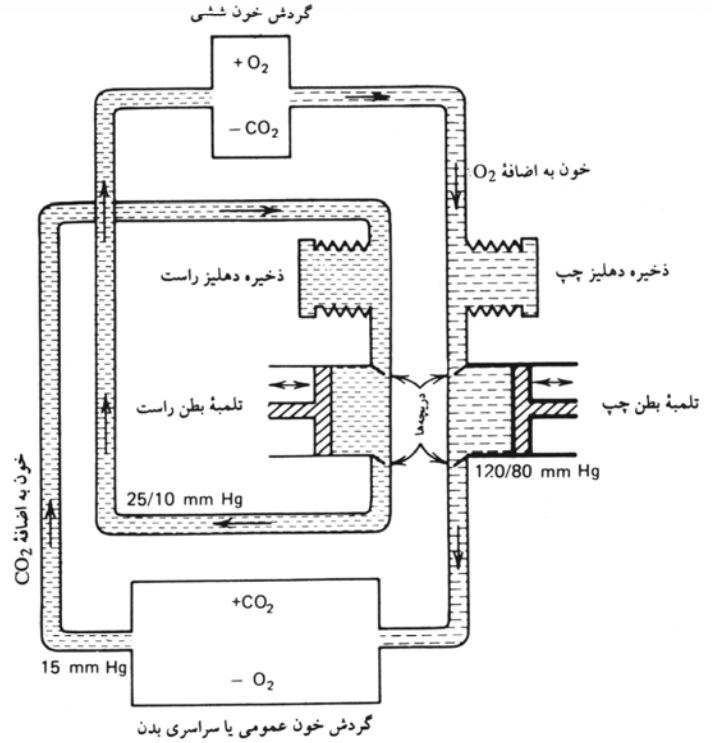


# بخش های اصلی دستگاه قلبی و عروقی




**شکل ۱ـ۸.** قلب. (a) به دیوارهٔ ماهیچه‌ای حجیم‌تر و قویتر سمت چپ توجه کنید. این قسمت بیشترین کار را انجام می‌دهد. (b) برش عرضی دایره‌ای شکلی نشان دهندهٔ بطن چپ است. چنین شکلی در ایجاد فشار بالای لازم برای گردش خون عمومی بسیار مؤثر است.

# مسیر گردش خون در بدن




**شکل ۲ـ۸.** سیستم گردش خون را می‌توان یک سیستم حلقه‌ای بسته با دو تلمبه تصور کرد. دریچه‌های یک طرفه سبب جریان یافتن خون از تلمبه به طرف پایین می‌شوند. فشار با mmHg (میلی‌متر جیوه) نشان داده شده است.



# حجم خون در بدن

- حجم خون یک فرد بالغ به طور عادی حدود ۴/۵ لیتر است.
- هر بخش از قلب در هر انقباض حدود ۸۰ میلی لیتر خون را تلمبه می کند.
- **از کل حجم خون بدن**
  - ۸۰٪ در گردش عمومی
  - ۱۵٪ در سرخرگ ها
  - ۱۰٪ در مویرگ ها
  - ۷۵٪ در سیاهرگ ها
  - ۲۰٪ در گردش شُشی
  - ۷٪ در مویرگ های ششی
  - ۹۳٪ به طور مساوی در سرخرگ و سیاهرگ های شُشی

# بخش های تشکیل دهنده خون

**۱- پلاسما**

- ۵۵٪ از حجم خون، مایع شفاف

**۲- گلبول های قرمز**

- عامل رنگ قرمز خون، ۴۵٪ از حجم خون، قطر ۷ میکرومتر

**۳- گلبول های سفید**

- قطر ۵-۹ میکرومتر، افزایش هنگام ابتلا به بیماری عفونی

**۴- پلاکت**

- قطر ۱-۴ میکرومتر

**۵- هورمون ها، الکترولیت ها (یون های فلزی)**



# شمارش سلول های خونی

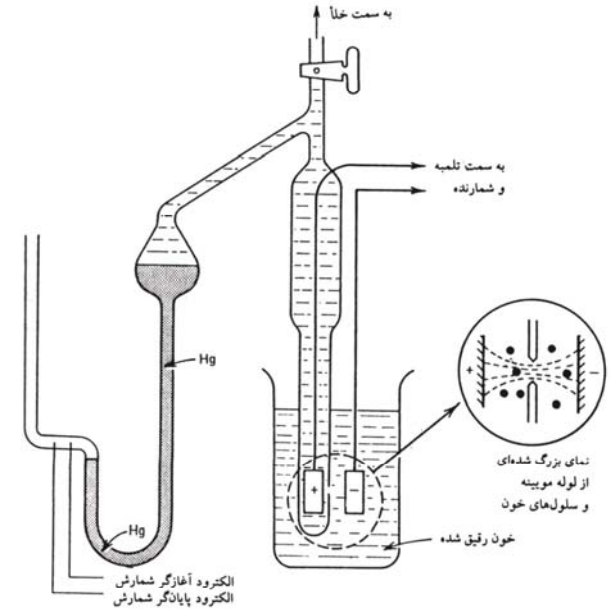
**۱- رقیق کردن و شمارش سلول ها در یک قطره روی لام و زیر میکروسکوپ**

- **معایب:**
  - دقت پایین (حدود ۱۵٪)
  - روش خسته کننده است.

