

第四章 循环系统

Circulatory system

郭军 MD 教授

食品质量与安全系



jun.guo@china.com.cn
办公电话: 0471-4317891

guojunge@imau.edu.cn

访问地址: 食品质量与安全教学系 202室
乳研楼大厅左拐上二楼

-
- **何谓“循环系统”，有何功能？**
 - **是不是思维器官？ “这似乎是个愚蠢的问题！”**
 - **“神奇的”器官 — 心脏**
-

概述

- **循环系统的组成**

心脏、血管和淋巴管

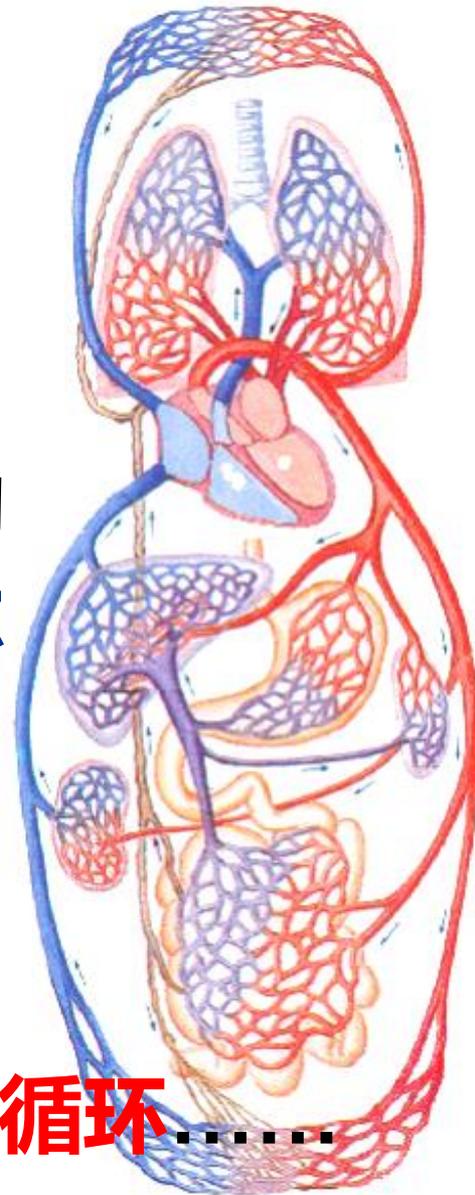
血液在心脏泵动下按一定的方向往复流动形成血液循环****

- **血液循环**

体循环

肺循环

脏器循环、微循环、淋巴循环.....



■ 循环系统的功能 **掌握**

A 完成物质的运输 使新陈代谢能不断进行

B 实现机体的体液调节 运输激素和生物活性物质

C 维持内环境的相对稳定 运输、缓冲、渗透压、感受器

D 实现血液的防卫功能

E 内分泌功能 如心脏、血管内皮细胞、肾颗粒细胞



■ **心脏的功能** 掌握

A 泵血功能，动力装置，

**为血液流动提供能量
分配血液**

B 内分泌功能

心钠素 — 脊椎动物**心房肌细胞**分泌的激素

利尿、利钠、舒张血管和降压作用，

参与水电解质平衡、体液容量和血压调节**。**

其它生物活性肽 — 抗心率失常肽、内源性洋地黄

■ 循环系统的进化（循环系统的比较生理学）

鸟类和哺乳类

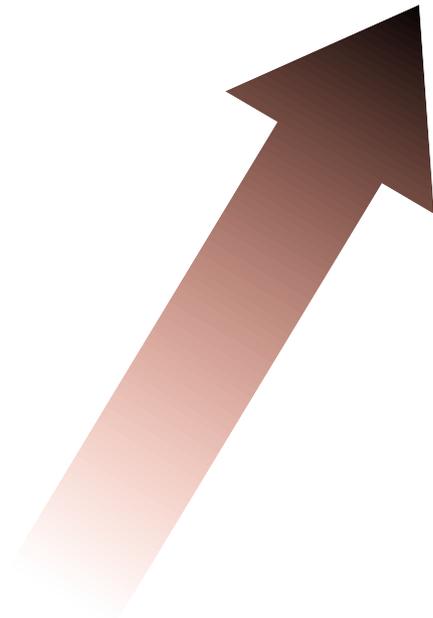
爬行类

两栖类

鱼类（低等脊椎动物）

环节动物

节肢动物



■ 环节动物

封闭式 按一定方向流动 “真正循环”

蚯蚓的心血管系统





■ 鱼类

低等脊椎动物

用**腮呼吸**，心脏简单，串连式四室 — 静脉窦、心房、心室和动脉圆锥。

**血液每循环一次
只经过一次心脏。**



- **两栖类**
出现了**肺循环**
左右**两个心房**
只有一个**心室**
大动脉血为
混合血

**血液每循环一次
要两次经过心脏。**

- **爬行类心血管系统**
肺循环和体循环划分
比两栖类清楚一些。
心室出现纵隔，但除
鳄鱼外纵隔不完全。
静脉窦明显缩小。

脱氧和含氧血液仍有
混合（除鳄鱼）。



鸟类和哺乳类

两心房和两心室
肺循环和体循环
完全分开。

脱氧血和含氧血
不再混合。

各组织能得到更丰富的
氧供应，代谢活性提高。
恒体温，这与血液循环
的发达有关。

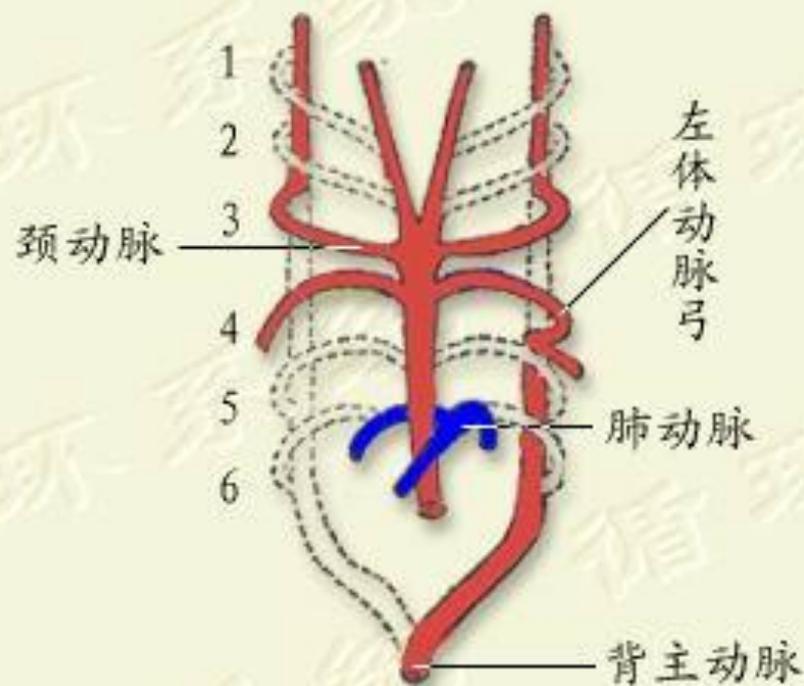
静脉窦退化为窦房结



■ 动脉弓的进化



哺乳类的动脉弓



哺乳类的动脉弓是在原始爬行类的基础上进化而来的。左心室通出的是由第四对动脉弓演化而来的左主动脉弓，右主动脉弓退化。第三对演化为颈动脉由左主动脉弓上发出。第六对演化为肺动脉由右心室发出。

