

第八章 血液循环与运动

Blood Circulation and Exercise

主讲：王松涛 教授

华南师范大学



带着问题去学习

吉祥

■ 第一节 心脏生理

- 1. 为什么骨骼肌会“抽筋”，而心肌不会？
- 2. 如何利用心率指导日常训练？
- 3. 如何知道自己的心脏功能强弱？

■ 第二节 血管生理

- 4. 血压在一日中什么时间最高？
- 5. 为什么会晕倒（体位性低血压、重力性休克）？

■ 第三节 心血管活动的调节

- 6. 告诉你神奇的“自主神经”？

■ 第四节 运动训练对心血管系统的影响

- 7. 运动对心脏有利和不利影响？
- 8. 什么是运动后低血压（**Post-exercise Hypotension**）？

吉祥

吉祥

吉祥

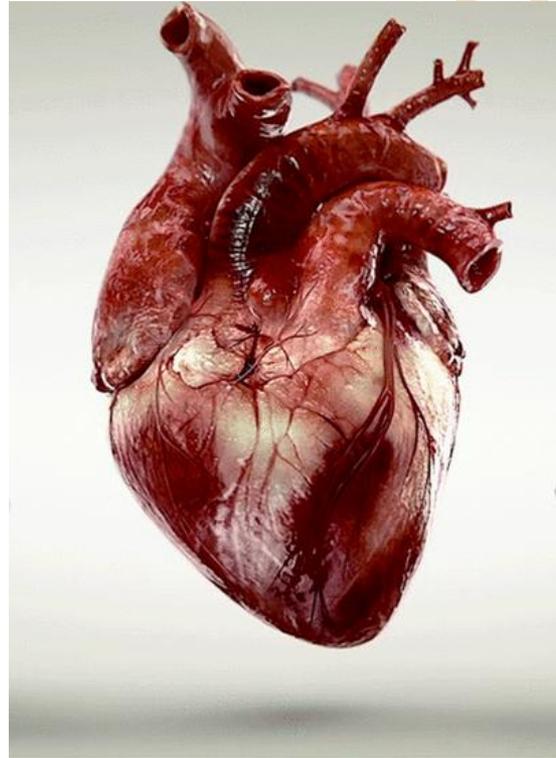
第八章 血液循环与运动

第一节 心脏生理



一、心肌的生理特性

- (一) 兴奋性
- (二) 自动节律性
- (三) 传导性
- (四) 收缩性

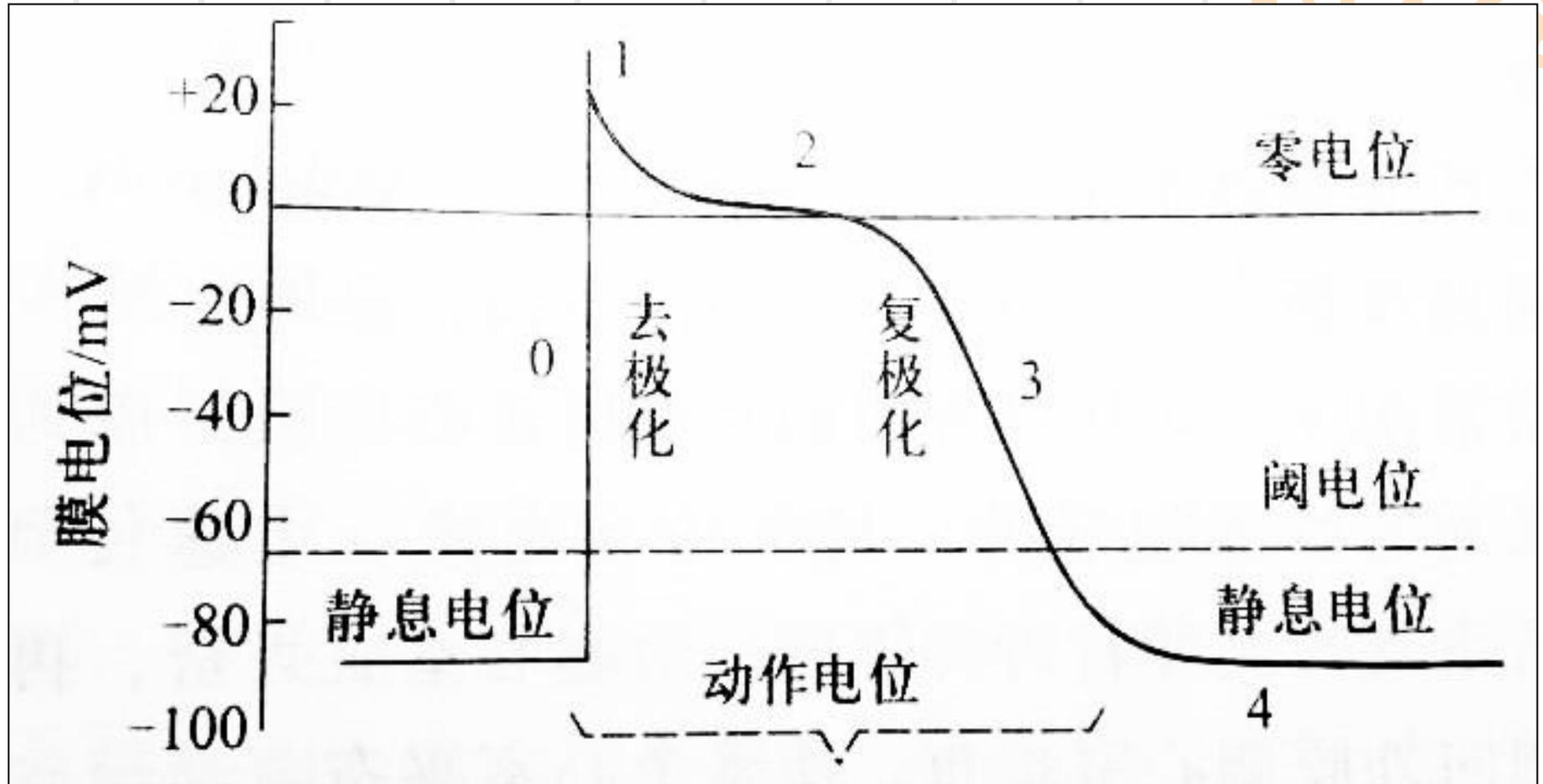


■ 心肌细胞分类：工作细胞、自律细胞

心房肌、心室肌

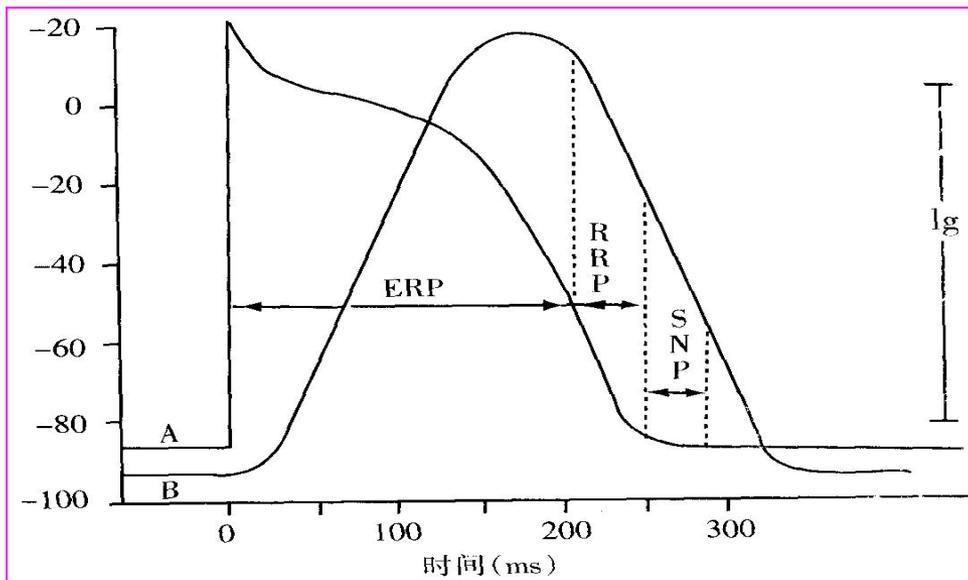
心脏特殊传导系统

(一) 兴奋性



心肌兴奋性的周期性变化

- 有效不应期（ERP）：0期到复极化3期（-55mV），数百毫秒（占据心脏的收缩期和舒张早期---无强直收缩）
- 相对不应期（RRP）：
- 超常期（SNP）：



A: 动作电位曲线
B: 机械收缩曲线

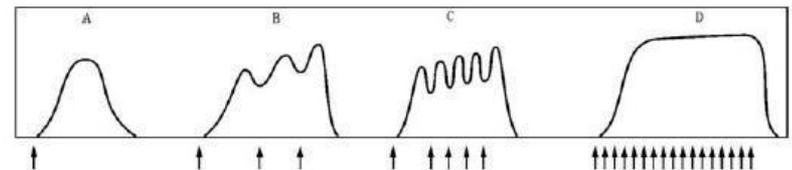


图 2-2 肌肉收缩曲线

A. 单收缩； B、C. 不完全强直收缩； D. 完全强直收缩

问题：为什么骨骼肌会“抽筋”，而心肌不能？



(二) 自动节律性



- **概念：**心肌在不受外来刺激的情况下，能自动发生节律性兴奋的特性。
- **心脏特殊传导系统具有节律性，各部节律不同。**
- **窦性心率：**以窦房结为起搏点的心脏活动。（正常起搏点）
- **异位心率：**以窦房结以外部位为起搏点的心脏活动。（异位起搏点）