# شمارش سلول های خونی

## ۲- استفاده از شمارشگر کولتر

- **مزایا:**
  - دقت بالا
  - عدم خستگی
- **معایب:**
  - عدم امکان شمارش گلبول های سفید




**شکل ۳-۸.** شمارشگر کولتر به‌طور خودکار سلول‌های خونی رقیق شده در یک محلول رسانا را می‌شمارد. ستون جیوه در بخش بالا فشار را کاهش می‌دهد و مایع را به درون لوله مویینه می‌کشد. عبور یک سلول خونی از سوراخ کوچک، سبب افزایش لحظه‌ای مقاومت بین دو الکترود می‌شود. پالس‌های تقویت شدهٔ سلول‌های خونی از زمانی که جیوه با الکترود شروع شمارش تماس پیدا می‌کند تا زمانی که به الکترود پایانِ شمارش وصل می‌شود ادامه پیدا می‌کند. به این ترتیب تعداد سلول‌های خونی در حجم ثابتی از محلول شمارش می‌شود. تصویر سمت راست، نمای بزرگ شده‌ای از لولهٔ مویین است. راههای عبور جریان الکتریکی با نقطه‌چین نشان داده شده است.

# تبادل $O_2$ و $CO_2$ در سیستم گردش مویرگی

- به دلیل سرعت انتشار پایین در داخل بافت، شبکه مویرگی در داخل بافت ها بسیار گسترده هستند.
- در ماهیچه قلب تقریباً هر سلول در تماس با یک مویرگ است.
- طول مویرگهای موجود در ۱کیلوگرم از ماهیچه به ۱۹۰کیلومتر می رسد.

**شکل ۴-۸.** برش کوچکی از یک بستر مویرگی. یک ماهیچهٔ اسفنکتر (S) کنترل جریان خون به داخل مویرگها را بر عهده دارد.

# قانون مویینگی استارلینگ

- **عبور مایع از جدار مویرگ به دلیل وجود دو فشار است:**

**۱-فشار هیدرواستاتیکی (P):** که سبب خروج مایع از مویرگ می شود.

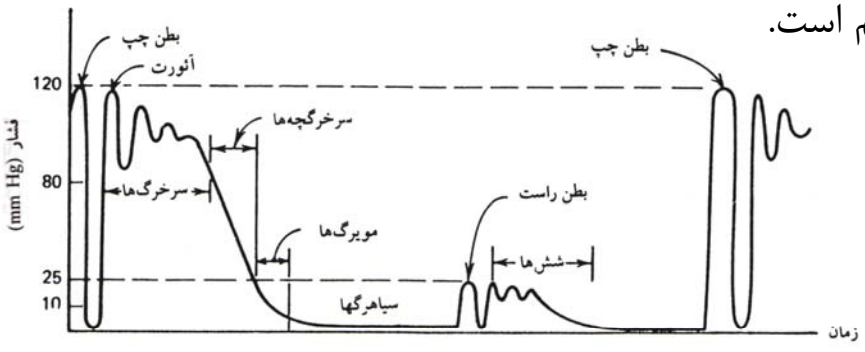
**۲- فشار اسمزی (π):** که مایع را به درون مویرگ می کشد.

- نزدیک پایانه سرخرگی یک فشار خالص نزدیک ۱۰ میلیمتر جیوه وجود دارد که سبب حرکت مایع به خارج از مویرگ می شود.
- هم زمان با افت فشار هیدرواستاتیک در پایانه سیاهرگی یک فشار خالص نزدیک به ۵ میلیمتر جیوه موجب باز جذب مایع به درون مویرگ می شود.



# کار قلب

- با هر انقباض قلب در یک فرد عادی، حدود 80ml خون از بطن راست وارد ششها و همین اندازه خون از بطن چپ وارد گردش عمومی خون می شود.
- به علت مقاومت پایین رگ های خونی ششها، فشار دستگاه ششی بسیار کم است.




**شکل ۵-۸.** فشار در سراسر دستگاه گردش خون متغیر است. به فشار پایین سیاهرگها و فشار نسبتاً کم دستگاه ششی توجه کنید.

## کار قلب

- کار انجام شده (W) به وسیله تلمبه که با فشار ثابت P حجم $\Delta V$ را جابجا می کند، برابر است با:

$$W=P\,\Delta V$$

- به دلیل فشار بیشتر گردش خون عمومی نسبت به گردش خون ششی، کار انجام شده توسط بطن چپ بیشتر است.



## کار قلب

**کار متوسط قلب** : فشار متوسط×حجم خون تلمبه شده در ثانیه (در گردش عمومی)

**کار متوسط قلب** $= (80\times10^{-6})m^3\times(100\times133)Pa = 1.06\ j/s = 1.06\ W$

- چون کار قلب در یک سوم سیکل آن انجام می شود و در الباقی زمان ها قلب در حال استراحت است، عملاً توان در طول تلمبه زدن ۳ برابر این مقدار است.
- توان در گردش خون ششی تقریباً یک پنجم این مقدار است.
- بازده قلب کمتر از ۱۰٪ است.
- توان قلب در هنگام ورزش یا فعالیت شدید ممکن است تا ۵ برابر افزایش یابد.