哺乳类的动脉弓

§4-1 心脏的生理

1. 心脏的位置、结构及与血管的连通

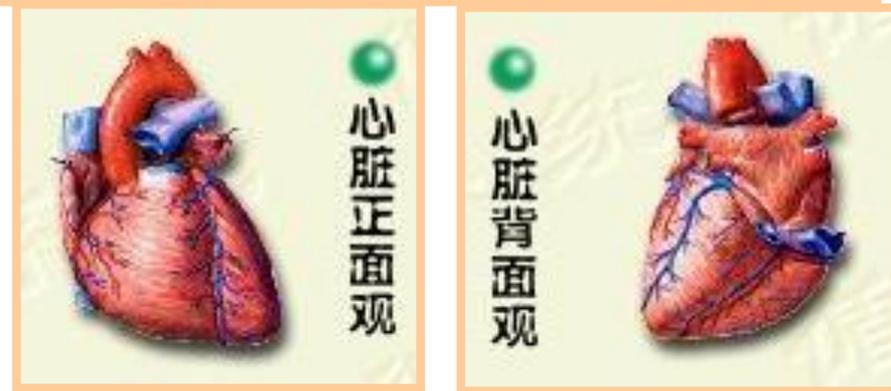
■ 心脏的位置

胸腔中部、偏左下方，夹在两肺中间，外面包裹半透明的心包膜（心包液）

以肋骨、胸骨定位

■ 心脏的形态

像桃子，大小与**本人拳头**差不多，重约400g。



■ 心脏的解剖结构

分四个泵室

左、右心房（低压腔）

左、右心室（高压腔）

心房壁较薄，房间隔卵圆孔

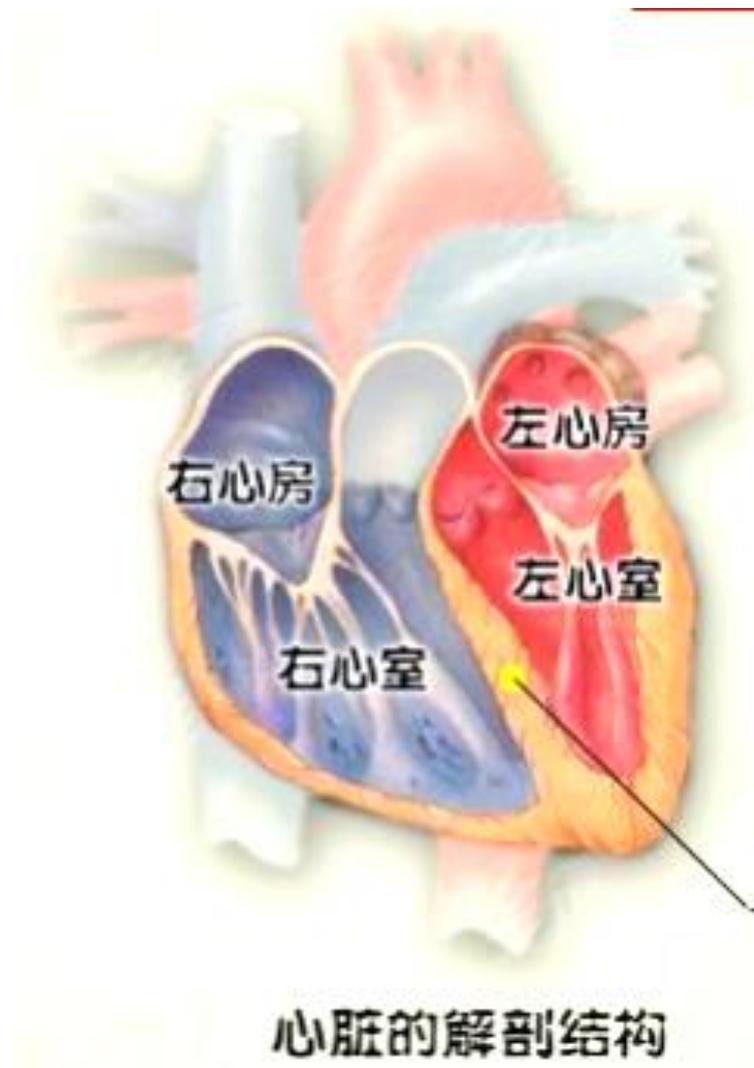
心室有厚肌肉壁，

左心室壁最厚，其重量为右室 3 倍。

心脏与血管的连通关系

心房 → 静脉

心室 → 动脉



■ 心脏与血管的连通关系

心房 — 静脉

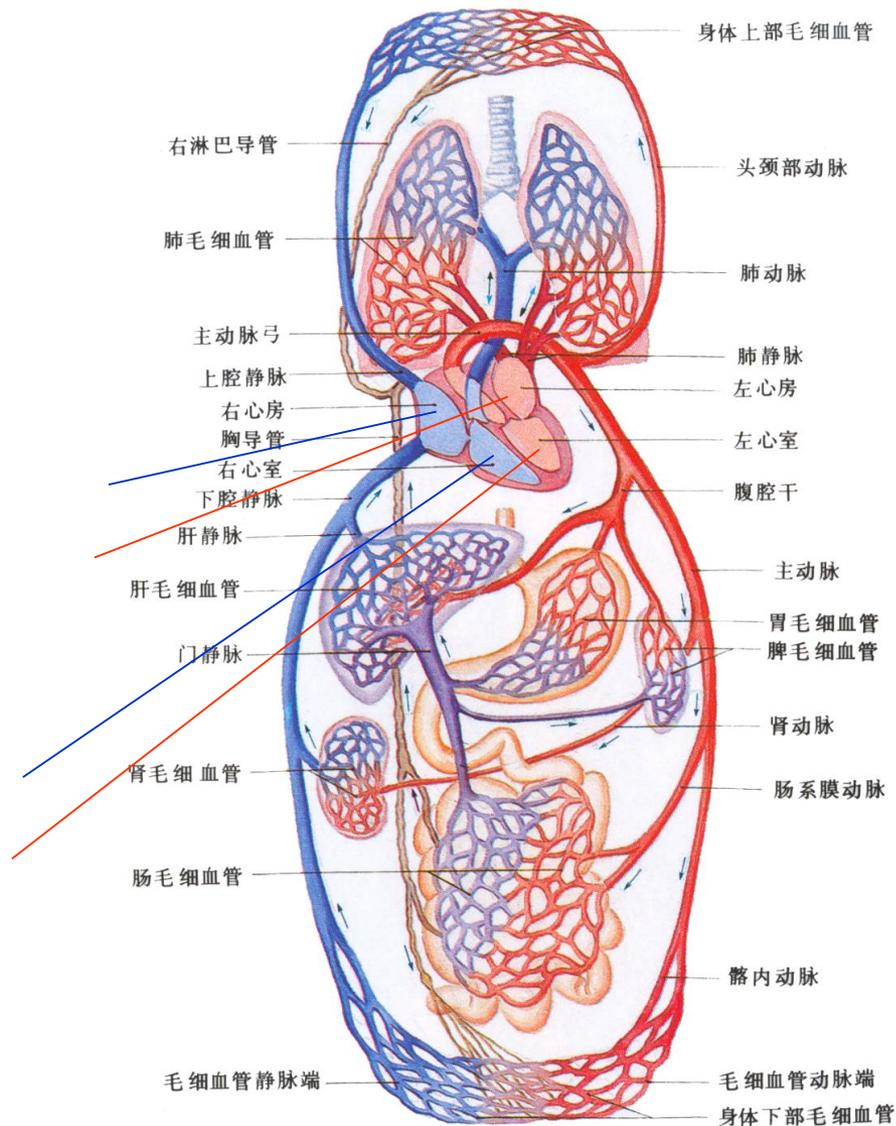
右心房 — 上下腔静脉 (脱氧血)

左心房 — 两侧肺静脉 (富氧血)

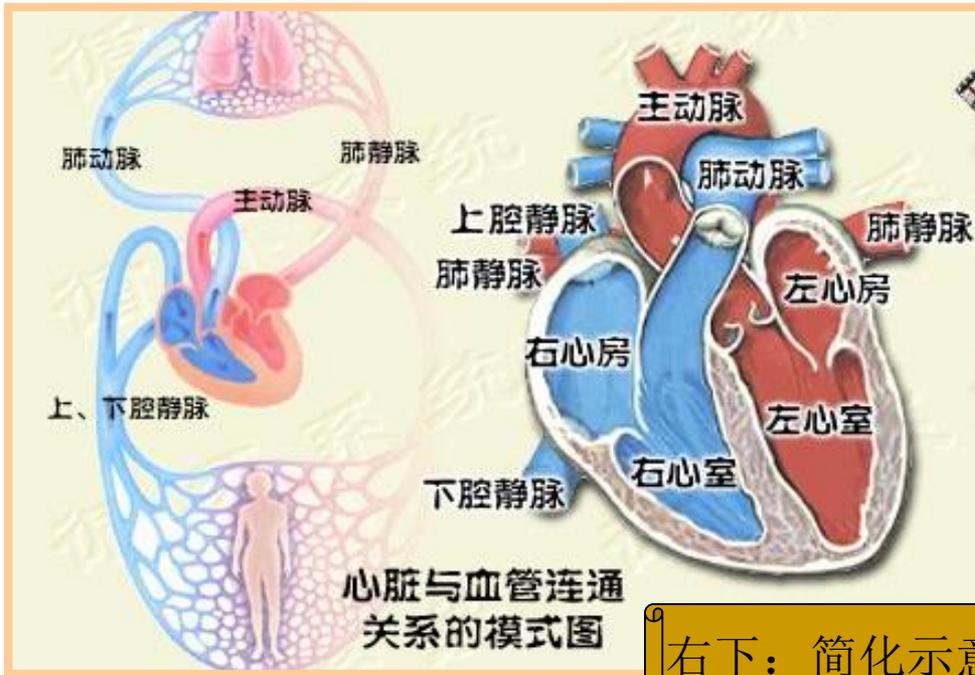
心室 — 动脉

右心室 — 肺动脉 (脱氧血)

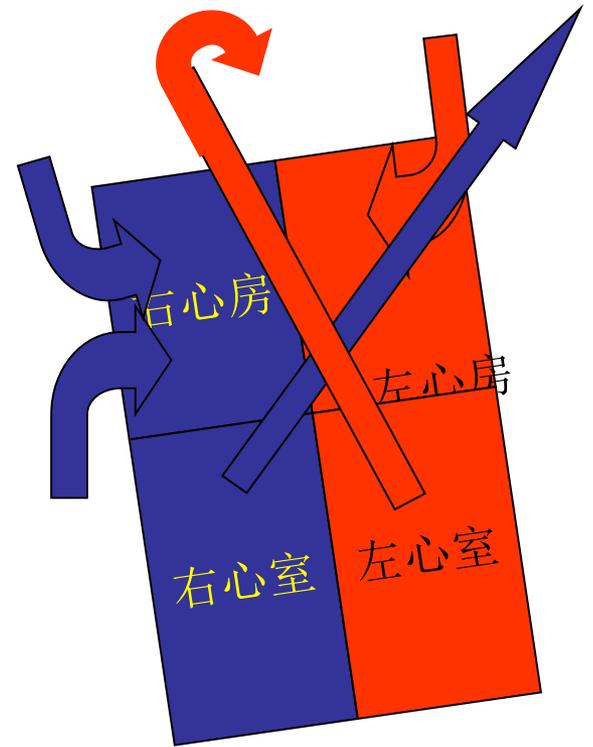
左心室 — 主动脉 (富氧血)



血液循环示意图



右下：简化示意图



心脏的瓣膜结构

房室瓣 — 心房、心室间

右房室瓣 — 三尖瓣

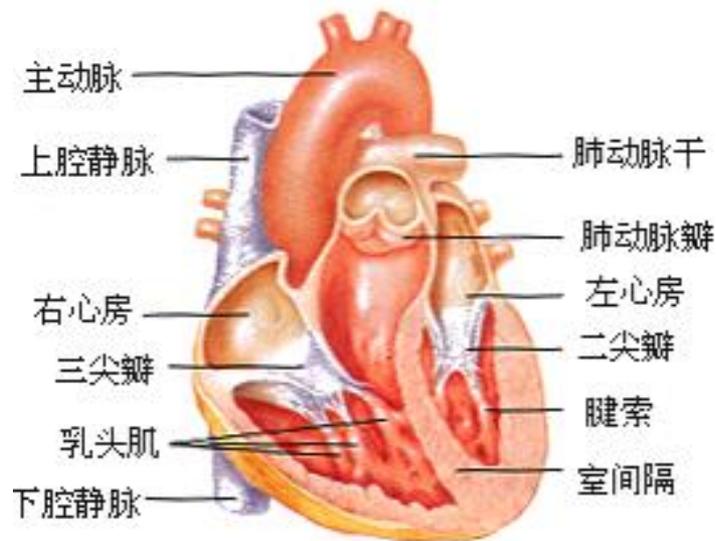
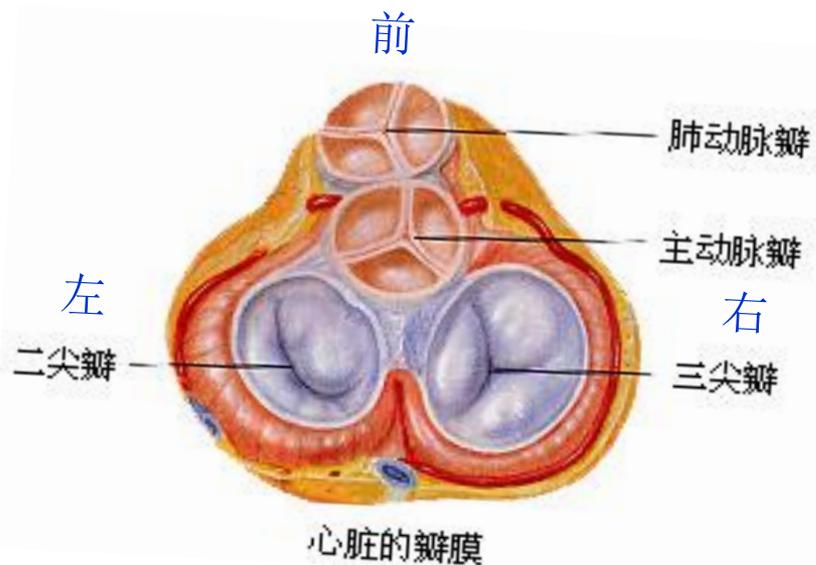
左房室瓣 — 二尖瓣

