

# 第四章 循环系统（下）

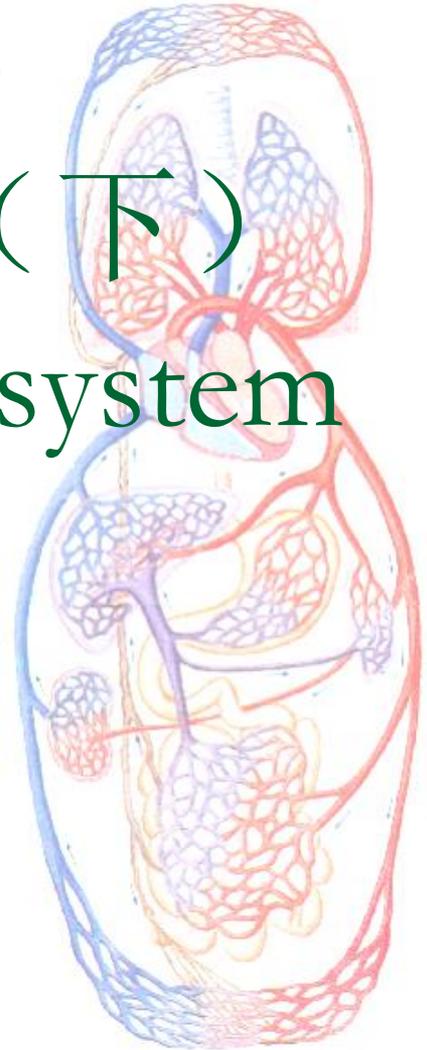
## Circulatory system

郭军 MD

食品质量与安全系

[guojunge@china.com](mailto:guojunge@china.com)

13947146554



---

## § 4-3 血管生理

*Physiology of blood vessels*

## § 4-4 心血管活动的调节

*Regulation of cardiovascular activity*

## § 4-5 器官循环

*Organ circulation*

---

## § 4-3 血管生理

### *Physiology of blood vessels*

#### 本节内容提要

1. 血管分类、特点和功能
2. 血流、血压与脉搏
3. 微循环
4. 组织液的生成和回流
5. 淋巴液的生成和回流

# 1. 血管 Blood vessel 分类 和 特点

- 一般划分 掌握，要求英文

## A 动脉 Artery

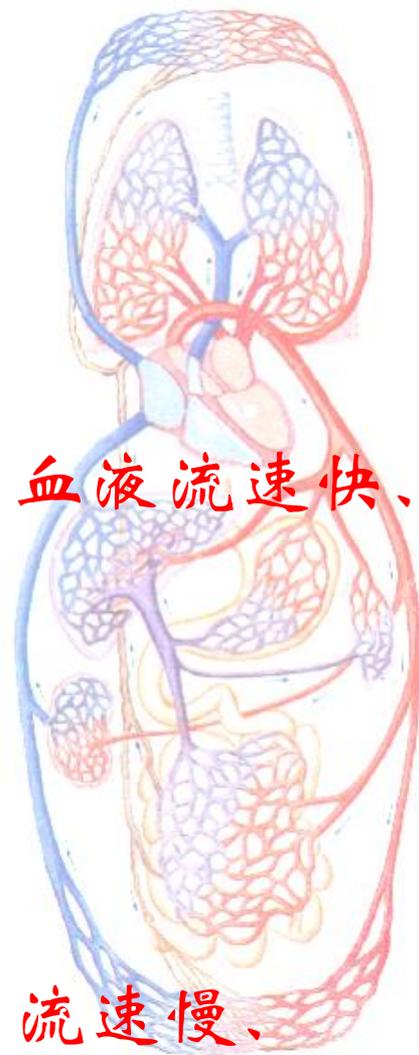
大动脉、小动脉、微动脉

特点：分布深、管壁厚、有弹性、血液流速快、  
能搏动。有平滑肌层。

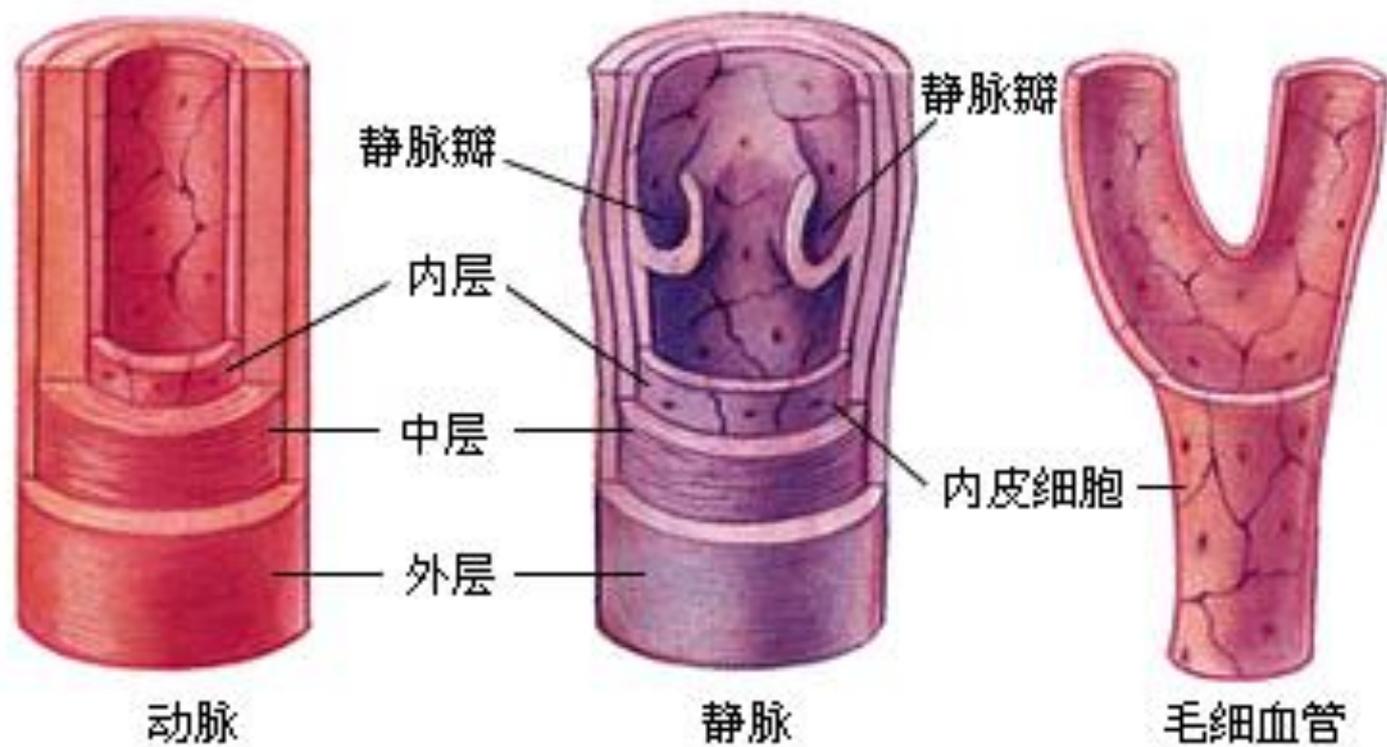
## B 静脉 Vein

大静脉、小静脉、微静脉

特点：管壁薄、管腔大、弹性小、流速慢、  
有静脉瓣(如四肢)。有平滑肌。







各类血管壁的结构

## C 毛细血管 *capillary vessel*

真毛细血管、通血毛细血管、毛细血管括约肌

特点：

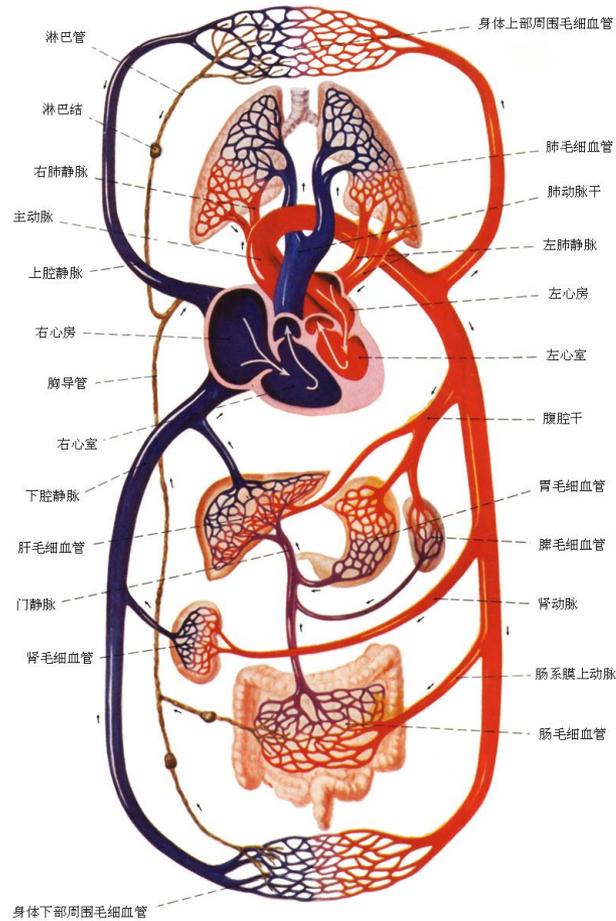
分布广、数量大、管壁薄（一层上皮细胞）、  
通过性大、管径小（一个RBC通过）、  
血液流速最慢。