# فشار خون و اندازه گیری آن

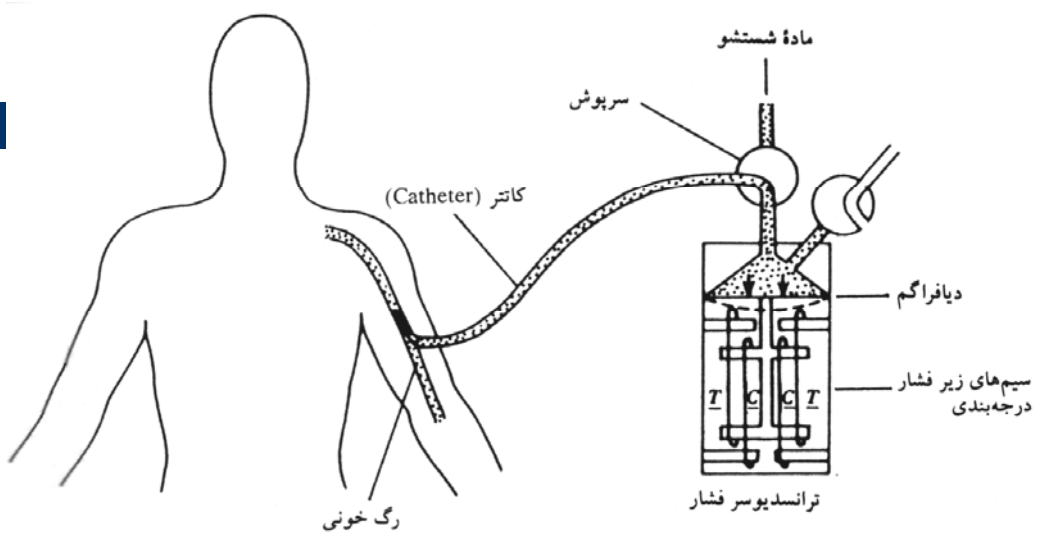
- روش های اندازه گیری فشار خون

۱- روش مستقیم (IBP)

۲- روش غیر مستقیم (NIBP)

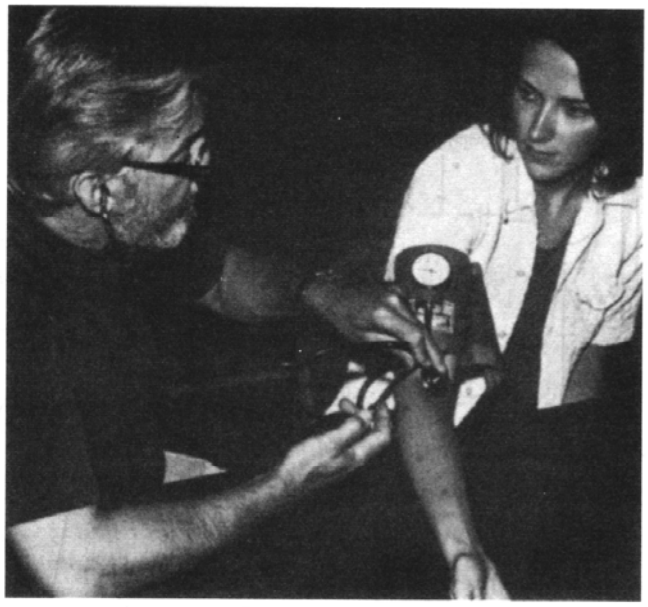


# روش مستقیم (IBP)




**شکل ۶ـ۸.** اندازه‌گیری مستقیم فشار خون. یک سوزن توخالی وارد رگ خونی می‌شود. سپس کاتتر (لولهٔ پلاستیکی توخالی) را از درون آن رد می‌کنند و سوزن را بیرون می‌کشند. لولهٔ فشار خون را به ترانسدیوسر فشار[1] منتقل می‌کند. فشار خون سبب انحراف دیافراگم می‌شود که به نوبهٔ خود مقاومت را در ۴ سیم زیر کشش نمایش دهنده (درجه) تغییر می‌دهد. سیمهای T تحت کشش و سیمهای C تحت فشار قرار می‌گیرند.

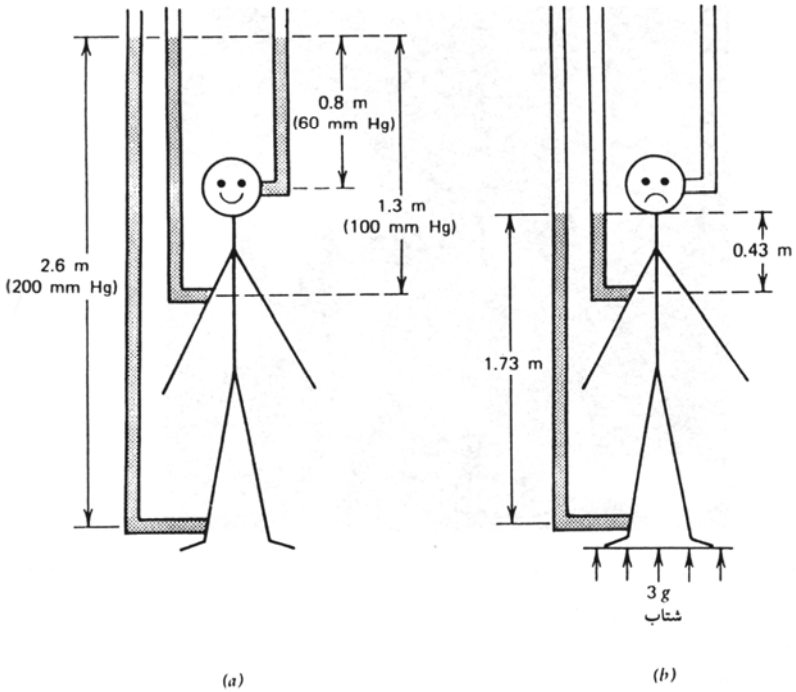
# روش غیر مستقیم (NIBP)



شکل ۷ـ۸. اندازه‌گیری فشار خون با استفاده از یک فشارسنج اسفیگمومانومتر. بازوبند جریان خون سرخرگی بازو را قطع می‌کند. هنگام آزاد کردن تدریجی بازوبند، گوشی را روی سرخرگ بازویی قرارمی‌دهند و منتظر شنیدن صداهای کورتکوف[1] می‌شوند. فشاری که در آن صداهای مذکور به‌گوش می‌رسد و فشاری که کیفیت صداها در آن تغییر می‌کند مورد توجه قرار می‌گیرد (پزشکی که در تصویر ملاحظه می‌کنید یکی از مؤلفان (JRC) و بیمار دستیار مؤلف خانم باربارا ساندریک است).