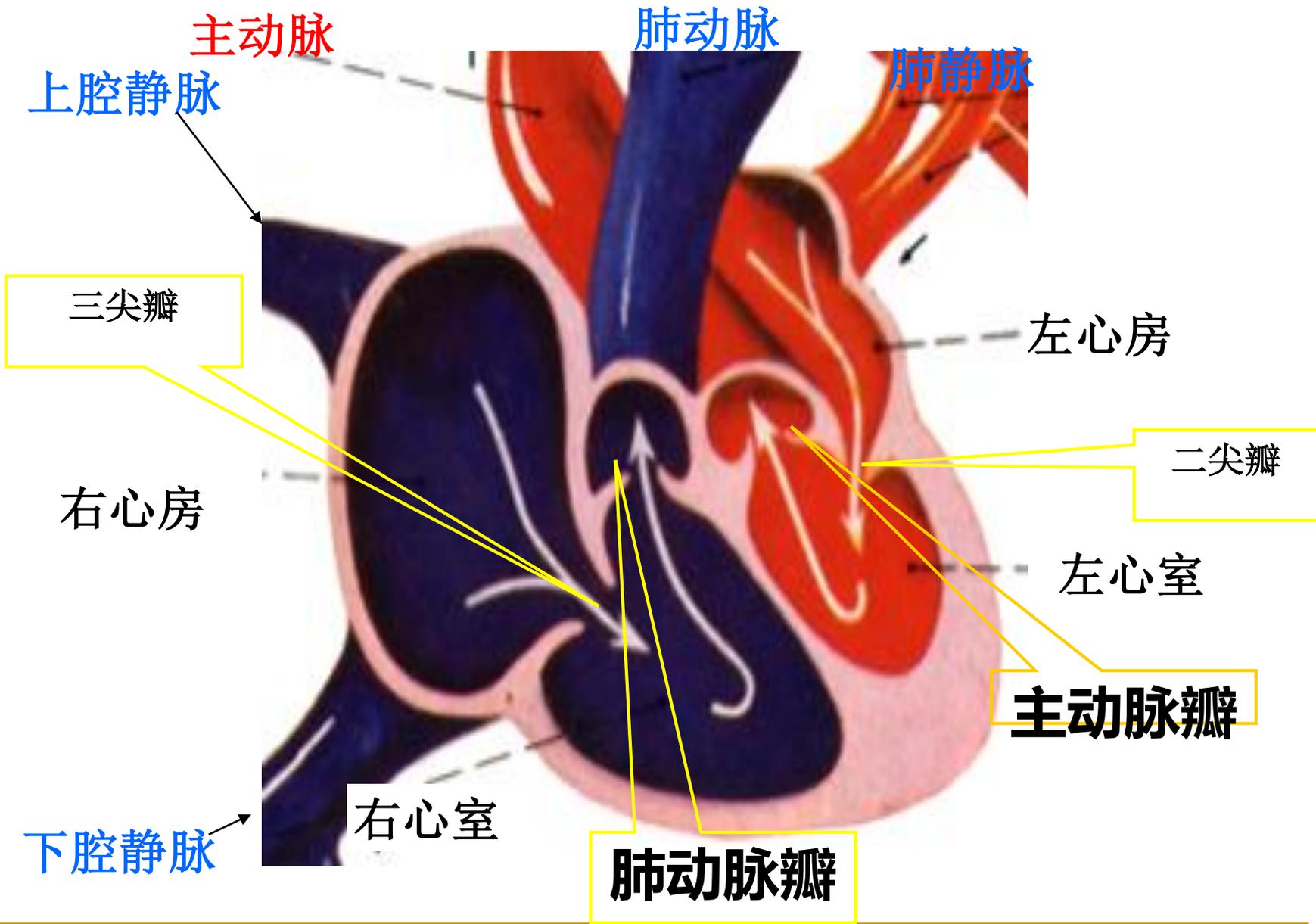
动脉瓣 — 主动脉瓣

肺动脉瓣 — 半月瓣

瓣膜的作用

— 保证血液单方向流动
防止倒流





主动脉

肺动脉

肺静脉

上腔静脉

三尖瓣

左心房

右心房

二尖瓣

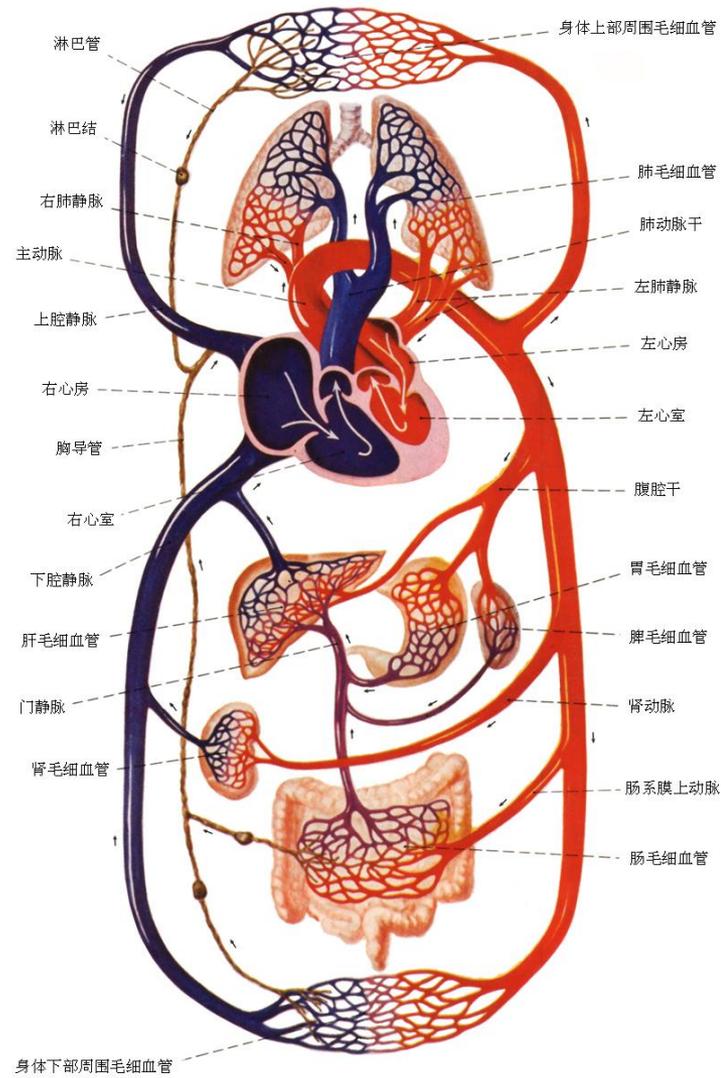
左心室

主动脉瓣

下腔静脉

右心室

肺动脉瓣



2. 心脏的组织结构和自律及传导系统

2.1 心肌细胞的分类

据组织学特点、电生理特性及功能上的区别

A 普通心肌细胞 — 非自律细胞

工作细胞 working cardiac cell

横纹肌细胞，含丰富肌原纤维（与骨骼肌的相似之处）

作用：

执行收缩功能；传导功能

特点：

收缩性、兴奋性和传导性，无自律性



B. 自律细胞 rhythmic cell

— 功能特化的心肌细胞

i 房室束、浦肯野细胞 — 快反应自律细胞

构成心脏特殊传导系统 传导起搏指令

此类细胞肌原纤维稀少，收缩性基本丧失

ii 窦房结 P细胞 — 慢反应自律细胞

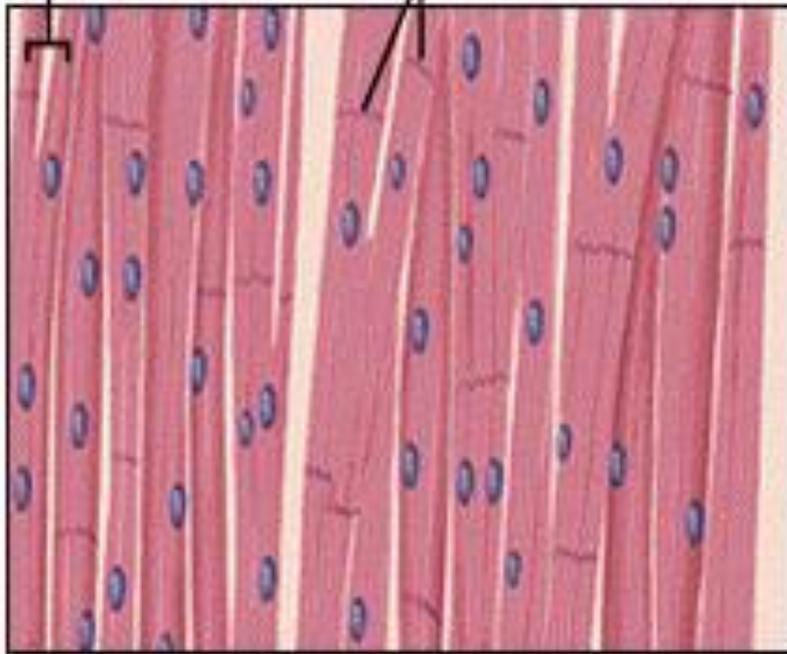
真起搏细胞 心脏起搏中心，发源地

特点：具有兴奋性、自律性和传导性。



分支

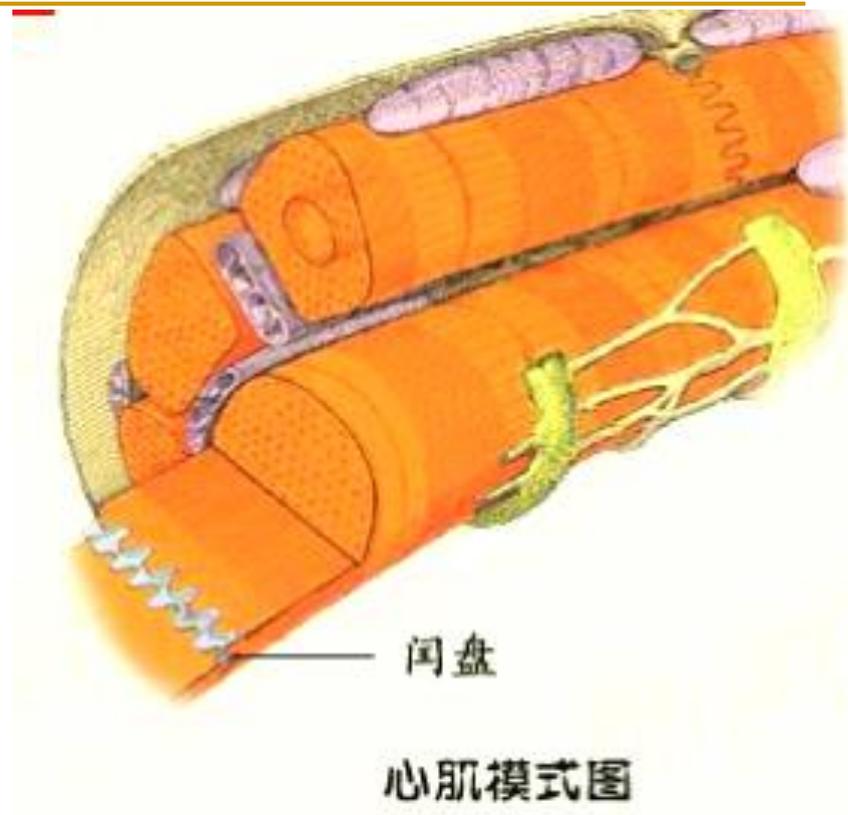
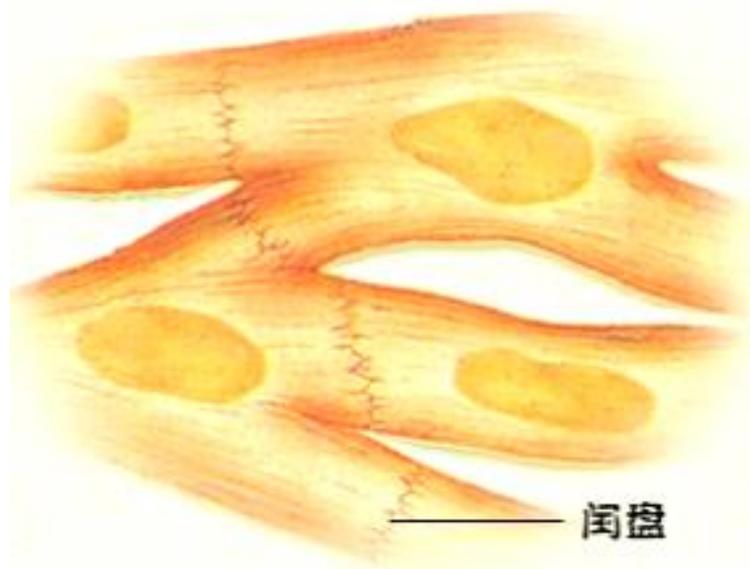
缝隙连接