## 循环系统血管的联通形式

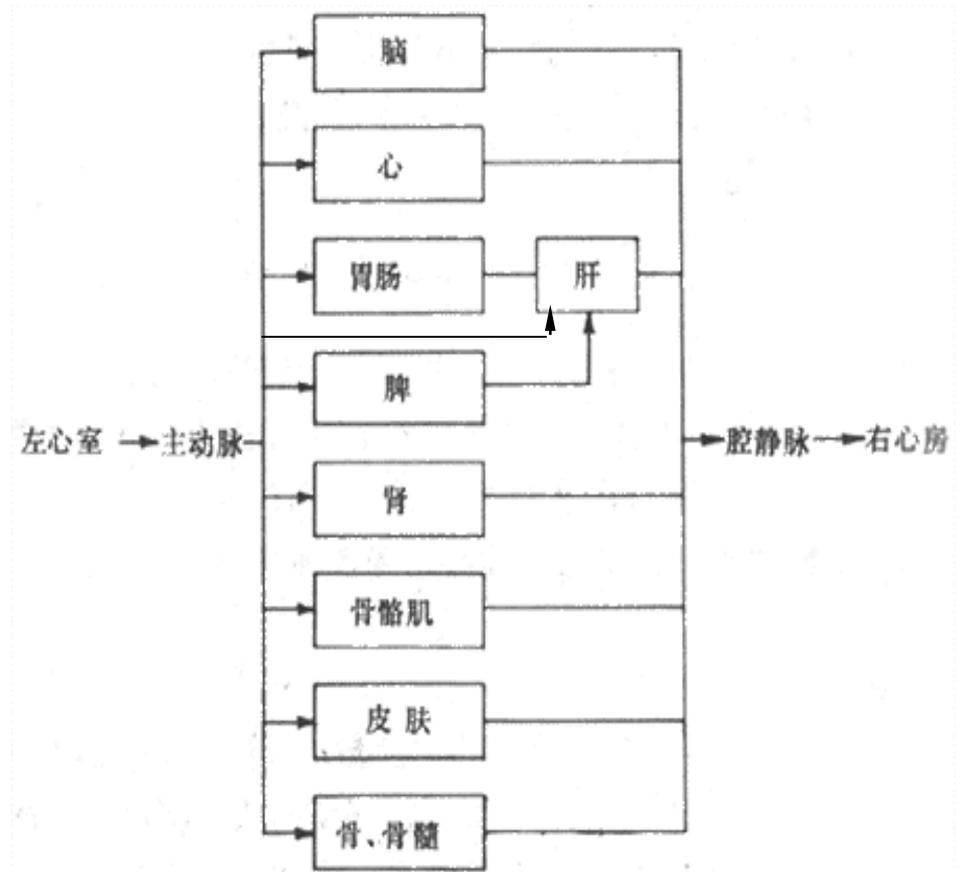
**串联关系** 动脉 → 毛细血管 → 静脉

**并联关系** 各器官的血管





大、小循环示意图



## 血管的串连和并联关系

## ■ 以功能和结构特点

血管细分 7类 要求:熟悉

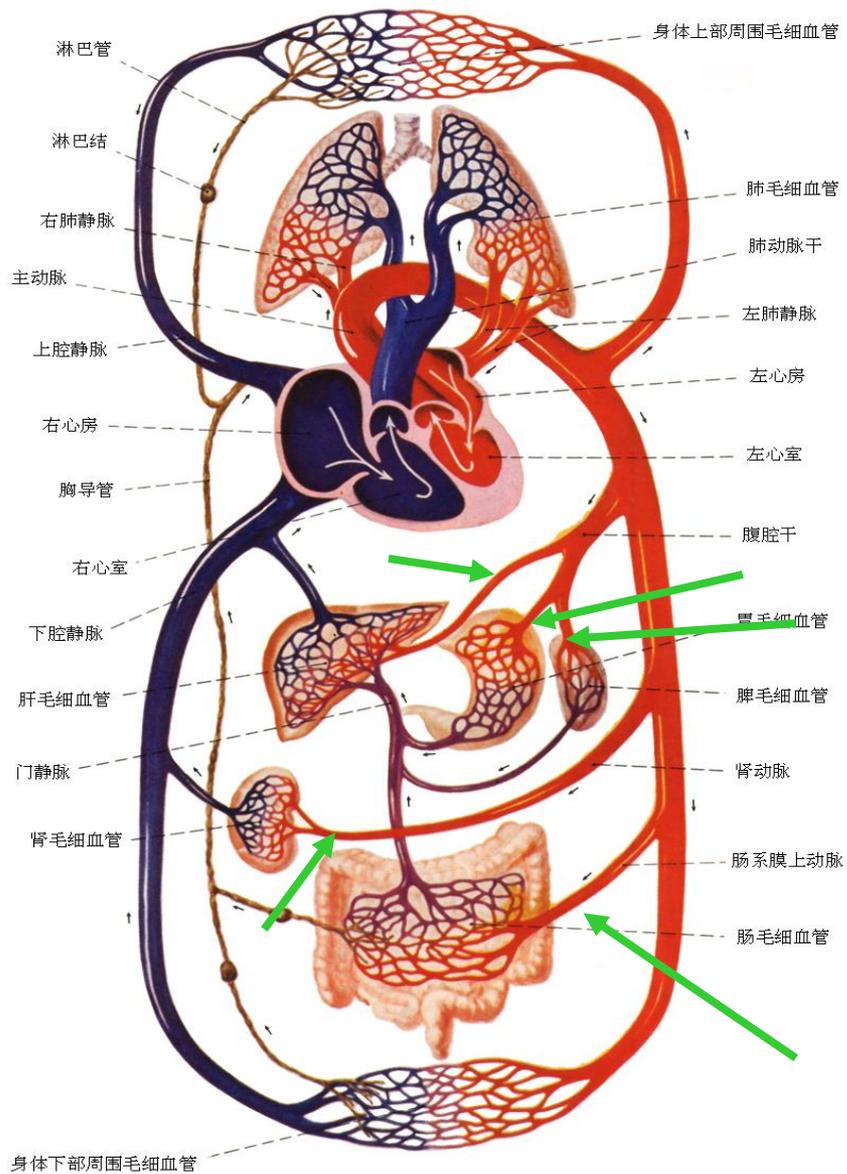
A 弹性贮器血管 对血流和血压影响大

主动脉、肺动脉及其最大分支



B 分配血管

中动脉，将血液输送到各 器官、组织



大、小循环示意图

## C 阻力血管 *resistance vessel*

i 毛细血管前 *percapillary* ~

小动脉  $\phi \leq 1\text{mm}$

微动脉  $\phi \leq 500 \mu\text{m}$

血流阻力大，占外周阻力 55 %

对 血压 影响较大

ii 毛细血管后 *postcapillary* ~

微静脉

舒缩可影响 *capi* 的前、后阻力的比值



影响 微循环 血流量，影响 组织液 的形成

## ① 毛细血管前括约肌

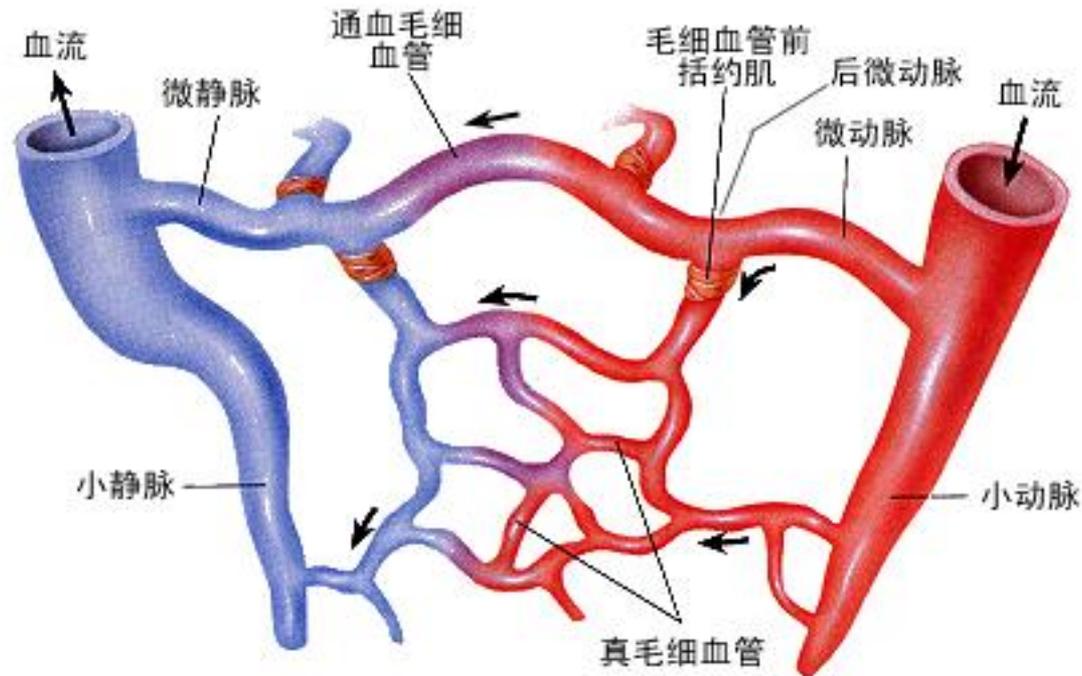
真capi起始部常有平滑肌环绕,

控制 capi 是否开放 和 开放的数量

## E 交换血管

即 真毛细血管 外周阻力 25 %

壁薄、通透性高，物质交换



微循环模式图

F 容量血管 *capacitance vessel*

静脉

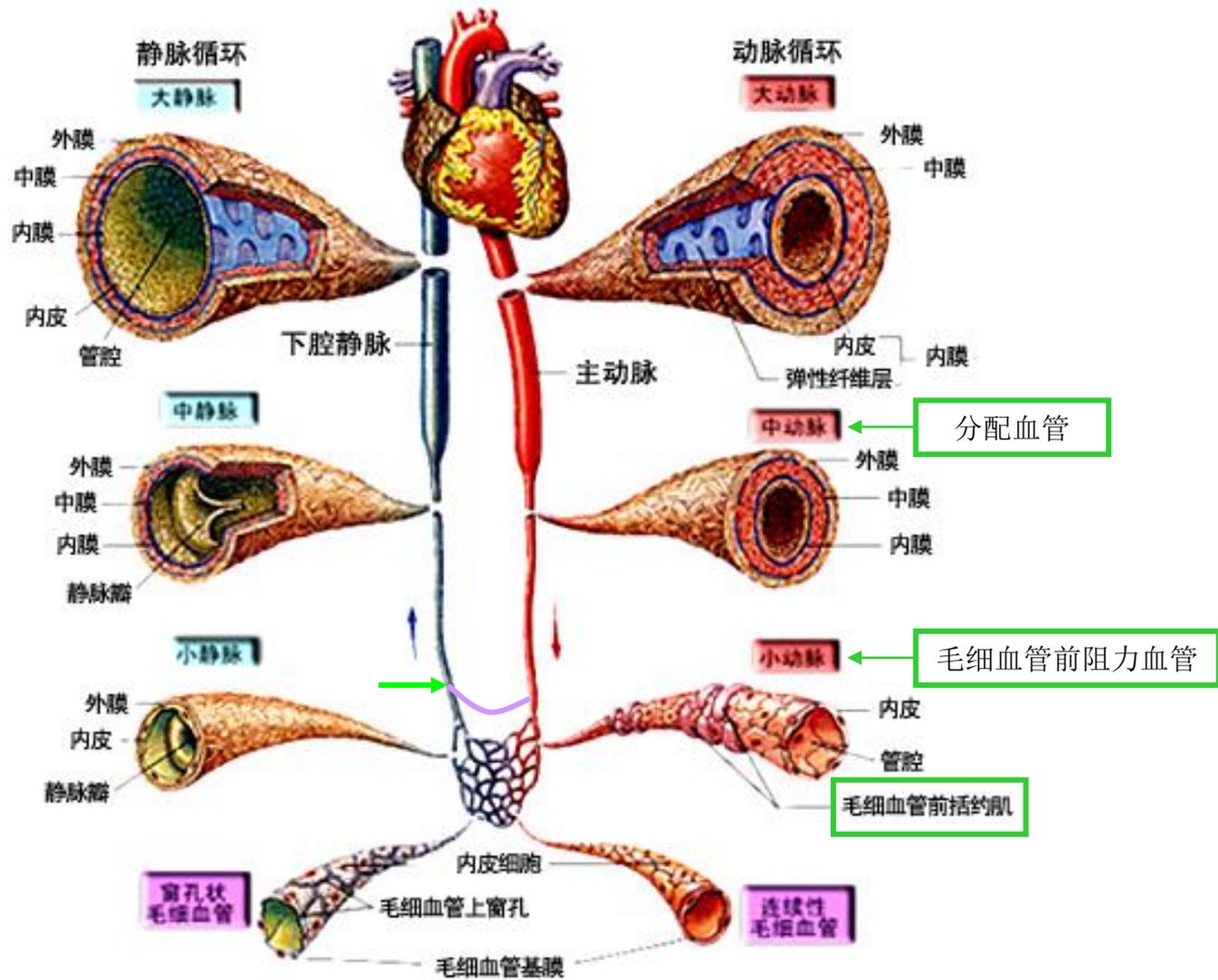
血液贮存库作用，循环血量 60% ~ 70%

G 动脉 - 静脉吻合支 / 短路血管

小动脉和小静脉之间的联系。

手指、足趾、耳廓等处皮肤有许多短路血管。

体温调节作用。



各级血管的结构

## 2. 血流量、血流速度和血流阻力

了解有这样的概念，不要求掌握

- **血流量** 单位时间内流过血管某一截面的血量。

单位： $ml/min$  或  $L/min$ 。

血流量 ( $Q$ ) 与血管两端的压力差 ( $P_1 - P_2$ ) 成正比，与血流阻力 ( $R$ ) 成反比。

$$Q = \frac{P_1 - P_2}{R}$$

- **血流速度** 血液中的一个质点在血管内移动的线速度。

---

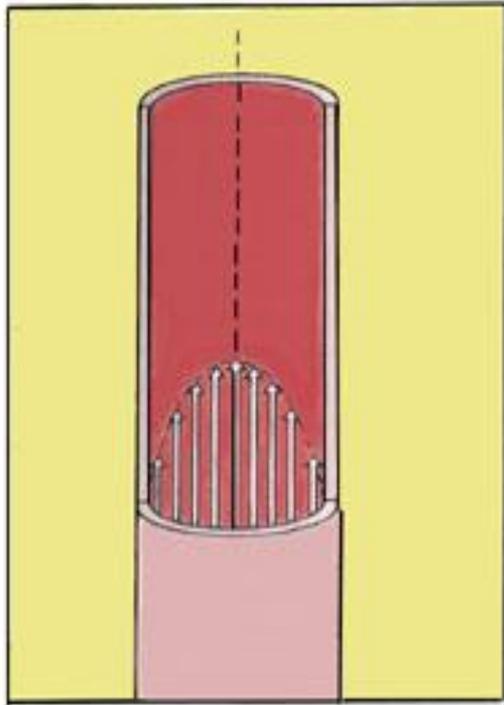
- 血流阻力（不要求掌握）

血液在血管内流动时所遇到的阻力

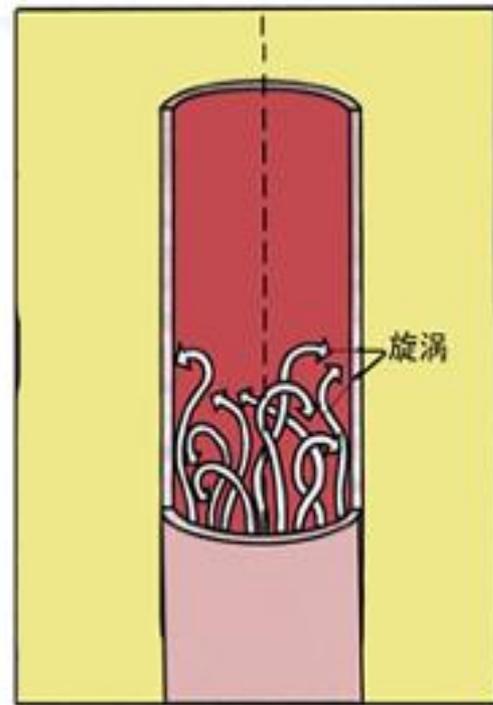
$$R = (8 \times \eta \times L) / \pi r^4$$

