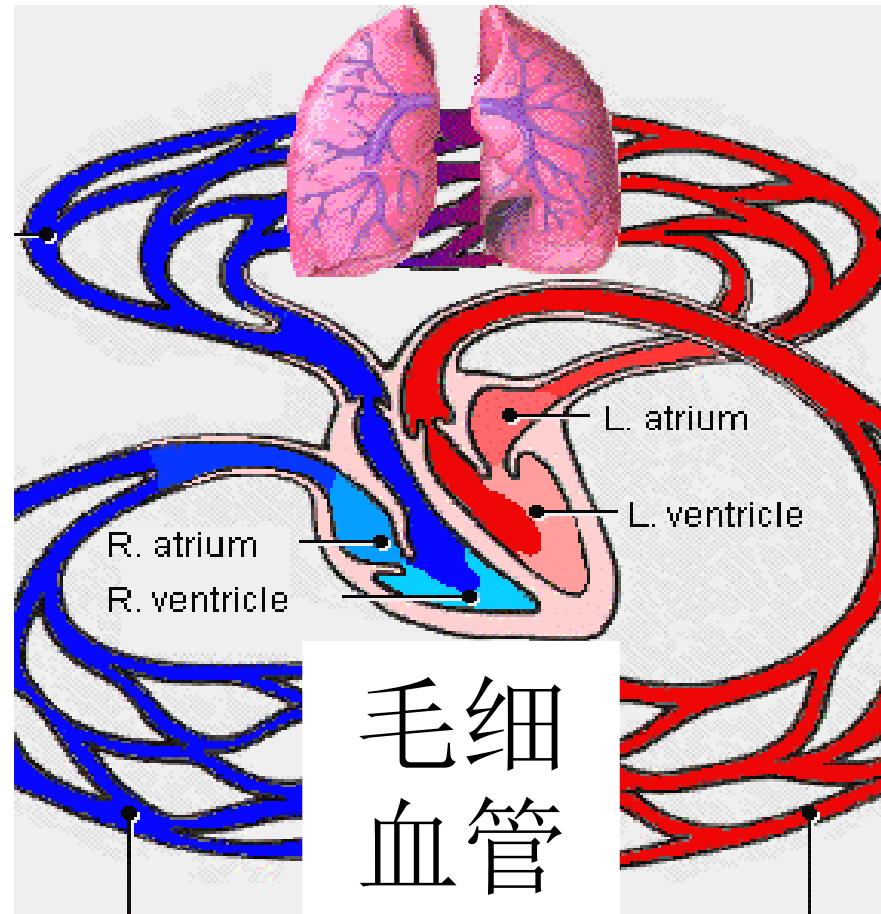
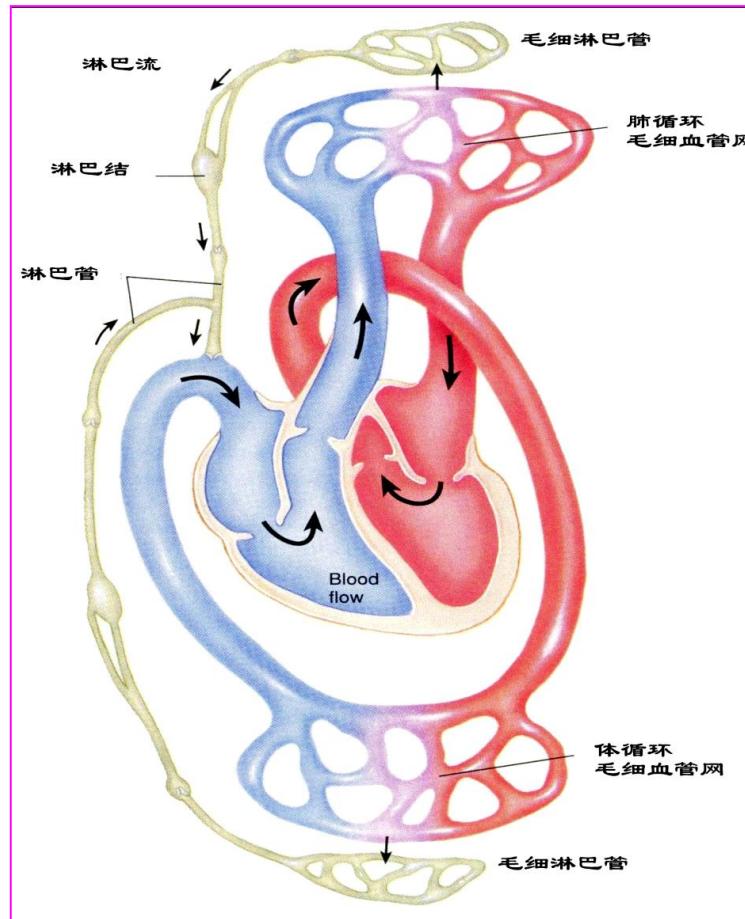


第三章 血液循环

右心：泵血入肺循环；

左心：泵血入体循环。



第一节 心脏的生物电活动

心脏是血液循环的动力器官也具有内分泌功能。

心脏的主要功能是泵血，心脏不断地有秩序的、协调的收缩与舒张，是实现泵血功能的必要条件，而心脏的这种功能是依赖于心肌细胞的生理特性：

兴奋性、传导性、收缩性、自律性。

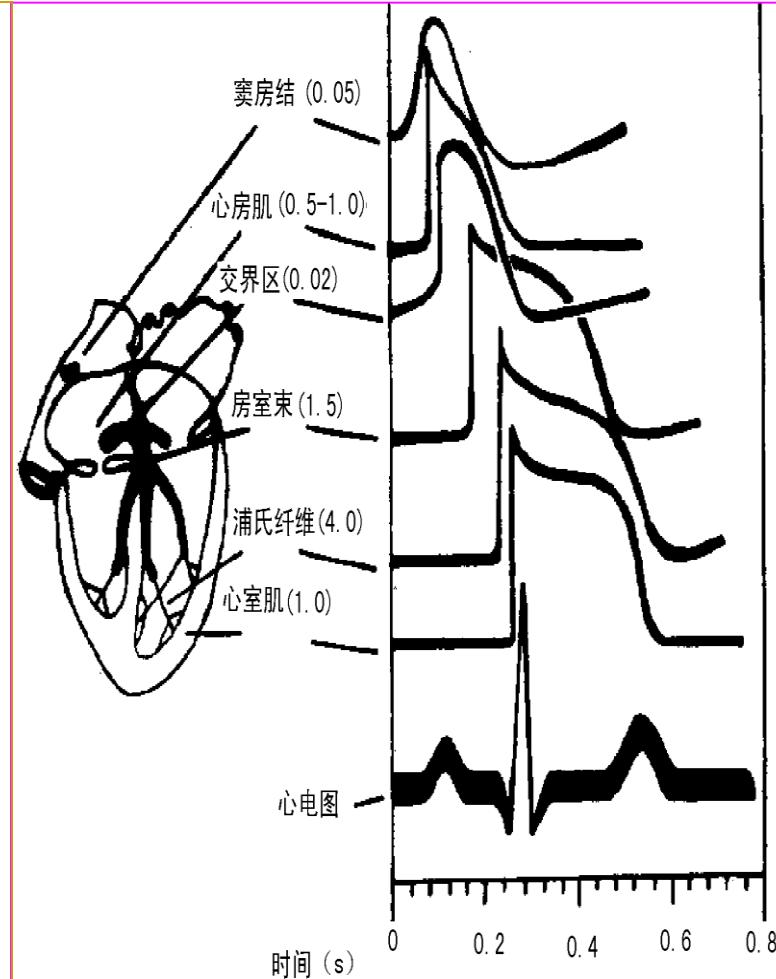
心肌细胞分类：

1. 普通心肌细胞（工作细胞、非自律细胞）：

• 心房肌、心室肌（兴奋性、传导性、收缩性）

2. 组成心脏的特殊传导系统的心肌细胞（自律细胞）：

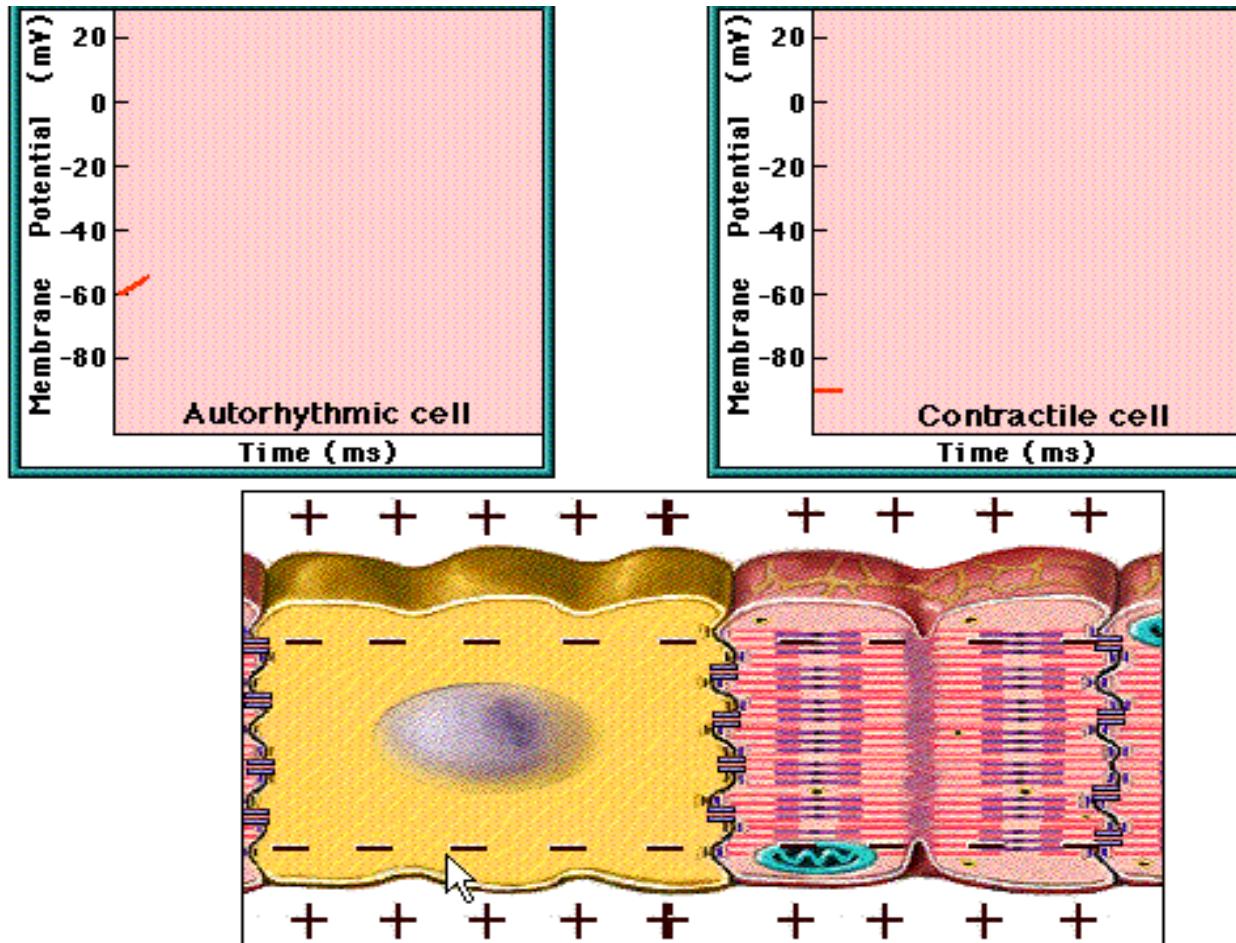
• 快反应细胞：浦肯野细胞
• 慢反应细胞：窦房结P细胞



各部心肌细胞动作电位与传导速度

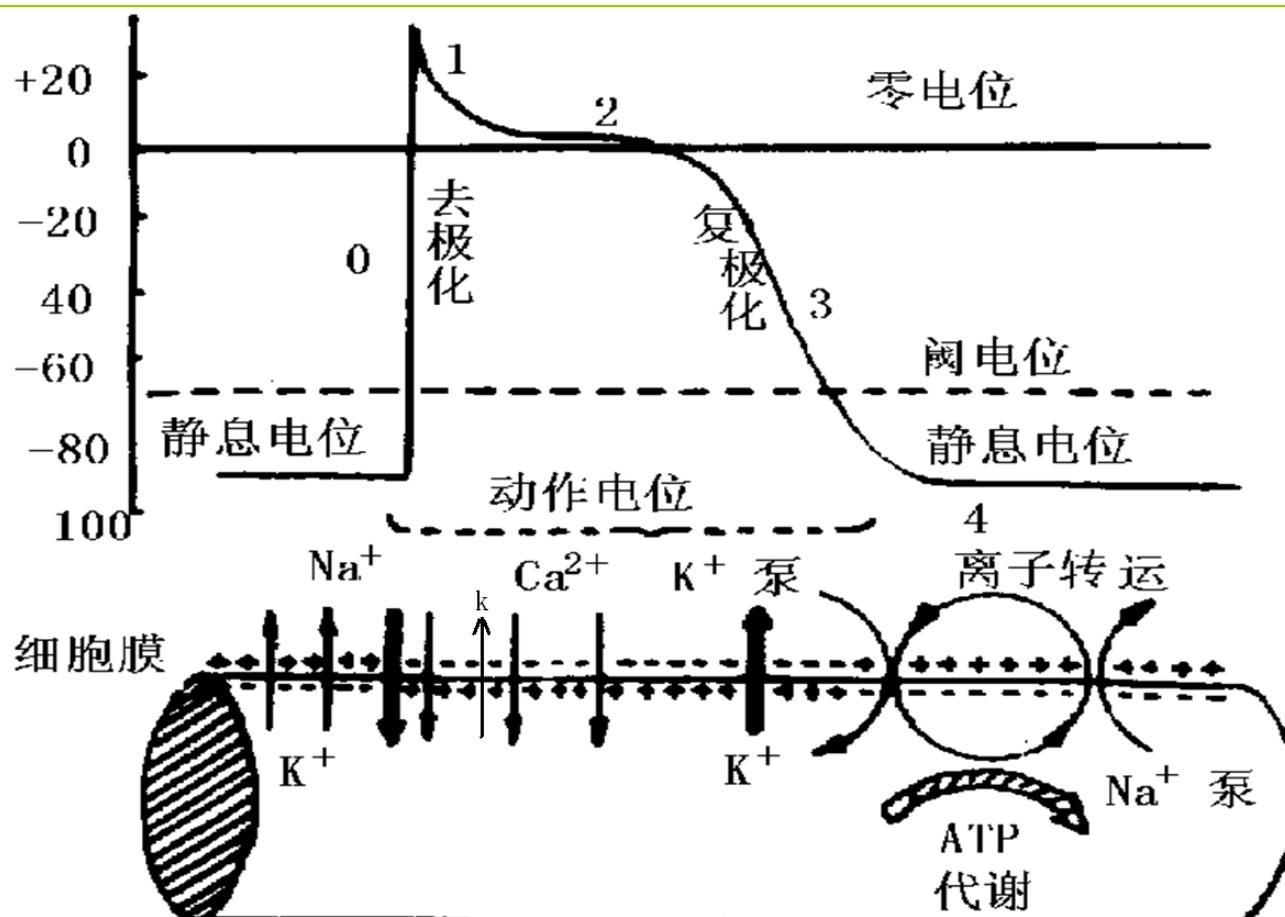
括号内为兴奋传导速度，单位m/s

一、心肌细胞跨膜电位及其形成机制



(一)