普通心肌细胞

■ 闰盘

心肌细胞**缝隙连接**
有直接的通道连接机构
进行**电传导**和物质交换
使心肌细胞收缩**同步化**



■ 闰盘

心肌与骨骼肌的一个区别
心肌细胞间有电传导，骨骼
肌没有

2.2 心脏的自律和传导系统

■ 心脏活动的整体的特点

a **兴奋性** excitability

b **自律性** autorhythmicity

c **传导性** conductivity

d **收缩性** contractivity

电生理特性

→ 机械特性

心脏收缩功能的特征

自主性和节律性

骨骼肌无自主性和节律性

自律性相关概念

- **自律性/自动节律性**

细胞、组织在无外来刺激条件下，自动发生节律性兴奋的特性。 心肌、平滑肌

- **窦性节律**

由窦房结控制的心跳节律。

- **异位节律**

由窦房结以外的起搏点所控制的心跳节律。

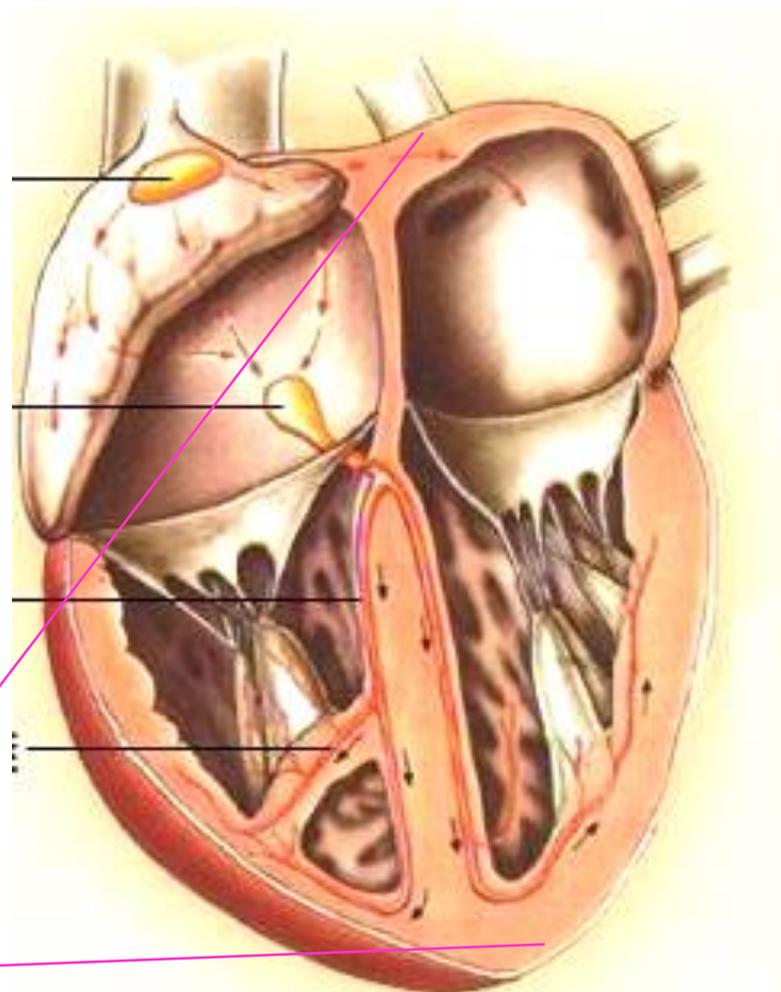
- **心跳起搏器**

人工控制心跳节律

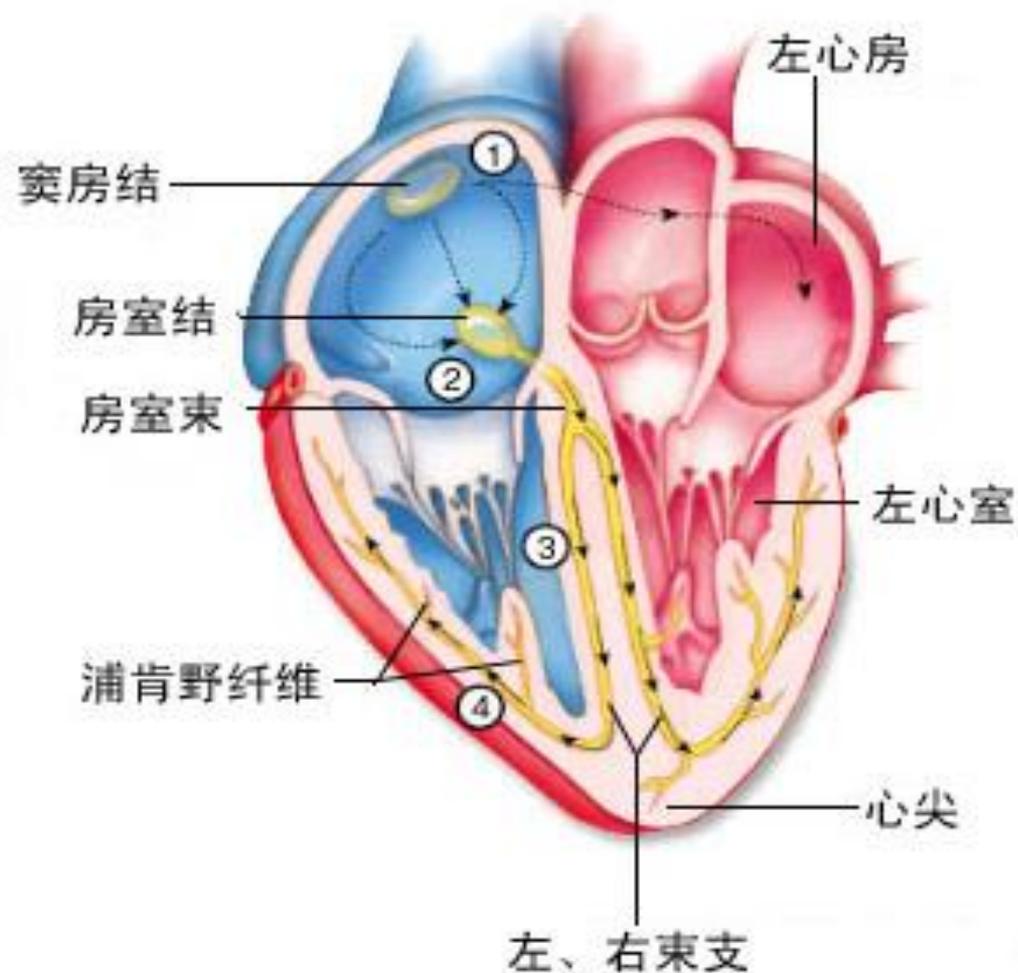
■ 节律发生和传导系统

自律细胞 {
 窦房结
 房室结
 房室束
 浦肯野纤维

普通心肌细胞
非自律细胞



心脏传导系统模式图



兴奋在心内的传导过程:

1. 窦房结发出的兴奋, 经心房肌及功能上的优势传导通路传播到左、右心房, 同时也通过心房肌传到房室结。
2. 兴奋通过房室结, 并由房室束传到室间隔。
3. 房室束分为左、右束支, 兴奋沿左、右束支传到心尖部。
4. 兴奋经浦肯野纤维到达心室壁。