## ■ 血流方式

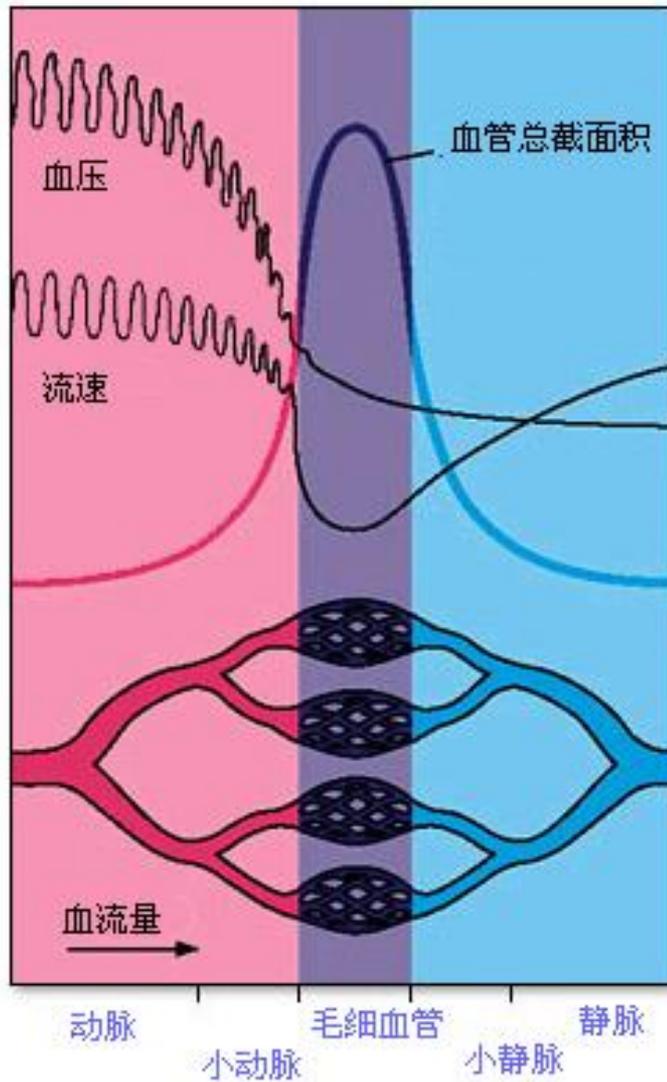
### — 层流 和 湍流



层流情况下各层血液的流速

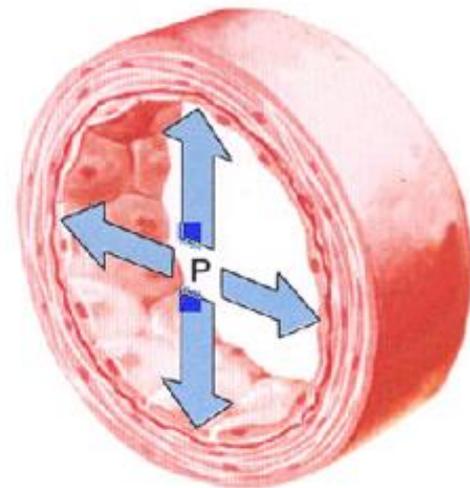


在湍流时液体中各个质点  
流动方向不一致出现涡流



循环系统中血管总截面积、  
血压和流速之间的关系图

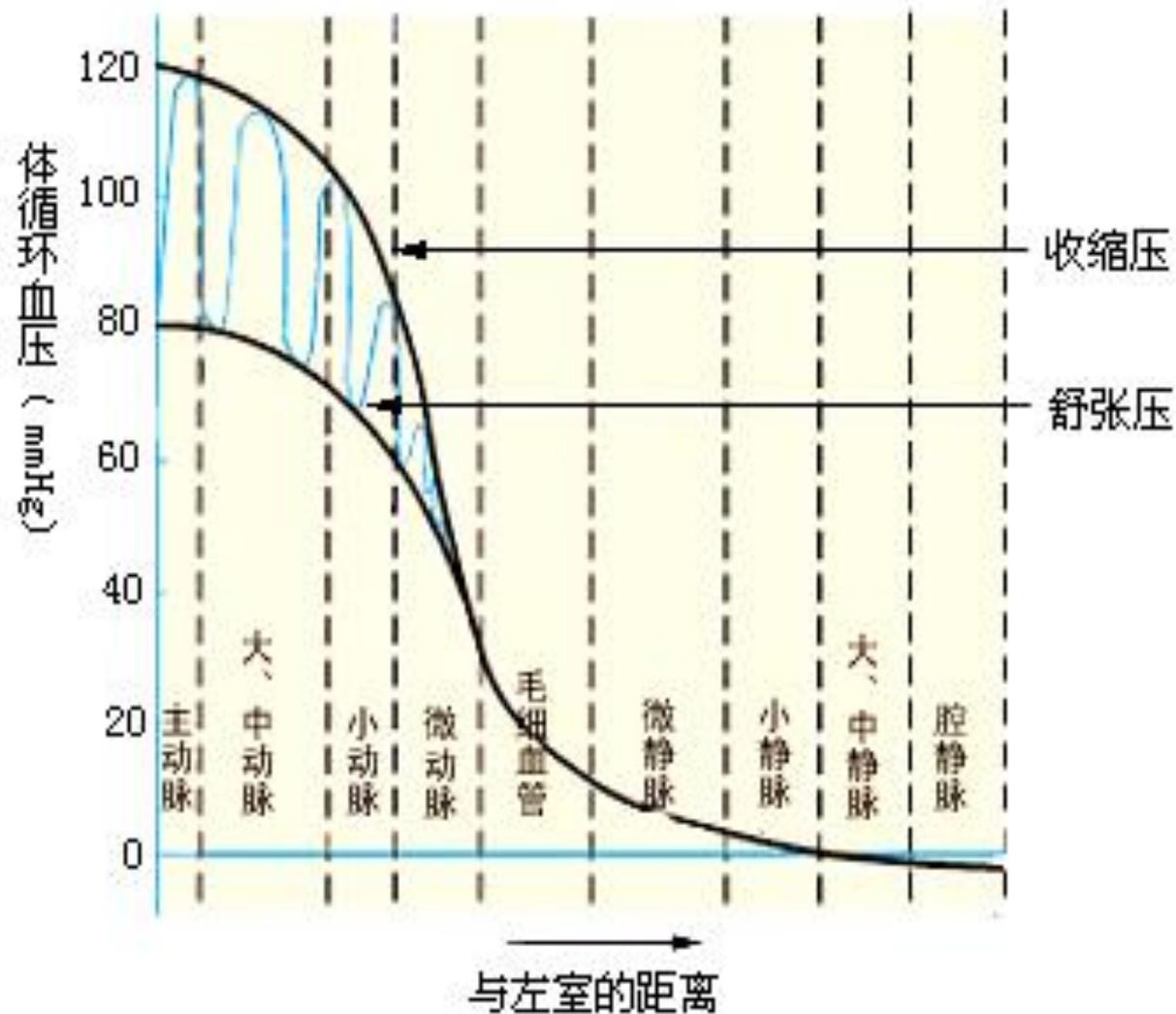
## 3. 血压 *Blood pressure*



血压的形成示意图

### 3.1 概念、单位和正常值

- 广义：指**血液**对单位面积血管壁的侧压力，即血液对管壁的压强。
- 狭义：一般仅指动脉血压，且仅主动脉压，通常用肱动脉压值。



从左心室开始，随着血流距离的增加，动脉血压逐渐下降

## ■ 血压测定 相对于大气压

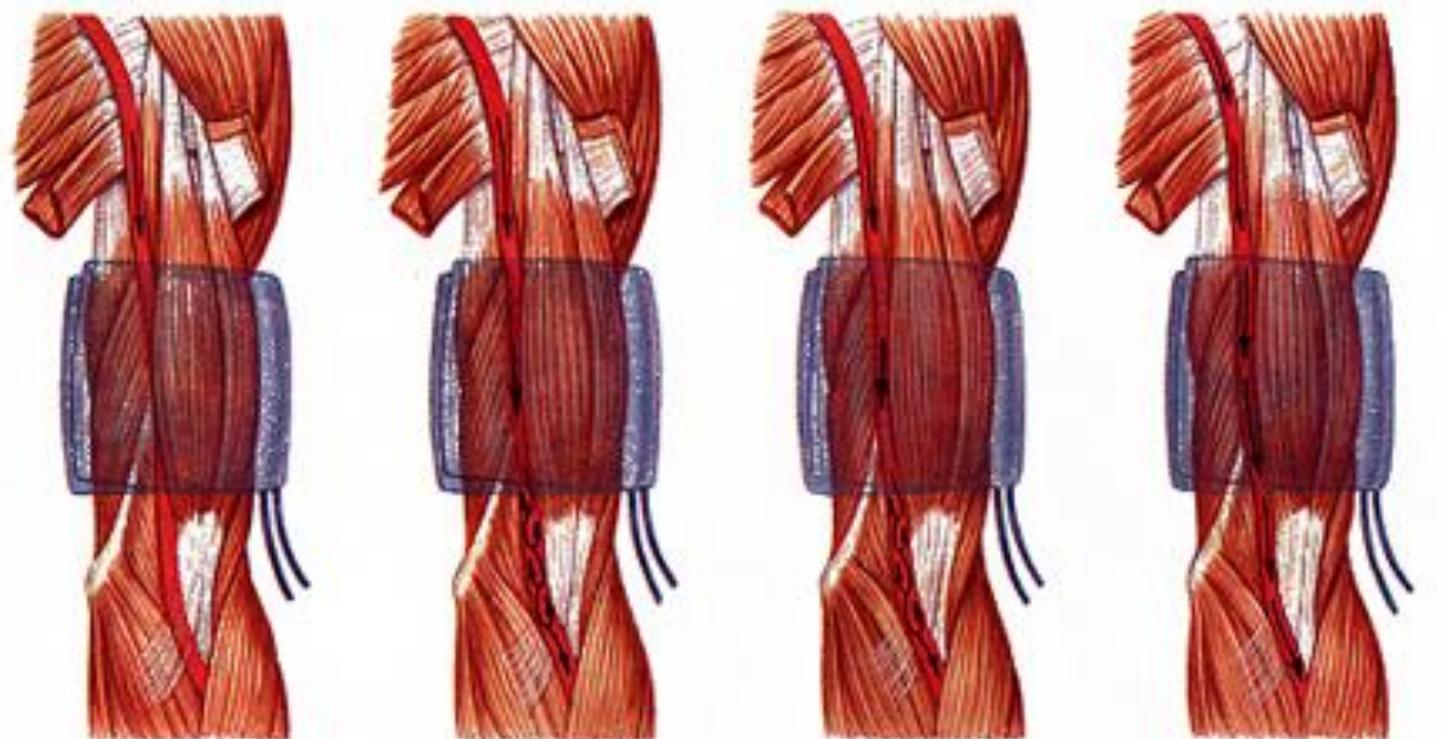
### (1) 经典方法

导管插入动脉、静脉或心腔，另一头连装水银(汞)的U形管(水银压力计)。

### (2) 间接测定法 (临床常用)

适用于**动脉压测定**

听诊器间接测定肱动脉收缩压和舒张压。



无声音  
袖带内压=140

第一声脉搏音  
袖带内压=120  
收缩压=120mmHg

收缩期内全有脉搏音  
袖带内压=100

最后的脉搏音  
袖带内压=80  
舒张压=80mmHg

血压=120/80

图：血压测量中血流和脉搏音的情况

---

- **单位**

**国际单位, 帕 Pa, 千帕 kPa**

**惯用单位, mmHg, mmH<sub>2</sub>O**

**1mmHg = 133 Pa = 0.133 kPa**

---

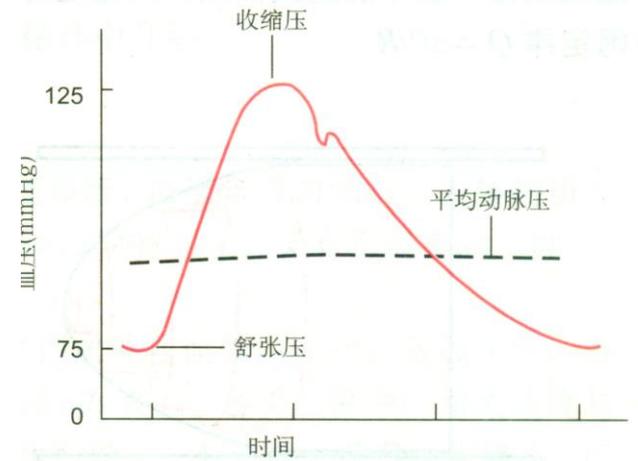
## ■ 动脉血压正常值 (安静状态)

**A 收缩压** systolic pressure, SP  
心室收缩期动脉压最高值。

100 ~ 120 mmHg / 13.3 ~ 16.0 kPa

**B 舒张压** diastolic pressure, DP  
心室舒张末期动脉压最低值。

60 ~ 80 mmHg / 8.0 ~ 10.6 kPa



---

**C 脉搏压 简称 脉压 pulse pressure, PP**

$$PP = SP - DP$$

**30 ~ 40mmHg / 4.0 ~ 5.3 kPa**

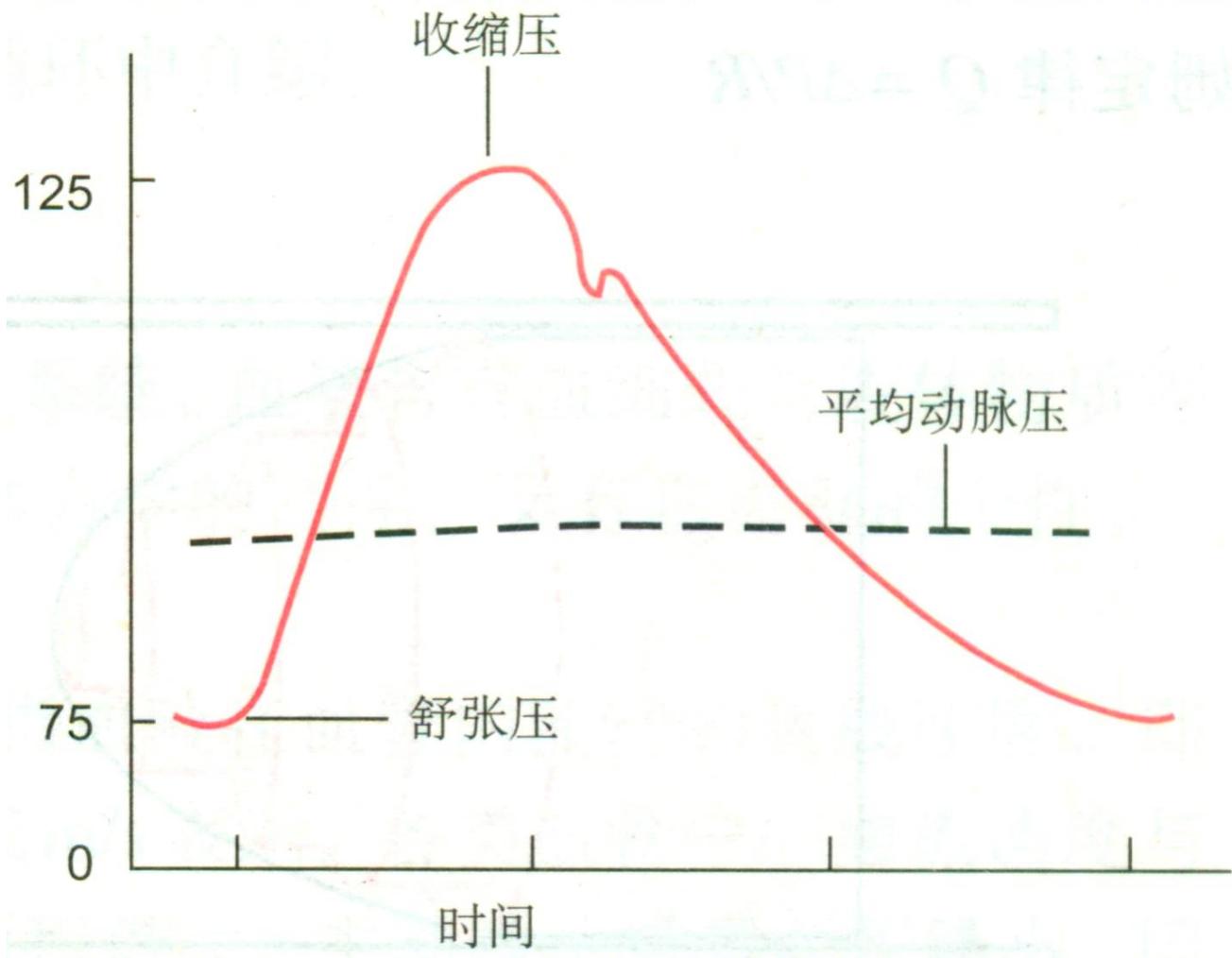
**D 平均动脉压 mean arterial pressure, MP**

**一个心动周期每个瞬间动脉压平均值。**

**由于舒张期长于收缩期, MP 靠近DP**

**100mmHg / 13.3 kPa (DP + 1/3 PP)**

---



■ 收缩压、舒张压和平均动脉压的关系

---

- **国际和国家高血压标准**  
**成人 安静时**

**舒张压 > 90 mmHg, 为高血压**  
**不论收缩压如何**

**舒张压 < 50 mmHg, 为低血压**

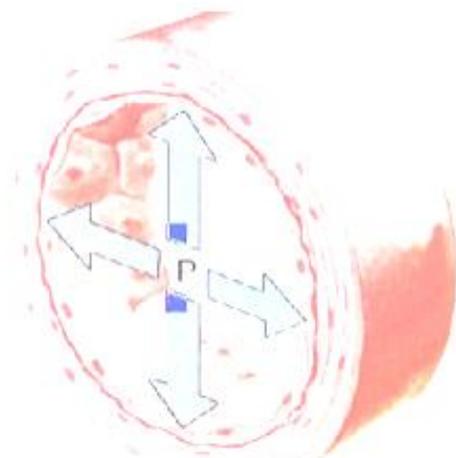
**血压高于 140 / 90 mmHg 则为高血压。**

**血压低于 90 / 50 mmHg 则为低血压。**

---

## 3.2 血压的形成 基本因素

### A 循环系统 血液充盈 充盈/容量



#### 体循环平均充盈压

当血流停止时，循环系统内各处压力相等，此压力值为体循环平均充盈压。

食盐/钠 → 体液量 → 血液量/血液充盈度

### B 心室射血

### C 外周阻力的存在

动脉血压主要是心室射血与外周阻力两者之间互相作用的结果。

## D. 大动脉管壁的弹性贮器作用

### “第二心脏”的作用

#### i 保证动脉内血液连续液流动

心脏射血是间断的

#### ii 缓冲了大动脉内血压的巨大变化

动脉压的波动幅度远小于心内压力波动



主动脉管壁弹性对血流和血压的作用

## 3.3 影响动脉血压的因素

### A 每搏输出量

搏出量的变化主要体现在收缩压

### B 心率 心率加快 舒张期缩短

搏出量不变，心率增和减时舒张压变化明显

### C 外周阻力 阻力增大，舒张期滞留血增多 舒张压的高低反应外周阻力的大小

---

**D 主动脉、大动脉的弹性贮器作用  
弹性改变影响血压，如动脉硬化**

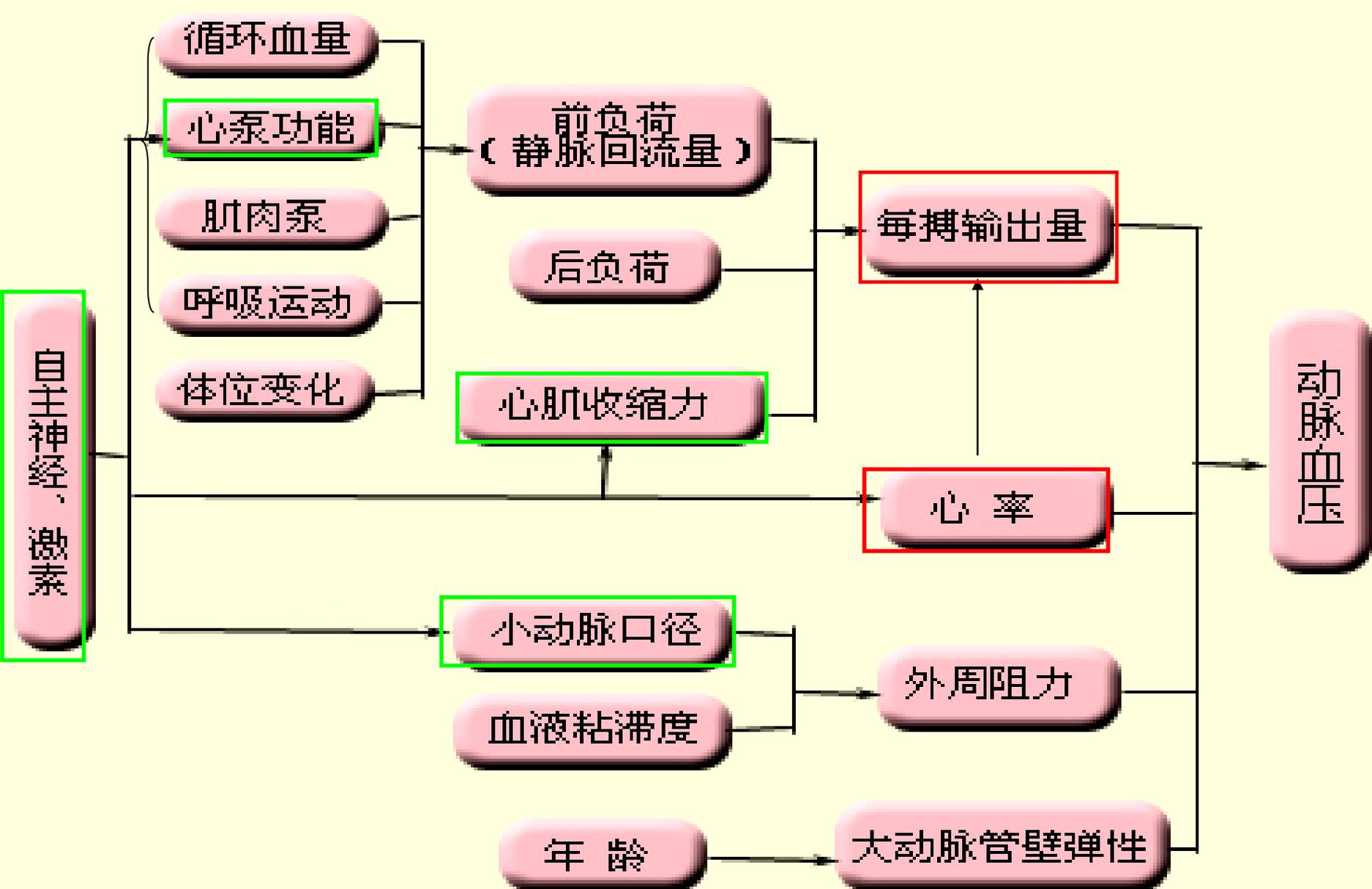
**E 循环血量与血管容积之比**

**对老年人血压影响明显**

**肾脏病变**

**输液 脱水**

---



动脉血压的影响因素

# 专题讲座题目：高血压

- 概念
- 分类
- 治疗基本原则或方法
- 降压饮食

## 3.4 静脉血压和静脉回心血量

- 静脉系统容量很大，而且静脉容易被扩张，起着血液贮存库的作用。

静脉 即 容量血管 capacitance vessel

- 静脉的收缩或舒张可有效地调节回心血量和心输出量，使循环机能能够适应机体在各种生理状态时的需要。

## 思考题：

### 1. 久卧或坐着，突然站立时为何头晕、眼花(眼发黑)? P 83

提示：突然站立，重力使a 下肢静脉扩张，大量血液短暂淤积(滞留)下肢，b 回心血减少，心输出量减少，动脉压下降，引起上身大脑和视网膜供血不足，出现头晕、眼发黑，甚至昏厥等症状。

脑膜矢状窦血压 降至 - 10mmHg  
视网膜缺血。

### 2. 做火车时间久了，为什么脚会肿大?

“站立职业”的“静脉曲张”是怎么回事?

提示：

(1) 坐位，长期站姿，重力使血液滞留下肢深部静脉。久做静脉流通不畅。

(2) 肌肉泵 — 运动时才发挥作用。

(3) 不运动，心脏处于低功率状态

适当的运动有“按摩心脏”的作用!!!