# اثر گرانشی بر روی فشار قسمت های مختلف بدن

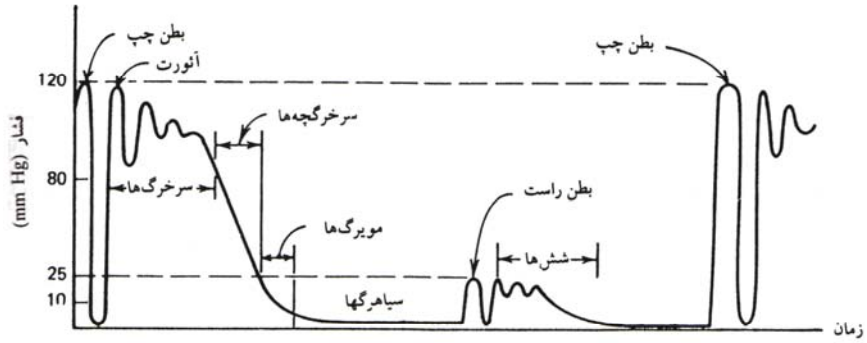



- فشار در پا به علت ستون خون (h) میان قلب و پا، بالاتر است.
- فشار در سر به همین دلیل پایین تر از قلب است.

**شکل ۸ـ۸.** (a) اگر لوله‌های مویین شیشه‌ای را به سرخرگهای بدن وصل کنیم، سطح خون در همهٔ آنها یکی خواهد بود. (b) اگر بدن با شتابی نزدیک 3 g به طرف بالا حرکت کند، خون به مغز نمی‌رسد و شخص به‌طور موقت هوشیاری خود را از دست می‌دهد. اگر بدن به‌طور افقی قرار گیرد، به جای تفاوت سه برابر که در شکل می‌بینید، فشار خون تقریباً در هر سه نقطه یکی خواهد شد.

# فشار دیواره ای رگها

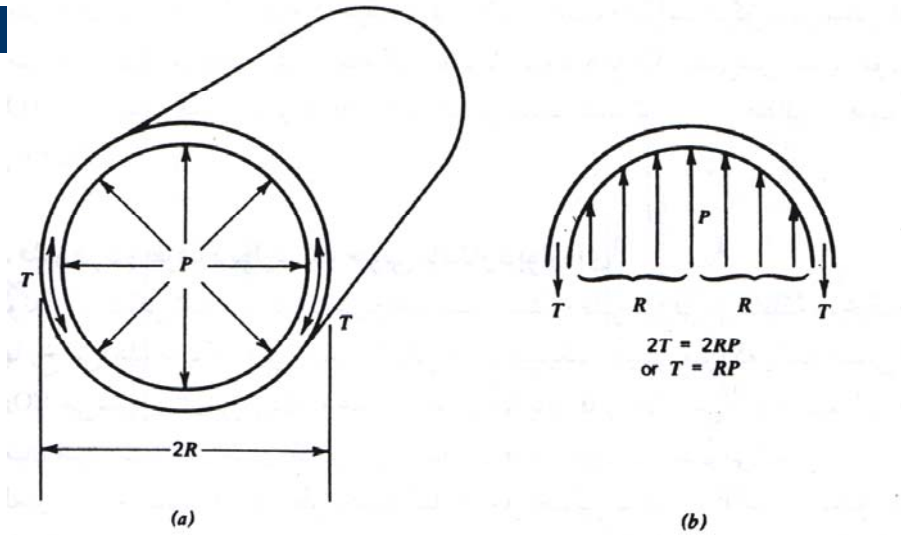
- بیشترین افت فشار در سرخرگچه ها و مویرگ ها روی می دهد.
- دیواره مویرگ ها بسیار نازک است (نزدیک ۱ میکرومتر).




**شکل ۵ـ۸.** فشار در سراسر دستگاه گردش خون متغیر است. به فشار پایین سیاهرگها و فشار نسبتاً کم دستگاه ششی توجه کنید.



# رابطه میان میزان کشش در جدار یک لوله با شعاع و فشار آن




**شکل ۹ـ۸.** در لولهٔ درازی به شعاع R که فشار خون درون آن P است (شکل a)، می‌توانیم کشش را در دیواره‌ها حساب کنیم (شکل b). در رگهای بسیار کوچک میزان کشش نیز بسیار کم است و به همین دلیل در دیواره‌های ظریف آنها گسستگی ایجاد نمی‌شود.

# مقایسه میزان کشش در رگ های خونی مختلف

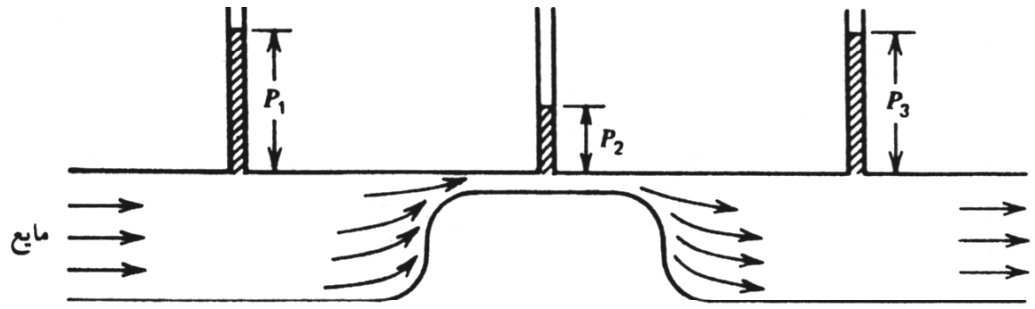
**جدول ۱ـ۸.** *فشارها و کششهای معمول در رگهای خونی*

| | فشار میانگین | | شعاع | تنش |
|---|---|---|---|---|
| | (mmHg) | ($dynes/cm^2$) | (cm) | (dynes/cm) |
| آئورت | ۱۰۰ | $۱/۳ \times ۱۰^{۵}$ | ۱/۲ | ۱۵۶۰۰۰ |
| سرخرگ معمولی | ۹۰ | $۱/۲ \times ۱۰^{۵}$ | ۰/۵ | ۶۰۰۰۰ |
| مویرگ | ۳۰ | $۴ \times ۱۰^{۴}$ | $۶ \times 10^{-۴}$ | ۲۴ |
| سیاهرگ کوچک | ۱۵ | $۲ \times ۱۰^{۴}$ | $۲ \times 10^{-۲}$ | ۴۰۰ |
| سیاهرگ توخالی | ۱۰ | $۱/۳ \times ۱۰^{۴}$ | ۱/۵ | ۲۰۰۰۰ |