(三) 传导性

- **传导性：**心肌细胞具有传导兴奋的能力。
- **传导方式：**
- 经心肌细胞膜传导
- 经闰盘传导
- 经心脏传导系统传导
- **心脏特殊传导系统组成：**

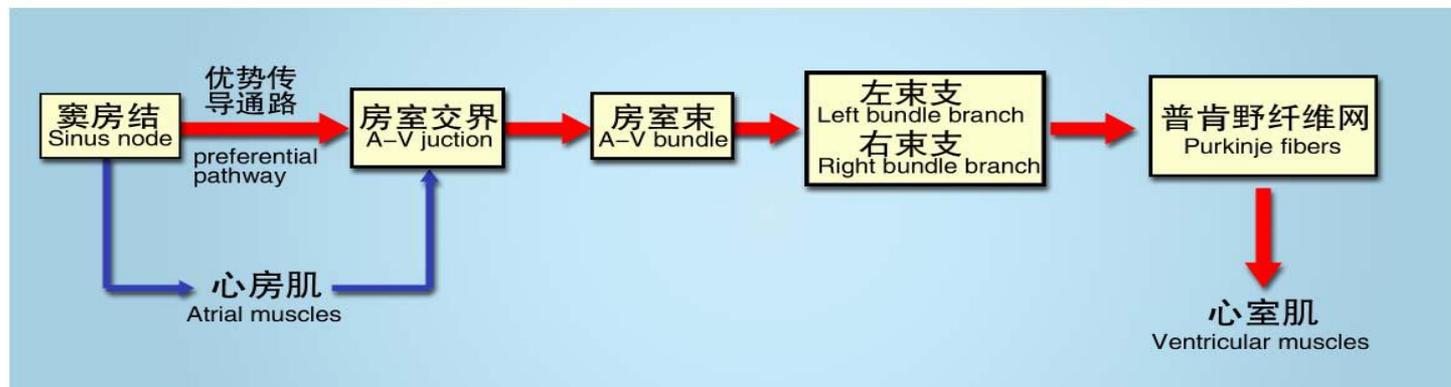
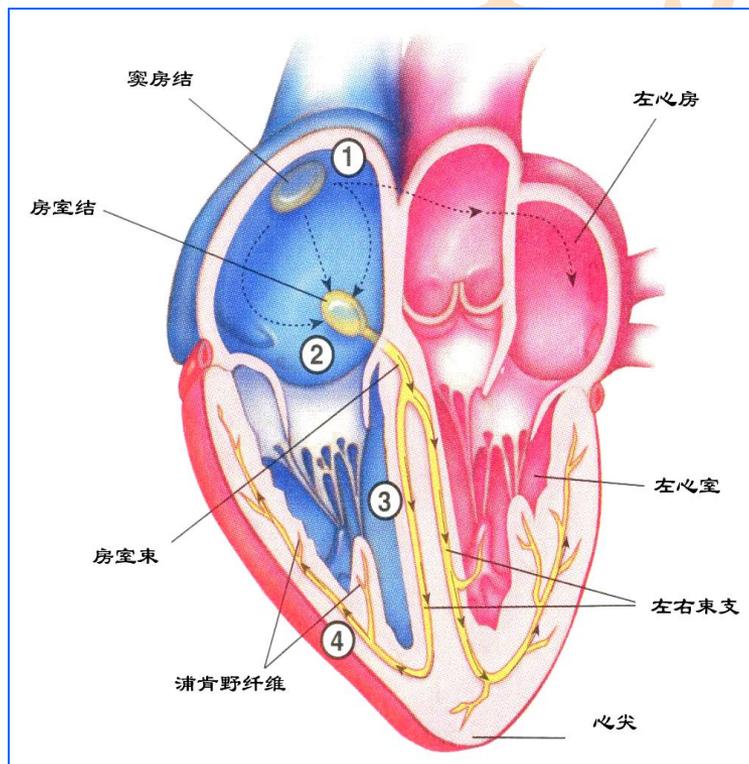
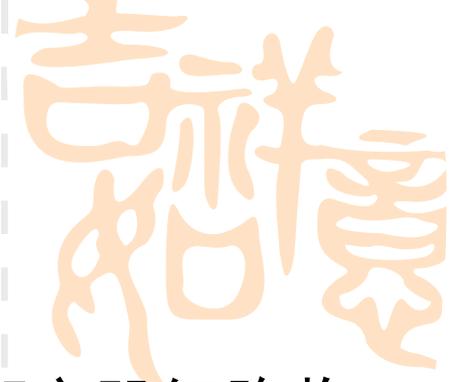


图 - 心内兴奋传布途径示意图

房室延搁：兴奋在心房和心室之间传导速度减慢。意义：有利于心室充盈。
(房室传导阻滞最常见心律失常)

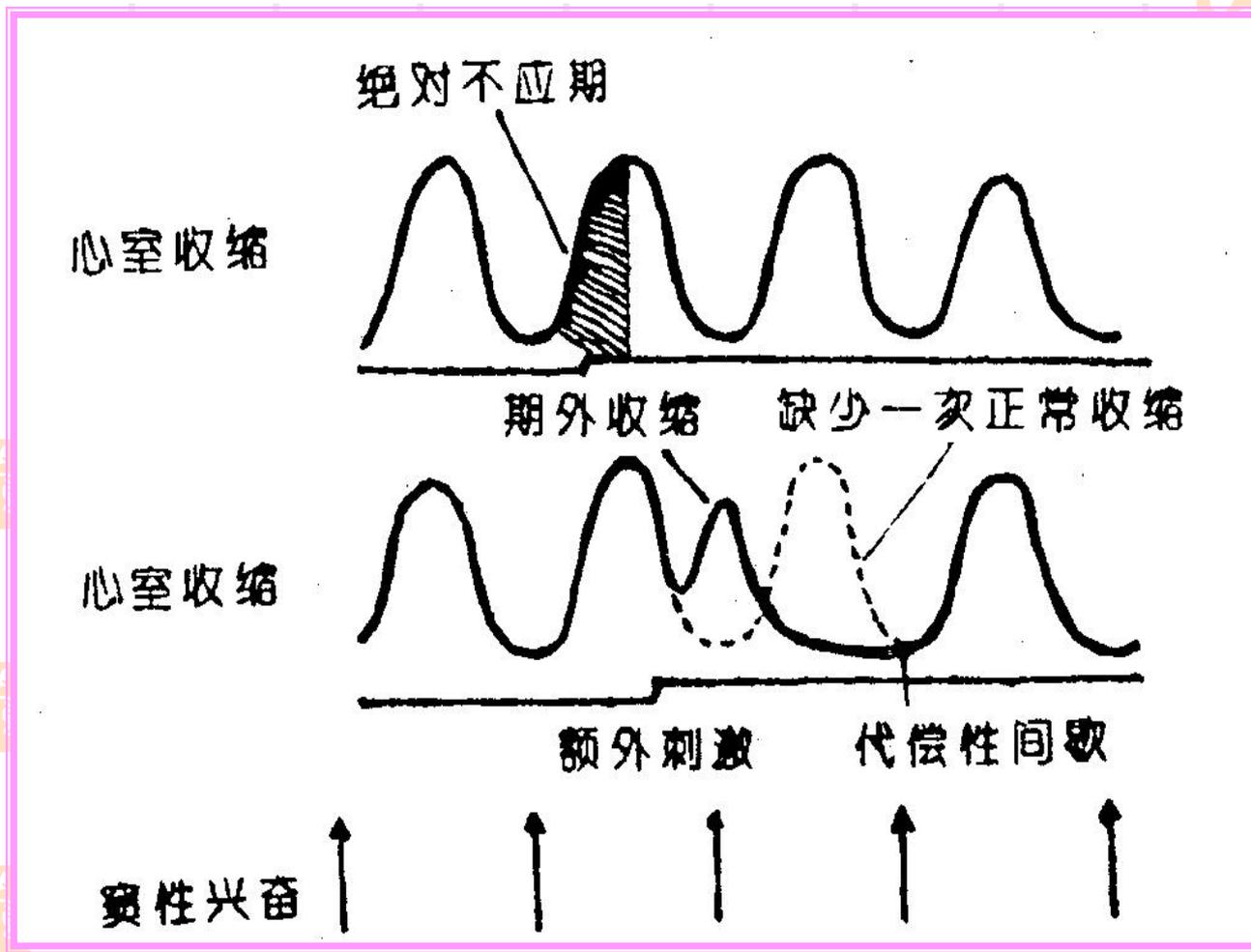
(四) 收缩性



- 1. 同步收缩
- 阈下刺激——无收缩；阈和阈上刺激——全部心肌细胞收缩（闰盘结构）；心房和心室交替（房室延搁），保证心脏各部分协调工作。
- 2. 不发生强直收缩
- 有效不应期特别长（达 200 ms），相当于整个收缩期加舒张早期。
- 3. 期前收缩和代偿间歇
- 期前收缩（早搏）：心室在有效不应期后受到刺激，可引起心室收缩活动，这次收缩发生在下次窦房结兴奋所产生的正常收缩前。
- 代偿间歇：期前收缩后，有段较长心舒张期。



(四) 收缩性



二、心脏的泵血功能



■ (一) 心动周期

■ **心动周期**：心脏的一次收缩和舒张构成一个机械活动周期，称为心动周期。

■ **平均心率 75 次/分，心动周期为 0.8 S。**

■ **特点：**

■ 1. 舒张期时间 > 收缩期时间

(心房 0.7:0.1 ; 心室 0.5:0.3)