## ■ 概念

A 中心静脉压

B 外周静脉压

通常将右心房和胸腔内大静脉的血压称为中心静脉压，而各器官静脉的血压称为外周静脉压。

中心静脉压是反映心血管功能的又一指标。临床上在用输液治疗休克时，除须观察动脉血压变化外，也要观察中心静脉压的变化。

## ■ 静脉压的大小:

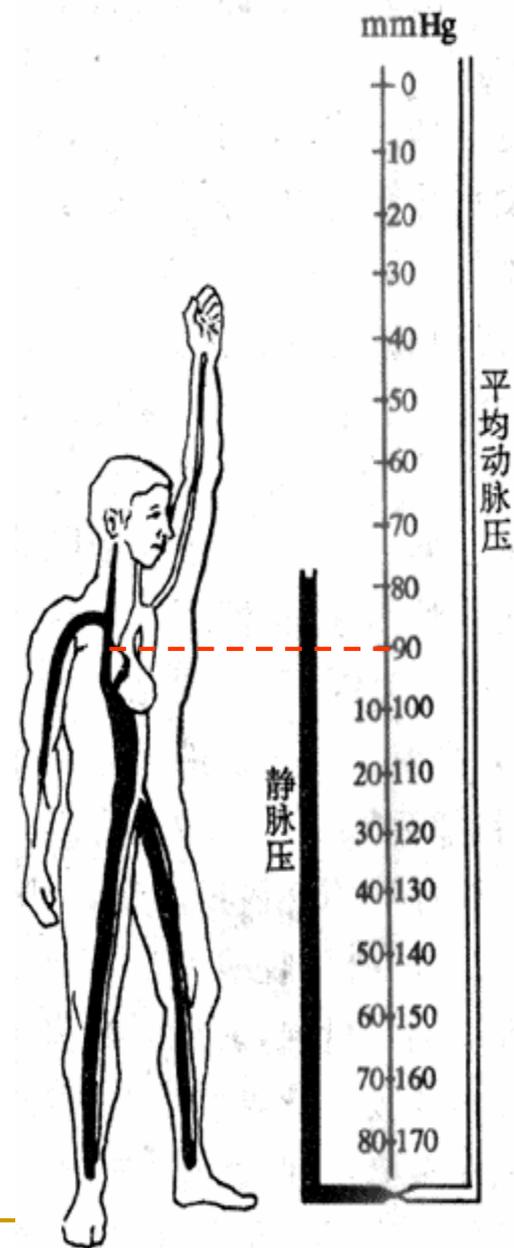
静脉压低

外周静脉压

15 ~ 20mmHg/ 2.0 ~ 2.7 kPa

中心静脉压

≈ 4 ~ 12 cm H<sub>2</sub>O / 0 ~ 1.2 kPa



- 微静脉

毛细血管后阻力血管，影响毛细血管血压，组织液生成和物质交换。

- 血管的跨壁压 transmural pressure

跨壁压 = 血液对血管壁压力  
- 血管外组织对血管压力

跨壁压为正值，血管膨胀，充盈好；跨壁压为负值，血管塌陷，充盈不好。

- **中心静脉压的影响因素：** 要求：熟悉 教材 82 - 83

## A 心室射血能力/ 心肌收缩力

心室射血能力强 → 及时将回心血射出 → 中心静脉压则低；心室射血能力弱 → 不能及时将回心血射出，血淤于心 → 中心静脉压则高

**右心衰：** 右室搏出量↓，右房压↑，体循环淤血  
颈静脉怒张，肝淤血

心源性水肿：全身性，脸、手、脚

**左心衰：** 左室搏出量↓，左房压↑，肺淤血、水肿  
肺心病！

## B 静脉回流速度

影响静脉回流 因素有

a 三泵:

心泵、肌肉泵、呼吸泵

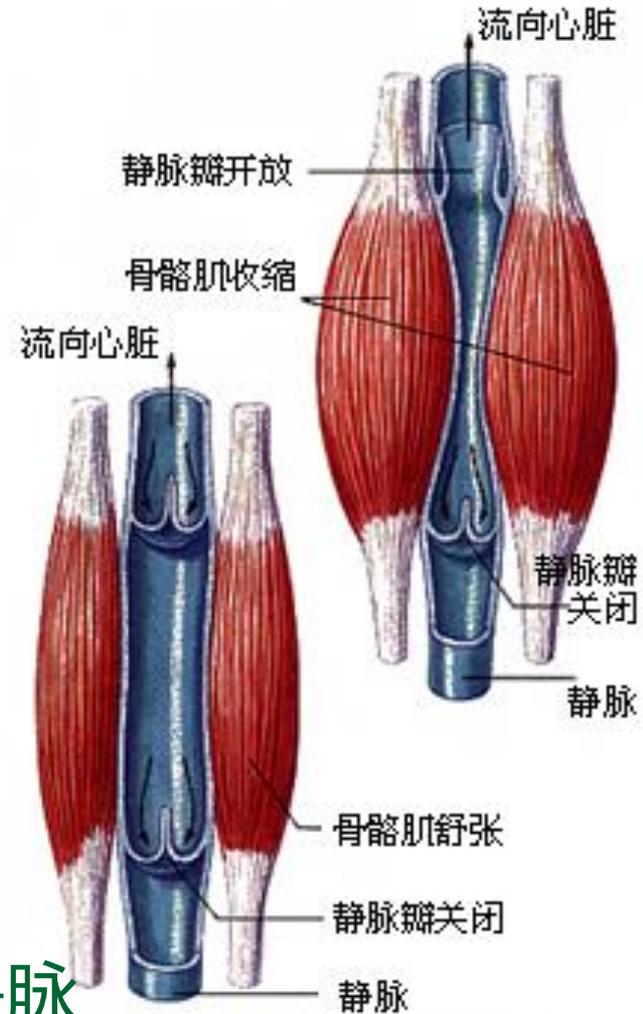
b 体位/重力

c 血量 静脉张力

d 平均充盈压

思考题：何谓肌肉泵？ P 83

肌肉收缩时挤压静脉，又由于静脉瓣的存在，加速静脉血回流心脏。



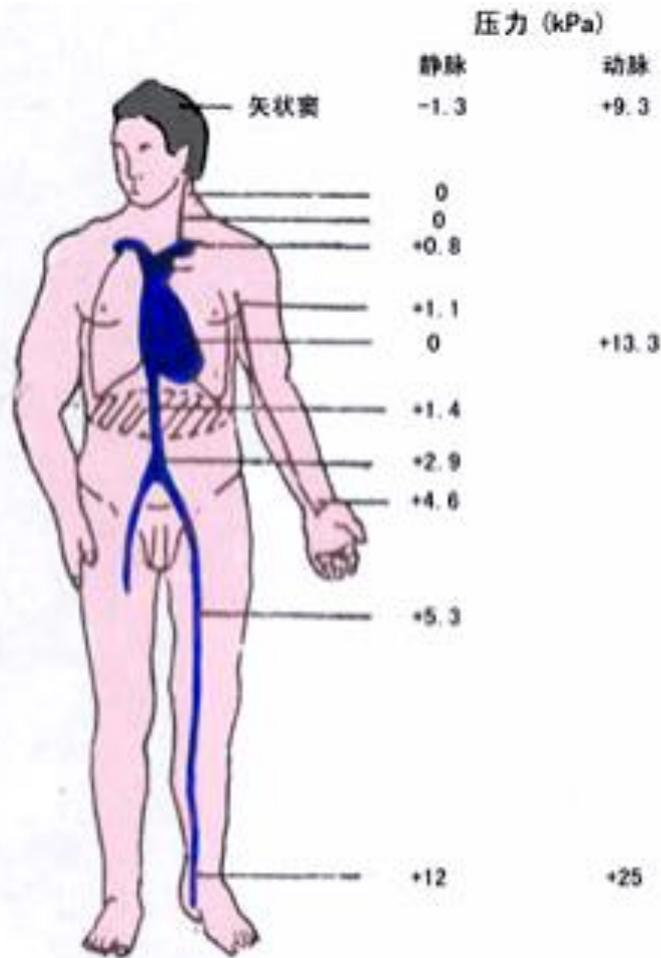
静脉瓣与骨骼肌相互配合，对静脉回流起“泵”的作用

## C 重力和体位

重力对静脉压的影响  
远大于对动脉血压的影响。

地心引力，产生一定的静水压。  
各部静水压取决于人体的体位。

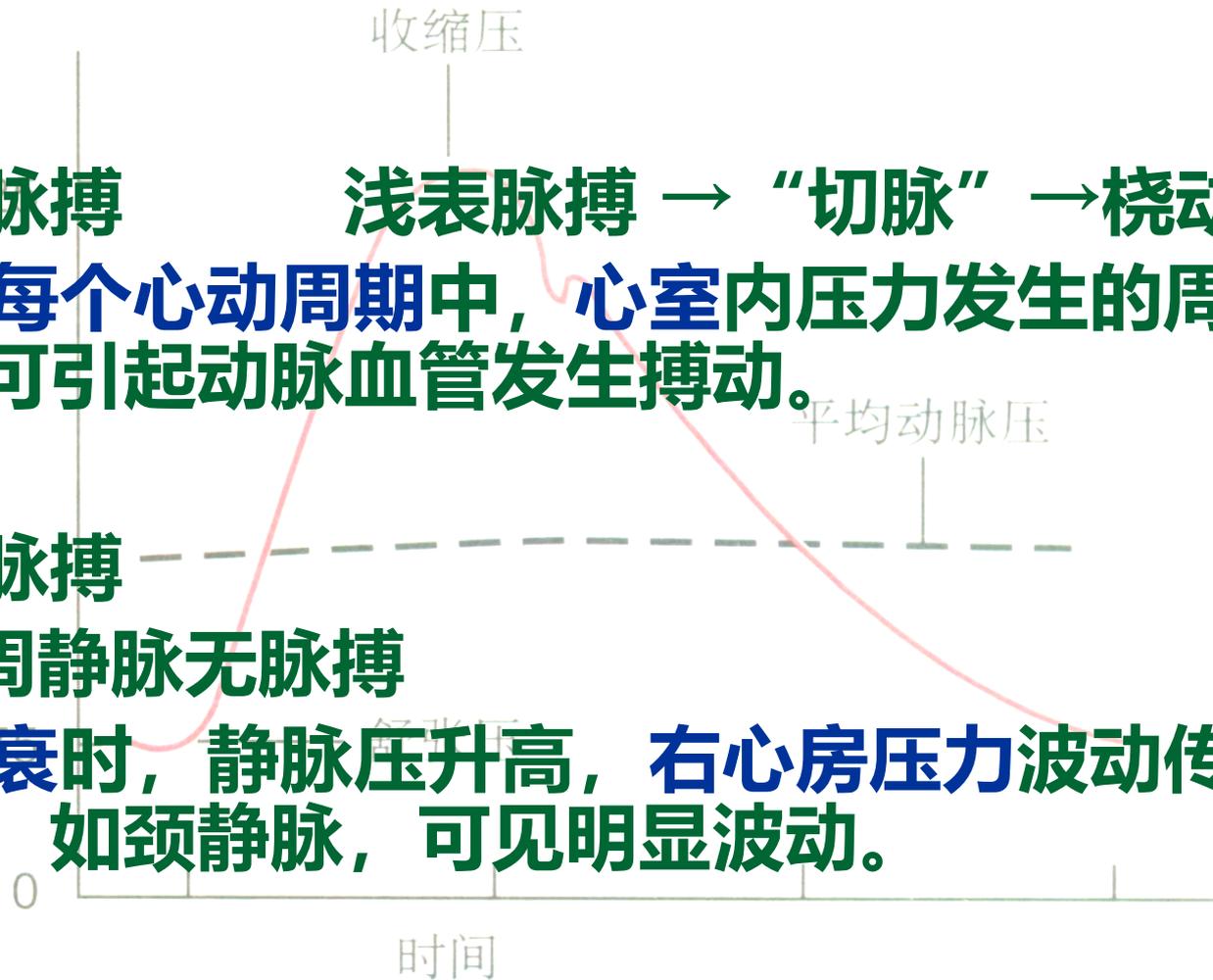
平卧 身体各静水压也大致相同；  
直立 足部血管内血压比卧位时高



人体直立时，流体静力压对静脉和动脉压的影响

### 3.5 脉搏 pulse 了解, 自学

- **动脉脉搏**      **浅表脉搏** → “切脉” → 桡动脉  
    **在每个心动周期中, 心室内压力发生的周期性变化可引起动脉血管发生搏动。**
- **静脉脉搏**  
    **外周静脉无脉搏**  
    **心衰时, 静脉压升高, 右心房压力波动传至大静脉, 如颈静脉, 可见明显波动。**



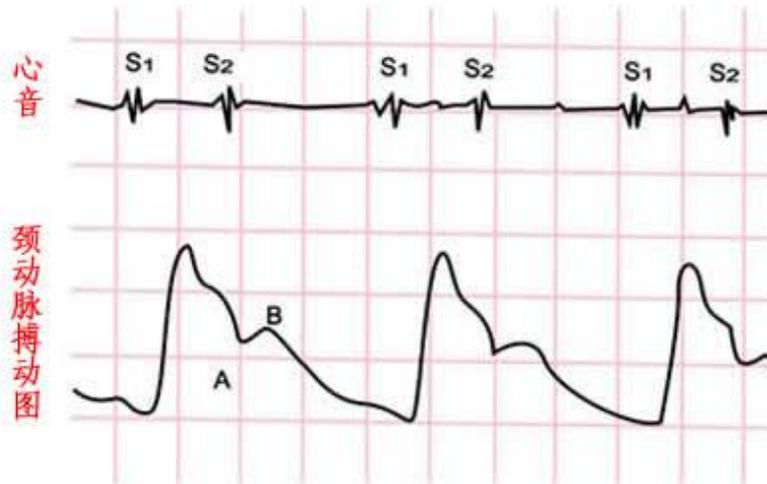
# ■ 动脉脉搏的波形 (不要求)