心室肌的RP和AP

心室肌细胞的动作电位
和主要离子活动示意图

(一) 心室肌静息电位(RP)和动作电位 (AP) 的形成机制

1. 心室肌细胞RP形成机制

(1) 幅度： -90mV (较骨骼肌细胞、神经细胞大)。

(2) 机制： $=K^+$ 平衡电位

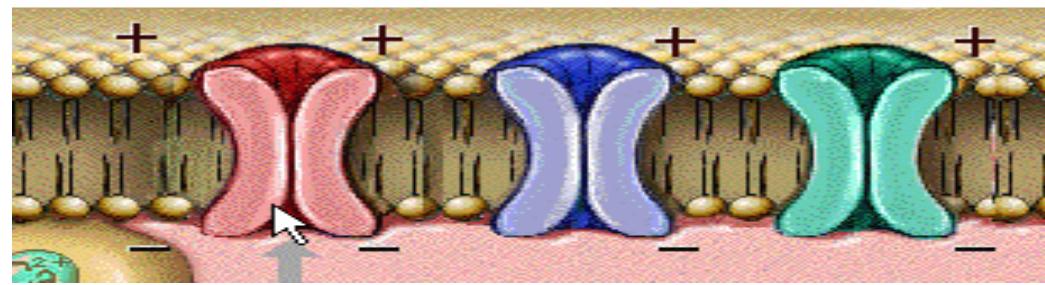
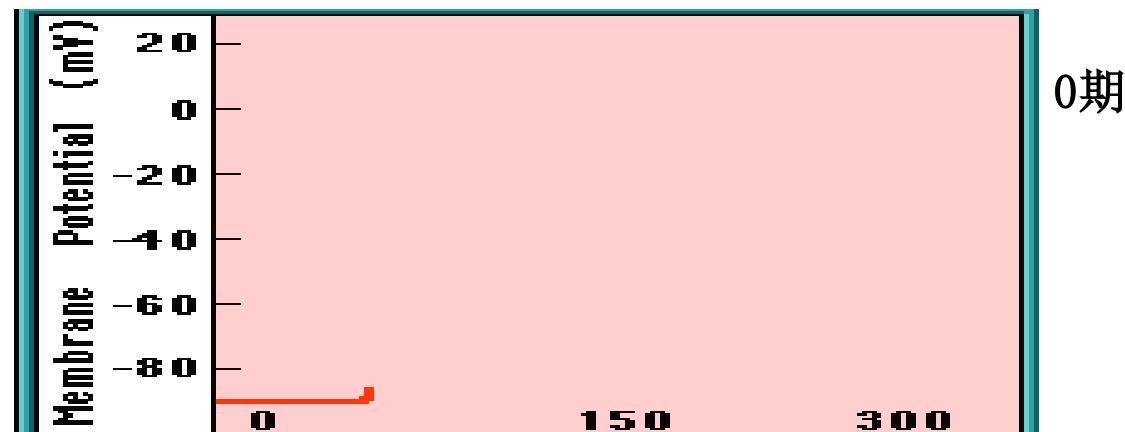
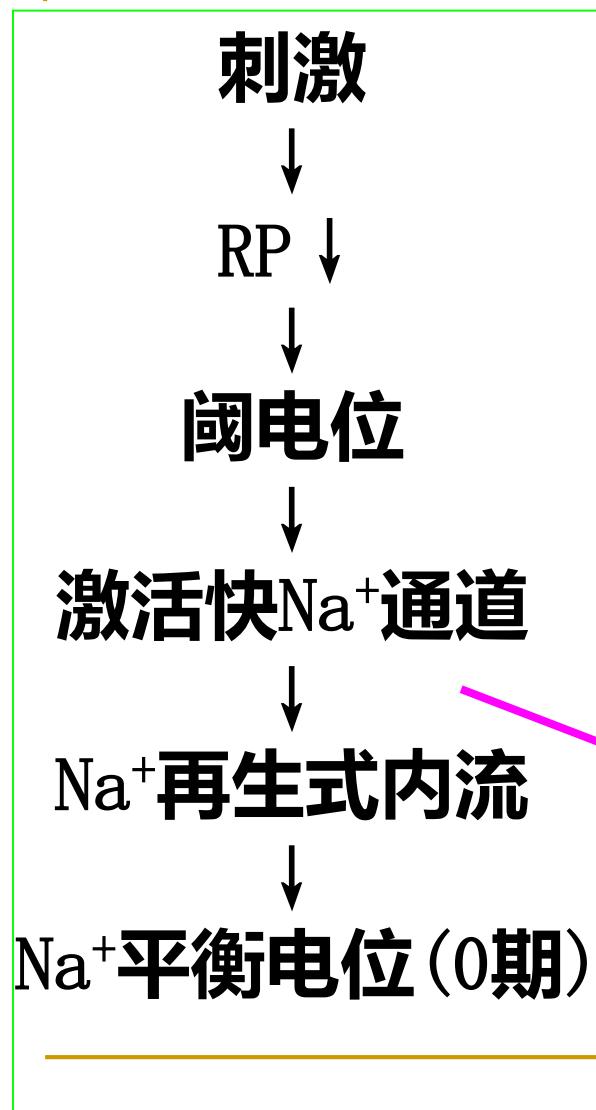
条件：①膜两侧存在浓度差：

$$[K^+]_i > [K^+]_o = 28 : 1 \quad [Na^+]_i < [Na^+]_o = 1 : 13$$

②膜通透性具选择性： $K^+/Na^+ = 100/1$

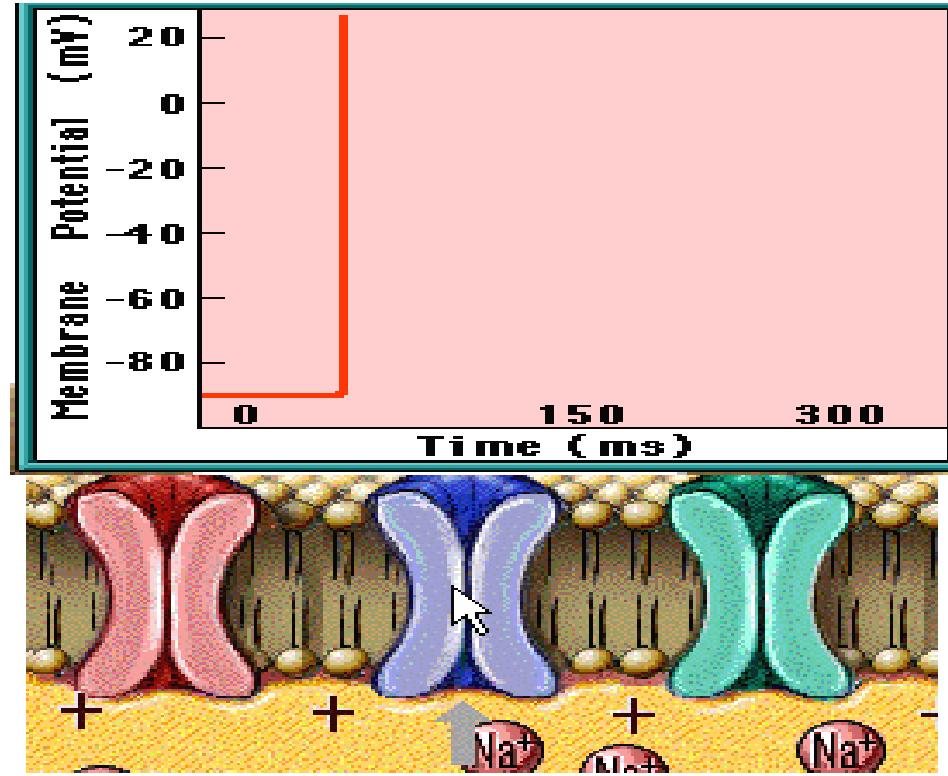
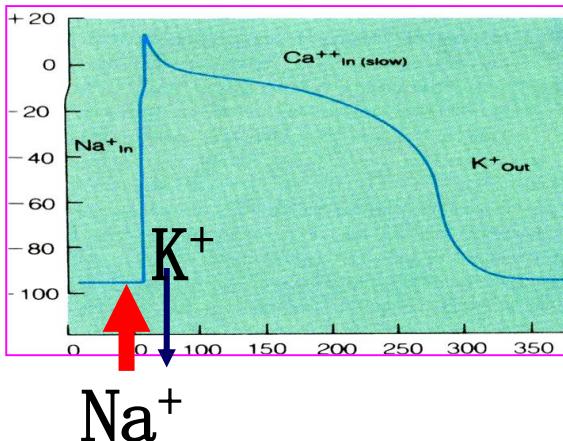
结果： K^+ 顺浓度梯度由膜内向膜外扩散，达到 K^+ 平衡电位。

2. 心室肌细胞AP的形成机制:



快 Na^+ 通道 : -70mV 激活，持续
1–2 ms , 特异性强(只对 Na^+ 通透)。

快 Na^+ 通道失活
+
激活 I_{to} 通道
↓
 K^+ —过性外流
↓
快速复极化 (1期)



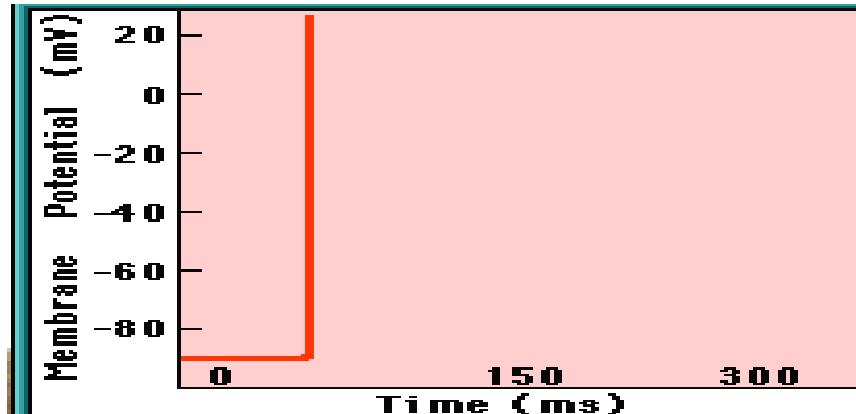
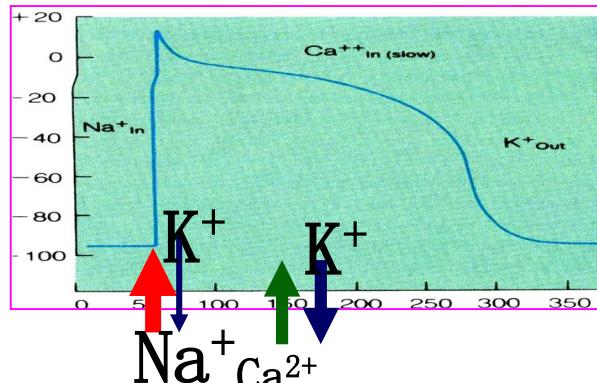
Ito通道：70年代认为 I_{to} 的离子成分为 Cl^- ，现在认为 I_{to} 的离子成分为 K^+ 。