■ 2. 全心舒张期0.4s → 利于心肌休息和心室充盈

■ 3. 心率快慢主要影响舒张期。



(二) 心脏的泵血过程

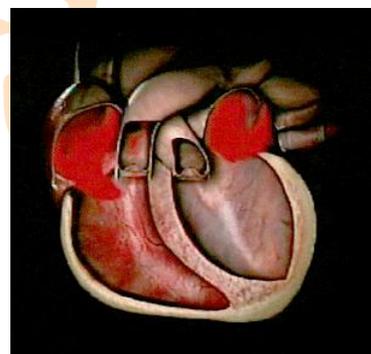
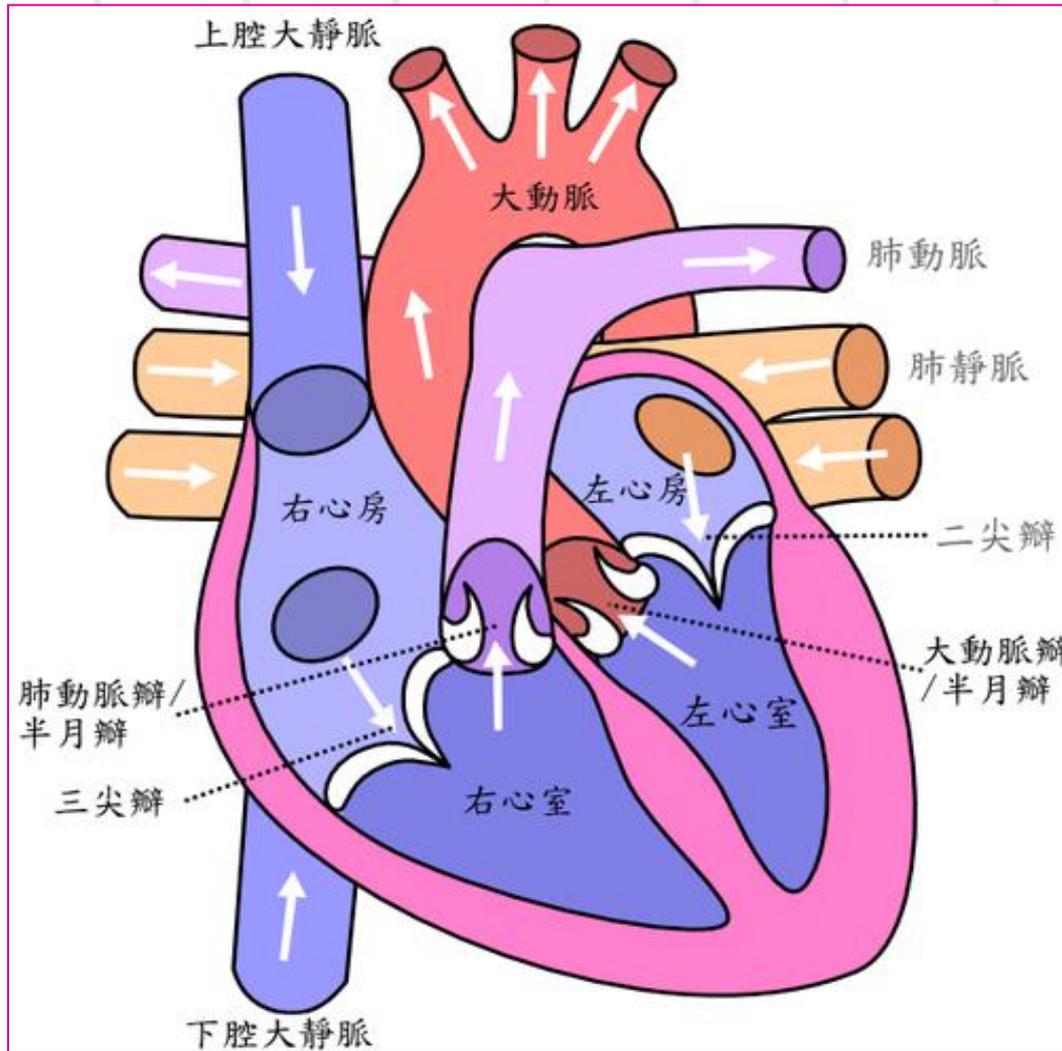


表 3-2 一个心动周期各时相中心脏(左侧)内压力、容积、瓣膜开闭及血流情况各种变化

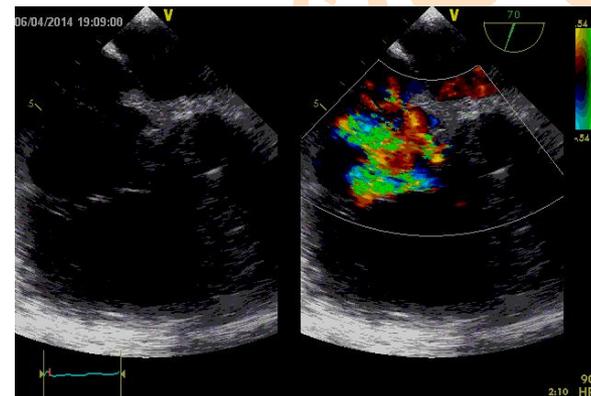
腔室	时相	时程(S)	压力比较	房室瓣	半月瓣	腔容积	血流方向
心房	房缩期	0.1	房内压>室内压	开	闭	缩小	心房→心室
心室收缩期 心室舒张期	等容收缩期	0.06	房内压<室内压<动脉内压	闭	闭	无变化	无流动
	快速射血期	0.11	房内压<室内压>动脉内压	闭	开	迅速减小	心室→动脉
	减慢射血期	0.14	房内压<室内压>动脉压	闭	开	继续缩小	心室→动脉
	等容舒张期	0.06	房内压<室内压<动脉内压	闭	闭	无变化	无流动
	快速充盈期	0.11	房内压>室内压<动脉内压	开	闭	迅速增大	心房→心室
	减慢充盈期	0.20	房内压>室内压<动脉内压	开	闭	继续扩大	心房→心室

(二) 心脏的泵血过程



三、心脏泵血功能的评价

- (一) 心率
- (二) 每搏输出量和射血分数
- (三) 每分输出量和心指数
- (四) 心力储备



■ 问题：如何知道自己的心脏功能强弱？

■ 心脏功能检查

■ 心脏超声：形态学和泵血功能

■ 心率变异性：自主神经调节功能

■ 冠脉造影：冠状动脉形态学



(一) 心率

- **心率(HR):** 每分钟心脏跳动的次数。
- **正常值:** 安静心率**60~100次/分**, 平均**75次/分** (**>100 bpm**为心动过速; **<60 bpm** 为心动过缓)。
- **影响因素:**
- **年龄差异:** 新生儿130次/分以上, 随年龄增长逐渐减缓, 到15-16岁接近成年人水平。
- **性别差异:** 女性>男性, 高3-4次/分。
- **体质差异:** 训练良好的耐力运动员, 安静时心率较慢。
- **体温:** 每升高**1°C**, 心率增加**12~18次/分**
- **心率实践意义:** 1) 了解循环系统机能的简单易行指标; 2) 在运动实践中常用心率来反映运动强度和生理负荷量; 3) 用于运动员的自我监督或医务监督。
- **问题:** 如何利用心率指导日常训练?

(二) 每搏输出量和射血分数

- **每搏输出量 (搏出量, SV)** : 一侧心室一次心脏搏动所射出的血量。正常成人静息状态下为60~80ml (70ml) 。
- **射血分数 (EF)** : 每搏输出量占心室舒张末期容积百分比。
- **射血分数** = (每搏输出量 / 心舒张末期容积) * 100%
- 正常成年人, 左心室舒张末期容积约 125 ml, 收缩末期容积约 55 ml, 每搏输出量约 70 ml。健康成年人, 静息时的射血分数约为 **55% - 65%**。
- 搏出量与心室舒张末期容积相适应, 射血分数基本不变; 心脏肥大时, 射血分数下降; 运动时射血分数增加。

（三） 每分输出量和心指数

- 每分输出量（心输出量, CO）：一侧心室每分钟所输出的血量。
- 心输出量 = 每搏输出量 × 心率。
- 静息时为 5~6 L/min, 剧烈运动时可达 25~30 L/min。

■ **心指数**：以每一平方米体表面积计算的心输出量，是分析比较不同个体心脏功能的常用评定指标。

■ 中等身材的成年人体表面积为1.6-1.7平方米，安静时心输出量约为5-6升/分，故心指数约为 3.0-3.5 L/min.m²。

(四) 心力储备



- 心力储备（心泵功能储备）：心输出量可以随着机体代谢的需要而增加。
- 一般人安静时心输出量 5-6 L/min，剧烈运动时 25-30 L/min（安静时的5-6倍）；运动员 35-40 L/min（安静时的7-8倍）。
- 心力储备包括：心率储备、搏出量储备
- 心率储备：依靠心率增加使心输出量增加的能力。
最大心率 = 220-年龄
- 收缩期储备：依靠心室收缩力增强使心室收缩末期容积减小的幅度。
- 舒张期储备：心室舒张末期容积可增加的幅度。（最小）
- 剧烈运动时，肺泡通气量可达到安静时的20倍，心力储备只达到安静时的7-8倍，因此剧烈运动时心泵功能储备不足是限制有氧运动能力的关键因素。



四、影响心输出量的因素

（一）前负荷

- 心肌的前负荷：心肌的初长度或心室舒张末期容积。
- **Frank-Starling定律**：一定范围内，心肌初长度越大，收缩力越大。
- 异长调节：由于初长度改变而致搏出量改变的调节机制。