3. 心脏的生物电现象 了解：本科生不要求

- 心房、心室不停、有顺序、协调一致的收缩和舒张交替活动，是心脏实现泵血功能、推动血液循环的必要条件。
- 细胞膜生物电现象（兴奋）则是触发收缩反应的始动因素。

心肌细胞的生物电现象

■ 各种心肌细胞生物电活动不一致，波形、形成机制复杂

分 4 各期：

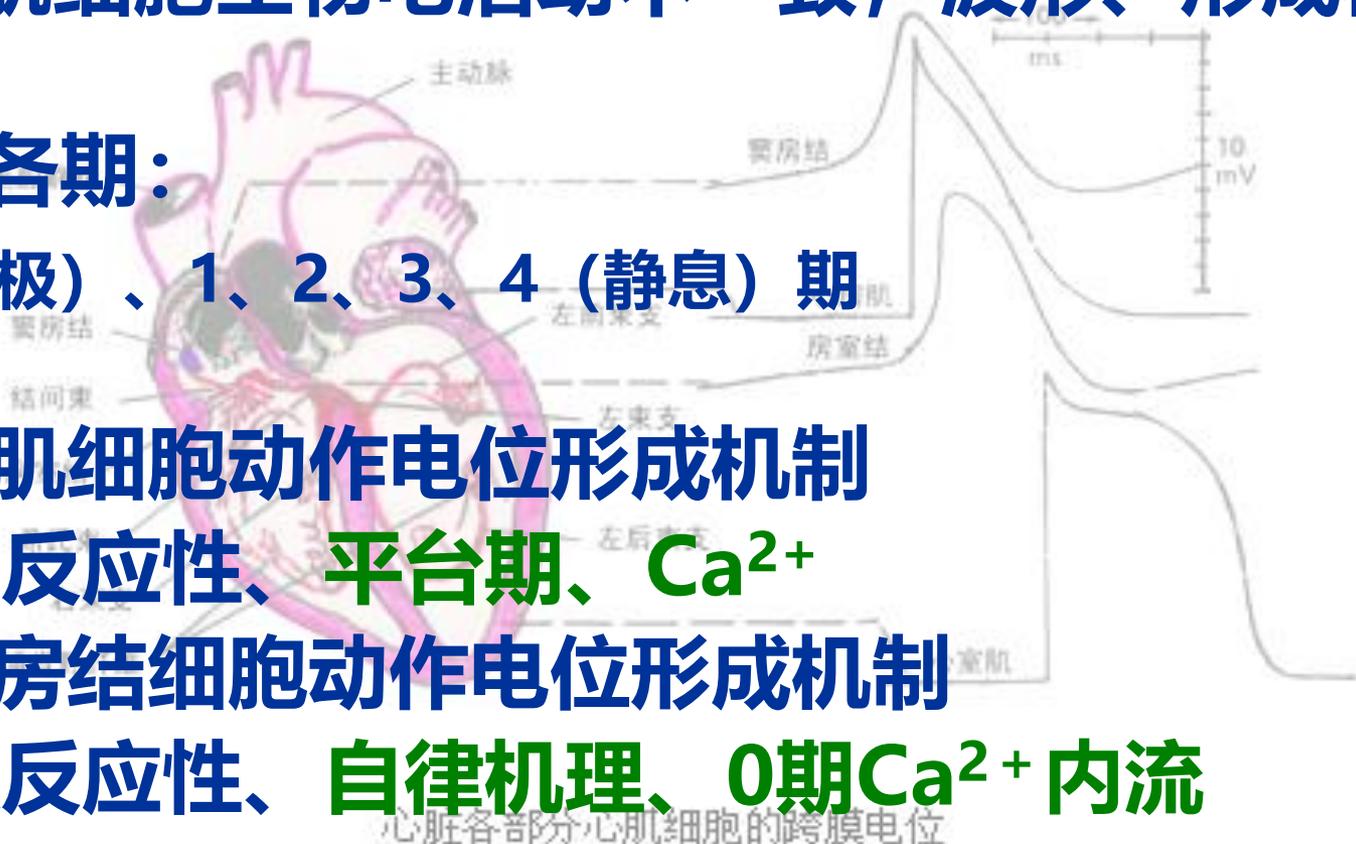
0 (除极)、1、2、3、4 (静息) 期

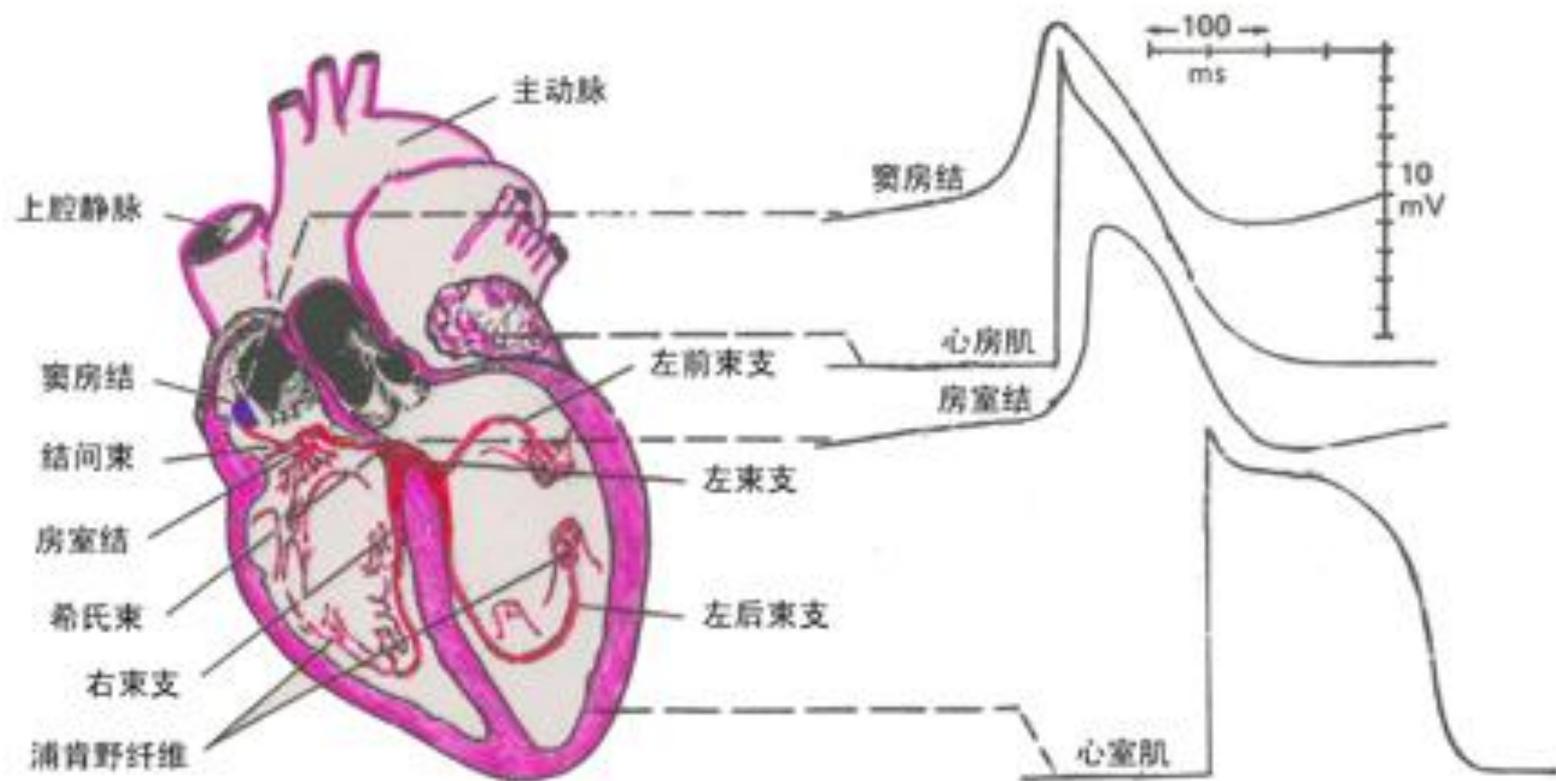
(一) 心肌细胞动作电位形成机制

快反应性、平台期、 Ca^{2+}

(二) 窦房结细胞动作电位形成机制

慢反应性、自律机理、0期 Ca^{2+} 内流

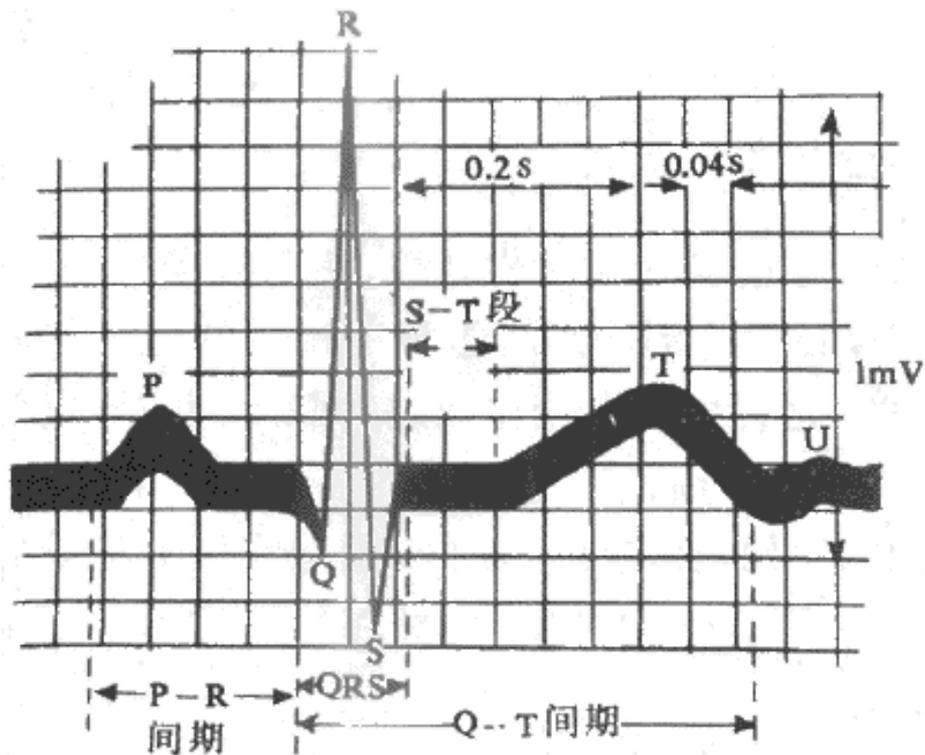
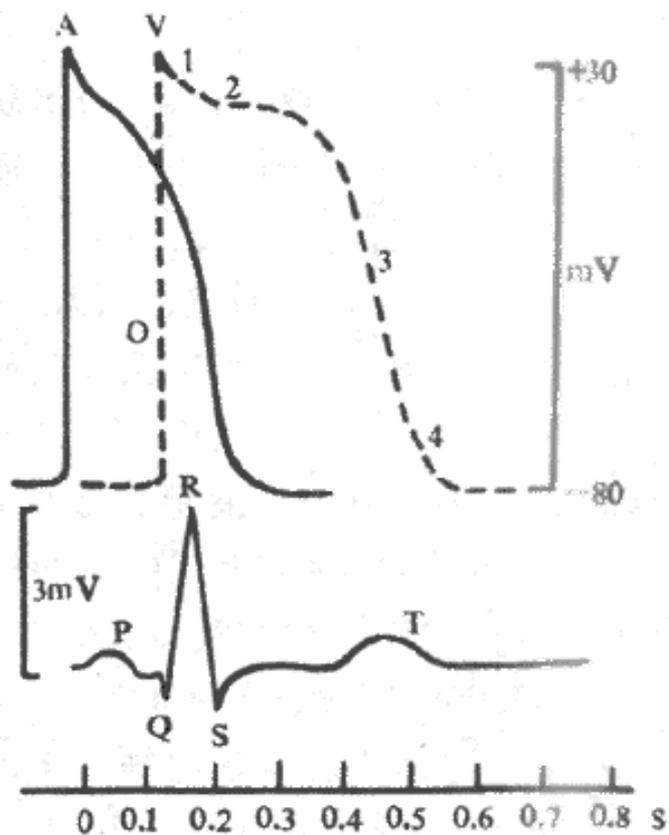