# کاربرد اصل برنولی در دستگاه قلبی و عروقی

- **اصل برنولی:** کاهش فشار سیال در اثر افزایش سرعت حرکت



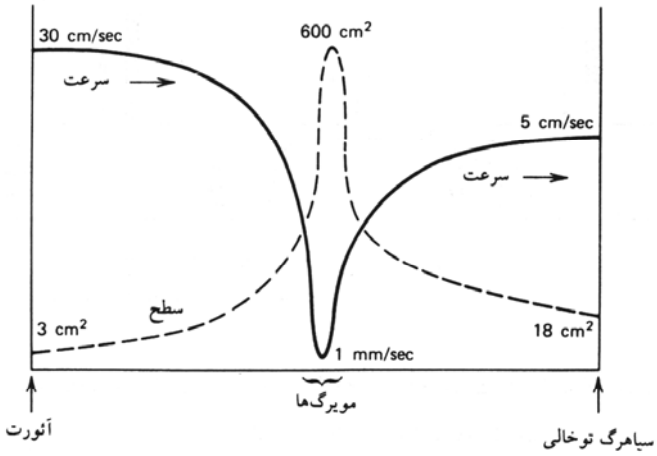

**شکل ۱۰ـ۸.** *با افزایش سرعت مایع در بخش باریک لوله، بخشی از انرژی پتانسیل (فشار) به انرژی جنبشی تبدیل می‌شود. بنابراین، در این بخش فشار $p_2$ کمتر است. $p_2$ کمتر از $p_1$ و $p_3$ است.*

## سرعت جریان خون

- خونی که توسط آئورت از قلب خارج می شود، شاخه شاخه شده و به ترتیب در سرخرگ ها، سرخرگچه ها و مویرگ ها جریان می یابد.
- کاهش قطر رگ ها در اثر شاخه شاخه شدن باعث کاهش سرعت جریان خون می شود.
- اگر سطح مقطع کل انشعاب ها را در مرحله جمع بزنیم، مشاهده می کنیم که در حال افزایش است.

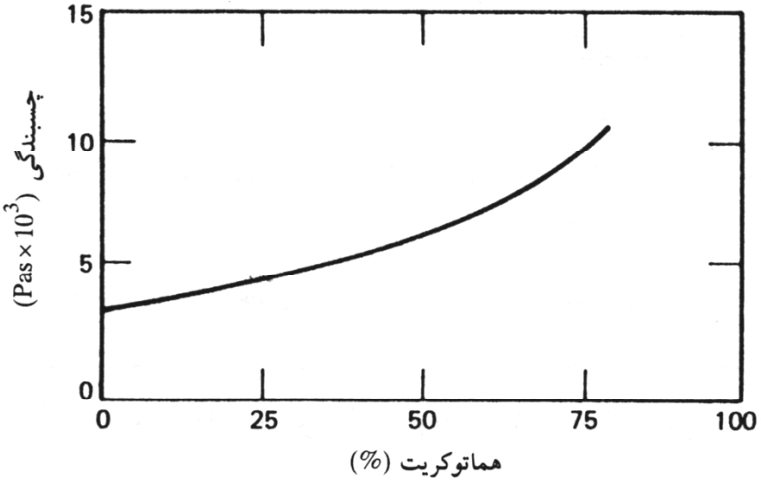


## تغییرات سرعت جریان خون نسبت به سطح مقطع کل رگ ها




**شکل ۱۱ـ۸.** *خط نقطه‌چین شمای تغییر در سطح برش عرضی گردش خون را نشان می‌دهد. با افزایش سطح برش کلی سرعت جریان خون کاهش می‌یابد (خط پر). مساحت سطح برش کل با جمع مساحت همه رگهایی که در فاصلهٔ معینی از قلب قرار دارند به‌دست می‌آید. به این نکته دقت کنید که سطح برش بزرگ سیاهرگ، که خون را به قلب باز می‌گرداند، بسیار بزرگتر از آئورت است.*

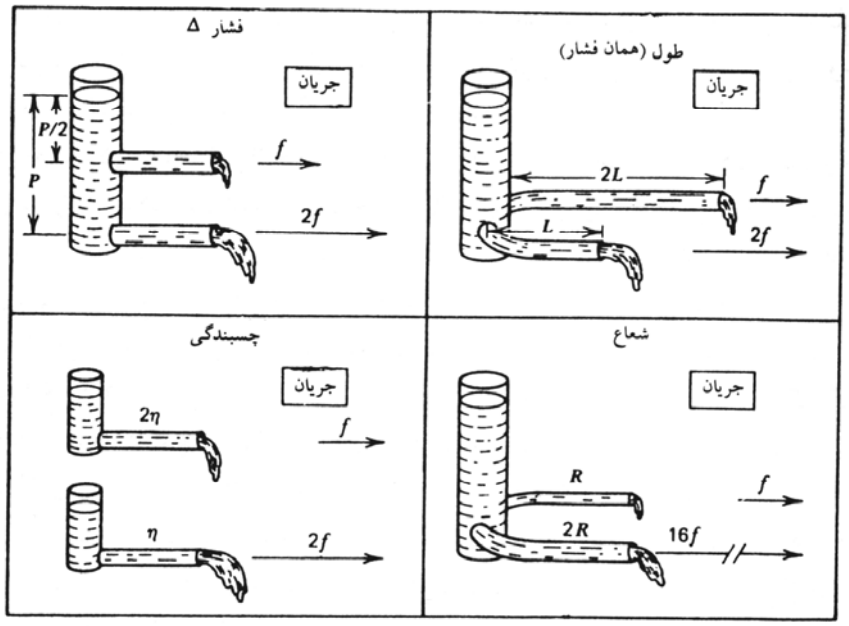
# تأثیر ویسکوزیته (چسبندگی) بر سرعت خون




**شکل ۱۲ـ۸.** *با افزایش تعدادگلبول‌های قرمز در خون (هماتوکریت بالا) ویسکوزیته نیز افزایش می‌یابد و سرعت جریان خون کم می‌شود.*