0期去极达 -40mV 时
已激活慢 Ca^{2+} 通道

激活 I_K^+ 通道

Ca^{2+} 缓慢内流 与 K^+ 外流处于平衡状态

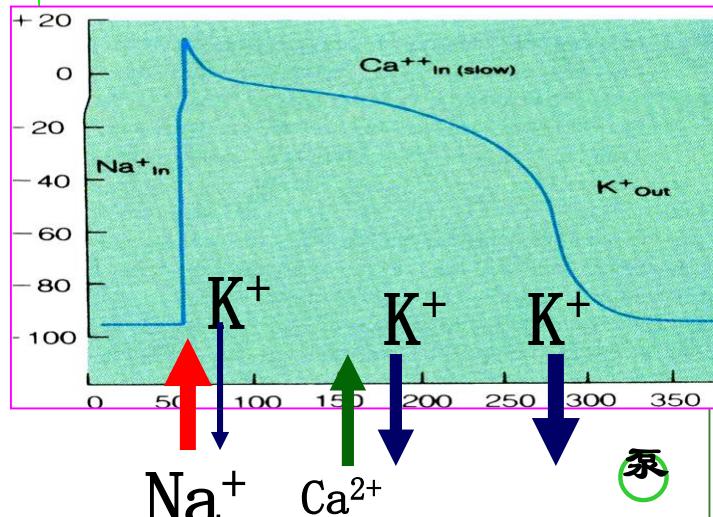
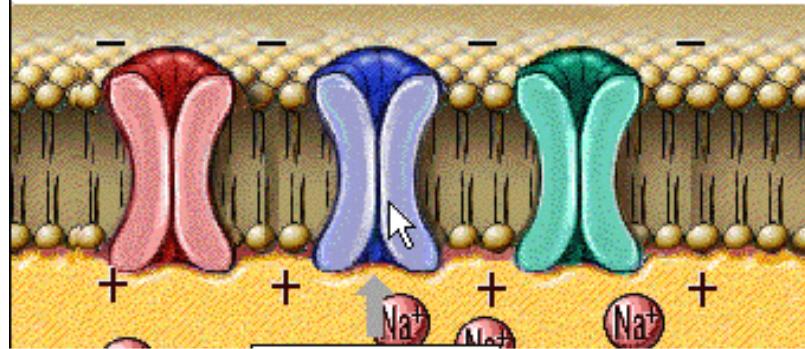
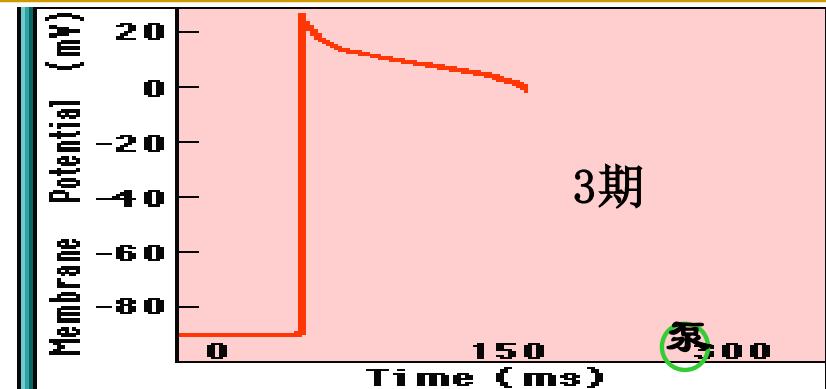
缓慢复极化
(2期=平台期)



2期

慢 Ca^{2+} 通道：激活与失活比 Na^+ 通道慢，特异性不高： Ca^{2+} (53%)、 Na^+ (27%)、 K^+ (20%)都通透。

3期：
慢 Ca^{2+} 通道失活
 I_K 通道通透性↑
 \downarrow
 K^+ 再生式外流
 \downarrow
快速复极化
至RP水平



4期：因膜内 $[\text{Na}^+]$ 和 $[\text{Ca}^{2+}]$ 升高, 而膜外 $[\text{K}^+]$ 升高→激活离子泵→泵出 Na^+ 和 Ca^{2+} , 泵入 K^+ →恢复正常离子分布。

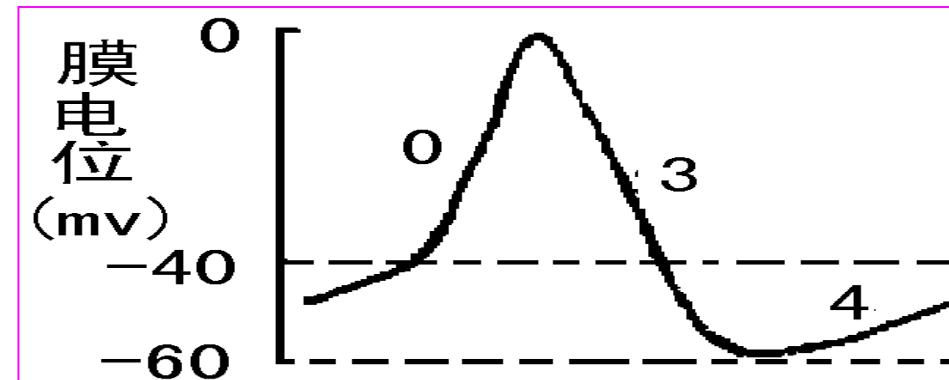
(二) 自律细胞的跨膜电位及形成机制

1. 窦房结细胞(慢反应自律细胞)的电位

(1) 电位特征：

RP：不稳定，能自动去极化，=最大舒张电位。

AP：分0, 3, 4三个时期，无1期和2期。



2. 浦肯野细胞(快反应自律细胞)的电位

1. 形成机制：

0、1、2、3期：心室肌细胞基本相似。

2. 特点：

(1) 0期去极化速度快，幅度大。

(2) 4期自动去极化速度比窦房结细胞的慢，故自律性低。

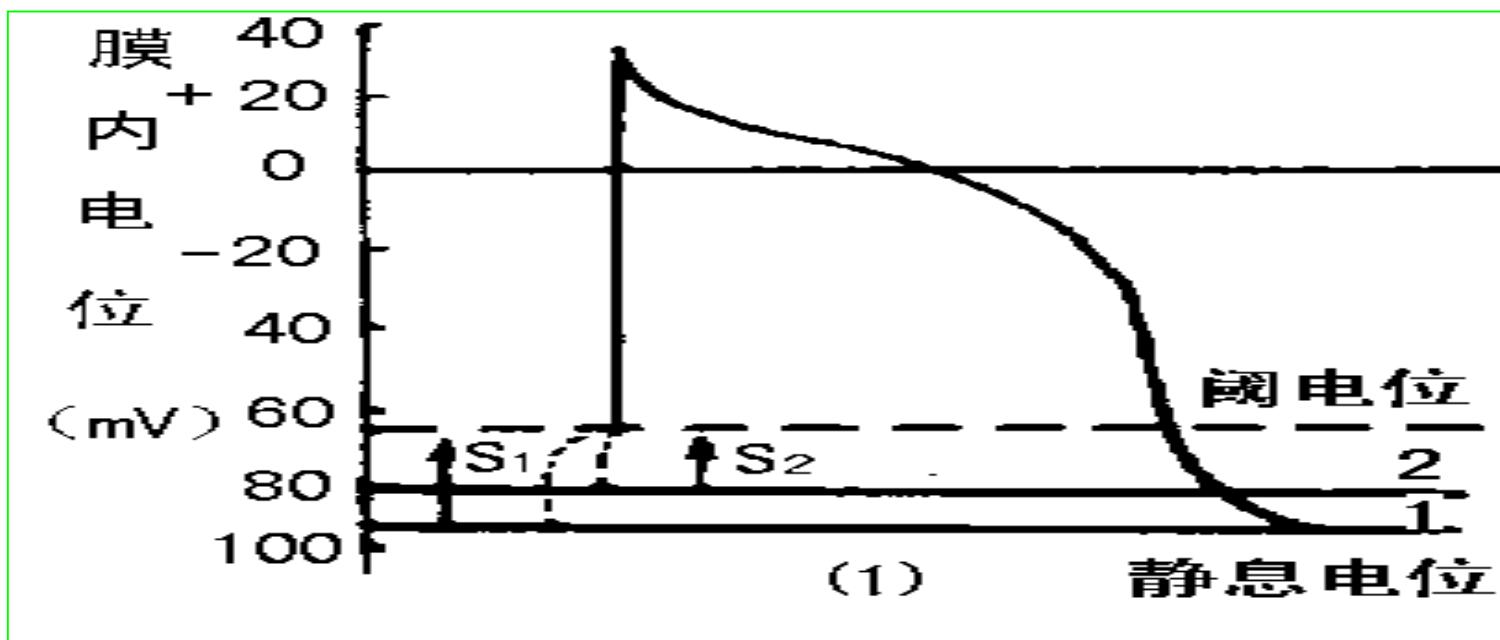
二. 心肌的电生理特性

(一) 兴奋性

1. 影响兴奋性因素

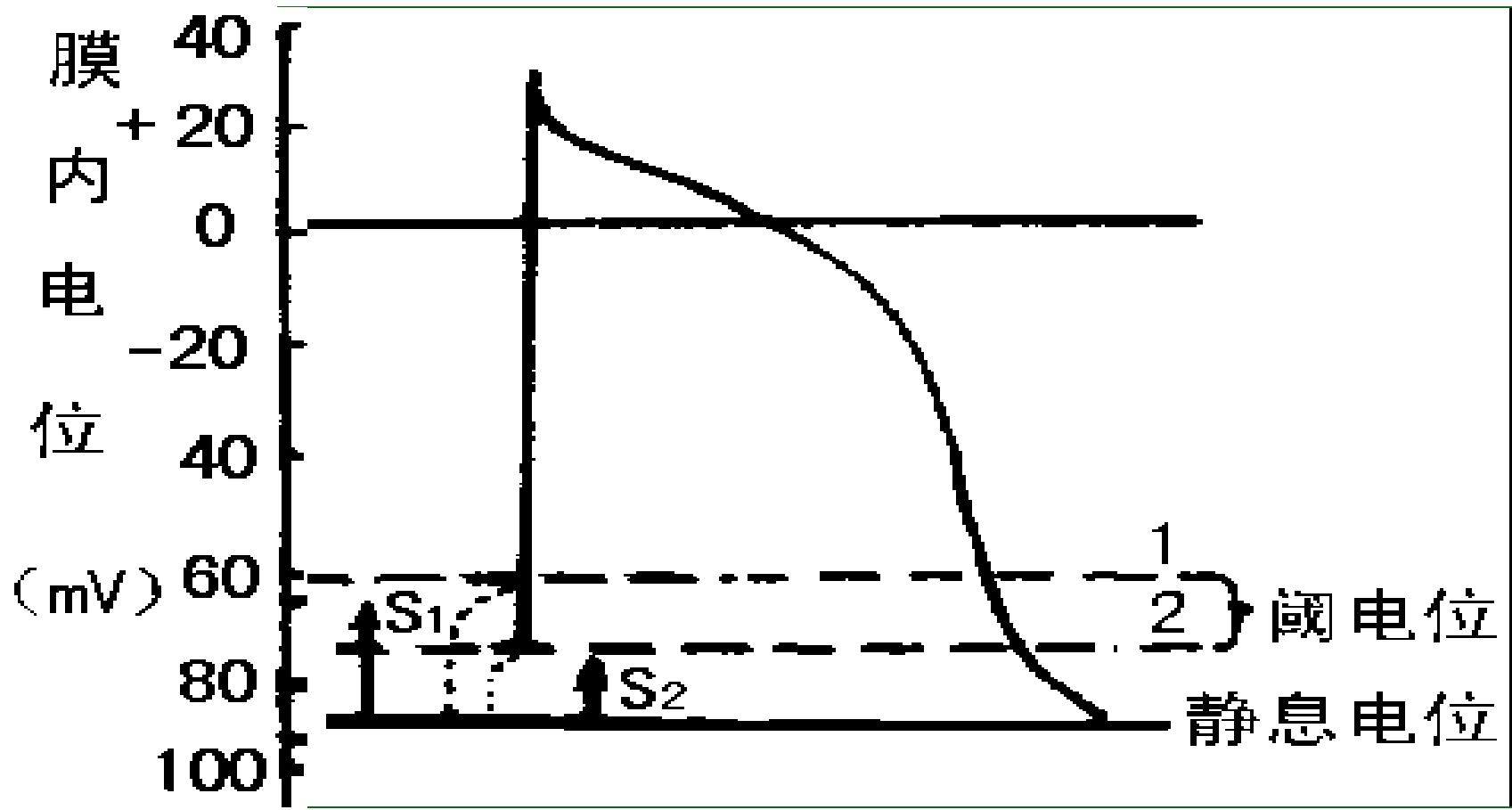
(1) 静息电位水平

RP ↑ → 距阈电位远 → 需刺激阈值 ↑ → 兴奋性 ↓
RP ↓ → 距阈电位近 → 需刺激阈值 ↓ → 兴奋性 ↑



(2) 阈电位水平 (为少见的原因)