上升支 射血期

下降支 舒张期

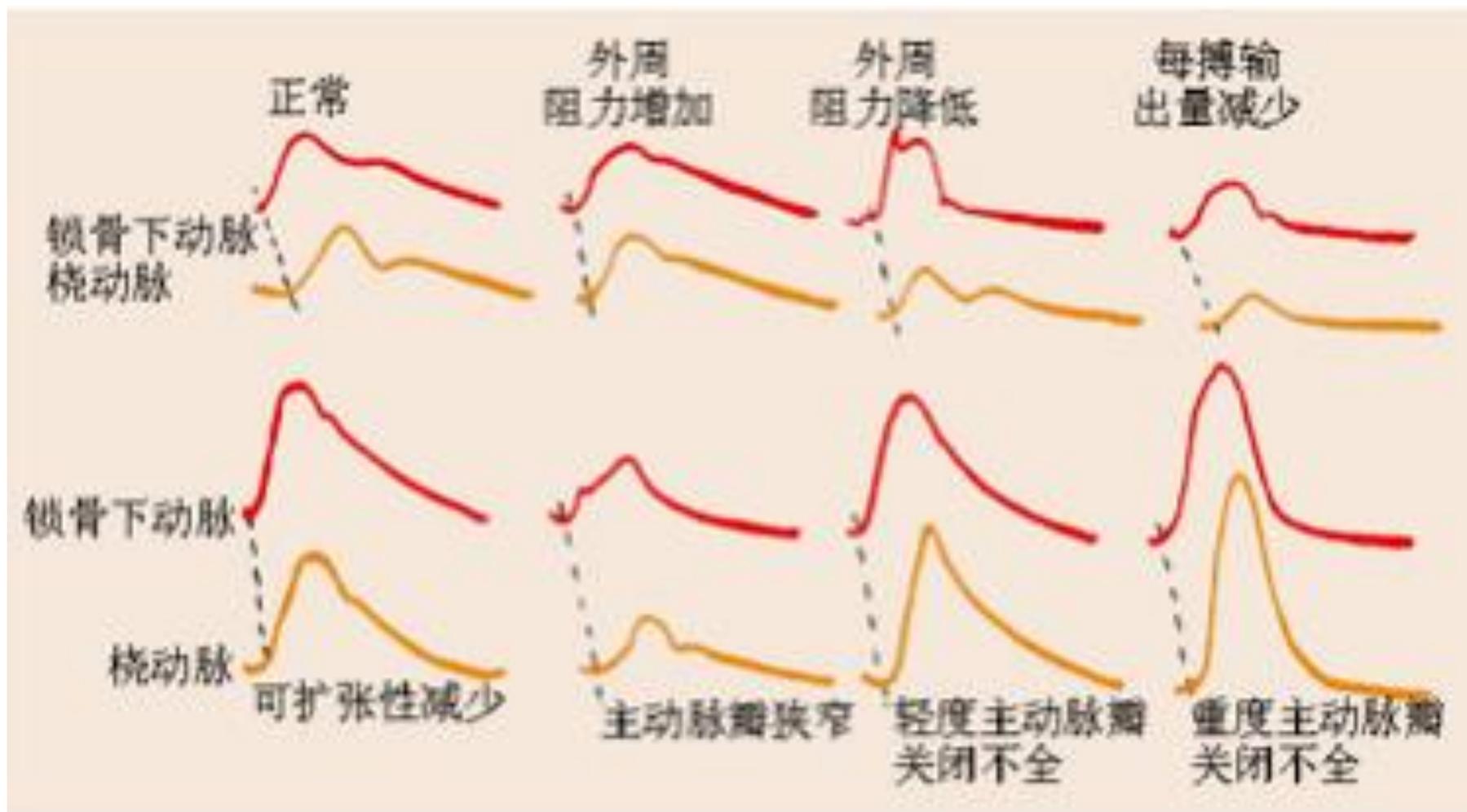
降支上有一切迹，称为降中峡

有一个小波峰，称为降中波



正常人的颈动脉搏动图

# ■ 脉搏反映 心血管系统功能状态 (不要求)



不同情况下锁骨下动脉与桡动脉的脉搏图

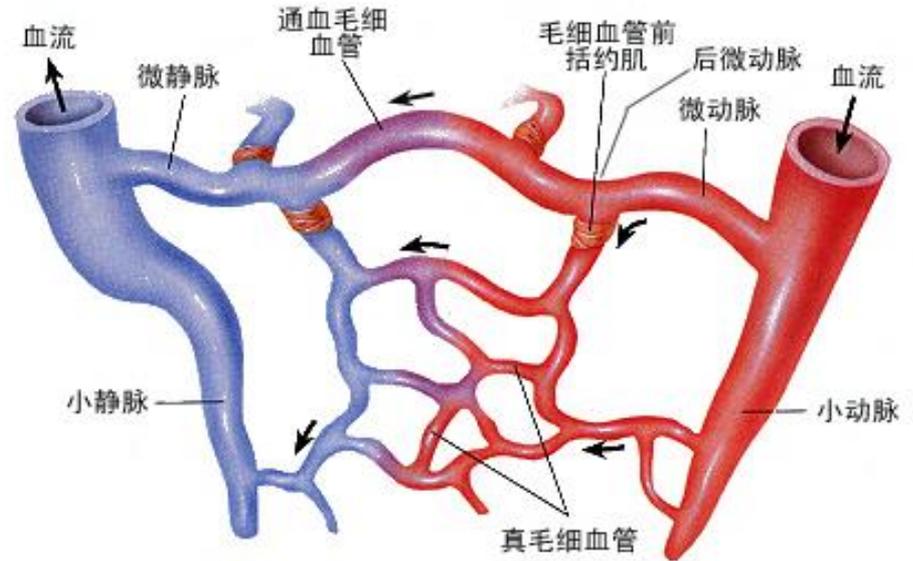
## 4. 微循环 microcirculation

指微动脉和微静脉之间的血液循环。

生理功能：

a 进行血液和组织液间物质交换。

b 参与调节体温。



微循环模式图

## 4.1 微循环结构和特性

### 三条通路；两个闸门

- 三条通路

a 迂回通路

→ 营养通路

b 直捷通路

c 动脉 - 静脉吻合支/短路

} 非营养通路

典型的微循环组成： 微动脉和微静脉间有3条通路

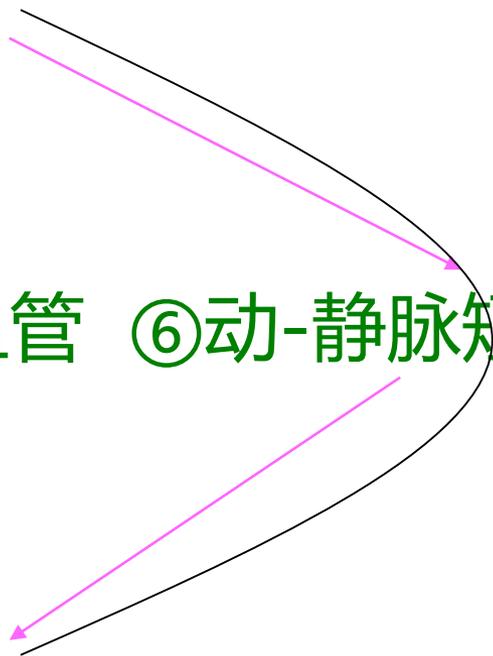
①微动脉

②后微动脉

③毛细血管前括约肌

④真毛细血管 (营养通路)    ⑤通血毛细血管 (直捷通路)    ⑥动-静脉短路

⑦微静脉



---

- **两个闸门**

**前闸门** 总闸门 小动脉、微动脉  
分闸门 capi 前括约肌

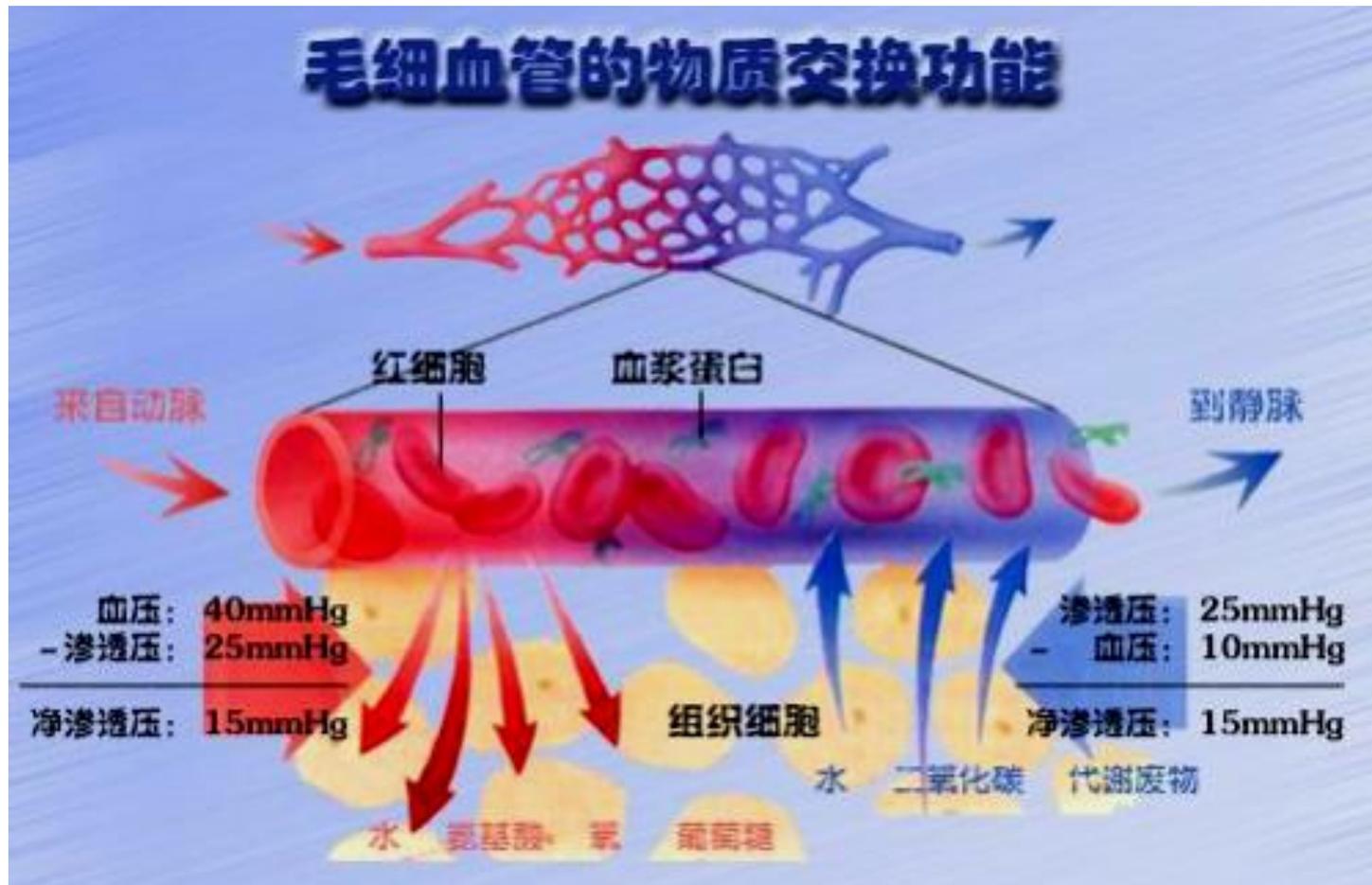
**后闸门** 微静脉、小静脉

**前后闸门** 影响微循环血流量和组织液生成  
物质交换。

---

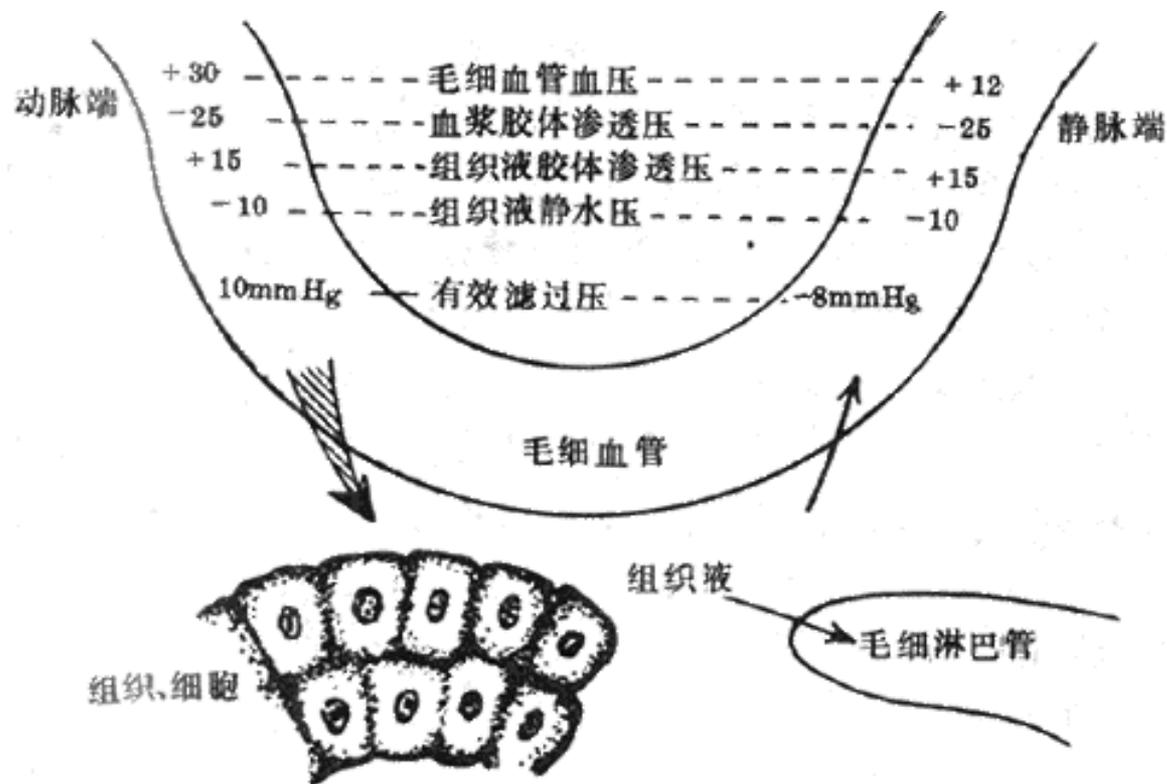
# 5. 组织液的生成

通过capi 壁进行物质交换



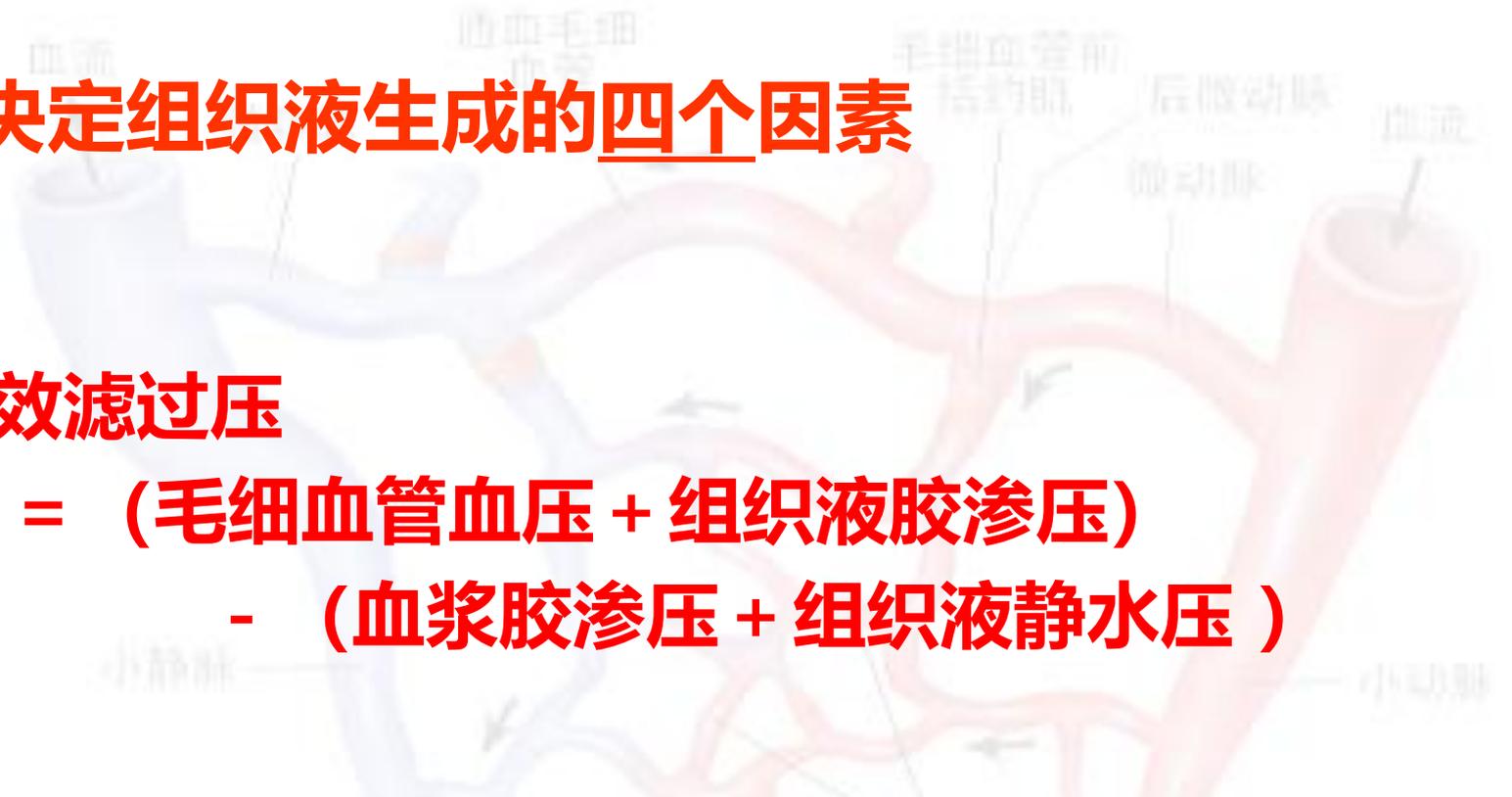
## ■ 组织液的生成**机制/动力**

组织液是血浆  
滤过毛细血管壁  
而生成。



**“滤过 - 重吸收学说”**

有四个因素，综合为 **“有效滤过压”**



- **决定组织液生成的四个因素**

## 有效滤过压

$$= (\text{毛细血管血压} + \text{组织液胶渗压}) - (\text{血浆胶渗压} + \text{组织液静水压})$$

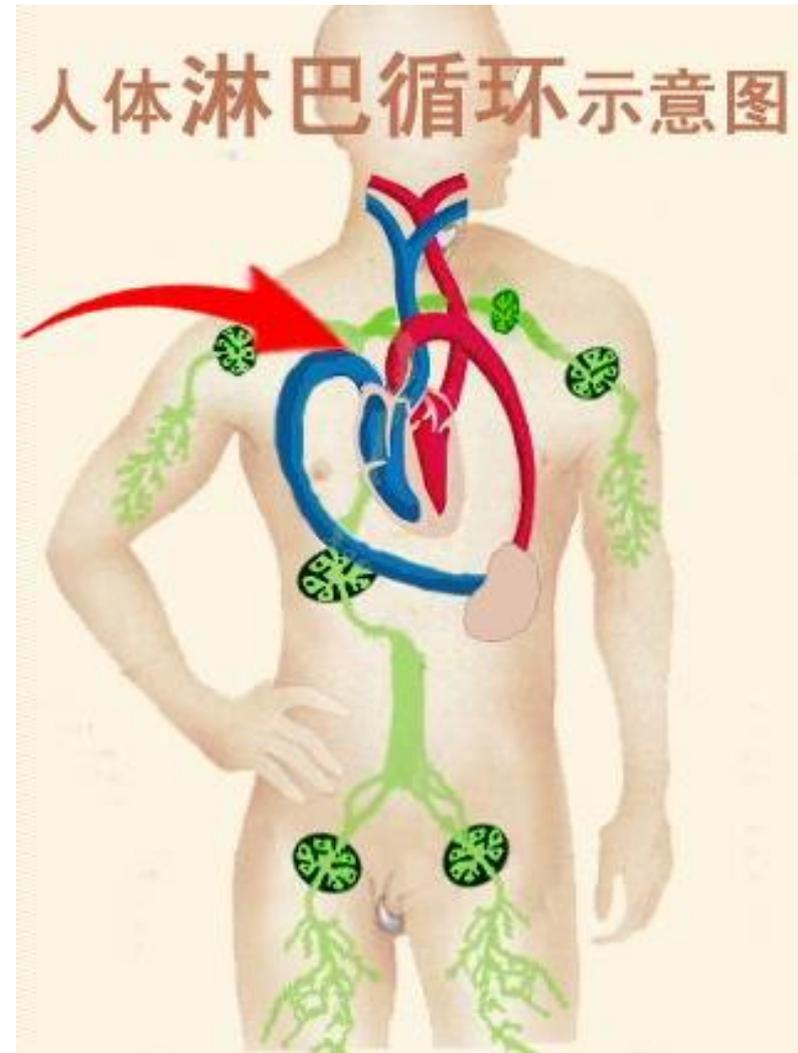
故组织液在动脉端生成，绝大部分(90%)在静脉端重吸收入血，形成组织液的循环，另有少量(10%)生成的组织液渗入淋巴管，成为淋巴液。