心脏各部分心肌细胞的跨膜电位

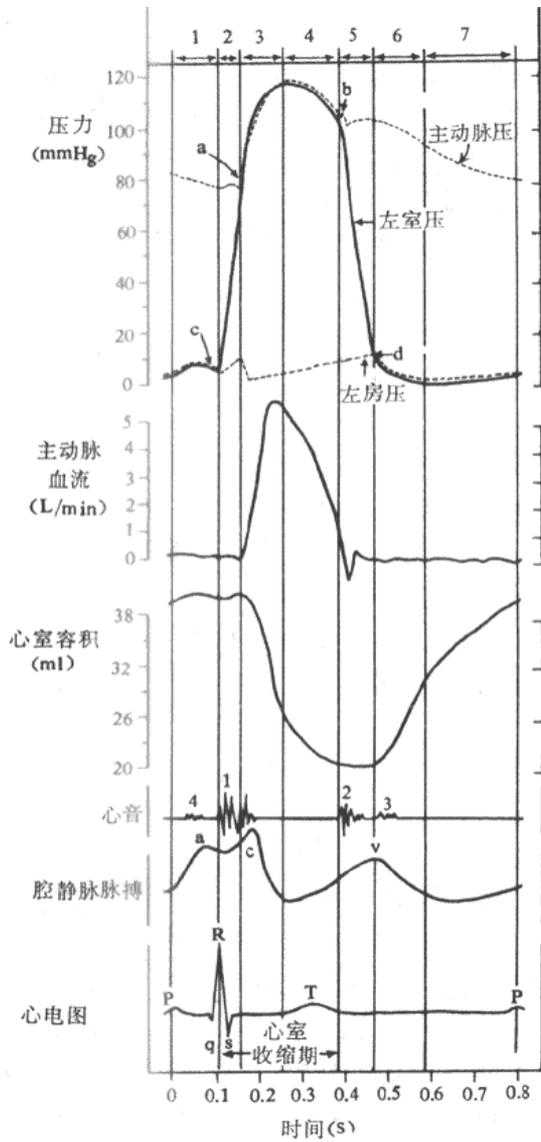
- 心电图 electrocardiogram, ECG

在每个心动周期中，心脏兴奋产生及传播中出现的生物电变化，可通过组织传导到全身，将引导电极置于躯体表面的一定部位记录到的心电变化称为心电图。



各波的形状有特定的意义

各波以及它们之间的时程关系也具有理论和实践意义。



正常心电图的波形及生理意义

- P波** 波形小而圆钝，历时 $0.08\sim 0.11s$ ，波幅 $<0.25mV$ ，代表两心房去极化过程
- PR间期** 指从P波起点到QRS波起点之间的时程，一般为 $0.12\sim 0.2s$ 。反映去极化从窦房结产生经过房室交界、房室束、束支和浦肯野纤维网到达心室肌所需要的时间
- QRS波** 包括三个紧密相连的波：Q、R、S波，历时 $0.06\sim 0.10s$ 。代表去极化在心室内传导的时间
- T波** 由心室肌复极化产生
- U波** 在T波之后一个小波，机制不详
- S-T段** 在QRS综合波后，电位回到基线直到T波开始的等电位相。表明心室各部分均处于去极化状态，S-T段也反映心室肌细胞动作电位平台期的长短
- Q-T间期** 从QRS综合波开始到T波结束，与心率成反比

§4-2 心脏的泵血功能

CAI 动画

1. 心动周期的概念

■ 心动周期 cardiac cycle

心脏每收缩和舒张一次，构成一个机械活动周期。
其持续时间长短与心率有关。

■ 心率 heart rate

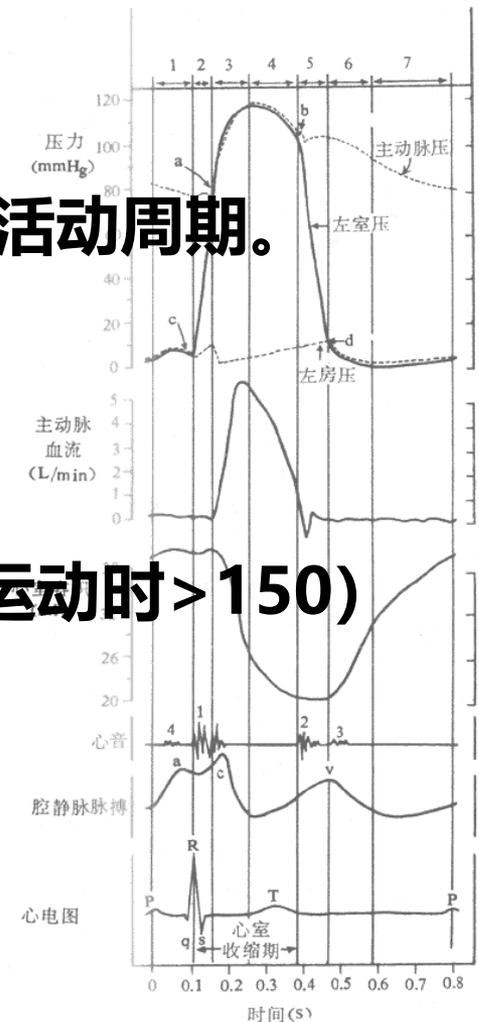
单位时间内心脏跳动的次数。

正常成年人：75次/分（60~100，运动时>150）

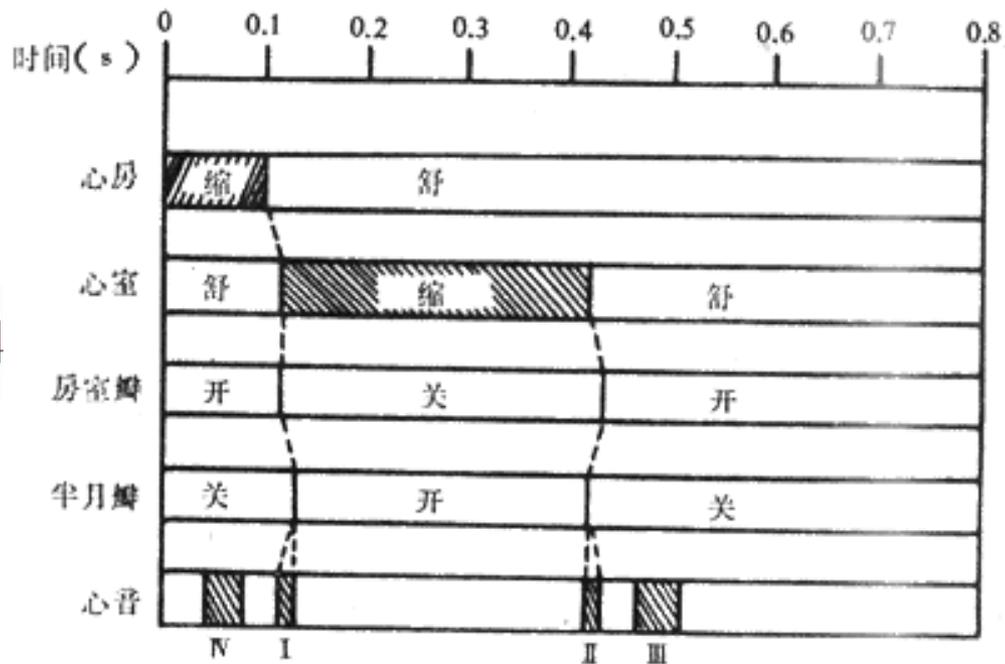
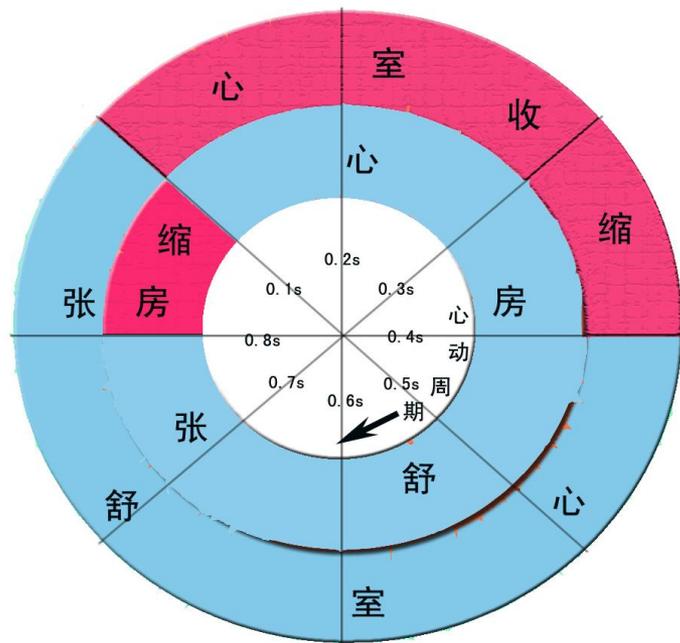
运动员 50~60次，初生儿 130次

■ 心动周期持续时间

正常成年人：60次 / 1.0s **75次 / 0.8 s**



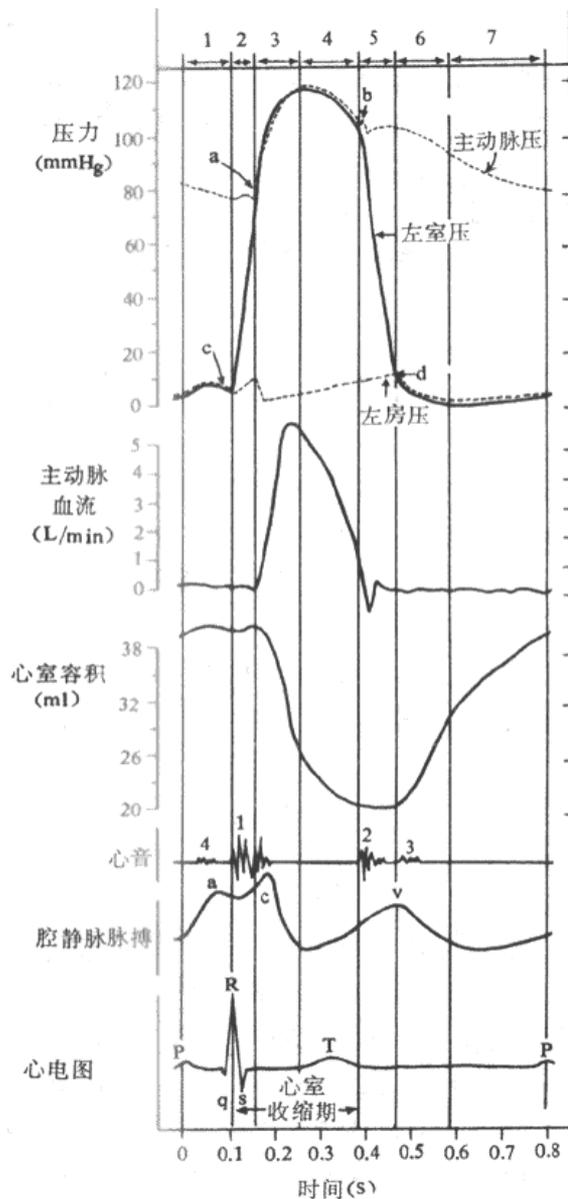
■ 心动周期的时间分配



心动周期的时间分配

■ 心室、心房共同舒张期 0.4s

- **心动周期的时间分配**
- 心房收缩期 0.1s 1**
- 心房舒张期 0.7s**
- 心室收缩期 0.3s**
- 等容收缩期 0.05s 2**
- 快速射血期 0.1s 3**
- 减慢射血期 0.15s 4**
- 心室舒张期 0.5s**
- 等容舒张期 0.06~0.08s 5**
- 快速充盈期 0.11s 6**
- 减慢充盈期 0.1s 7**
- 心室、心房共同舒张期 0.4s**



■ 心动周期的长短与心率的关系

心率加快，心动周期就缩短，收缩期与舒张期均相应缩短，但舒张期的缩短更明显。因此，心率加快时心脏工作时间相对延长，休息时间相对缩短，对心脏的持久活动不利。

问：心率快好？还是慢好？

不同心率心动周期中收缩期和舒张期所占时间

心率(次/分)	心动周期(秒)	收缩期(秒)	舒张期(秒)
40	1.5	0.35	1.15
75	0.8	0.3	0.5
100	0.6	0.3	0.3
150	0.4	0.25	0.15
200	0.3	0.2	0.1