（二）后负荷

- 心肌的后负荷：动脉血压
- 长期高血压可导致左心室肥大、左心衰竭。

（三）心肌收缩能力

- 等长调节：与心肌初长度无关，通过改变心肌收缩力来调节搏出量的机制。
- 机制：电解质、神经内分泌因素。

(四) 心率



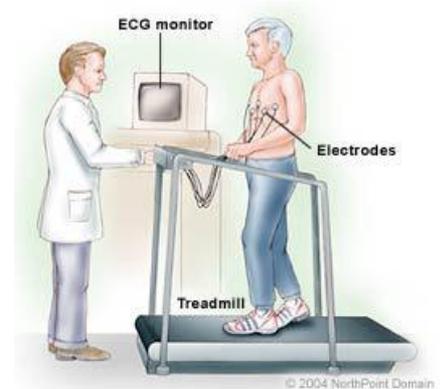
- **最佳心率范围**：心率**120~180**次/分时，心输出量维持在较高水平。
- **>180**次/分时，心舒张期显著缩短 → 心输出量下降
- **< 40** 次/分时，心室充盈已达极限
- **心搏峰**：每搏输出量达到峰值时的心率水平称为心搏峰。**110 ~ 130**次/分。



五、心电图

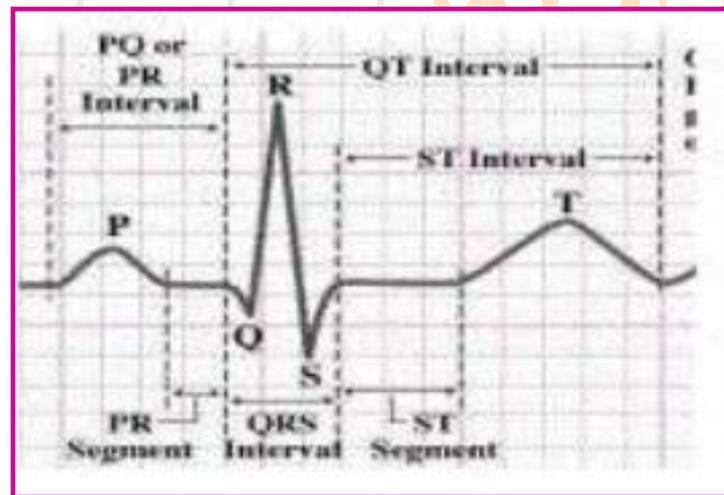


- 心电图 (Electrocardiogram, ECG): 引导电极置于肢体或躯体一定部位记录出来的心脏电变化曲线。
- 心电图反映心脏兴奋的产生、传导和恢复过程中生物电变化，与心脏机械收缩活动无直接关系。
- 动态心电图：24小时
- 心电图运动负荷试验：运动负荷试验



正常典型心电图的波形及生理意义

- **P波**：左右心房去极化过程
- **QRS波**：左右心室去极化过程
- **T波**：心室复极过程中的电位变化



- **P-R间期**：P波起点——QRS波起点，之间的时程，0.12~0.20s。代表房—室传导时间（房室传导阻滞）
- **Q-T间期**：QRS波起点——T波结束，代表心室从去极化开始到完全复极化至静息状态所需时间。
- **S-T段**：QRS波终点——T波起点，代表心室各部分都处于去极化状态，电位与基线平齐。

小结

吉祥

- 名词：

- 心搏量（每搏输出量）、射血分数
- 心输出量（每分输出量）、心指数
- 心力储备

- 问题：

- 心率在体育实践中的应用
- 心泵功能评价的指标与方法

- 知识点：

- 影响心输出量的因素



第八章 血液循环与运动

第二节 血管生理



一、血管的功能特点及其内分泌功能

(一) 各类血管的功能特点

1. 弹性储器血管:

- 出心的大动脉; 减小血压的波动

2. 分配血管:

- 动脉 (小动脉和弹性储器血管之外); 运输血液

3. 阻力血管:

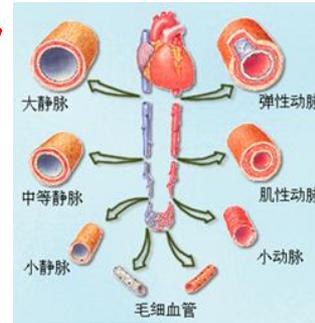
- 毛细血管前阻力血管 (小动脉和微动脉)、毛细血管前阻力血管调节灌注压, 体液在血管和组织间隙内的分配

4. 交换血管:

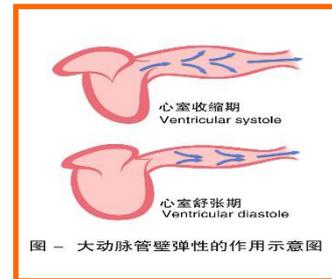
- 毛细血管; 物质交换

5. 其他:

- 容量血管 (静脉系统)、短路血管 (小动脉与小静脉之间)



血管类型与组成				
血管类型	平均腔直径 (D) 和管壁厚度 (T)	组织构成		
		内皮	弹性组织	平滑肌 (胶原) 组织
弹性动脉	D: 1.5 cm T: 1.0 mm		High	Low
肌性动脉	D: 6.0 mm T: 1.0 mm		Low	High
小动脉	D: 37.0 μm T: 6.0 μm		Low	High
毛细血管	D: 9.0 μm T: 0.5 μm		None	None
小静脉	D: 20.0 μm T: 1.0 μm		None	Low
静脉	D: 5.0 mm T: 0.5 mm		None	Low



(二) 血管的内分泌功能

- 血管内皮细胞的内分泌功能
- 舒血管物质：一氧化氮、硫化氢、前列环素、等
- 缩血管物质：内皮素、血栓素、等
- 血管平滑肌细胞的内分泌功能
- 肾素、血管紧张素
- 成纤维细胞、脂肪细胞、肥大细胞等
- 调节血管结构和舒缩功能

二、动脉血压和动脉脉搏

- **血压**：血管内的血液对单位面积血管壁的侧压力。
- **(一) 动脉血压**
- **1. 动脉血压概念**
- **收缩压 (systolic pressure)**：心室收缩射血时，动脉血压升高，在心室收缩中期达到最大，称为收缩压。
- **舒张压 (diastolic pressure)**：心室舒张时，动脉血压下降，在舒张末期降至最低，称为舒张压。
- **脉搏压 (pulse pressure, 脉压)**：收缩压与舒张压的差值。
- **平均动脉压 (mean arterial pressure)**：整个心动周期各瞬间动脉血压的平均值。约等于舒张压+ $\frac{1}{3}$ 收缩压。

2. 动脉血压的正常值

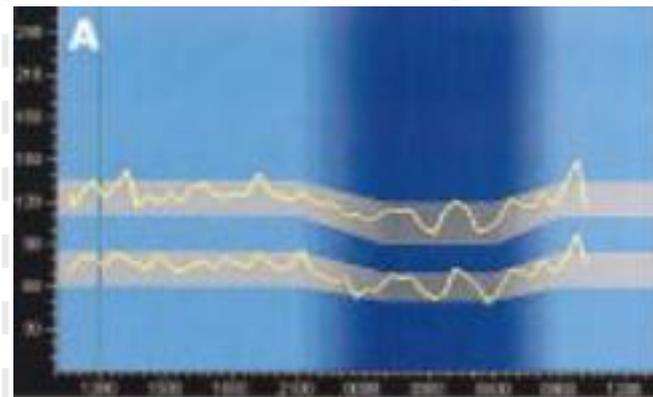
- 收缩压 (SBP) : 100~120mmHg
- 舒张压 (DBP) : 60~80mmHg
- 脉压 (PP) : 30~40mmHg
- 高血压: 收缩压 ≥ 140 和或 舒张压 ≥ 90 mmHg
- 高血压前期: 收缩压 120~139 或 舒张压 80~89 mmHg
- 低血压: $<90/50$ mmHg

■ 问题: 血压一天中什么时间最高?

■ 白天清醒血压高于晚上睡眠时。

■ 白天有2次血压高峰:

■ 起床后1小时、下午6-8点间



3. 动脉血压形成条件



- 1) 血管内有血液充盈
- 2) 心室射血和外周阻力的相互作用



4. 影响动脉血压的因素

- 1) 搏出量：主要影响收缩压；搏出量增加，收缩压增加，舒张压增加不显著，脉压增大。
- 2) 心率：心率对舒张压的影响更显著（同向变化）
- 3) 外周阻力：主要影响舒张压
- 4) 大动脉管壁的弹性：弹性减弱，收缩压增大，舒张压下降，脉压增大（老年收缩期高血压）。
- 5) 循环血量：与血压成正比

(二) 动脉脉搏

吉祥

- **定义：** 在每个心动周期中，动脉内的压力会发生周期性的波动，这种周期性的压力变化可引起动脉血管发生搏动，简称脉搏（**arterial pulse**）。
- **测试：** 桡动脉、锁骨下动脉、颈总动脉、颞浅动脉
- **作用：** 心率监控在体育中的应用

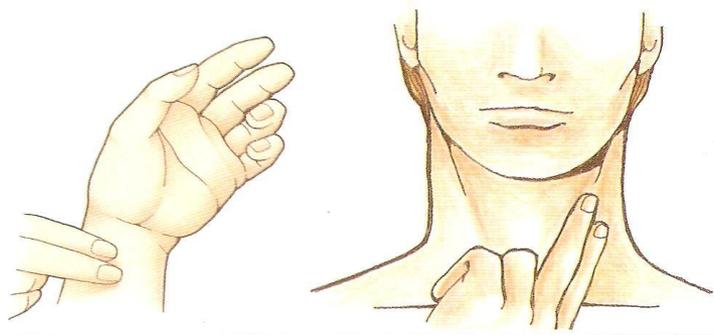
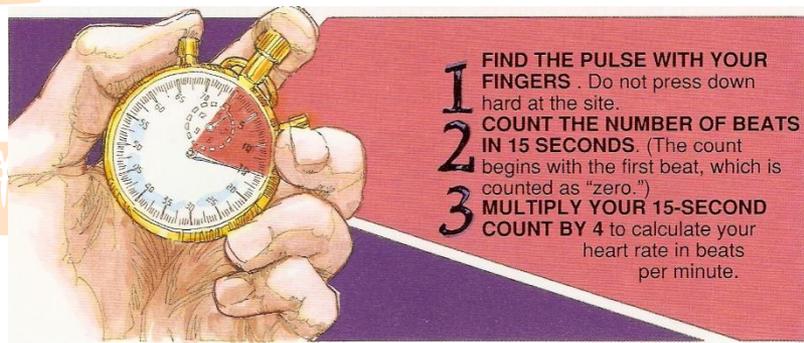


Figure 3.1 Heart rate (pulse) sites.