# عوامل مؤثر بر حرکت خون در رگها




**شکل ۱۳ـ۸.** *یافته‌های پوازوی. آهنگ جریان در یک لوله به اختلاف فشار دو سر لوله، طول آن، ویسکوزیتهٔ مایع و شعاع لوله بستگی دارد. شعاع بیشترین تأثیر را بر آهنگ جریان دارد.*

# عوامل مؤثر بر حرکت خون در رگها

- **معادله پوازی:**

$$flow\ rate = (P_A - P_B)(\frac{\pi}{8})(\frac{1}{\eta})(\frac{R^4}{L})$$

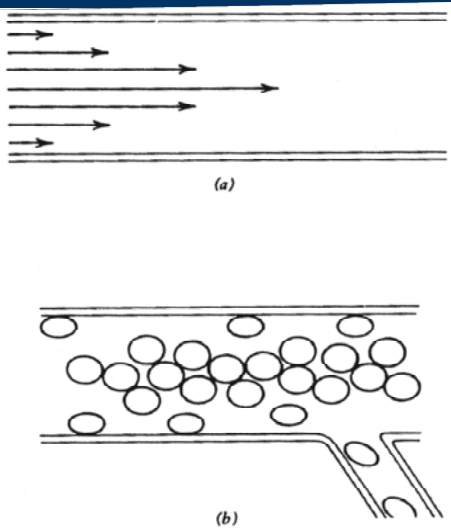
- قانون پوازی برای لوله های سخت با شعاع ثابت برقرار است.
- به دلیل کشسان بودن دیواره رگها، قطر آنها با هر تپش اندکی تغییر می کند.
- به دلیل کاهش قطر رگها در سرخرگچه ها و مویرگ ها، سرعت جریان خون کم شده و فشار کاهش می یابد.



# جریان لایه ای و متلاطم خون

- **جریان لایه ای**
  - جریان آرام و بدون صدا
  - مانند جریان آرام آب در رودخانه
  - جریان بدون صدای خون در اکثر رگها
- **جریان متلاطم**
  - جریان متلاطم و پر سر و صدا
  - جریان خون در دریچه های قلب

# جریان خون در رگها

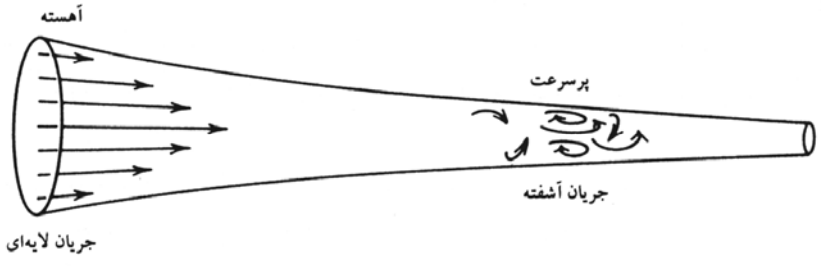



**شکل ۸ـ۱۴.** جریان خون در رگها. (a) در بیشتر رگها سرعت حرکت جریان لایه‌ای در مرکز بیشتر است که با پیکان بلندتر نشان داده شده است. (b) پراکندگی گلبول‌های قرمز یکنواخت نیست، آنها در مرکز متراکم‌ترند و به همین دلیل درصد گلبول‌های قرمز در خونی که وارد سرخرگهای کوچک می‌شود کمتر است تا در سرخرگ اصلی.



# سرعت بحرانی ($V_c$)

- اگر با کاهش شعاع یک لوله، سرعت حرکت یک مایع را در آن به آهستگی افزایش دهیم، سرانجام مایع به سرعت بحرانی $V_c$ می رسد.
- در سرعت بحرانی جریان لایه ای به جریان متلاطم تبدیل می شود.




**شکل ۸ـ۱۵.** اگر مایع در یک لولهٔ قیفی شکل جریان یابد، سرعت آن به آهستگی زیاد می‌شود تا جایی که از سرعت بحرانی $V_c$ نیز بیشتر و باعث ایجاد جریان متلاطم می‌شود.

# سرعت بحرانی ($V_c$)

- سرعت بحرانی با ویسکوزیته مایع (η) نسبت مستقیم و با چگالی آن (ρ) و شعاع لوله (R) نسبت عکس دارد.

$$V_c = K\frac{\eta}{\rho R}$$

- K عدد رینولدز نام دارد.
- اندازه K برای بسیاری از مایعات (مانند خون) که در لوله های مستقیم بلند و با شعاع ثابت جریان دارند، به حدود ۱۰۰۰ می رسد.
- اگر خمیدگی یا گرفتگی در لوله باشد، عدد رینولدز بسیار کوچکتر خواهد شد.