2. 心脏的泵血过程 CAI 动画 (课间播放)

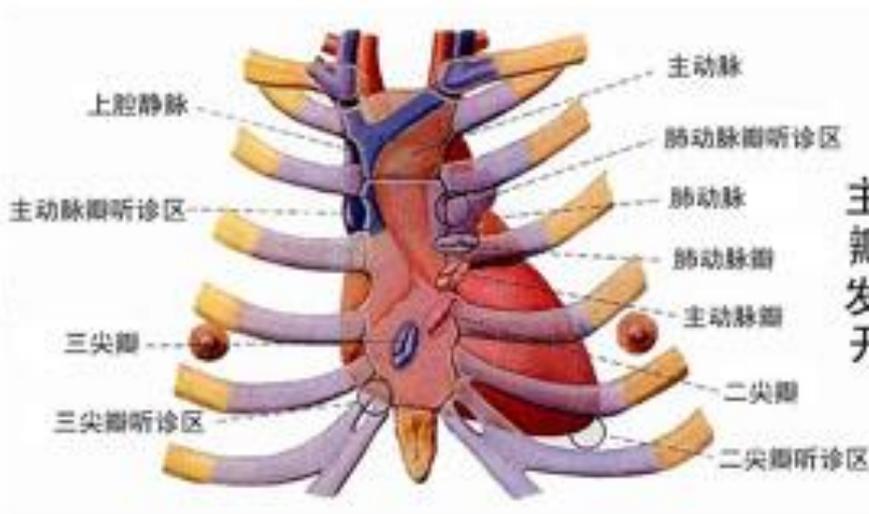
3. 心音产生

心音是由于心脏瓣膜的关闭和血液撞击心室壁引起的振动所产生。如果用换能器将此机械振动转换成电信号并记录下来，即成心音图。

在临床诊断中有较大的意义。

第一心音

主要由于房室瓣闭合造成，发生于心收缩期开始时。

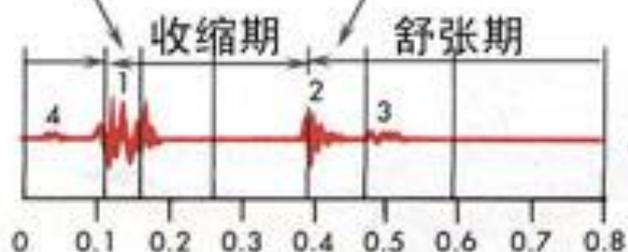


第二心音

主要由于动脉瓣关闭造成，发生于心舒张期开始时。

音调较低
持续时间较长

音调较高
持续时间较短



第一心音

第二心音

出现
时期

标志着心室收缩的开始

标志着心室舒张的开始

听音
位置

在左侧胸前壁第五肋间锁骨中线内侧（心尖搏动处）听得最清楚。

在胸骨旁第二肋间（即主动脉瓣和肺动脉瓣听诊区）听得最清楚

产生
原因

房室瓣关闭；心室收缩时血流冲击房室瓣引起心室振动及心室射出血液撞击动脉壁引起的振动。

主动脉瓣和肺动脉瓣迅速关闭，血流冲击大动脉根部及心室内壁振动形成。

特点

音调较低为40Hz~60Hz；持续时间较长，约为0.14s。

音调较高为60Hz~100Hz；持续时间较短，约为0.11s。

4. 心泵功能的评定

4.1 心输出量

4.2 心脏作功量



4.1 心输出量

衡量心脏功能的基本指标, 包括:

A 每搏输出量, 简称搏出量 stroke volume, SV

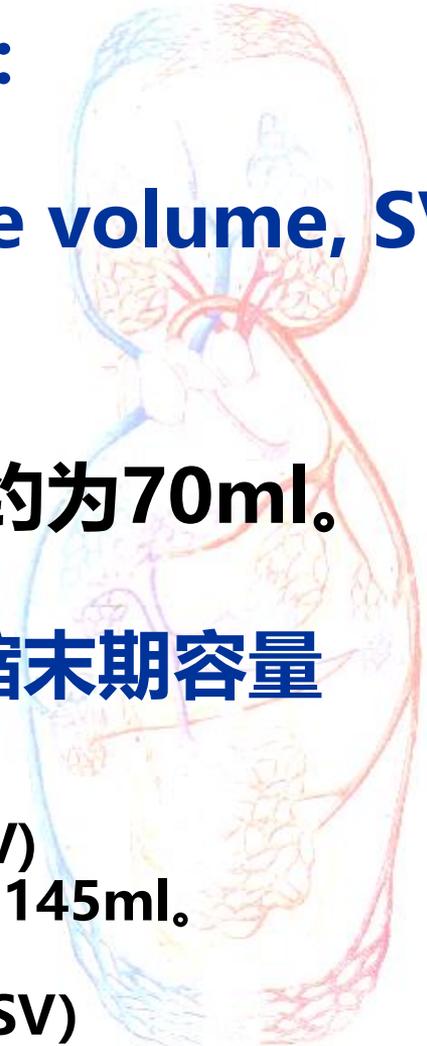
一次搏动一侧心室射出的血量。

成年人在安静平卧时每搏输出量约为70ml。

每搏输出量 = 舒张末期容量 - 收缩末期容量

舒张末期容量(end-diastolic volume, EDV)
即心室最大容量, 正常成人在静息状态下为145ml。

收缩末期容量 (end-systolic volume, ESV)
心室收缩末期剩余血量, 正常成人在静息状态下为75ml。



B. 每分输出量，即心输出量

每分钟由一侧心室射出的血量。

心输出量 = 心率 × 每搏输出量

成人安静时心输出量为5 ~ 6L。

与个体活动及新陈代谢水平相适应。在运动、激动、妊娠等情况下心输出量会增高。



C. 心指数 cardiac index 了解

以单位表面积 (m^2) 计算的心输出量

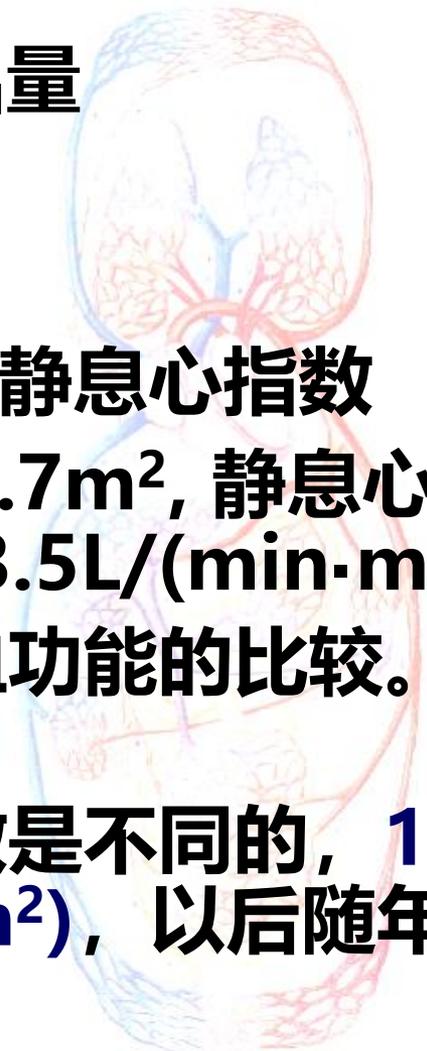
心指数 = 心输出量 / 体表面积

安静、空腹情况下的心指数，称为 **静息心指数**

中等身材的成年人体表面积 $1.6 \sim 1.7\text{m}^2$ ，静息心输出量为 $5 \sim 6\text{L}/\text{min}$ ，故心指数为 $3.0 \sim 3.5\text{L}/(\text{min}\cdot\text{m}^2)$ 。

心指数主要用于不同个体心脏泵血功能的比较。

生理差异：不同年龄的人，心指数是不同的，**10岁**左右时心指数达最大值 $4\text{L}/(\text{min}\cdot\text{m}^2)$ ，以后随年龄增长而下降。



D. 射血分数 Ejection fraction, EF 了解

每搏输出量占心舒末期容量百分比。

射血分数大表示心肌射血能力强。

$$\text{射血分数} EF = \frac{(\text{舒张末期容量} EDV - \text{收缩末期容量} ESV)}{\text{舒张末期容量} EDV} \times 100\%$$

正常情况，搏出量始终与心室 EDV 相适应，EDV 增大，搏出量也相应增加，EF 不变。

心功能衰退、心室异常扩大时搏出量可能与正常人无差异，但射血分数会明显较低。



4.2 心脏作功量 自学

心脏作功才使血液循环，心脏作功的能量转变为压强能和血液的动能。

心脏作功 = 产生的压强能 + 血液动能

≈ 压强能

压强能 指心脏将静脉血管内较低的血压变成动脉血管内较高的血压所消耗的能量。

A. 每搏功 心室一次收缩所做的功。

$$\text{搏功}(g \cdot m) = \text{搏出量}(cm^3) \times (1/1000) \times (\text{平均动脉压} - \text{平均心房压} mmHg) \times (13.6g/cm^3)$$

B. 每分功 是指心室每分钟所作的功：

每分功 = 每搏功 × 心率

$$\text{每分功}(kg \cdot m/min) = \text{搏功}(g \cdot m) \times \text{心率}(/min) \times (1/1000)$$