上移→RP距阈电位远→需刺激阈值↑→兴奋性↓
下移→RP距阈电位近→需刺激阈值↓→兴奋性↑



(3) 通道的性状

Na^+ 通道所处的机能状态, 是决定兴奋性正常、低下和丧失的主要因素, 而通道处于何种状态则取决于当时的膜电位以及有关的时间进程。

完全备用 → 失活 → 刚复活 → 漸复活 → 基本备用

|| || || || ||

产生AP 绝对不应期 局部反应期 相对不应期 超常期

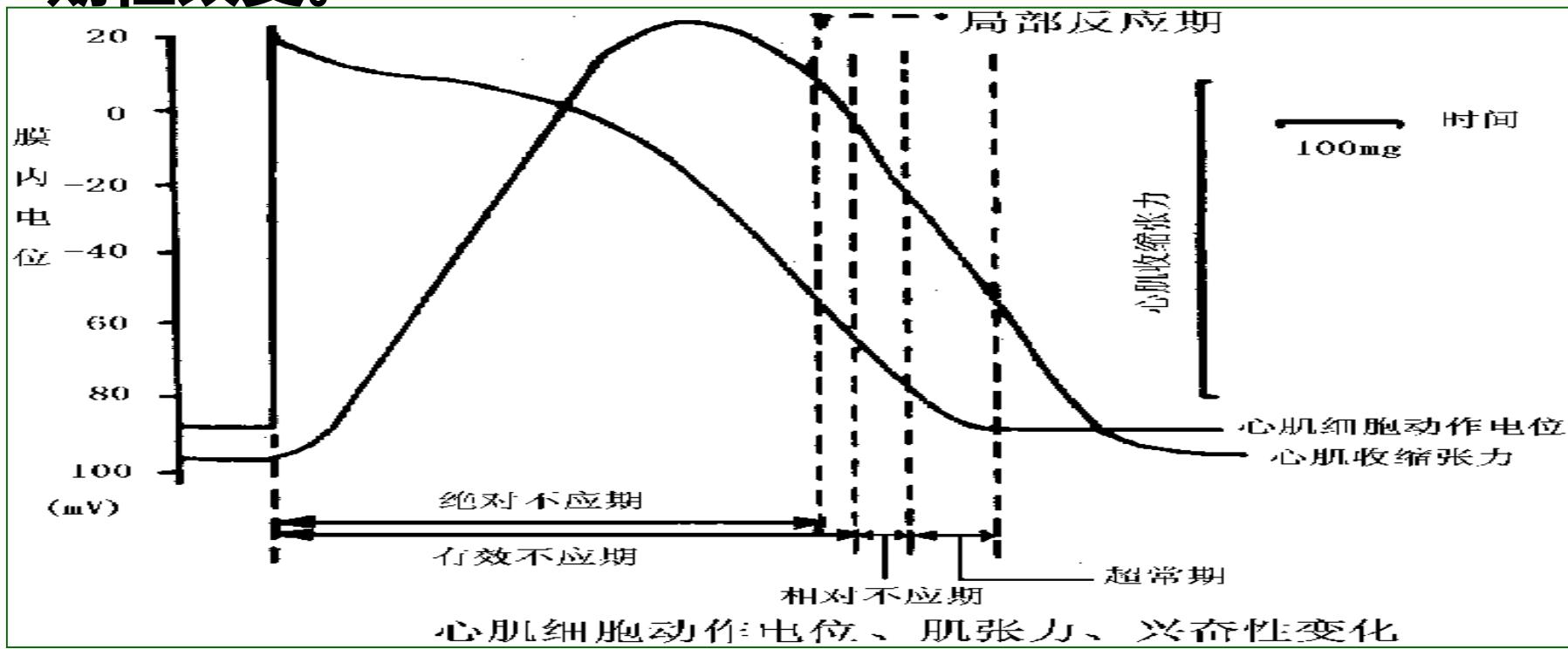
|| || || ||

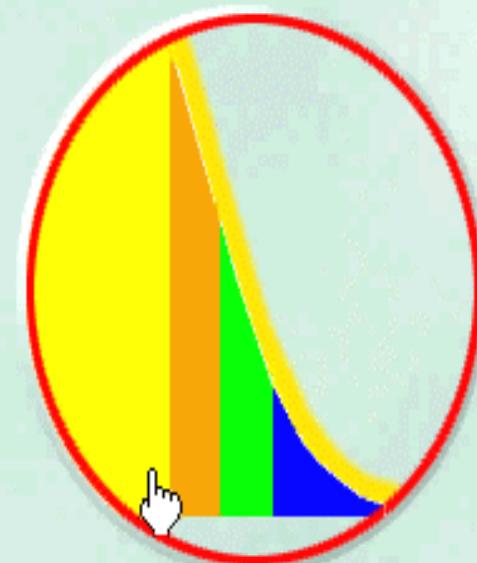
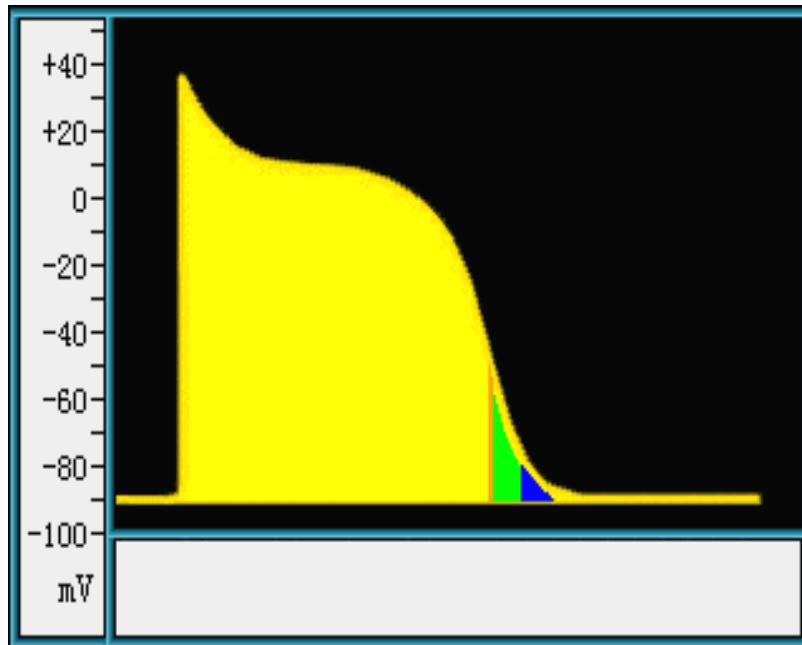
兴奋性正常 兴奋性无 兴奋性低 兴奋性高

2. 兴奋性的周期性变化与收缩的关系

(1) 一次兴奋过程中兴奋性的周期性变化：

心肌细胞每次兴奋，其膜通道存在备用状态、激活、失活和复活过程；其兴奋性也随之发生相应的周期性改变。





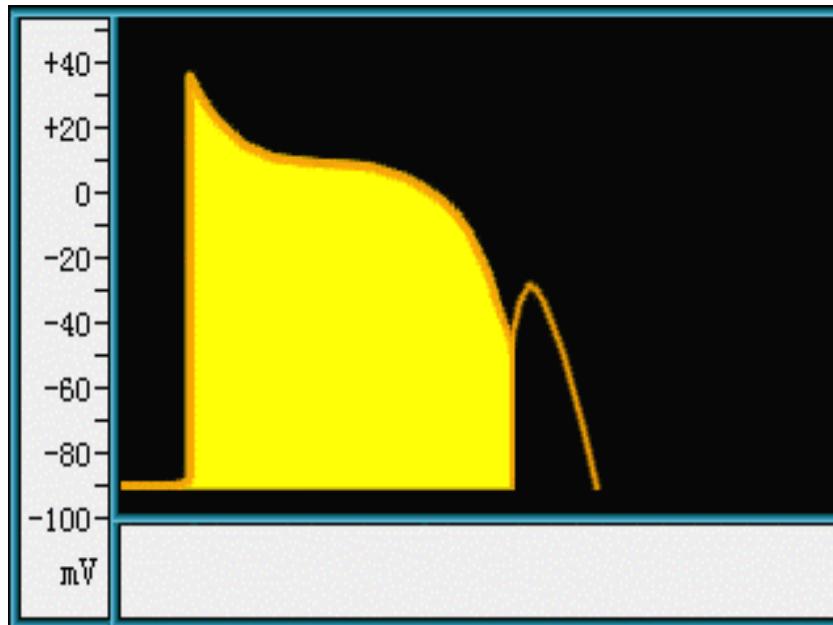
有效不应期 (effective refractory period)

相对不应期 (relative refractory period)

超常期 (supranormal period)

请在不同时期给予刺激（用鼠标单击），观察所引起的电位变化。

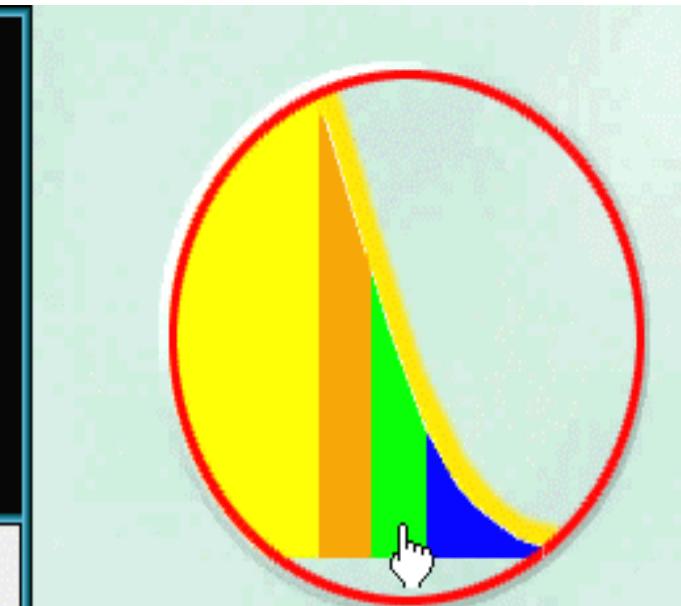
局部反应期



有效不应期 (effective refractory period)

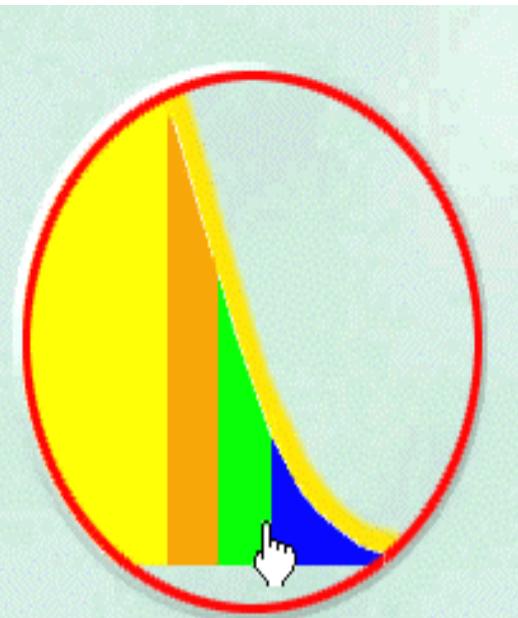
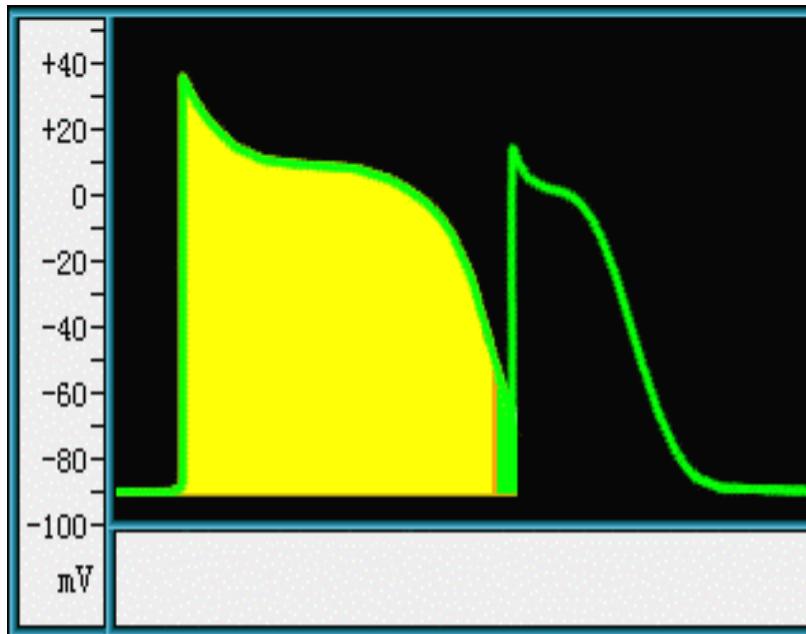
相对不应期 (relative refractory period)

超常期 (supranormal period)



请在不同时期给予刺激（用鼠标单击），观察所引起的电位变化。

相对不应期



有效不应期 (effective refractory period)

请在不同时期给予刺激（用鼠标

相对不应期 (relative refractory period)

单击），观察所引起的电位变化。

超常期 (supranormal period)

超 常 期

- 绝对不应期：兴奋后最初的一段时间内兴奋性完全丧失，对任何强度的刺激都不能引起该细胞再次兴奋，其兴奋性等于零
 - Na^+ 通道在全部开放后迅速处于失活状态，不能引起再次 Na^+ 内流而产生动作电位
- 相对不应期：细胞兴奋性逐渐恢复，在一定时间内，接受较强(大于阈值)的刺激可使细胞再次兴奋
 - Na^+ 通道只有部分从失活中恢复

- 超常期：相对不应期过后，有的组织细胞还出现兴奋性的轻微变化，兴奋性轻度增高超过正常，阈下刺激即能引起细胞兴奋
 - Na^+ 通道基本恢复，但膜电位离阈电位较近，故较正常时容易兴奋