# سرعت بحرانی ($V_c$)

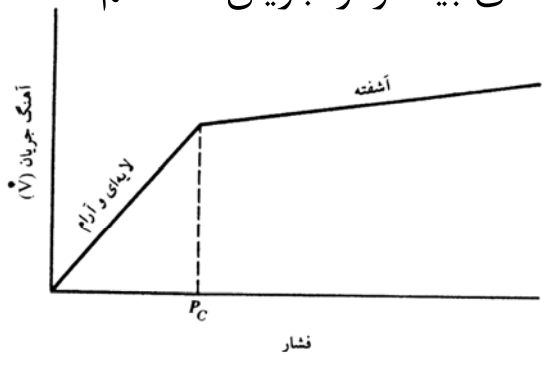
- **مثال:** در آئورت یک فرد بالغ که شعاع حدود 1cm دارد، سرعت بحرانی خون را محاسبه کنید.

$$V_c = K\frac{\eta}{\rho R} = 1000\frac{4\times10^{-3}\,Pas}{10^{3}\,Kg/m^{3}\times10^{-2}\,m} = 0.4\,m/\sec$$

- سرعت خون در آئورت 0-0.5m/sec است.
- بنابراین در بخشی از سیستول جریان متلاطم است.
- در حالت ورزش، سرعت خون برای مدت زمان بیشتری بالاتر از سرعت بحرانی خواهد بود، بنابراین صدای قلب تغییر می کند.

# بازده جریان

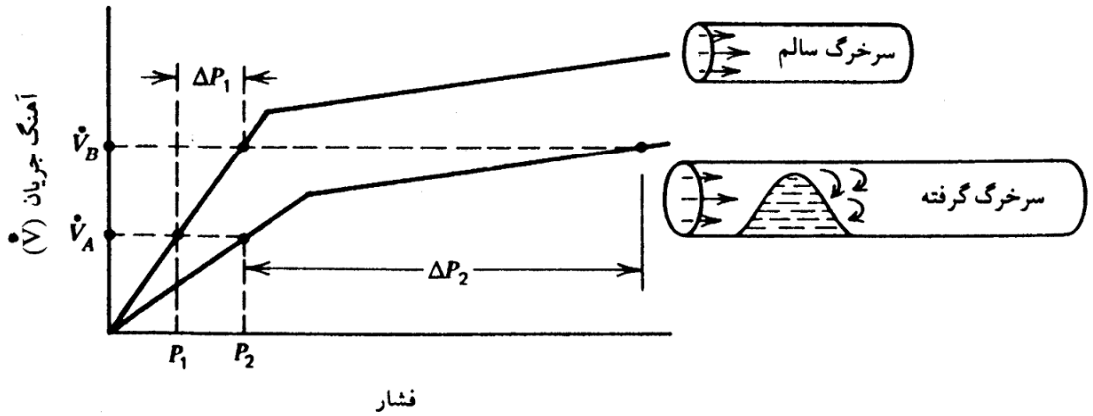
- بازده جریان لایه ای بیشتر از جریان متلاطم است.




**شکل ۱۶ـ۸.** (a) زمانی که جریان درون یک لوله متلاطم می‌شود (در فشار $P_c$)،شیب منحنی آهنگ جریان فشار کاهش می‌یابد، به‌گونه‌ای که در مقایسه با جریان لایه‌ای برای افزایش آهنگ جریان فشار بیشتری لازم خواهد بود.



# بازده جریان در یک سرخرگ دارای گرفتگی



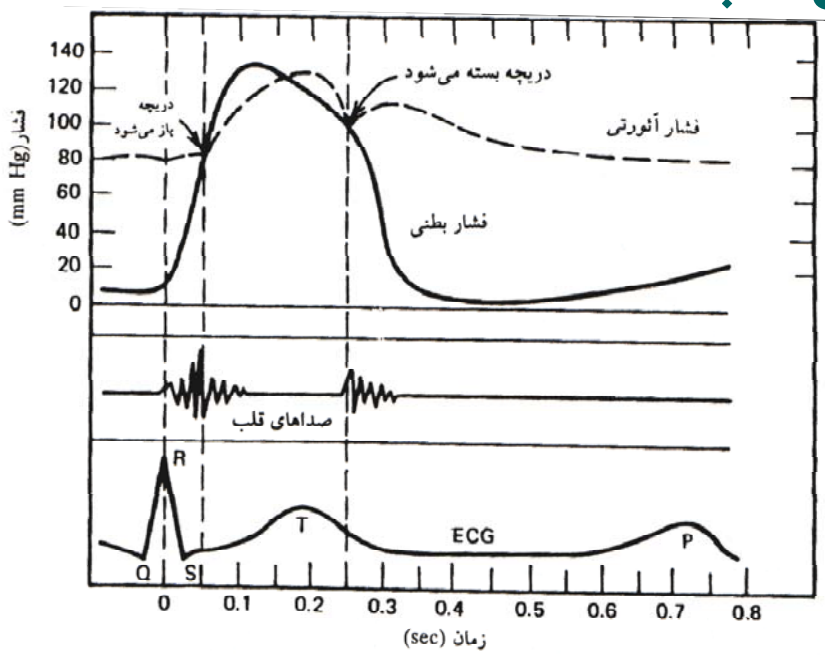

**(b)** در یک سرخرگ بسته، فشار مورد نیاز برای ایجاد یک آهنگ جریان مشخص بزرگتر از آن در یک سرخرگ سالم با همان اندازه است. به علاوه، اگر قرار باشد قلب آهنگ جریان را از $V_A$ به $V_B$ افزایش دهد، به علت تلاطم حاصل از گرفتگی سرخرگ، افزایش فشار بسیار بالاتری ضروری خواهد بود ($\Delta P_2$ در مقایسه با $\Delta P_1$) و بنابراین، قلب باید بیشتر کار کند.

# صداهای قلب

- صداهای قلب یکی از نشانه های تشخیصی بسیار مهم برای پزشکان است.
- باز و بسته شدن دریچه های قلب نقش بزرگی در تولید صداهای قلب دارد.