## ■ 影响组织液生成的因素

- a **capi 血压**            **心源性水肿**
- b **血浆胶体渗透压**    **缺蛋白性 水肿**
- c **淋巴回流**            **肿瘤、象皮病**
- d **毛细血管的通透性**   **局部水肿**
  - 眼睑**
  - 嘴唇**
  - 喉头**

## 6. 淋巴液生成和回流

是组织液向血液回流的一个重要的辅助系统。



---

- **生成**

**组织液进入淋巴管内即成为淋巴液。**

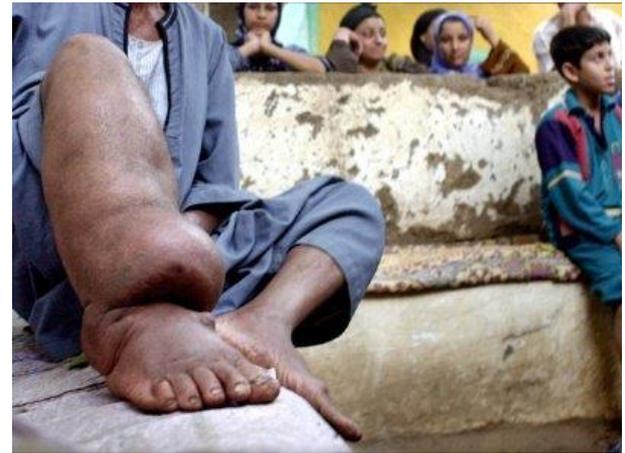
**毛细淋巴管起始端的内皮细胞的边缘呈瓦片般相互覆盖，形成向管腔内开启的单向活瓣。**

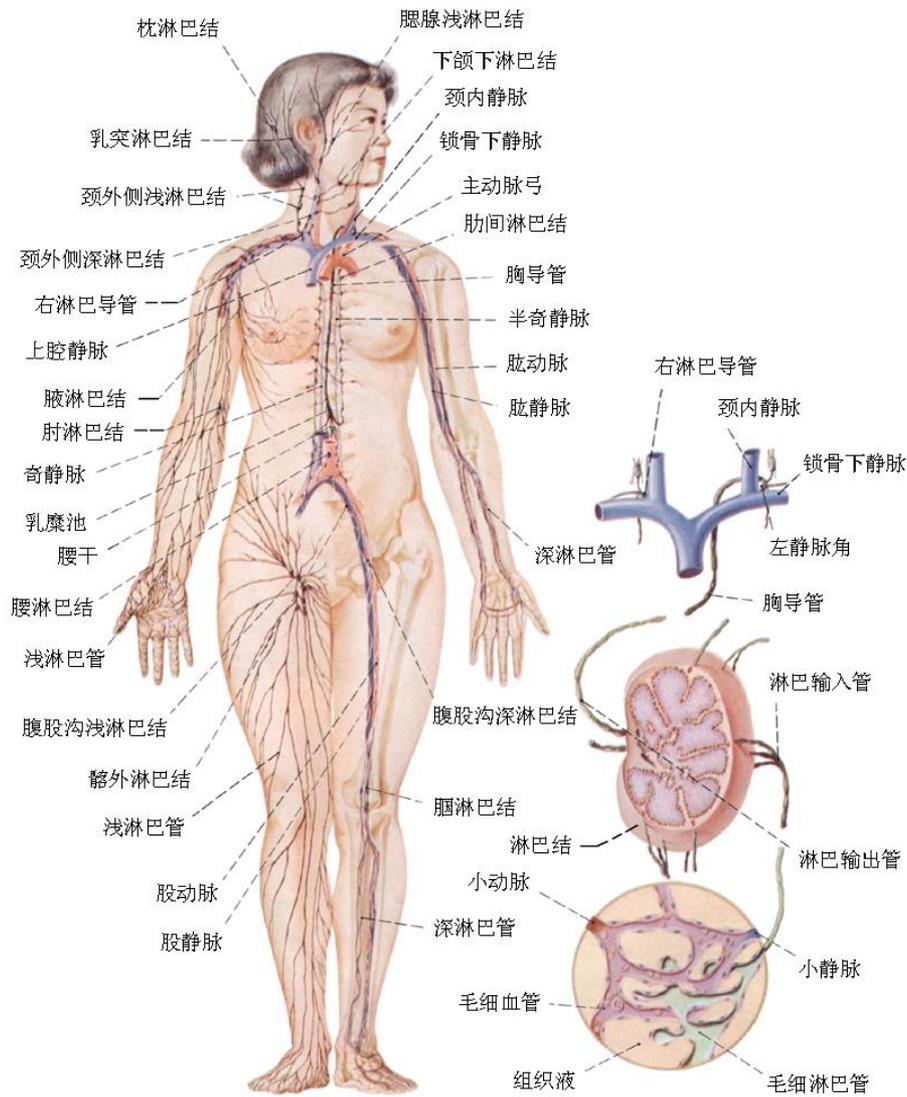
---

## ■ 回流（不要求）

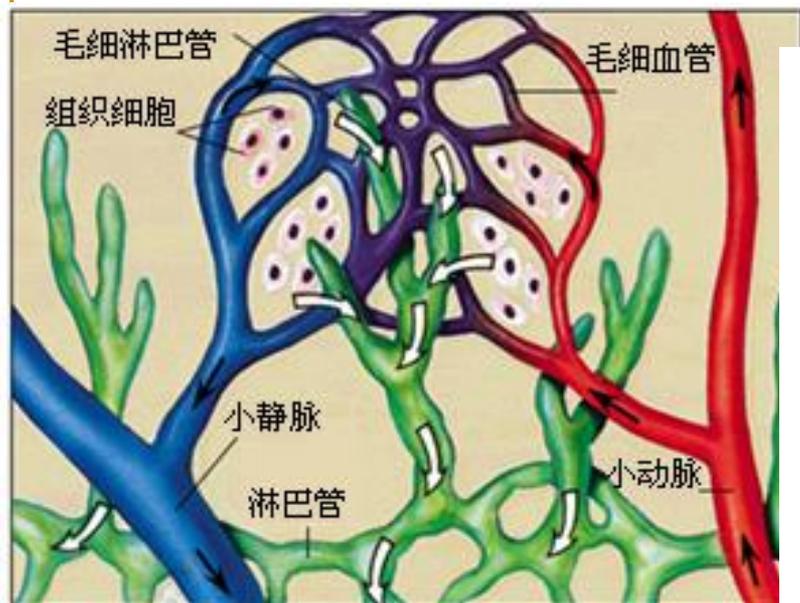
毛细淋巴管汇合形成集合淋巴管，最后再汇合进入静脉。集合淋巴管壁中有平滑肌，管中有瓣膜，使淋巴液不能倒流。