心肌兴奋性的特点

是有效不应期长(平均250ms, 是骨骼肌与神经纤维有效不应期的100倍和200倍), 相当于心肌整个收缩期和舒张早期。

意义:保证心肌收缩和舒张交替进行, 不出现强直收缩。

(二) 心肌自律性

1. 心脏的起搏点

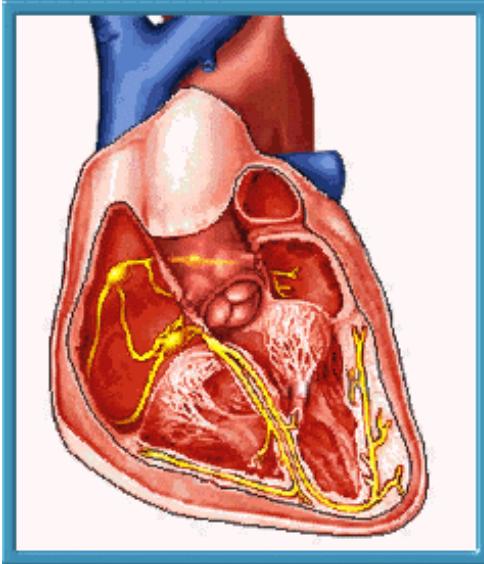
窦房结>房室结>浦氏纤维

节律高者具有抢先夺获（抢先达到阈电位产生AP）和超速驱动压抑（抢先夺获压抑节律低者的“被动”节律性兴奋）的机制。

[注]：①窦房结为正常起搏点，其它自律组织为潜在起搏点或异位起搏点。

②以窦为起搏点的心跳为窦性节律，以窦外为起搏点的心跳为异位节律（结性心律、室性心律）。

抢先占领



抢先占领

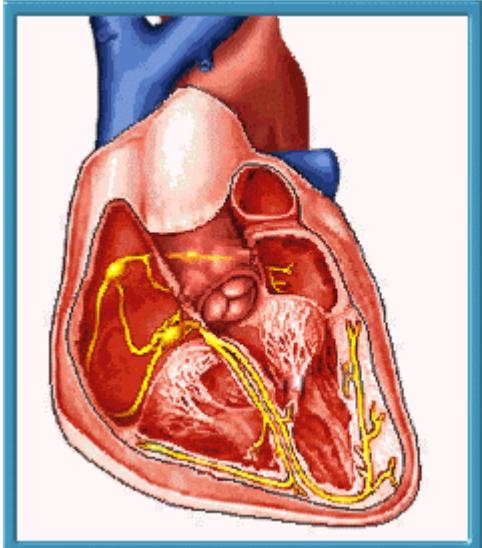
SA 结的兴奋传到 AV 交界时, AV 交界本身的节律尚未形成, 故表现出 SA 的节律。

SA 结
AP

AV 交
AP

—
—

超速抑制



超速抑制

SA 结传来的兴奋抑制该部位 (例如 AV 交界) 的节律 (证明: 中断 SA 结兴奋后 AV 交界的节律过一段才显出。)

SA 结
AP

AV 交界
AP

—

(三) 心肌的传导性

1. 心肌细胞的传导性

(1) 传导原理：局部电流。

局部电流很容易通过低电阻的特殊传导系统。

(2) 传导特点：

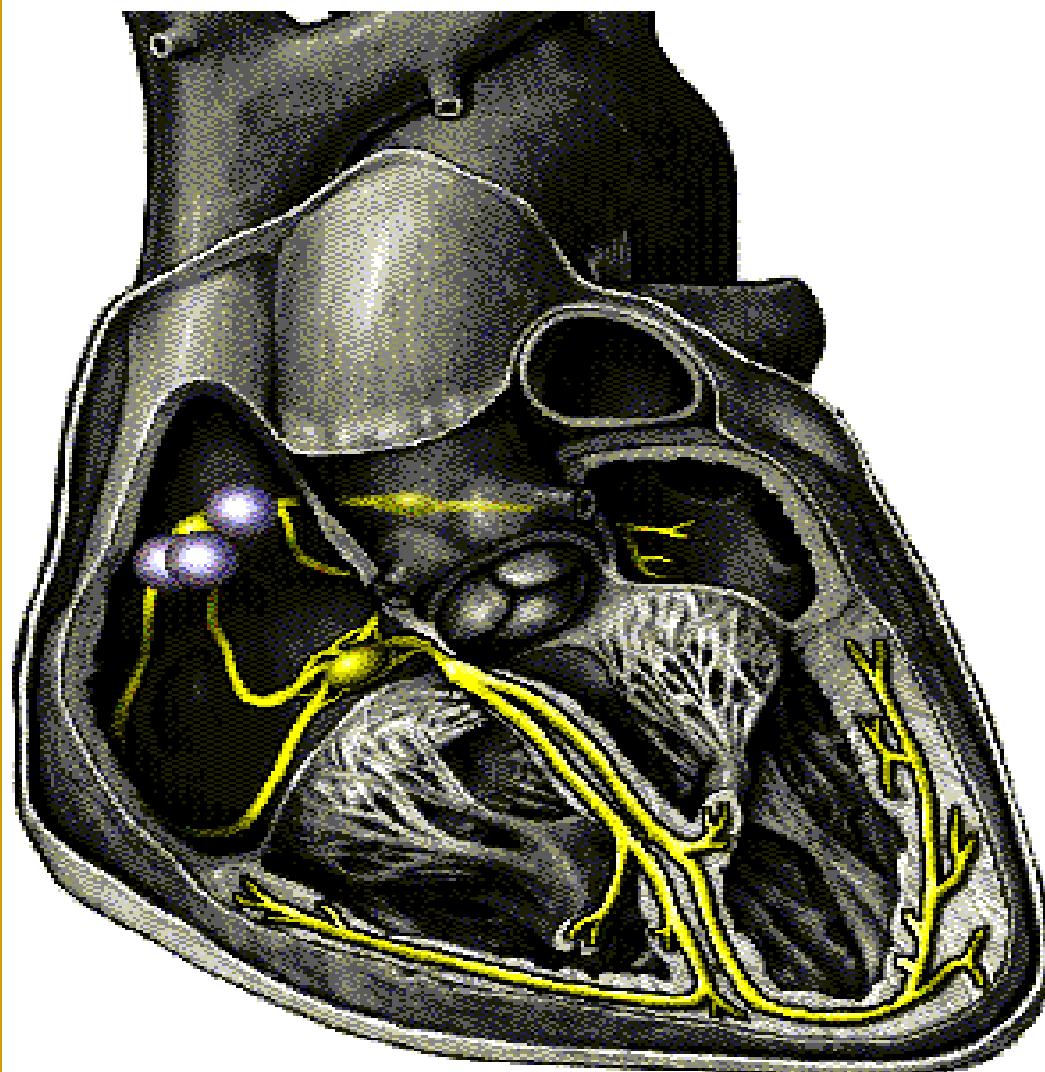
浦氏纤维最快→房、室内快→同步收缩，利射血

房室交界最慢→房室延搁→利房排空、室充盈

房室交界是传导必经之路，易出现传导阻滞（房室阻滞）

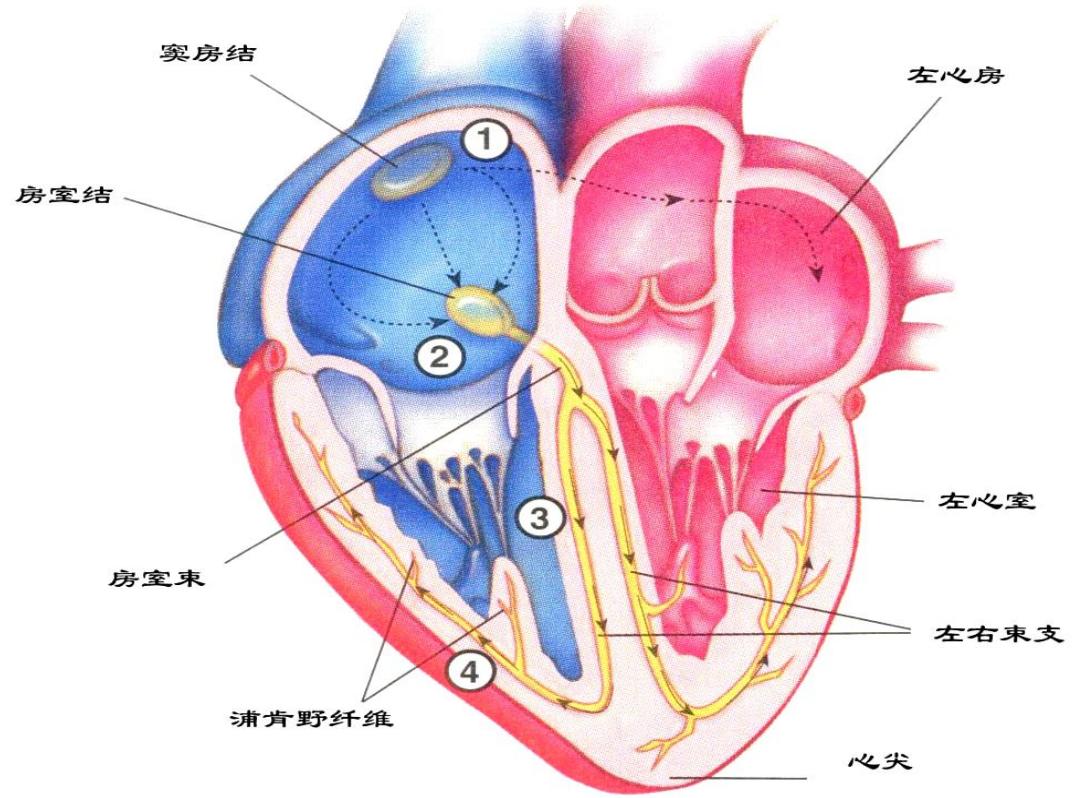
(3) 传导过程 窦 房 结

↓
结间束 房间束
(优势传导通路)
↓
房室交界 心房肌
↓
房室束
↓
左、右束支
↓
浦肯野纤维
↓
心室肌



(4) 传导速度

浦氏纤维
 (4m/s)
 ↓
束支
 (2m/s)
 ↓
心室肌
 (1m/s)
 ↓
心房肌
 (0.4m/s)
 ↓
结区
 (0.02m/s)



传导时间

心房内 —— **房室交界** —— **心室内**
 (0.06s) (0.1s) (0.06s)

(三) 心肌动作电位与心电图的关系

P波：

≈心房肌的AP

QRS：

≈心室肌AP的0期

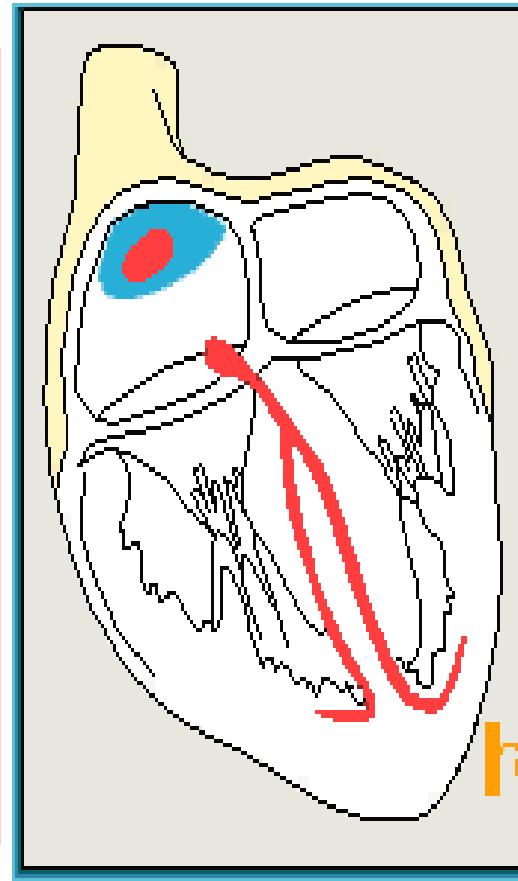
S-T段：

≈心室肌AP的2期

T波：

≈心室肌AP的复极

化过程，因先后不
一，故T波较宽。



第二节 心脏的泵血功能

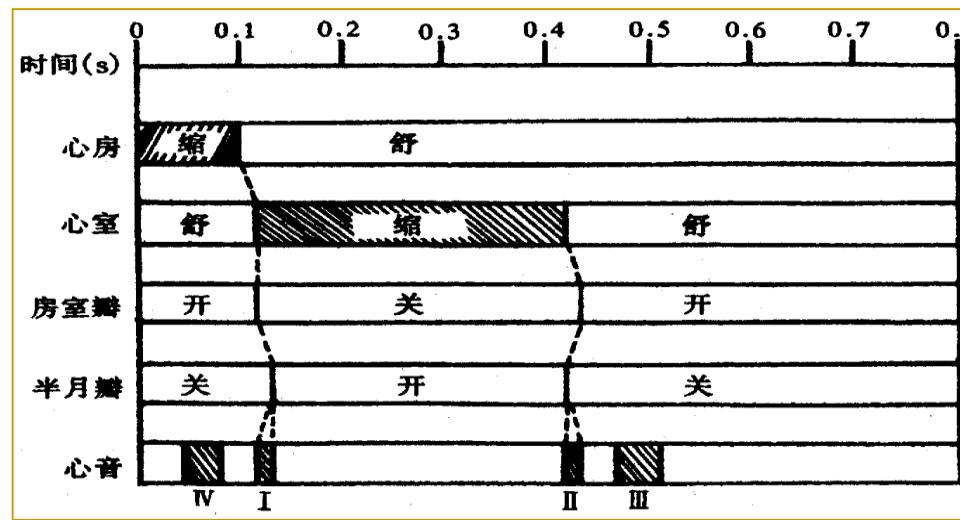
一、心动周期

(一) **概念**：心房或心室每收缩和舒张一次称心动周期

(二) **时程**： $T \propto 1/f = 60s/75 = 0.8s$

房缩 0.1s
房舒 0.7s

室缩 0.3s
室舒 0.5s



(三) 特点：

- ①舒张期时间 > 收缩期时间
- ②全心舒张期0.4s → 利心肌休息和室充盈
- ③心率快慢主要影响舒张期
- ④心缩(舒)期指心室的活动

(四) 心率

①概念:单位时间内心脏舒缩的次数称心率。

②正常变异:

年龄:初生儿(130次/分)

成人(60~90次/分)