吉祥

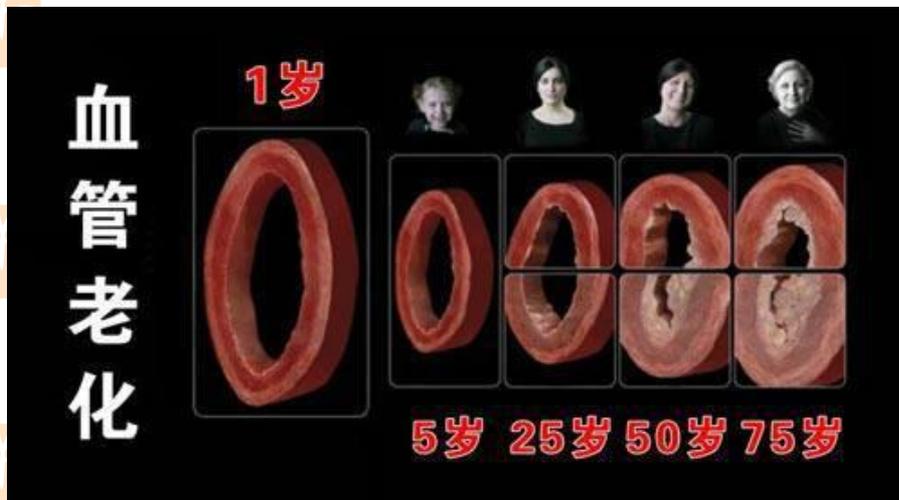
吉祥

吉祥

知识窗：动脉硬化

吉祥

- 增龄性动脉硬化
- 弹性纤维逐渐为胶原纤维取代--血压增高、破裂出血
- 高血脂性动脉硬化（动脉粥样硬化）
- 胆固醇、类脂和单核细胞沉积--组织缺血、血栓



三、静脉血压和静脉回心血量

■ (一) 静脉血压

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

■ (二) 静脉回心血量及其影响因素

- 1. 体循环平均充盈压：同向变化
- 2. 心肌收缩力：同向变化
- 3. 体位改变：体位性低血压和重力性休克
- 4. 骨骼肌的挤压作用：骨骼肌和静脉瓣共同作用
- 5. 呼吸运动：呼吸泵

体位改变

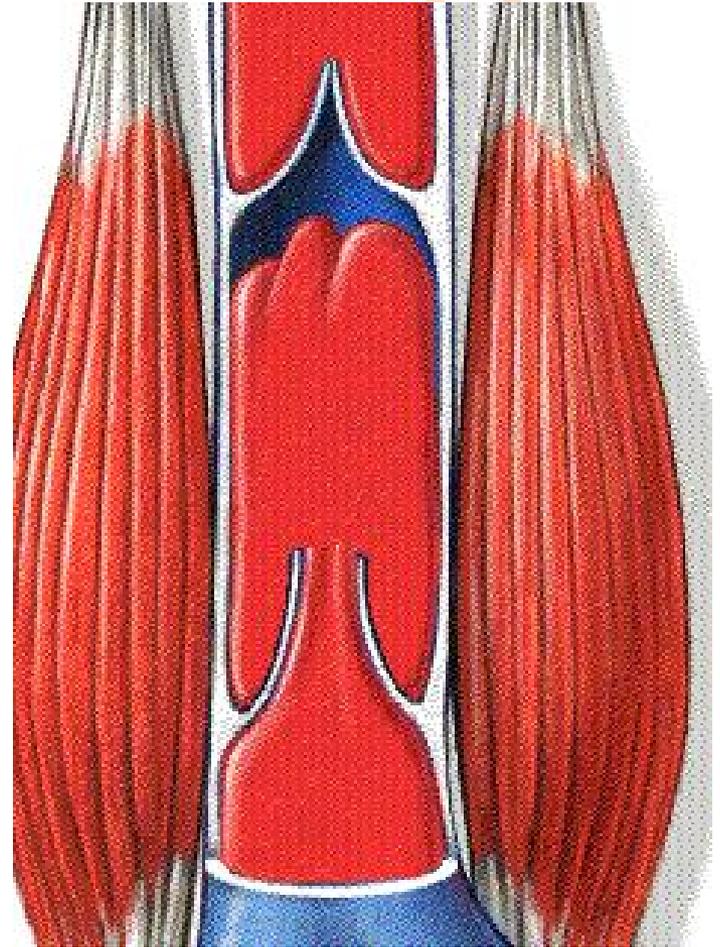
- 平卧位：血液回流受重力影响小，回心血量增加；
- 直立位：血液回流受重力影响大，回心血量减少；
- 体位性低血压和重力性休克：当由平卧位或坐姿位突然转化为直立位时，由于回心血量的减少而导致的一过性血压下降，称为体位性低血压。引起脑部缺氧而发生眩晕甚至昏厥，称为重力性休克。

■ 问题：久坐或久卧突然站立，为什么会晕倒？

骨骼肌的挤压作用

吉祥如意

- 骨骼肌和静脉瓣共同对静脉回流起“泵”的作用，称“静脉泵”或“肌肉泵”。
- 剧烈运动后马上静止不动易发生重力性休克。
- 问题：运动后立刻静止不动，为什么会晕倒？



吉祥如意

吉祥如意

吉祥如意

呼吸运动

吉祥如意

- 吸气 → 胸腔扩大 → 胸内压 ↓ → 大静脉和右心房扩张 → 中心静脉压 ↓ → 静脉回流 ↑;
- 呼气时相反
- 憋气时 → 胸内压 ↑ → 静脉回流受阻 → 回心血量 ↓ → 收缩期射血 ↓ → 血压 ↓ → 脑、心等重要器官缺血 → 昏迷、诱发心梗

吉祥

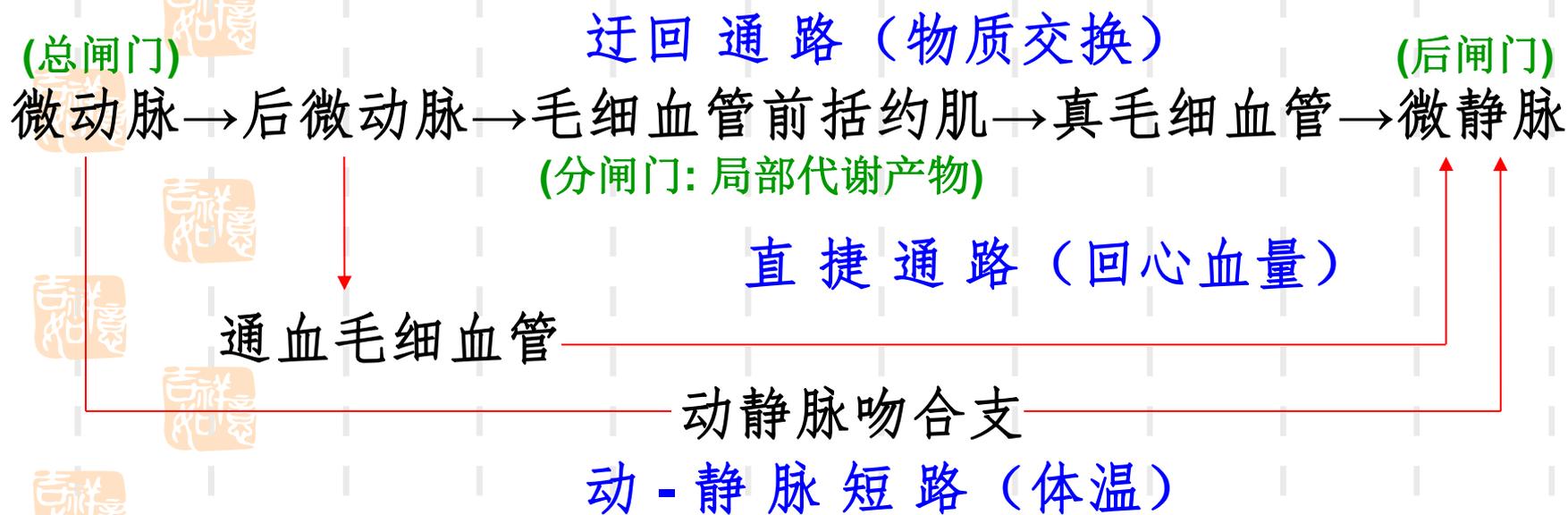
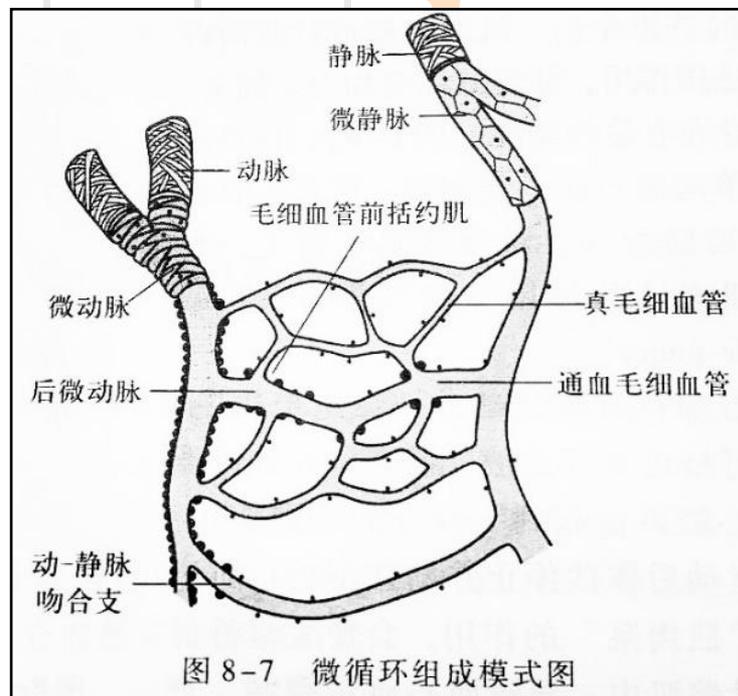
吉祥