下肢、腹腔、左上部淋巴液通过胸导管入左锁骨下静脉；右上部淋巴液通过右导管进入右锁骨下静脉。

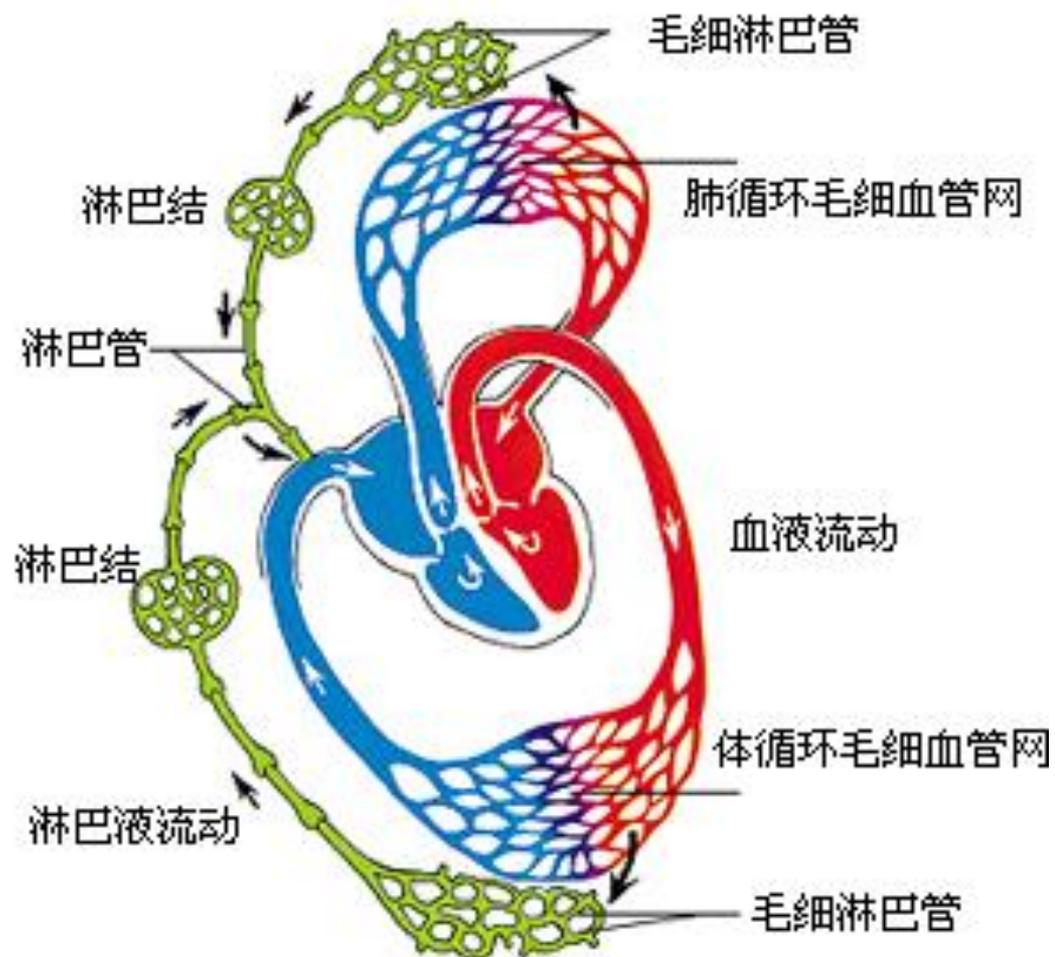




淋巴系模式图



淋巴液的生成与回流



血液循环和淋巴液回流

## ■ 淋巴回流的生理意义（掌握）

**A 辅助组织液回输入血液，维持血浆和组织液间的体液平衡。**

### **B 回收蛋白质**

从毛细血管动脉端滤出的少量血浆蛋白，只能从淋巴输回血液，以维持血浆和组织液的正常胶体渗透压。

### **C 运输脂肪**

经小肠吸收脂肪80~90%是由乳糜淋巴管进入血液。

### **D 防御、屏障作用**

淋巴回流经过的淋巴结，可清除血中的细菌及异物。

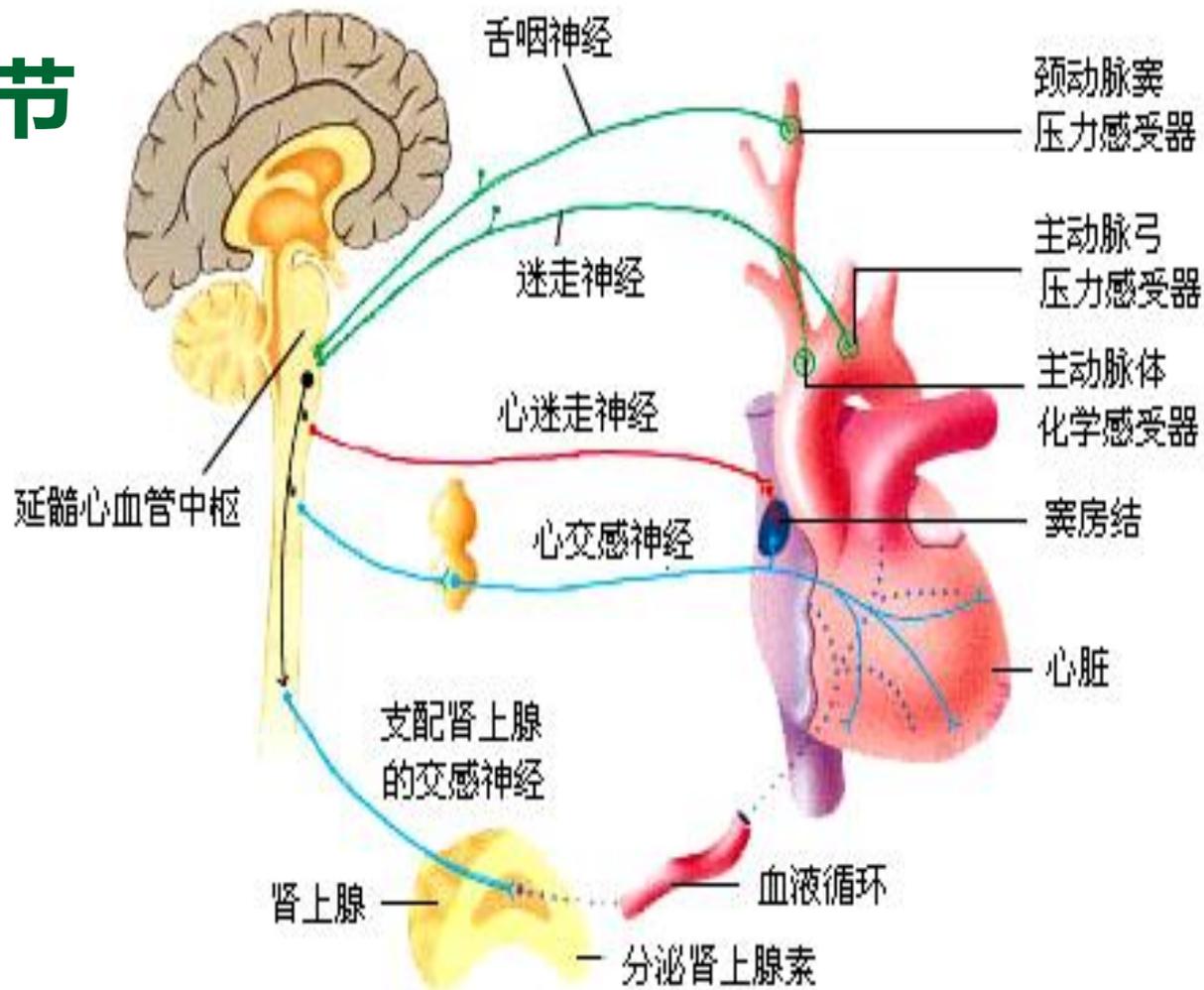
---

# §4-4 心血管活动的调节

## Regulation of cardiovascular activity

1. 神经调节
  2. 体液调节
  3. 局部调节
-

# 1. 神经调节



心血管功能神经调节的主要结构及相互关系示意图

# 1.1 心脏和血管的神经支配

## ■ 心脏的神经支配

心脏受迷走神经和心交感神经的双重支配

A 心交感神经 T<sub>1-5</sub>

节后纤维分泌去甲肾上腺素NA， $\beta_1$ 受体  
交感兴奋性增强（紧张性增高），心率加快

支配 窦房结、房室交界、房室束、心房和心室肌。

## B 心迷走神经 延髓

节后纤维释放乙酰胆碱 Ach，M受体

紧张性增高心率减慢

负性变时、变力和变传导作用

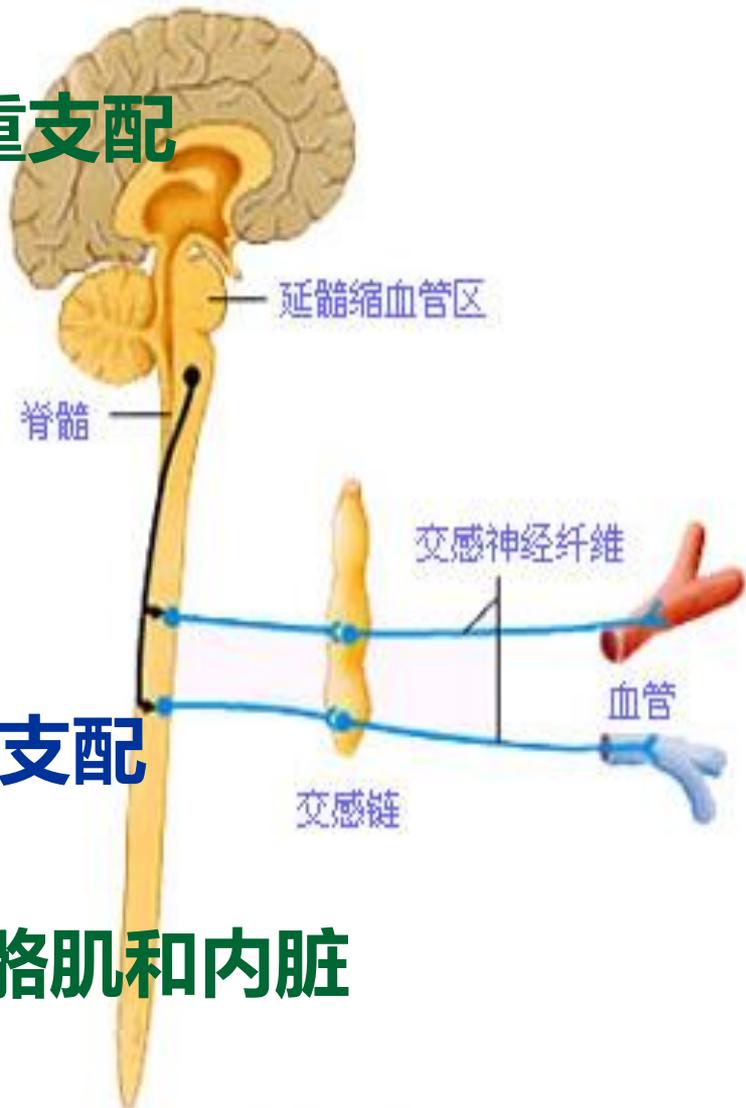
通常生理情况 迷走紧张 占优势

- **血管的神经支配**  
**受缩血管和舒血管神经双重支配**

**A 缩血管神经纤维**  
**交感缩血管神经纤维**  
**节后释放 NA**  
**大多数血管**  
**只受单一交感缩血管神经支配**

**皮肤缩血管纤维最密，骨骼肌和内脏**  
**次之，冠脉和脑血管最少。**

**思考：人紧张时为何脸发白？**



血管的神经支配

---

## B. 舒血管神经纤维 了解

- i 交感舒血管神经纤维 释放Ach, M受体
  - ii 副交感舒血管神经纤维 Ach M 胃、生殖器
  - iii 脊髓背根舒血管纤维
  - iv 血管活性肠肽神经元
-

## 1.2 心血管神经中枢 cardiovascular center 与控制心血管活动有关的神经元集中的部位。

### ■ 延髓 心血管活动的中枢 最基本中枢

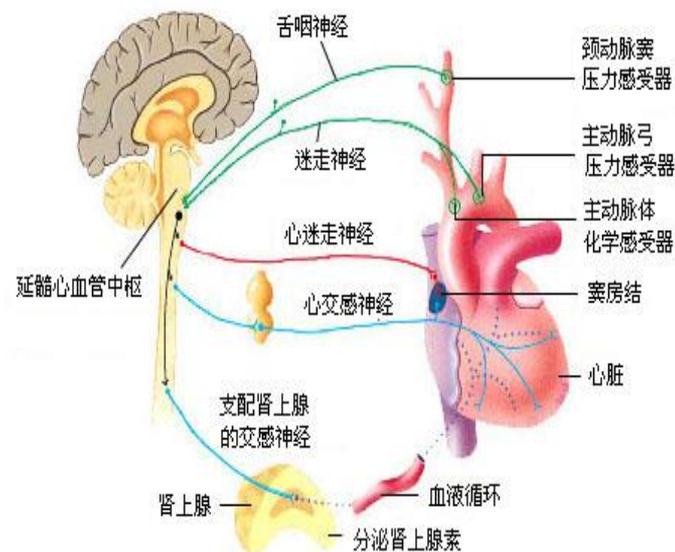
包括以下几个部位 (不要求)