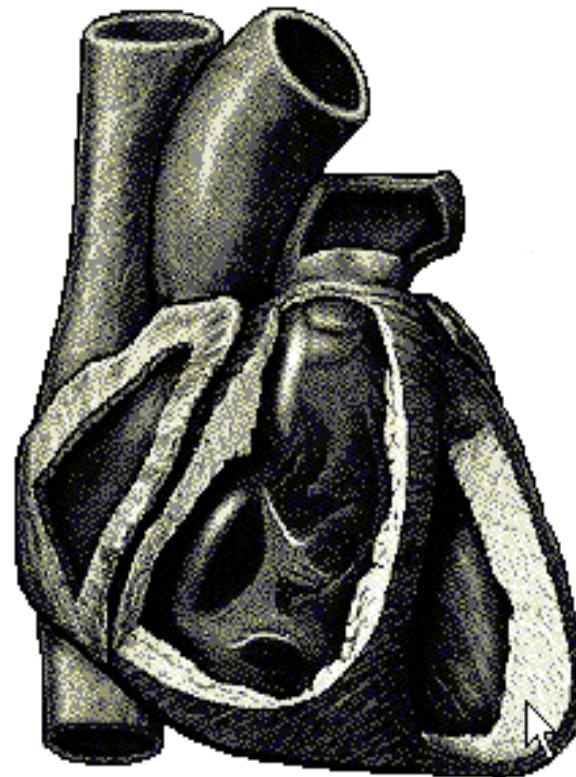
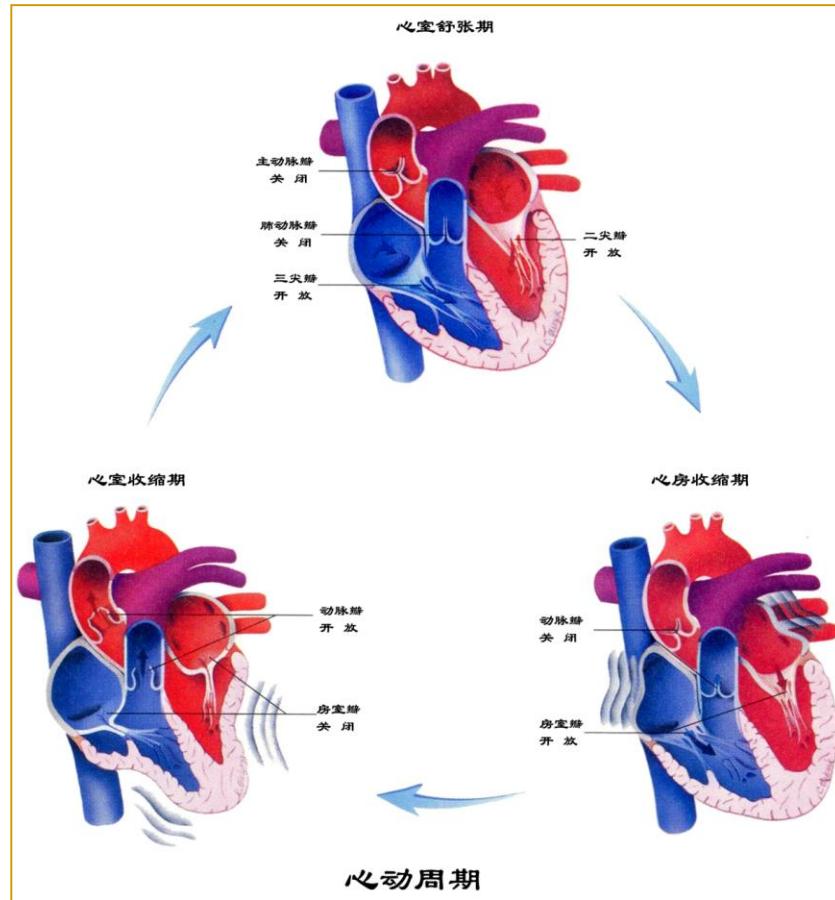
性别:女>男

体质:弱>强

兴奋状态:运动、情绪激动>安静、休息

体温每 $\uparrow 1^{\circ}\text{C}$ →心率 $\uparrow 10$ 次/分

二、心脏泵血过程



Stroke voli
each ventr
beat in the

心动周期中压力、容积变化

1=主A内压

2=左心室内压

3=左心房内压

4=心音

5=心室容积

⑦=心房收缩期

①=等容收缩期

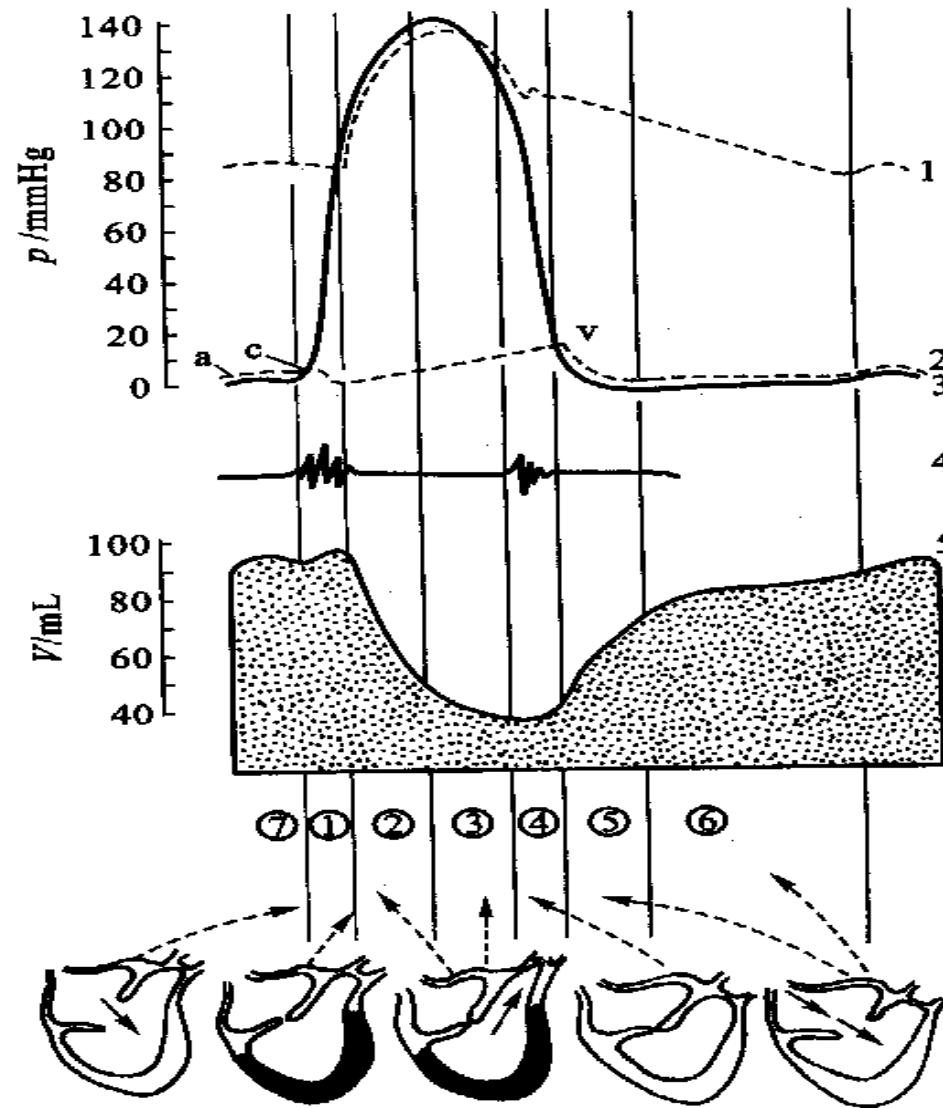
②=快速射血期

③=缓慢射血期

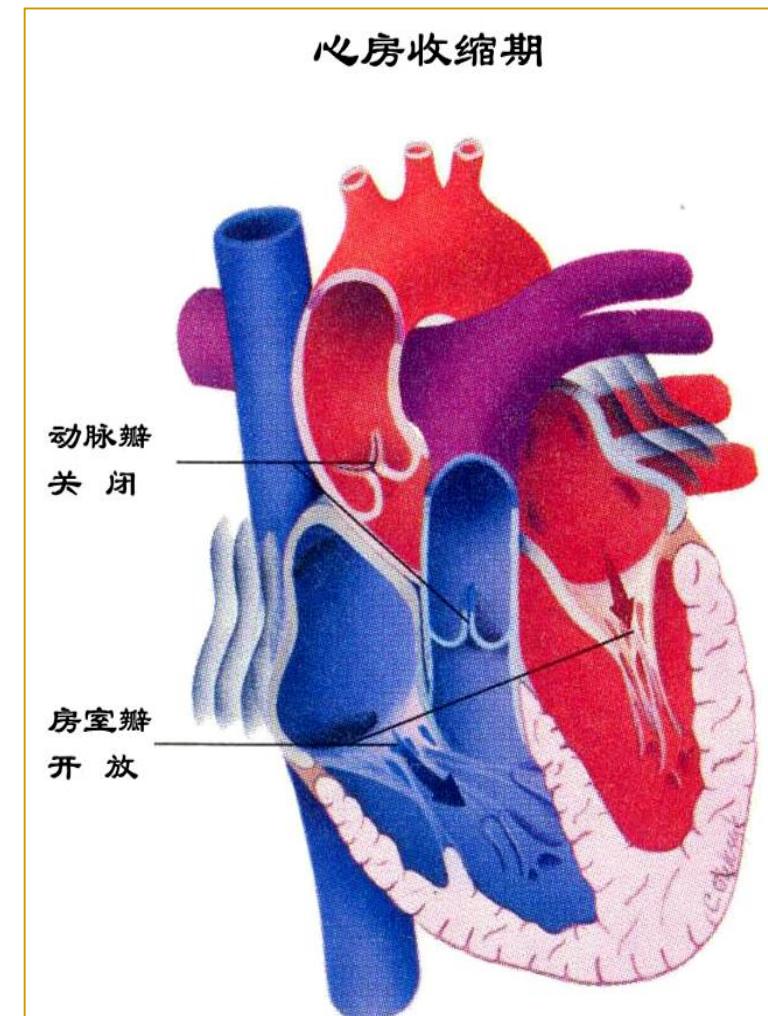
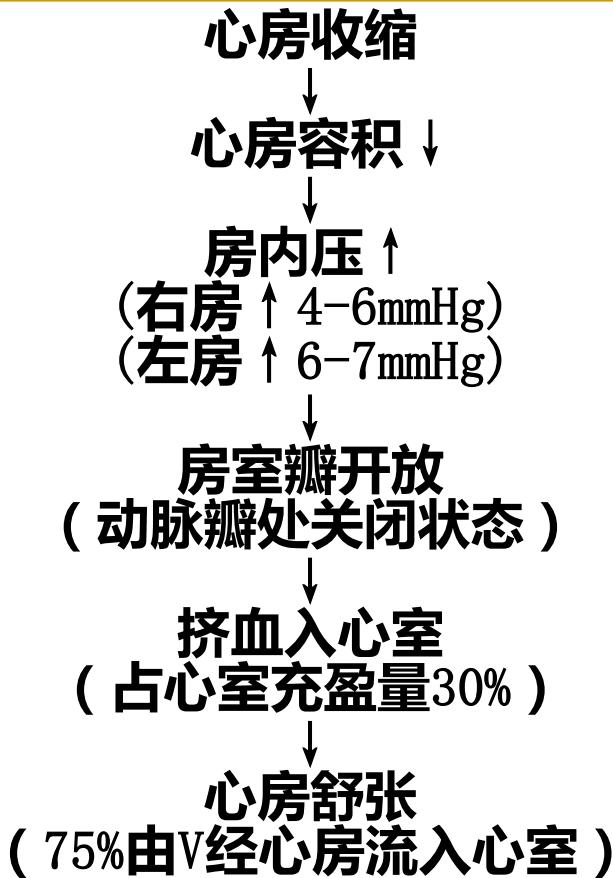
④=等容舒张期

⑤=快速充盈期

⑥=减慢充盈期



(一) 心房的泵血



(二) 心室的泵血

1. 心室收缩期

(1) 等容收缩期：

心室开始收缩



室内压急剧↑

(左室内压↑近80mmHg)



房室瓣关闭

(动脉瓣仍处于关闭状态)

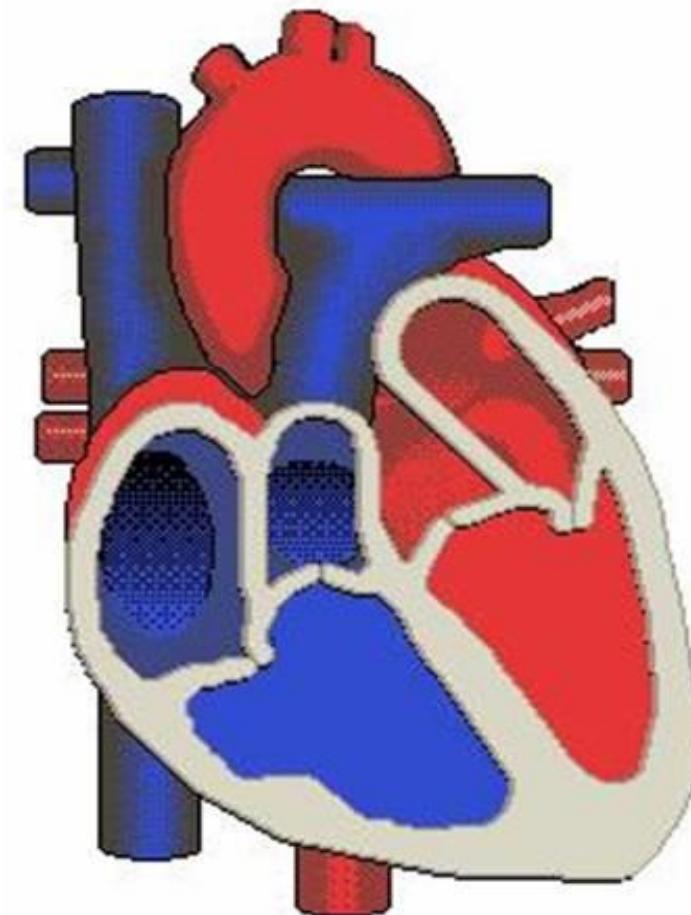
(容积不变、血液不流)