吉祥

吉祥

三、微循环

- **微循环**：是指微动脉和微静脉之间的血液循环，是血液和组织液之间物质交换的场所。
- **微循环的组成**：



小结

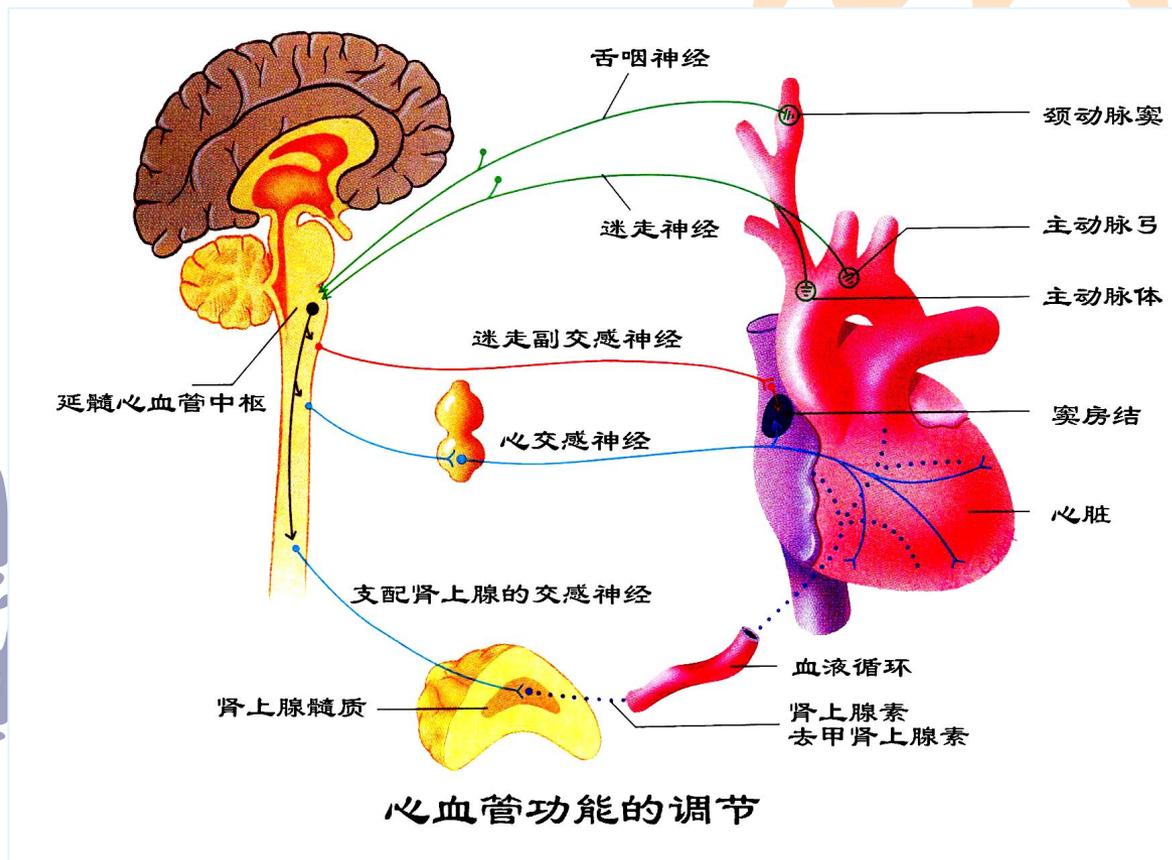
吉祥如意

- 名词：
 - 体位性低血压、重力性休克
 - 微循环
- 问题：
 - 微循环的构成及其功能
- 知识点：
 - 影响静脉回流的因素



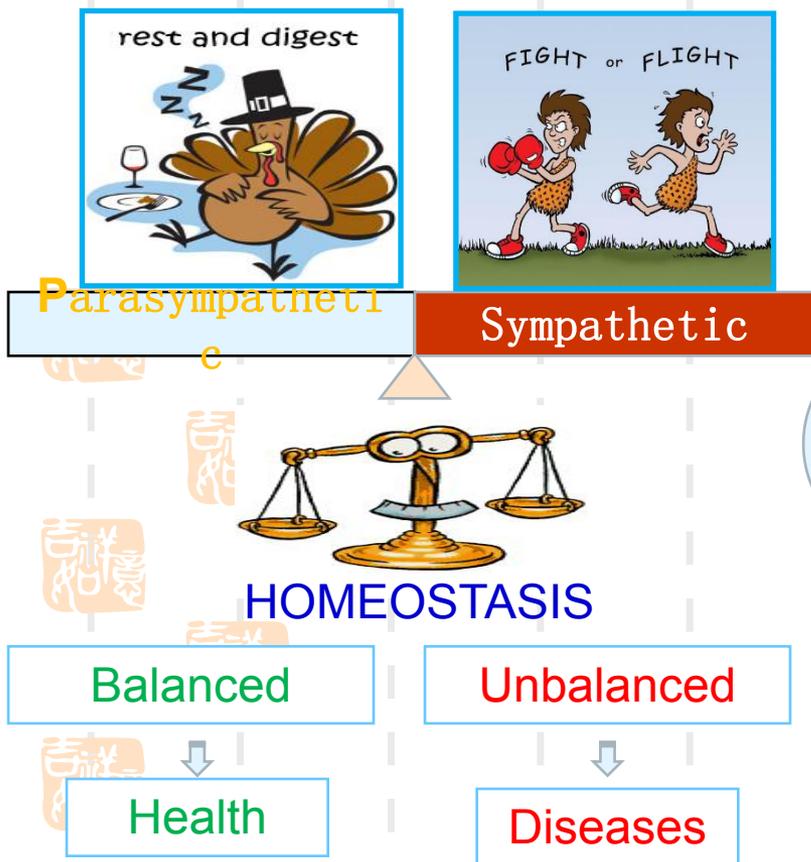
第八章 血液循环与运动

第三节 心血管活动的调节



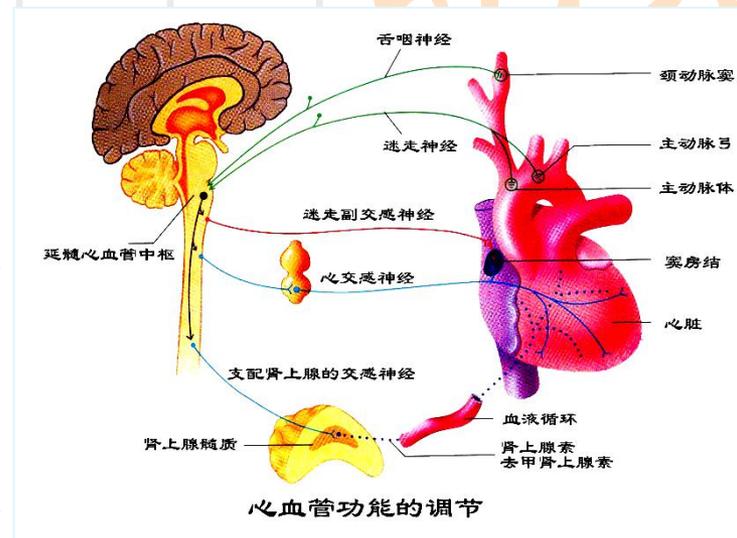
一、神经调节

- **自主神经**：又称内脏神经。包括：交感神经和副交感神经。
- **问题**：告诉你神奇的自主神经。



(一) 心脏及血管的神经支配

- 1. 心脏神经支配:
- 心交感神经和心迷走神经
- 2. 血管的神经支配:
- 舒血管神经、缩血管神经



	交感缩血管神经	交感舒血管神经	副交感舒血管神经
分布	体内多数血管只接受此神经支配	骨骼肌	脑、肝、外生殖器血管
作用	与 α 受体结合: 血管收缩	交感神经总动员使肌肉血管舒张	调节局部血流量, 对外周阻力影响小