缩血管区

舒血管区

传入神经接替站

心抑制区



心血管功能神经调节的主要结构及相互关系示意图



## ■ 延髓以上的心血管高级中枢

在延髓以上的**脑干**及**大、小脑**中，都存在有与心血管活动有关的神经元，它们对心血管活动和机体其他功能之间有复杂的整合。

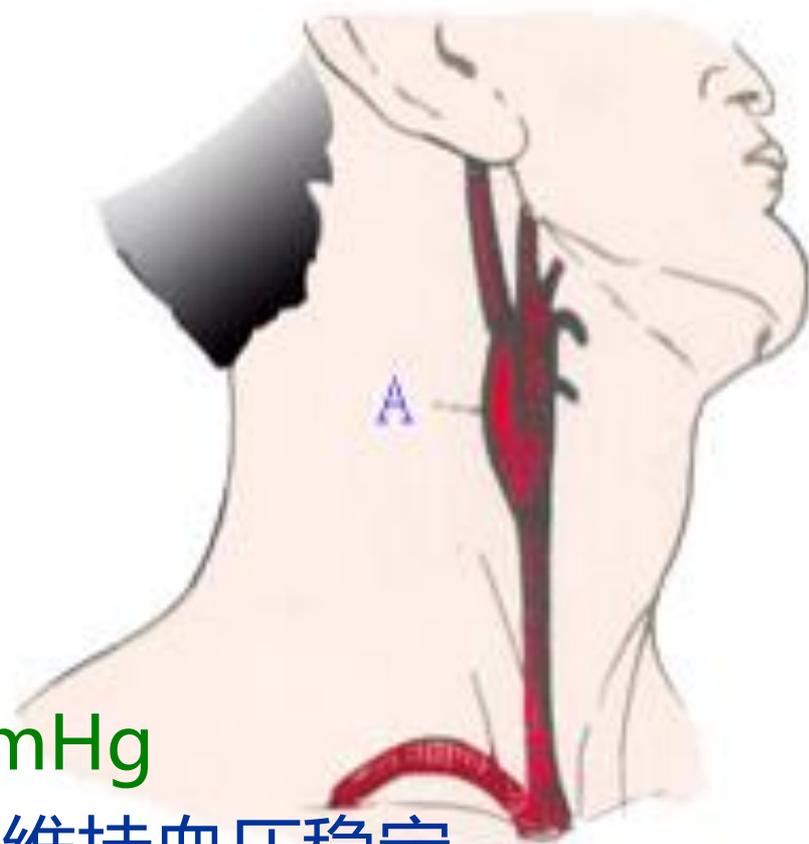
## 1.3 心血管活动的反射调节

- 颈动脉窦和主动脉弓压力感受性反射
  - i 颈动脉窦压力感受器
  - ii 主动脉弓压力感受

感受血压变化 60 ~ 180 mmHg

反射调节血压 降压反射 维持血压稳定

**典型负反馈调节/减压反射**



# ■ 颈动脉体和主动脉体化学感受性反射

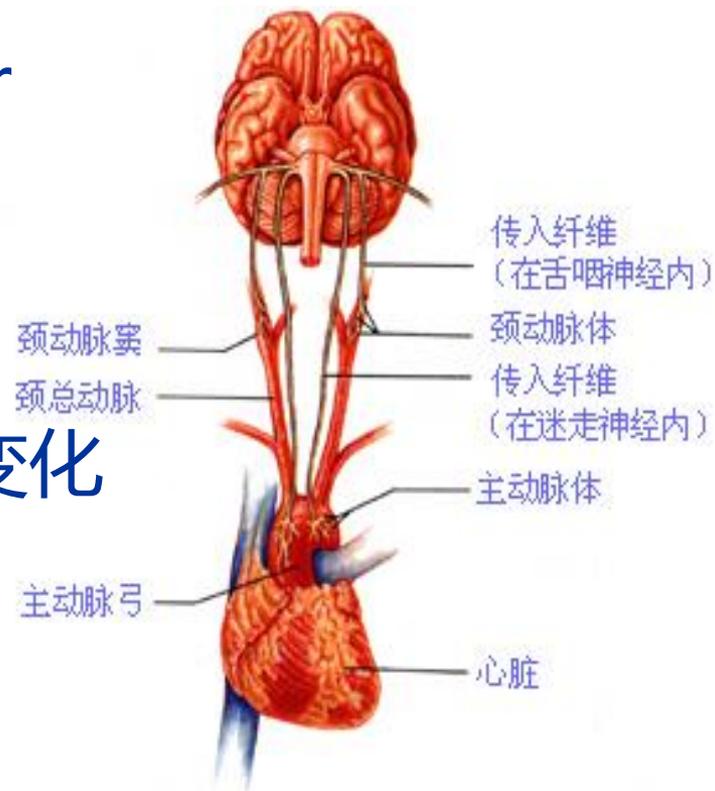
化学感受器 chemoreceptor

- i 颈总动脉分叉处
- ii 主动脉弓区域

感受血中的某些化学成分的变化

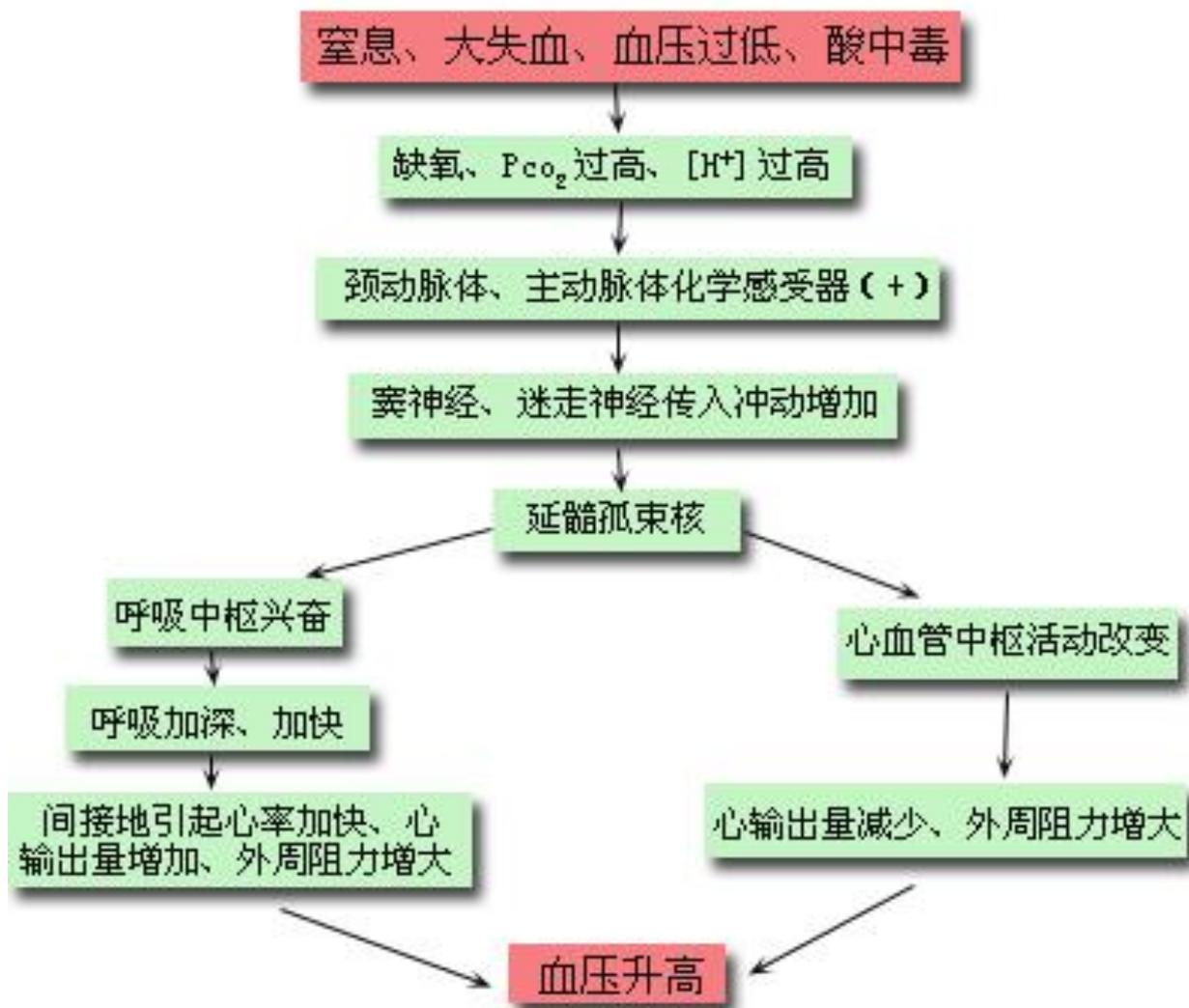
**缺氧、窒息、失血、  
动脉压降低**

**$[\text{CO}_2]\uparrow$ 、 $[\text{H}^+]\uparrow$  / 酸中毒等。**



颈动脉窦区和主动脉弓区的压力感受器与化学感受器

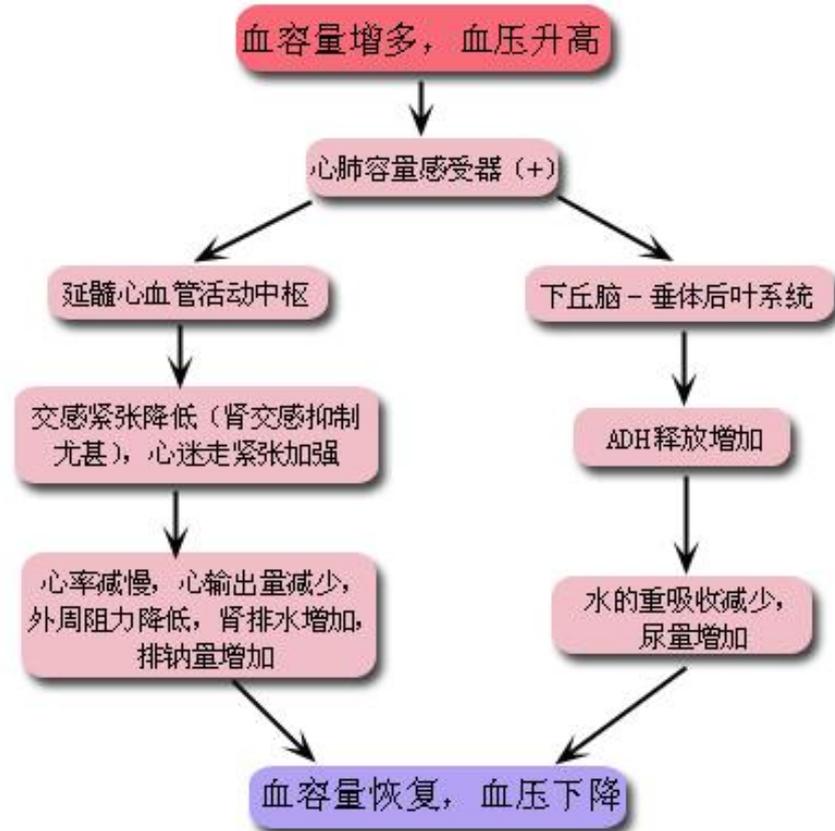
## ■ 化学反射弧调节血压



## ■ 心肺感受器

在心房、心室和肺循环大血管壁上存在许多感受器，称为心肺感受器 (cardiopulmonary receptor)。

机械、化学感受器  
调节血容量，降血压



---

- **高尔茨反射 Goltz reflex 了解**

**心眼反射**

**腹部重击反射**

**男性裆部重击**

**引起心率减慢、呼吸停顿**

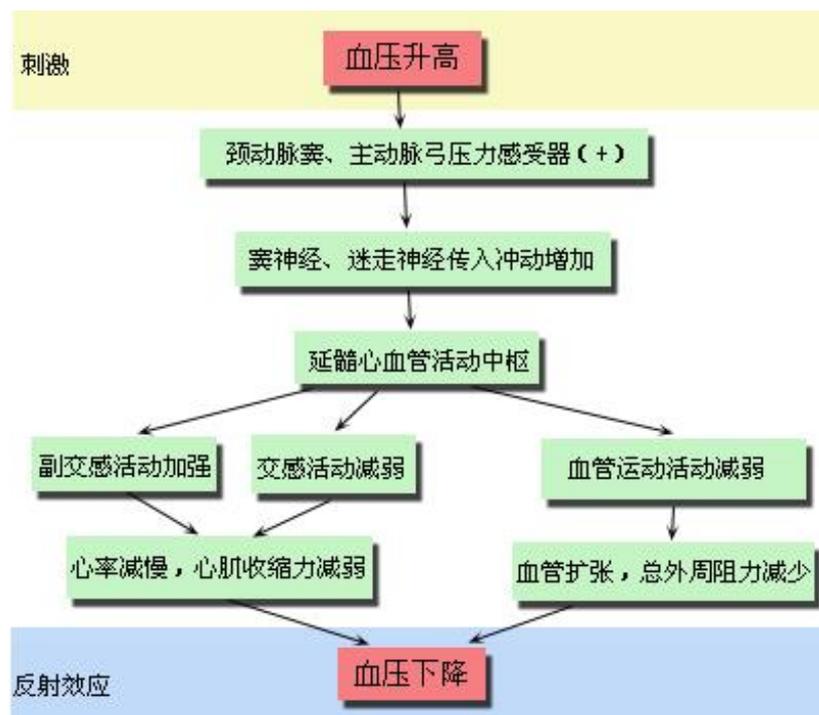
**严重心跳、呼吸停止。**

**临床用此现象治疗心率不齐**

---

## ■ 心血管反射的整合

如情绪、防御；肌肉运动



## 2. 体液调节

体液中 化学物质 对心血管系统活动的作用。

A 激素 基本要求：熟悉这些名词、概念

a 肾素 - 血管紧张素 - 醛固酮系统 升压

b 肾上腺素和去甲肾上腺素 促进心活动 升压

c 抗利尿激素/ 血管升压素 保钠、保水、升压

d 激肽释放酶 - 激肽系统 舒血管、降压

e 心钠素/ 心房利尿肽 排水、降压

f 其他 激素 局部激素

B 小分子化学物质

O, CO<sub>2</sub>, H<sup>+</sup>, NO 等

## 2.1 肾素-血管紧张素-醛固酮系统 RAAS

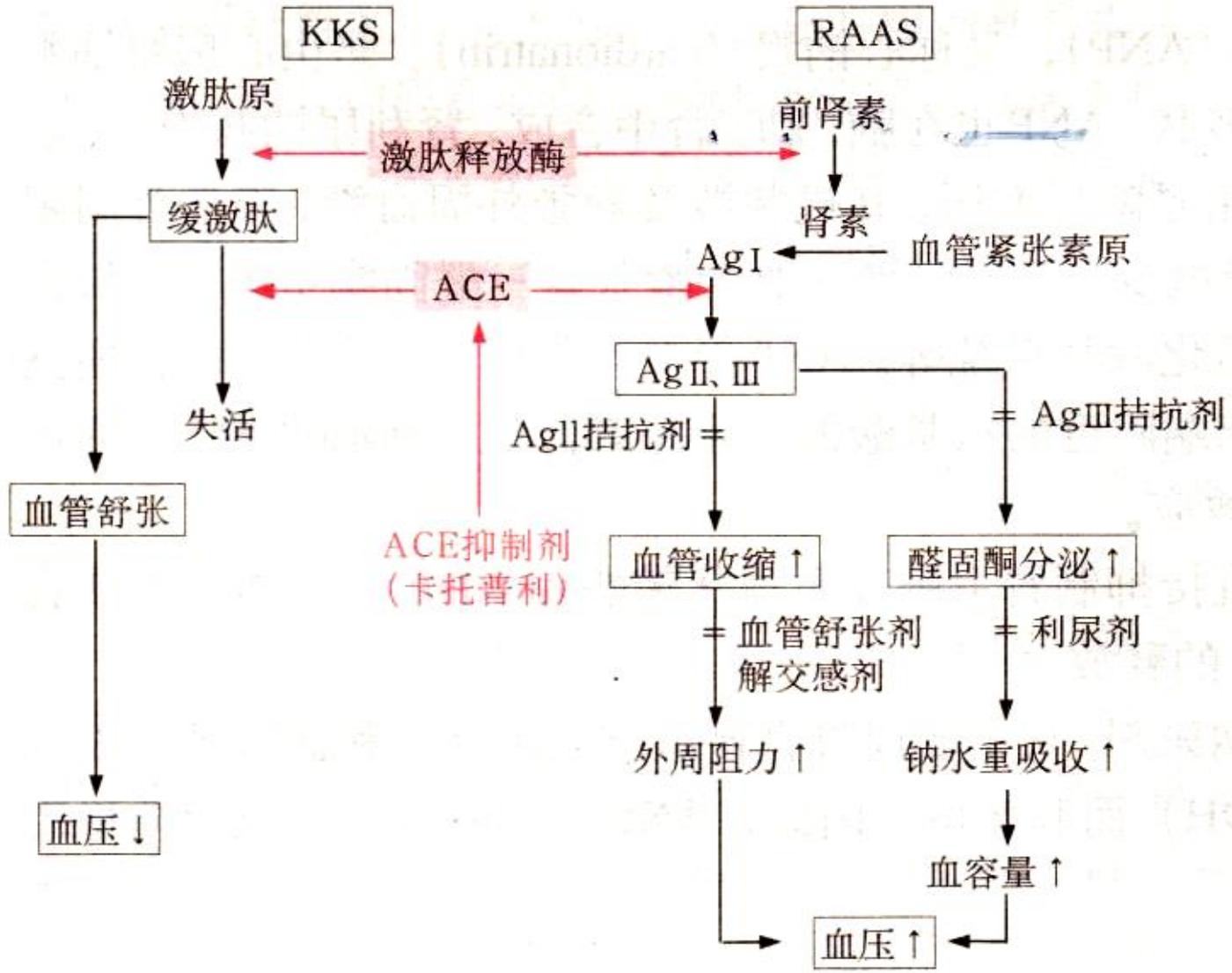
自学阅读作业：

(1) 教材p59 二版 p98

肾素在哪里分泌；血管紧张素的化学本质什么；哪种活性最高或最重要。

(2) 综述或专题报告：

某些降压食品（降压肽）、活性物作用生理机制



**ACE**, angiotensin converting enzyme

---

**2.2 肾上腺素adr 和 去甲肾上腺素NA 自学 p100**  
**在哪里分泌?**

**2.4 激肽释放酶 - 激肽系统**  
**自学 注意与 RAAS 关系 p100**

**2.3 抗利尿激素ADH 自学**



## 2.5 血管内皮生成的血管活性物质 自学 p101

### ■ 血管舒张物

前列腺素、内皮源舒张因子、NO

### ■ 血管收缩物

内皮素、血管升压素

## 2.6 心钠素

心房钠尿肽、心房利尿肽 作用机制自学

## 2.7 其它 自学

阿片肽 组胺

### 3. 局部血流的调节

神经、体液和局部三者**协同**（多数）；有些情况下也可起相互**对抗**的作用。

骨骼肌、胃肠、肝、皮肤变化大  
脑、肾变化不大。

## 4.动脉血压的长期调节

动脉血压的长期调节中起重要作用的是肾。

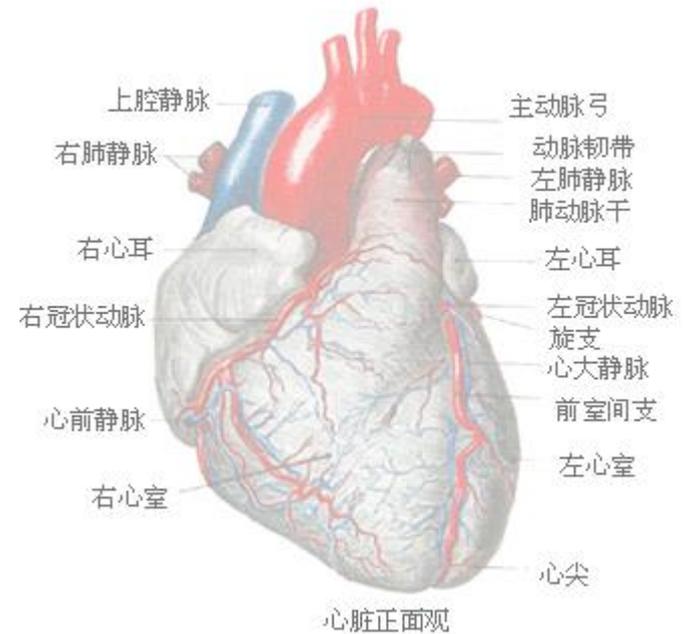
肾-体液控制系统。

排水、排尿、排Na, 或相反。

## § 4-5 器官循环



脑的血液循环



# 1. 脑循环特点 了解

## ■ 脑组织的代谢水平高

**血流量较多** 在安静情况下，每百克脑的血流量为50-60ml/min。整个脑的血流量约为750ml/min。

## ■ 占心输出量的15%左右

脑的比重虽仅占体重的约2%

## ■ 耗氧量约占全身耗氧量的20%

## ■ 局部活动对脑血管舒缩活动影响大。

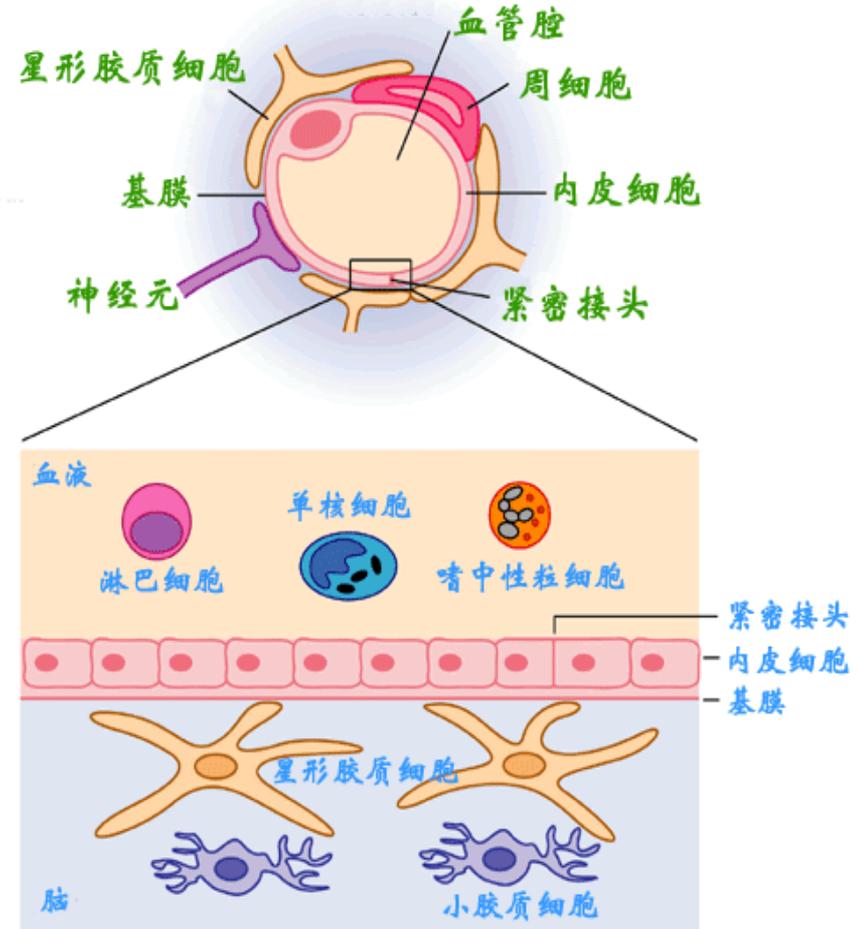
$\text{PCO}_2 \uparrow, [\text{H}^+] \uparrow \rightarrow$  脑血管舒张，脑血流量 $\uparrow$ ，清除过多 $[\text{H}^+]$ 及 $\text{CO}_2$ 。

# ■ 血脑屏障 Blood-brain barrier

## 结构基础:

- A. 无孔的 capi 内皮细胞
- B. 紧密连接
- C. 基膜 (厚)、
- D. 星形胶质细胞终足

总之, capi  
不与神经元直接接触等。



血-脑屏障 (作用)



毛细血管壁亚显微结构图

## ■ 脑脊液

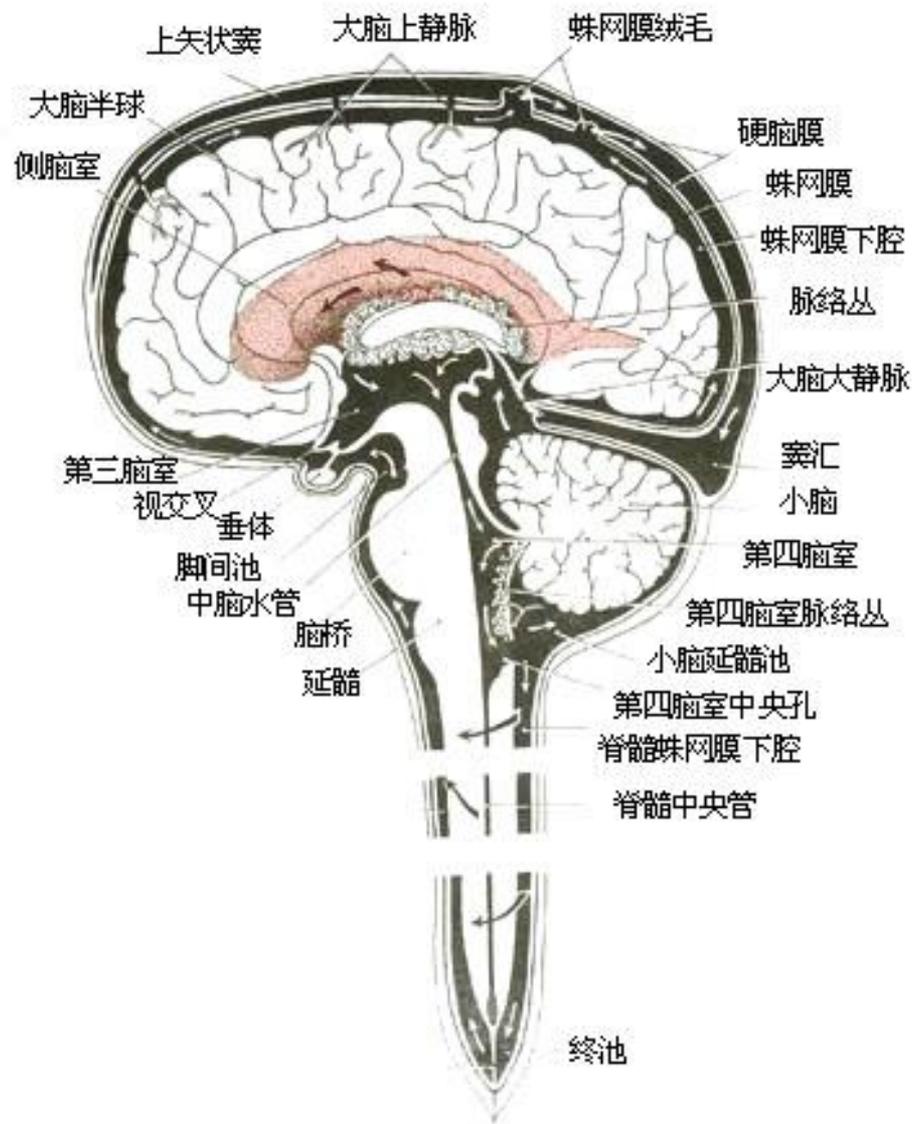
存在于脑室系统、脑周围的脑池和蛛网膜下隙内的脑和脊髓的组织液和淋巴。正常成人量为150ml。

脑脊液的功能：

- ①在脑、脊髓和颅腔、椎管之间起缓冲作用，有保护意义；
- ②脑脊液还能作为脑和血液间进行物质交换的中介；
- ③由毛细血管壁渗漏的少量蛋白质进入脑脊液后由蛛网膜绒毛回流入血液。

### 血—脑脊液屏障

血液和脑脊液之间的物质转运呈主动过程，该屏障对不同物质有不同的通透性。其结构基础是无孔的毛细血管壁和脉络丛细胞中运输各种物质的特殊载体系统。



脑脊髓液循环模式图

## ■ 血—脑屏障作用

保持神经元周围稳定的化学环境和防止血液中有害物质入侵脑内有重要生理意义。

---

# *End*

*First draft April 23<sup>rd</sup> 2006*

*Second draft April 4<sup>th</sup> 2007*

*Third draft March 30<sup>th</sup> 2008*

*April 14<sup>th</sup> 2011*

*April 12<sup>th</sup> 2013*

---