# صداهای قلب




**شکل ۱۷ـ۸**. *وابستگی به زمان نوار قلب (ECG)، صداهای قلب (فنوکاردیوگرام) (PCG) و بطن چپ و فشار خون آئورتی. بطن انقباض را در زمان t = 0 آغاز می‌کند. زمانی که فشار بطن از فشار آئورت بالاتر می‌رود، دریچهٔ آئورت باز می‌شود این اولین صدای قلب است. بسته شدن دریچه آئورت در تولید صدای دوم نقش دارد. معمولاً صدای اول طولانی‌تر و بزرگتر از صدای دوم است.*

# صداهای قلب

- در صورت غیرطبیعی بودن کار قلب، ممکن است صداهای دیگر نیز به گوش برسد.
- تنگی دریچه ها باعث ایجاد جریان متلاطم در قلب می شود که صدای مورمور (سوفل) تولید می کند.
- میزان و کیفیت صدایی که با گوشی شنیده می شود به موارد ذیل بستگی دارد:
  - چگونگی ساخت گوشی
  - اندازه فشار گوشی بر قفسه سینه
  - جای قرار گرفتن آن
  - چگونگی قرار گرفتن بدن
  - فاز سیکل تنفسی



# صداهای قلب

- فرکانس صداهای قلب بین ۲۰ تا ۲۰۰ هرتز قرار دارد.
- حساسیت گوش در فرکانس های پایین بسیار کم است.
- صوتی با فرکانس ۲۰ هرتز باید ده هزار بار شدیدتر از یک صوت با فرکانس ۲۰۰هرتز باشد، تا گوش آنرا بشنود.
- با تقویت الکترونیکی صداهای قلب، صدا بهتر شنیده می شوند.
- صدای شنیده شده از یک گوشی دارای تقویت کننده الکترونیکی ممکن است متفاوت از یک گوشی طبیعی باشد.
- ثبت ترسیمی صدای قلب، فنوکاردیوگرافی (PCG) نام دارد.

# فیزیک برخی از بیماریهای قلبی و عروقی

**الف- بیماریهای قلبی**

**ب- بیماریهای عروقی**



# الف—بیماریهای قلبی

**۱- افزایش بار کاری قلب**

- کار قلب تابع میزان کشش ماهیچه های قلب و مدت زمان انجام کار است.
- فشار خون بالا سبب می شود کشش ماهیچه به تناسب افزایش یابد.
- تندی ضربان قلب با افزایش مدت زمانی که صرف انقباض ماهیچه می شود، کار قلب را افزایش می دهد.

# الف–بیماریهای قلبی

## ۲- حمله قلبی

- گرفتگی یک یا چند سرخرگ ماهیچه قلب باعث بروز حمله می شود.
- بخشی از ماهیچه قلب که خون رسانی نداشته باشد، می میرد.
- بعد از حمله قبلی توانایی آن در تلمبه کردن خون کاهش می یابد.
- خونرسانی به قسمتهای مسدود شده قلب از طریق مسیرهای فرعی تا حدی جبران می شود.
- برای درمان آن، کاهش کار قلب از طریق استراحت در بستر و اکسیژن تجویز می شود.



# الف–بیماریهای قلبی

## ۳- نارسایی احتقانی قلب

- عامل بیماری ناشناخته است.
- بزرگ شدن قلب و کاهش توانایی آن در میسر ساختن گردش خون به میزان کافی
- طبق قانون لاپلاس اگر شعاع قلب دو برابر شود، برای حفظ فشار خون اولیه باید کشش ماهیچه قلب نیز دو برابر شود.
- چون ماهیچه قلب کشیده شده، نمی تواند برای برقراری جریان طبیعی نیروی کافی به وجود آورد.
- یک قلب کشیده شده نسبت به یک قلب طبیعی، به ازای انجام کار برابر انرژی بیشتری مصرف می کند.
- روش درمان آن، کاهش کار قلب و پیوند قلب است.

# الف–بیماریهای قلبی

**۴- اشکالات دریچه ای**

- **دریچه به اندازه کافی باز نمی شود (تنگی دریچه)**
  - کار قلب به دلیل غلبه بر گرفتگی زیاد می شود.
  - جریان خون در گردش عمومی کاهش می یابد.
- **دریچه به خوبی بسته نمی شود (نارسایی دریچه)**
  - بخشی از خون تلمبه شده به قلب پس زده می شود.
  - کاهش حجم خون در گردش
- **درمان**
  - جایگزینی با دریچه های مصنوعی



# ب– بیماریهای عروقی

**۱- آنوریسم**

- ضعف دیواره سرخرگ که باعث افزایش قطر آن می شود.
- در حالت طبیعی میزان کشش سرخرگ با افزایش قطر آن، زیاد می شود.
- در آنوریسم میزان کشش کم می شود که باعث تورم و در حالت شدید پارگی رگ می شود.

# ب– بیماریهای عروقی

## ۲- تشکیل پلاک های اسکلروتیک

- این پلاک ها با ایجاد جریان متلاطم، نوسانات جریان خاصی در رگها تولید می کنند.
- همچنین به دلیل تنگ کردن سرخرگ، سرعت خون را در آن ناحیه افزایش داده و فشار در دیواره رگ کاهش می یابد.
- گاهی پلاک کنده شده و در جریان خون حرکت می کند که ممکن باعث گرفتگی و یا سکته مغزی شود.



# ب– بیماریهای عروقی

## ۳- واریس

- نارسایی دریچه های یک طرفه سیاهرگ ها باعث گشادی سیاهرگ های سطحی پا می شود.
- به علت وزن ستون خون در بدن، فشار در پاها بالا می رود (۹۰ میلیمتر جیوه) و رگ ها متورم می شوند.
- درمان قطعی برداشتن سیاهرگ های مبتلا به واریس با جراحی است.