(二) 心血管中枢

心血管中枢：与心血管活动有关的神经元集中的部位。

部 位		特 点
脊 髓	T、L、S段灰质侧角	受上级中枢控制； 完成原始不精确心血管反应
延 髓	心交感中枢：延髓腹外侧 心迷走中枢：迷走背核、疑核 交感缩血管中枢	传入神经接替站是孤束核； 呼吸可改变其紧张性：吸气迷走紧张↓，交感紧张↑；呼气时相反
延髓以上部位	下丘脑、大脑边缘系统、 大脑皮层运动区、小脑顶核	下丘脑是皮层下高位整合中枢； 越高位神经元整合功能越复杂

Cardiovascular ANS

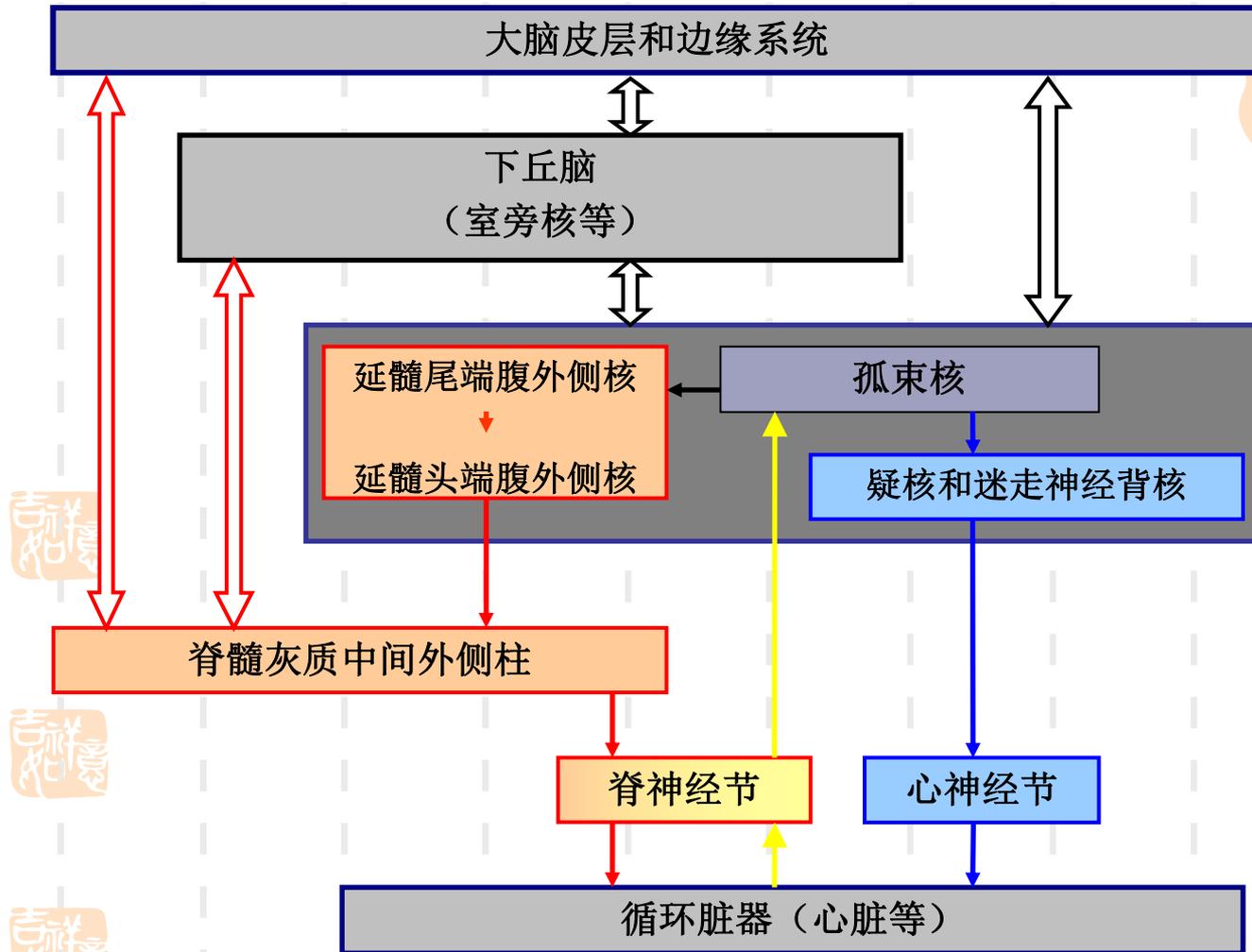


Fig 1. Regulation loop of cardiovascular ANS

(三) 心血管反射

- 1. 颈动脉窦和主动脉弓压力感受性反射
- 2. 颈动脉体和主动脉体化学感受性反射

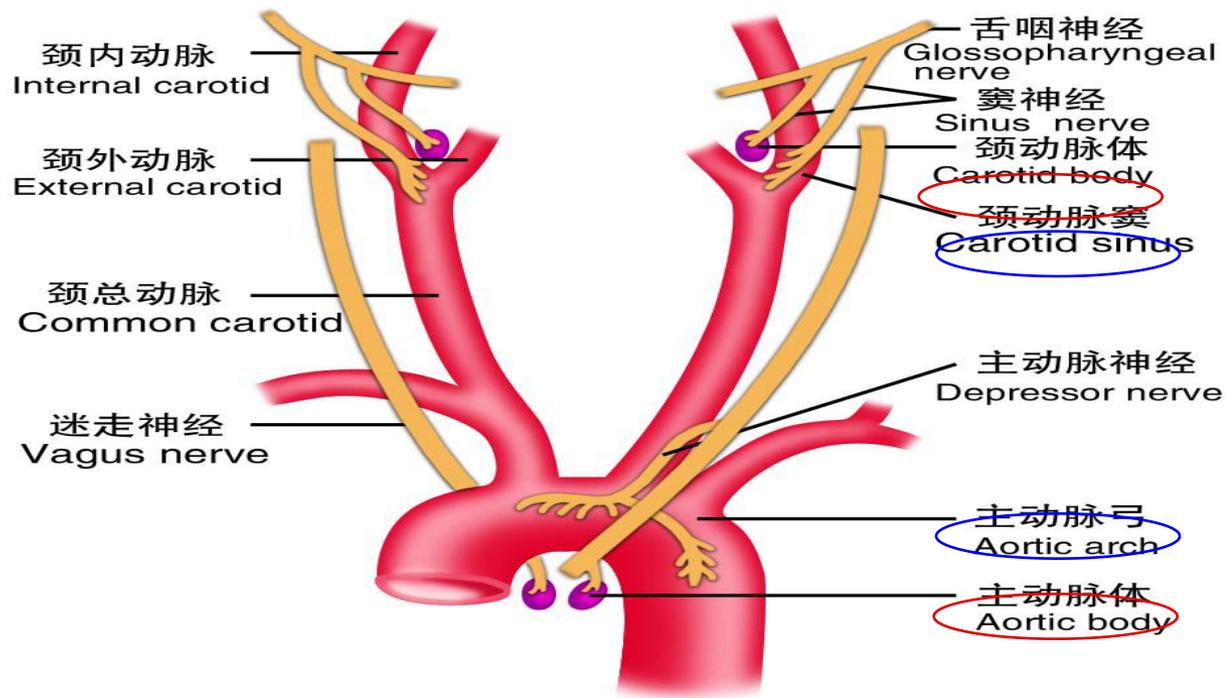
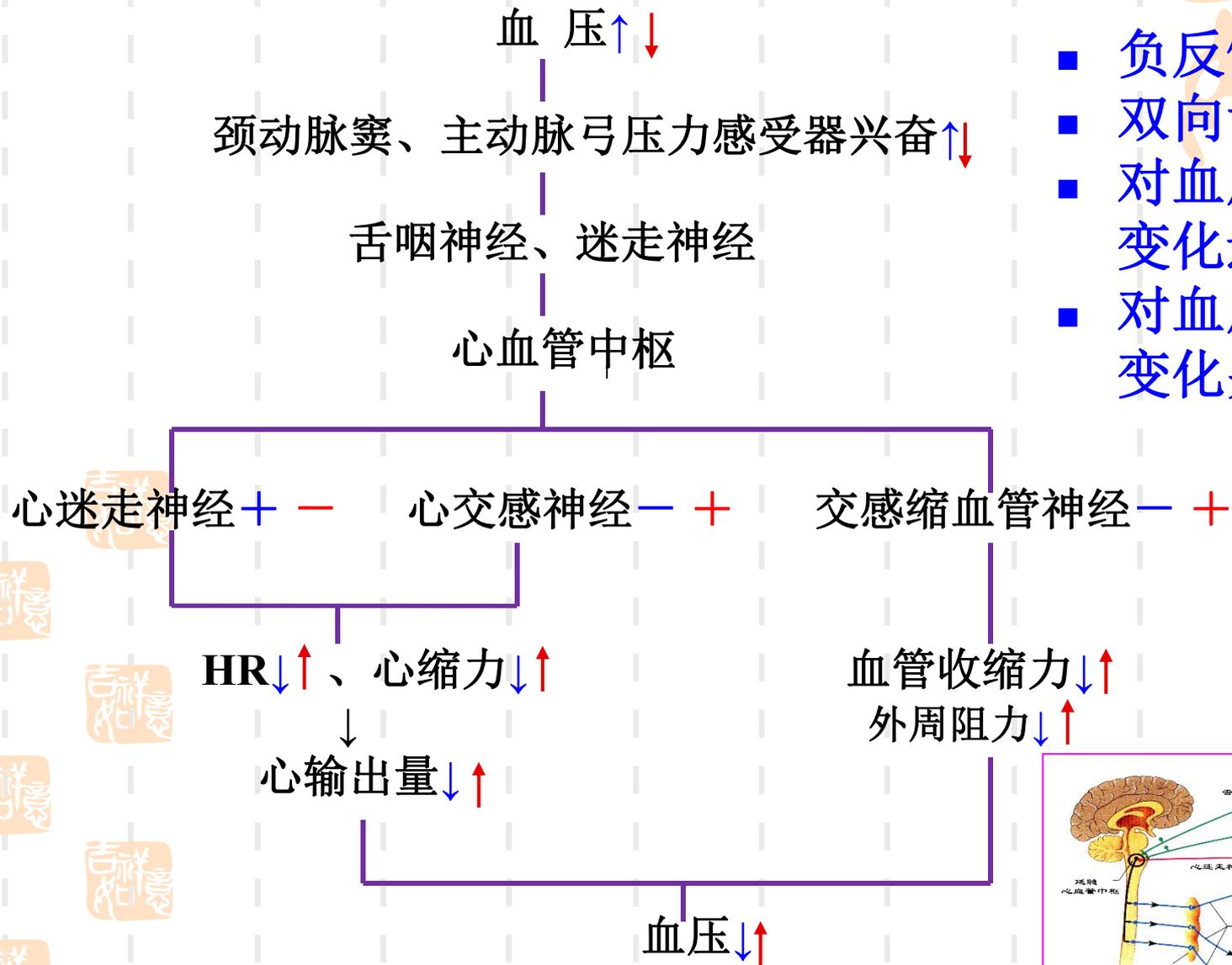
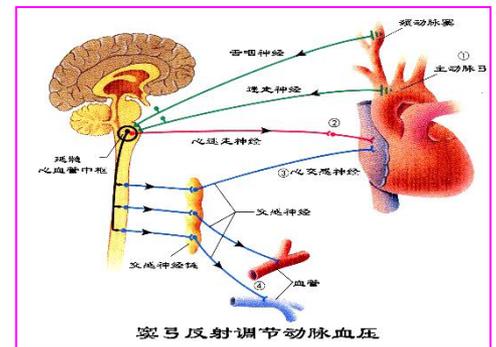