在维持搏出量不变的情况下，随着动脉血压的增高，心肌收缩强度和作功量将增加。



5. 心泵功能的调节

5.1 搏出量的调节

5.2 心率的调节

5.3 心泵功能的储备



5.1 搏出量的调节

■ 前负荷

— 异长调节，依赖肌细胞的初长度
即心肌初长度或**心室舒张末期容量**

■ **心肌收缩能力** — 等长调节，不依赖初长度
Ca²⁺，横桥ATP酶活力，神经和体液因素
体育锻炼，年龄，疾病。

■ 后负荷

动脉压起后负荷作用，动脉压的变化影响心肌收缩过程。



5.2 心率的调节

心率也是决定心输出量的因素之一。如果每搏输出量不变，则每分心输出量随心率增加而增多。但心率增加，只能在一定范围内才能使心输出量增多。

■ 影响心率的因素

A 自主神经控制

交感神经兴奋增强，心率增快

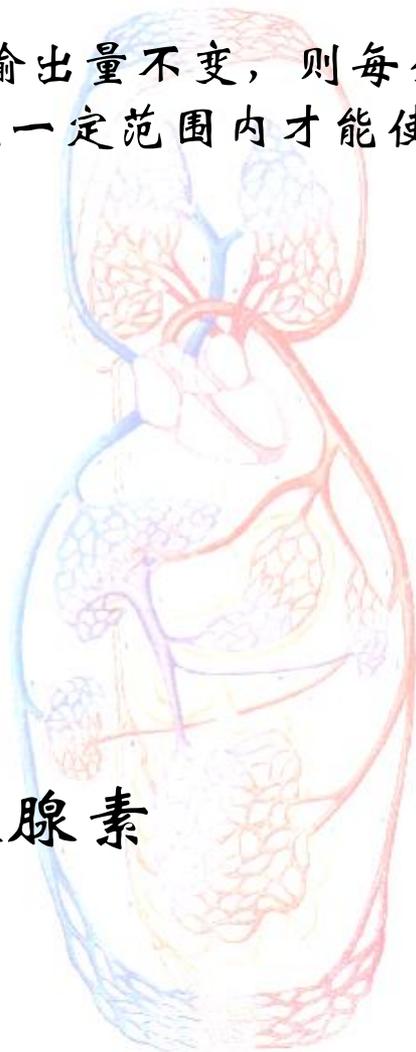
迷走神经兴奋增强，心率减慢

B 体液因素

肾上腺素、去甲肾上腺素，甲状腺素

C 体温

升高 1°C ，心率增加 12~18 次



主动脉压

体温

高血压对心脏有哪些方面的作用？

心输出量

=

每搏输出量

×

心率

心肌收缩能力

副交感神经

舒张末期容积

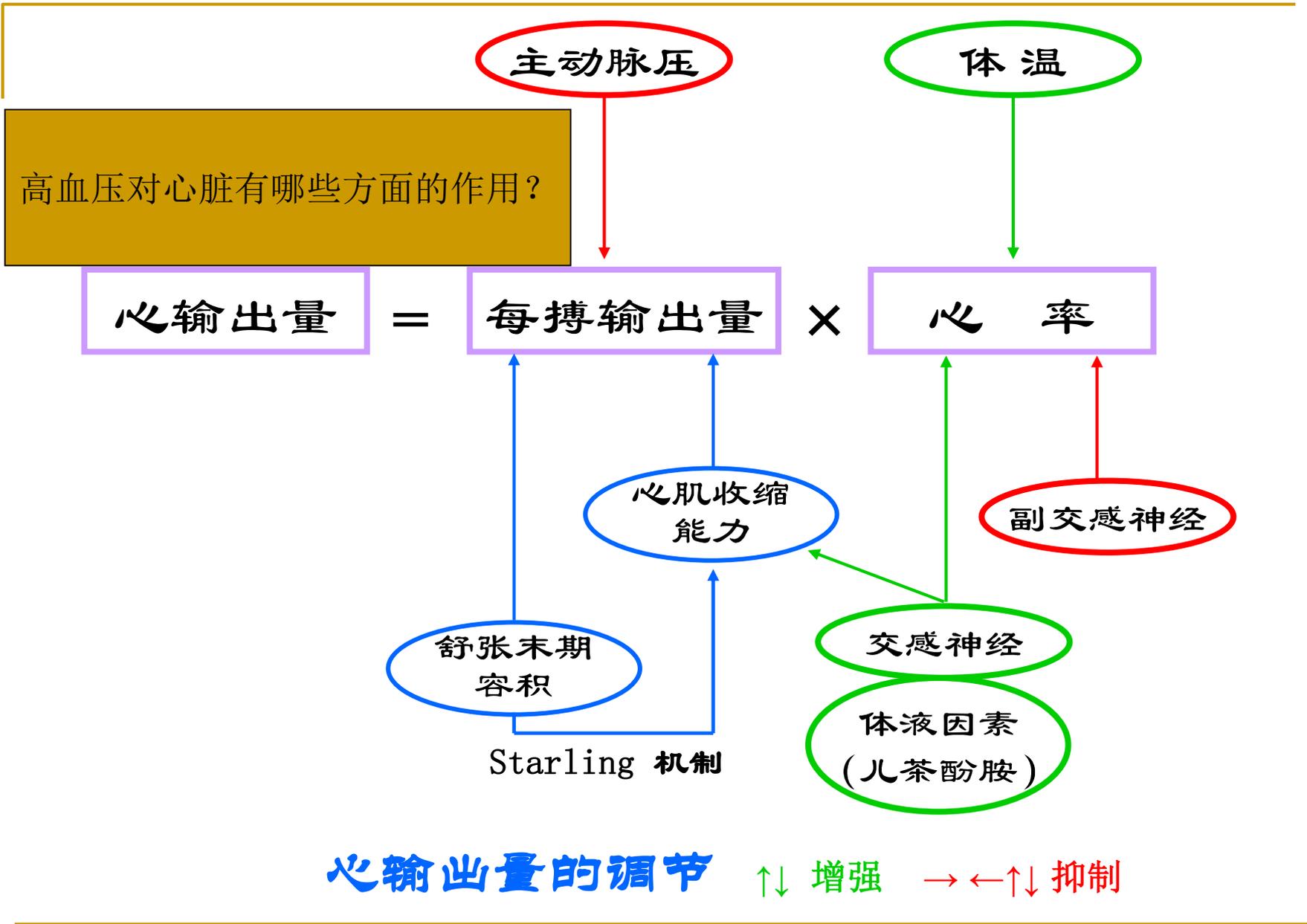
交感神经

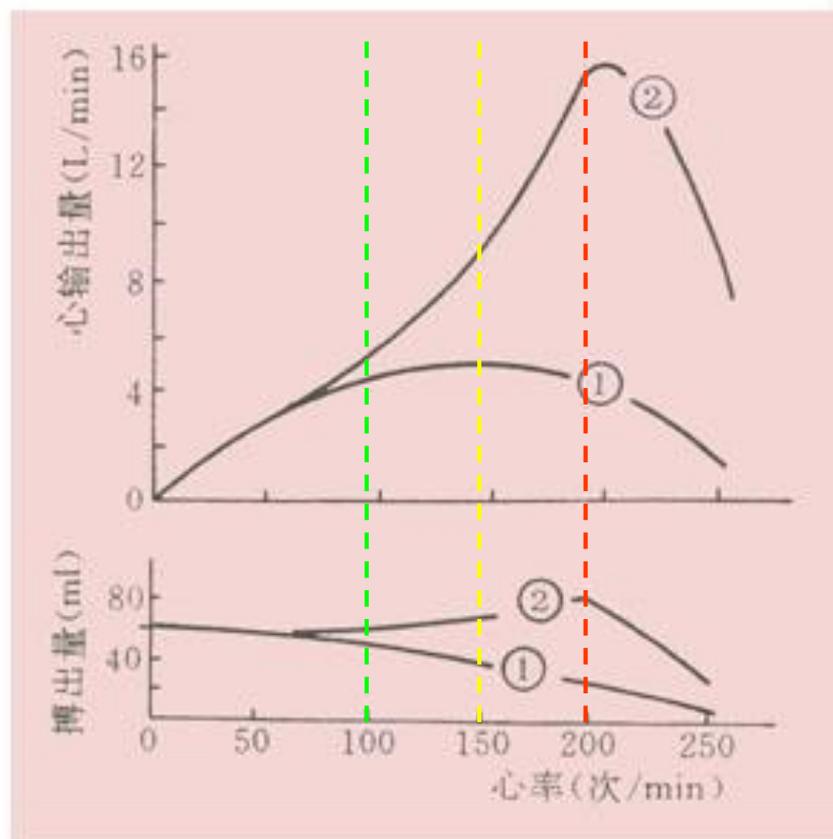
体液因素
(儿茶酚胺)

Starling 机制

心输出量的调节

↑↓ 增强 → ← ↑↓ 抑制





心率对心输出量的影响

曲线①健康人安静时,心率超过100次/min,心输出量下降;曲线②体育锻炼者,心率超过200次/min,心输量方始降低

5.3 心泵功能的储备

心力贮备 cardiac reserve: 心输出量随机体代谢需要而相应增长的能力。

最大输出量: 为静息 (5L/min) 时的5~6倍 (25~30L/min), **运动员 8倍 (>35L/min)**。

有 心率 和 搏出量 贮备。

A 心率贮备 heart rate reserve

是最简单有效的途径，**未经训练的人**多靠此途径来增加心输出量。心率的最大变化约为静息时 2 倍多，动用心率贮备可使心输出量增加 2 ~ 2.5 倍。

老人、病人最高有效心率：120 ~ 140 次/分

健康成人最高有效心率：160 ~ 180 次/分

久经锻炼人最高有效心率：200 ~ 220 次/分

■ 右图

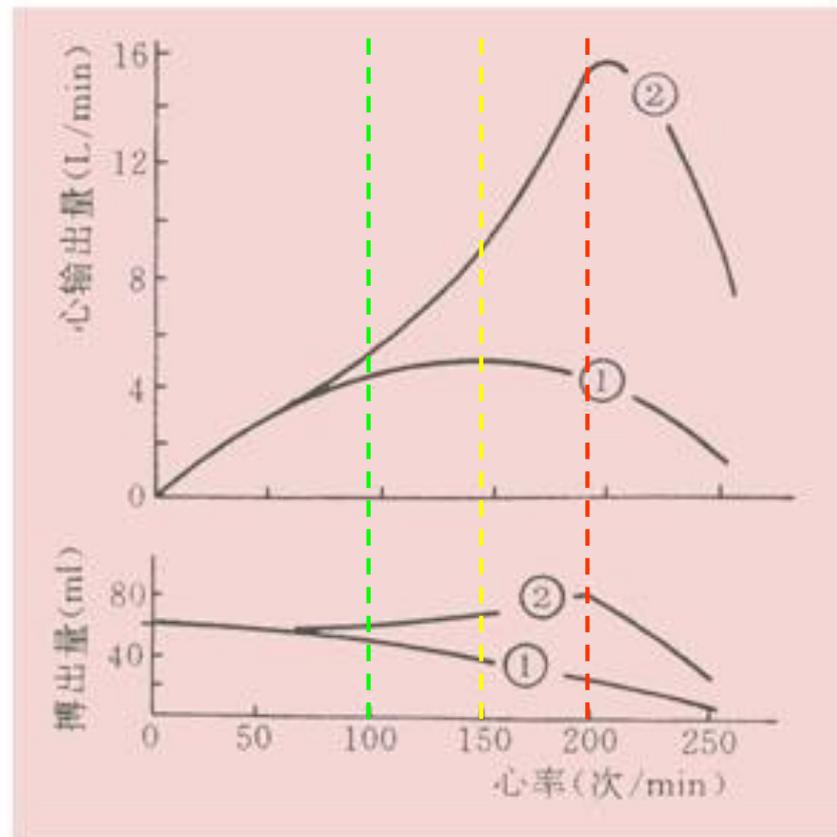
上图 每分输出量
与心率关系

下图 搏出量与心率关系

① 健康人;

② 体育锻炼者

**体育锻炼可以提高
心力储备**



心率对心输出量的影响

曲线①健康人安静时,心率超过100次/min,心输出量下降;曲线②体育锻炼者,心率超过200次/min,心输量方始降低

B 搏出量贮备(stroke volume reserve)

i 收缩期贮备 systolic reserve

指在同样前负荷下增加射血量（增加射血分数）的能力。
可动用的收缩期贮备约为55 ~ 60ml。

潜力较大

交感兴奋，分泌儿茶酚胺

ii 舒张期贮备 diastolic reserve

指心室扩张增加容血量的能力。由于心包的限制，仅有15 ml 的舒张期贮备



循环系统上

结束

2008年3月27日
2013年4月9日