继续收缩



快速射血期



(2) 快速射血期：
心室继续收缩

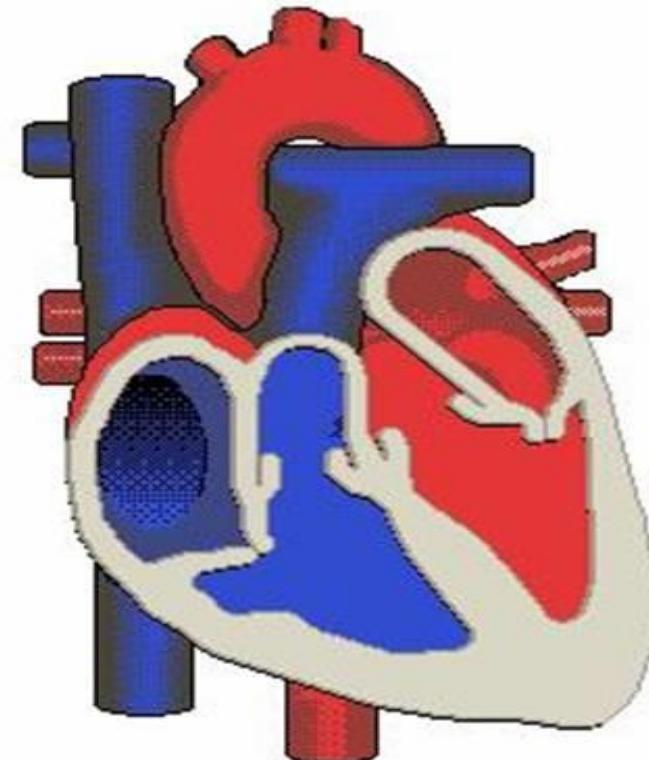
↓
房内压 < 室内压 > 动脉压
(左室 > 80mmHg)
(右室 > 8mmHg)

↓
动脉瓣开放
房室瓣关闭

↓
迅速射血入动脉
(占射血量70%)

↓
心室容积迅速 ↓

↓
减慢射血期



(3) 减慢射血期：

迅速射血入动脉后



心室容积继续 ↓



房内压 < 室内压 < 动脉压

动脉瓣开，房室瓣关



血液以惯性
射入动脉

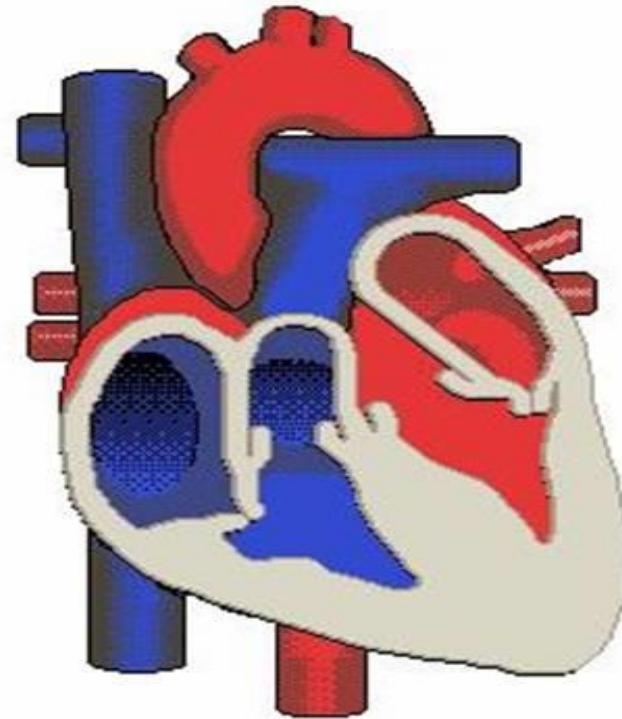
(占射血量 30%)



心室容积继续 ↓



心室舒张前期



2. 心室舒张期

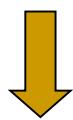
(1) 等容舒张期：

心室开始舒张

心房压 < 心室压 < 动脉压



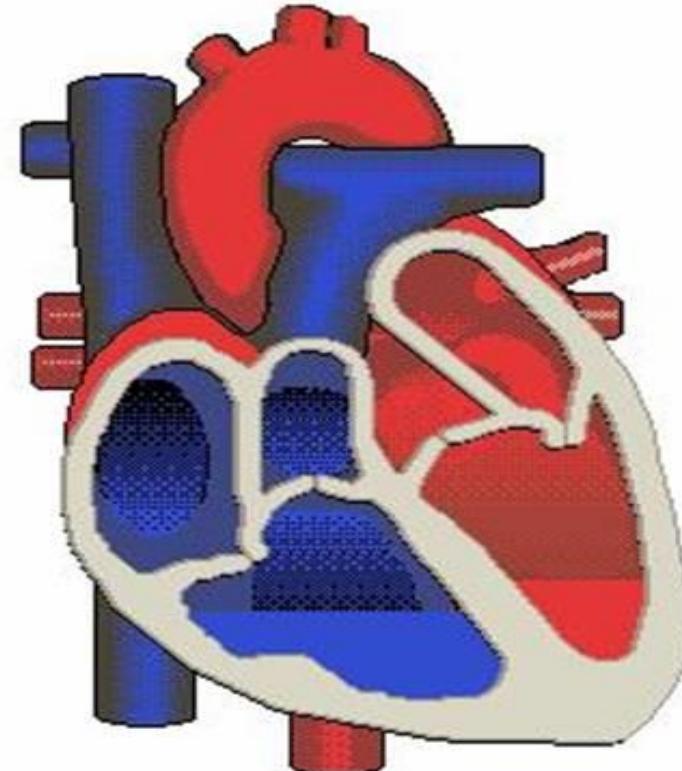
动脉瓣关闭，房室瓣关闭



容积不变



血液不流



(2) 快速充盈期：
等容舒张期末

↓
室内压 ↓
(房内压 > 室内压 < 动脉压)

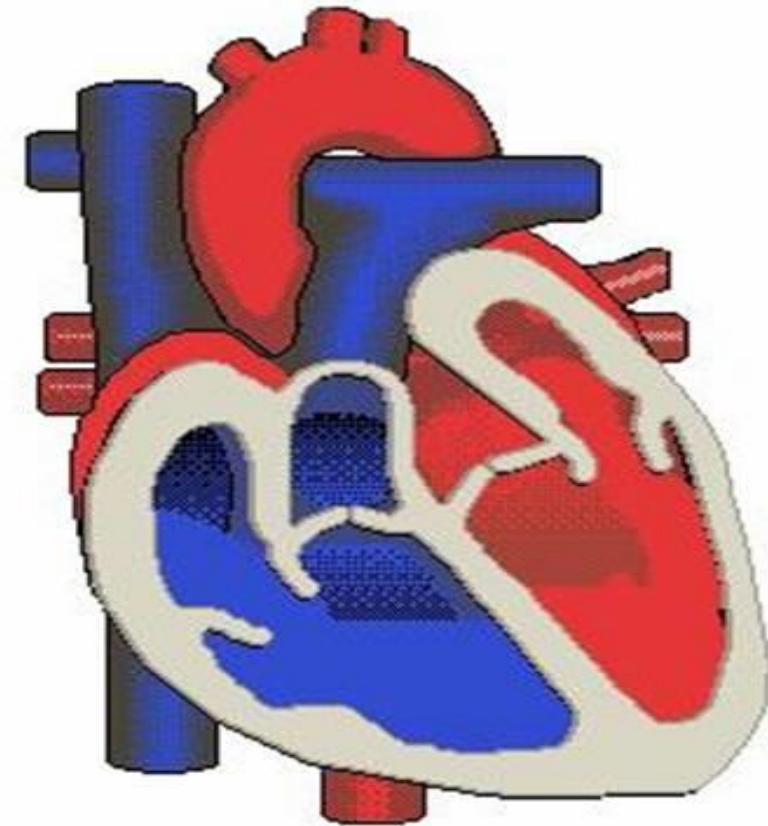
↓
房室瓣开，动脉瓣关

心室继续舒张

↓
室内压 ↓

↓
房内压 (占总充盈量 $2/3$)

↓
心室容积迅速 ↑

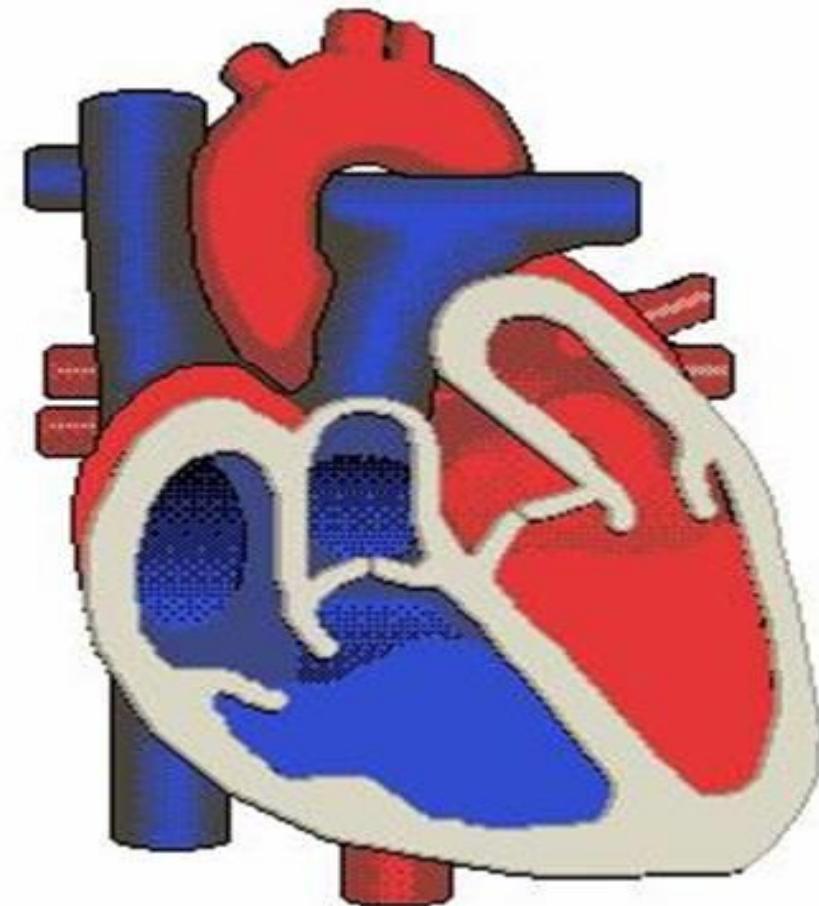


(3) 减慢充盈期：

随着心室内血液的充盈，心室与心房、大V间的压力差减小，血液流入心室的速度减慢。

(4) 房缩期

心房缩，房压升高，房内血挤入心室，心室容积达最大



四、心泵功能评定

(一) 每搏输出量及射血分数

每搏输出量：一侧心室每次搏出的血量 (70ml)

射血分数=**每搏输出量 / 心舒张末期容积** × 100%

$$= 60 \sim 80\text{ml} / 120 \sim 130\text{ml}$$

$$= 50 \sim 60\%$$

意义：①心舒张末期容积与心缩力有关（因与心肌初长度呈正相关）。

②射血分数↑(心缩 ↑ → 每搏输出量)

③射血分数↓ → 心舒张末期容积↑ (每搏输出量可不变)

(二) 每分输出量与心指数

每分输出量：一侧心室每分钟射出的血量

$$= \text{每搏输出量} \times \text{心率} = 5 \sim 6 \text{L/min}$$

生理变异：随机体代谢和活动情况而变化；女子较相同体重男子的心输出量约低10%。

心指数：空腹和安静状态下，每平方米体表面积的每分心输出量。

$$= 3.0 \sim 3.5 \text{L/min. m}^2$$

生理变异：10岁心指数最大（ 4L/min. m^2 以上）；随年龄增长而渐降，80岁时接近 2L/min. m^2 。

意义：评定个体心功能。

(三) 心脏作功量

心脏作功量要比单纯用心输出量评定心泵血功能更全面, 它反映出心脏射血功能和心脏后负荷的情况.