图 颈动脉窦和主动脉弓的压力感受器及化学感受器

1. 颈动脉窦和主动脉弓压力感受性反射(减压反射)



- 负反馈调节
- 双向调节
- 对血压的突然变化进行调节
- 对血压的慢性变化并不敏感



2. 颈动脉体和主动脉体化学感受性反射

$\text{Po}_2\downarrow$ 、 $\text{Pco}_2\uparrow$ 、 $[\text{H}^+]\uparrow$ 等

↓
颈动脉体和主动脉体的外周化学感受器兴奋

↓
窦神经、迷走神经

↓
心血管中枢兴奋性改变

↓
呼吸中枢 (+)

↓
心率↑、脑血管和冠脉舒张、心输出量↑

↓
外周血管阻力↑

↓
呼吸加深加快

↓
血压↑

化学感受性反射主要对呼吸运动进行调节；对心血管活动的调节作用不明显；该反射只在缺氧、窒息、血压过低和酸中毒，以及剧烈运动时发挥调节作用。

二、体液调节

■ (一) 肾上腺素和去甲肾上腺素 (NE、E)

■ 肾上腺素作用:

- 1. 心脏: 心率 \uparrow , 心肌收缩力 \uparrow , 心输出量 \uparrow , SBP \uparrow (DBP轻微 \downarrow) —— “强心针”;
- 2. 血管: 血液重新分配——皮肤、肾脏、肠胃等内脏的血管收缩; 骨骼肌和肝脏血管及冠状血管舒张, 血流量增加。

■ 去甲肾上腺素作用:

- 1. 心脏: 心脏活动 \uparrow , 其作用比肾上腺素小;
- 2. 血管: 除冠状血管外体内大多数血管都收缩, 导致外周阻力增大, 血压 (SBP、DBP) 升高。

(二) 肾素—血管紧张素

- **肾素**：肾脏近球细胞分泌的蛋白水解酶，可将无活性**血管紧张素原**转变为有活性的**血管紧张素**。
- **血管紧张素**：肝脏生成
- ①直接作用于心血管；
- ②通过刺激交感神经中枢以及促使交感神经末梢释放NE的方式，正性变时、变力、变传导作用；皮肤及内脏血管显著收缩，最终导致外周阻力增加，血压升高。
- 心肌、血管平滑肌、骨骼肌、脑、肾等多种器官和组织中含有该两种物质的基因表达

(三) 其它体液因素

- 心血管活性多肽：心房钠尿肽（心钠素、心房利尿钠肽）、降钙素基因相关肽，等。
- 血管升压素
- 内皮素（内皮舒血管因子、内皮缩血管因子）
- 组胺（舒血管作用）
- 前列腺素（舒血管作用）
- 代谢产物（局部舒血管作用）

三、自身调节



- 1. 代谢性自身调节
- 微动脉、毛细血管前括约肌
- 2. 肌源性自身调节
- 血管平滑肌—牵张反射



小结

吉祥如意

- 名词：
 - 减压反射
- 知识点：
 - 心血管活动的调节
 - 心血管反射的调节过程及其意义



第八章 血液循环与运动

第四节 运动对心血管系统 的影响



- 一、运动时心血管功能的变化

- 心血管系统对运动的反应

- 二、运动训练对心血管系统的影响

- 心血管系统对运动训练的适应



一、运动时心血管功能的变化

■ (一) 心率、搏出量和心输出量的变化

■ 增加的原因

- ①运动时肌肉节律性舒缩和呼吸运动加强，回心血量增加；
- ②运动时交感缩血管中枢兴奋，容量血管收缩，体循环平均充盈压升高，利于静脉回流；
- ③心交感中枢兴奋，迷走中枢抑制
- ④交感中枢兴奋使肾上腺髓质分泌功能增强

(二) 器官血流量的变化

- 运动时心输出量增加，但增加的心输出量并不是平均分配给全身各器官的：
 - ①心脏和运动肌血流量增加；
 - ②非运动的肌肉和内脏血流量减少；
 - ③皮肤血流量先减少后增加（散热）
- 血液重新分配的意义：
 - ①有限血液供应给所需器官；
 - ②维持一定动脉血压。

(三) 血压的变化

- **动力性运动中：**收缩压上升、舒张压下降
- 运动肌血管舒张>腹腔内脏血管收缩，故总外周阻力有所降低，表现为舒张压下降。同时心输出量增加，收缩压升高；
- **静力性运动中：**收缩压上升、舒张压上升
- 肌肉持续收缩压迫血管和腹腔内脏血管收缩，使外周阻力加大，血压升高，且舒张压升高显著。
- **Post-Exercise Hypotension (急性运动后血压下降现象)**
- 运动停止后，血压下降并持续低于运动前的安静血压水平（数分钟到数小时）。

问题：运动对心脏有利和不利影响

- 心源性猝死
- 急性长时间大强度运动可导致心肌损伤



CK不同亚型: CKMB

LDH亚型

肌钙蛋白I和T: 心肌特异性

二、运动训练对心血管系统的影响

■ (一) 运动性心脏肥大与微细结构重塑

- 运动性心脏肥大：心脏外形丰实，收缩力强，心力储备高，一般不超过500g；
- 病理性心脏肥大：心脏扩张松弛，收缩力弱，心力储备低，
- 运动性心脏肥大形式：
 - 向心性肥大：心室壁增厚，静力及力量性项目如投掷、摔跤。
 - 离心性肥大：心室腔增大，耐力性项目如游泳和长跑等。
- 运动性心脏肥大是对长时间运动训练的一种良好适应，是功能性代偿所致，这种变化是可逆的。

(二) 运动性心动徐缓

- 正常安静心率低于60次/分，特别是耐力训练。
- **原因：**心迷走神经作用加强，心交感神经作用减弱
- **变化：**窦性心动徐缓是可逆的，停训多年后，心率可恢复接近到正常值。
- **应用：**窦性心动徐缓是经过长期训练后心功能改善的良好反应，可将窦性心动徐缓作为判断训练程度的参考指标。

(三) 心脏泵血功能改善

■ 1. 安静时心动徐缓有力

■ 一般人： $5000\text{ml}/\text{min}=71\text{ml}/\text{次}\times 70\text{次}/\text{min}$;

■ 运动员： $5000\text{ml}/\text{min}=100\text{ml}/\text{次}\times 50\text{次}/\text{min}$

■ 2. 亚极量强度运动时心泵功能的节省化

■ 运动员心率、心搏量和心输出量的增加幅度均小于普通人。

■ 3. 极量强度运动时心泵储备大

■ 最大心率无差别，心输出量差异大

■ 一般人： $22000\text{ml}/\text{min}=113\text{ml}/\text{次}\times 195\text{次}/\text{min}$;

■ 运动员： $35000\text{ml}/\text{min}=179\text{ml}/\text{次}\times 195\text{次}/\text{min}$

小结

吉
祥
禮

■ 名词：

- 运动性心动徐缓
- 运动性心脏肥大

■ 问题：

- 心血管系统对运动的反应和适应

■ 知识点：

- 运动训练对心血管系统的影响