外功 : 心室收缩而产生和维持一定压力并推动血液流动

内功 : 用于完成离子跨膜主动转运、产生兴奋和收缩、产生和维持心壁张力、克服心肌组织内部的粘滞阻力

心脏效率 : 心脏完成的外功 / 耗氧量

每搏功 = 搏出量 × 血液比重 × (平均动脉压 - 平均心房压)

每分功 = 搏功 × 心率

第三节 血管生理

一、各类血管的功能特点

1. 大动脉：具有弹性和可扩性 —— 弹性贮器血管
2. 小动脉：半径小阻力大 —— 毛细血管前阻力血管
3. 小静脉：
毛细血管后阻力血管
4. 毛细血管：薄、透性好 —— 物质交换血管
5. 静脉：容纳循环血量60–70% —— 容量血管

二、血液在血管内流动的基本特点

(一) 血流

1. 血流量：指单位时间内流经某一血管截面的血量（容积速度）。

公式： $Q \propto \Delta P/R$

$$(Q \propto \pi (P_1 - P_2) r^4 / 8 \eta L)$$

单位：ml/min或L/min

注：Q：单位时间的液体流量 ΔP ：两端的压力差 R：管道内的阻力

r：血管半径 L：血管长度（常数，不变）

η 血液粘滞系数：与①血细胞比容 ②血流切率 ③血管口径 ④温度⑤血浆蛋白成分和浓度有关。

(二) 血压 Blood Pressure

概念：血管内的血液对血管壁的侧压力。不流动时的侧压力称体循环平均压（充盈压）；流动时的侧压力称血压（分动、静脉血压）。

产生条件：

- ① 血管内血液的充盈度 推血流动
- ② 血流的动力 = 心射血力 对管壁侧压力扩张管壁
(势能)
- ③ 血流的阻力 = 能量的消耗：血压渐降

动脉血压是指血液流经大动脉时对血管壁的侧压。

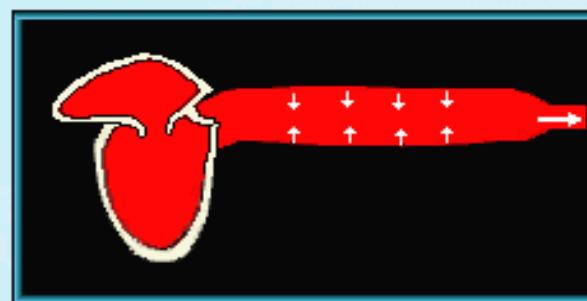
血管中足够的血液充盈是形成血压的前提。

动脉血压的形成因素有三：

心输出量 (CO)

外周阻力 (total peripheral resistance,TPR)

大动脉弹性 (elasticity)



各段血管 的压力梯度：

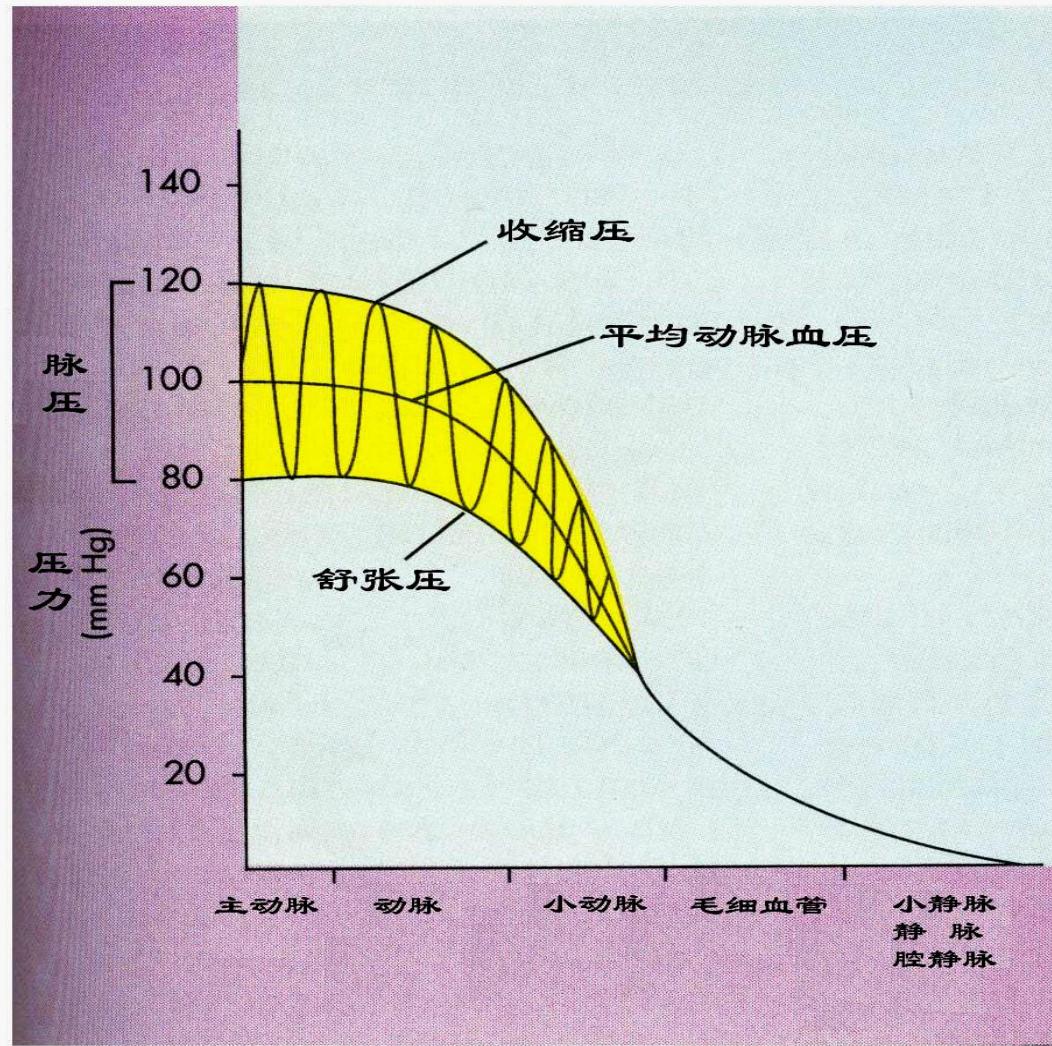
主A: 100mmHg

小A: 85mmHg

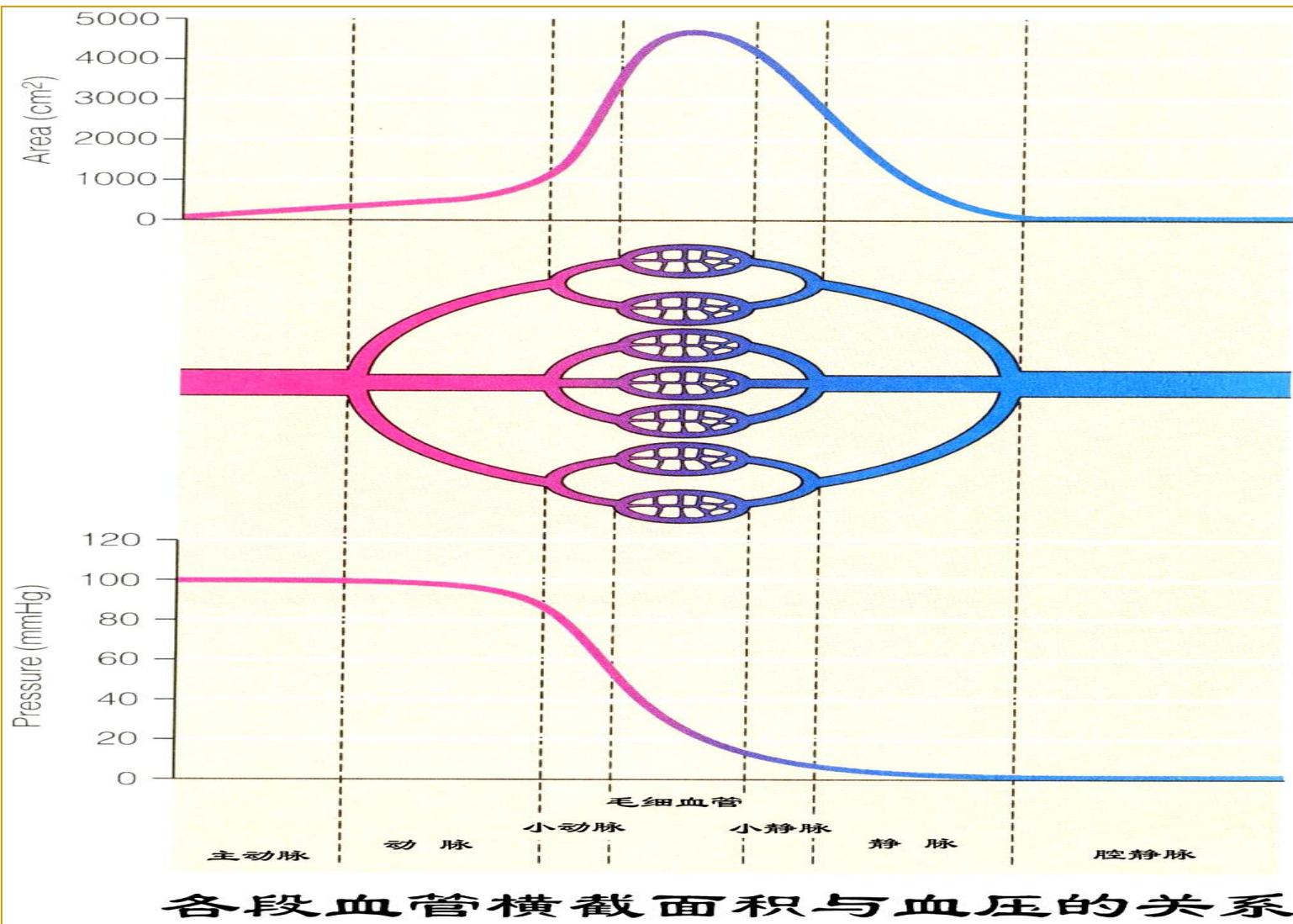
Cap: 30mmHg

V始: 10mmHg

心房(大V): ≈ 0



各段血管血压



三、动脉血压和脉搏

(一) 动脉血压

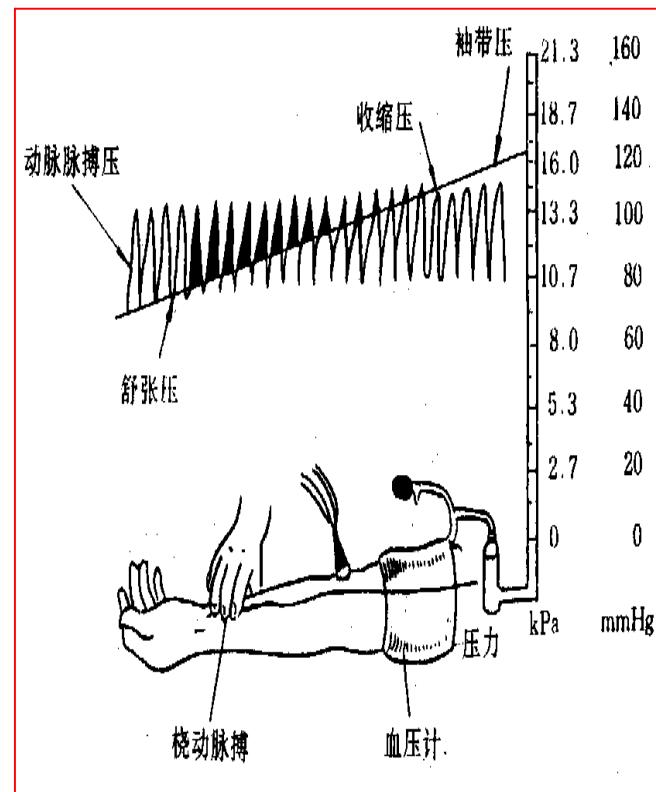
1. 正常值与测量

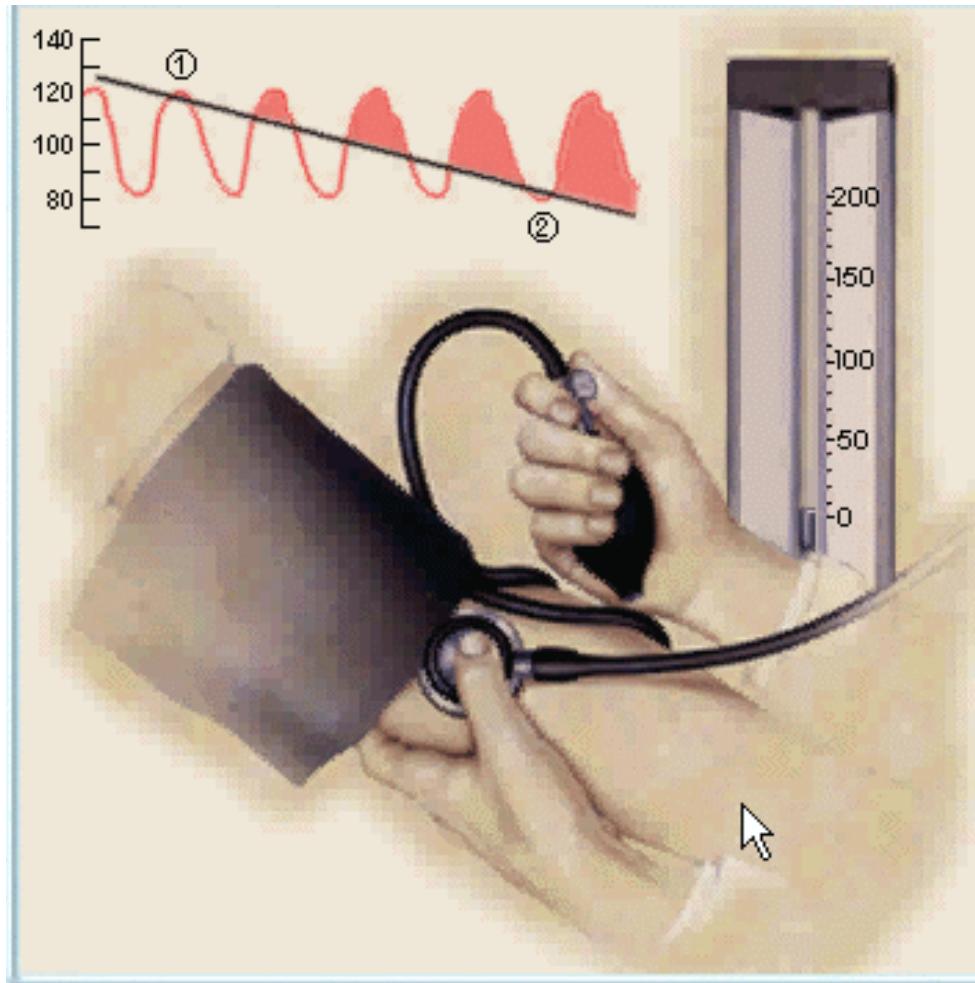
收缩压 (Sp) : 室缩时, 动脉血压升高到的最高值 (100–120mmHg)

舒张压 (Dp) : 室舒时, 动脉血压降低到的最低值 (60–80mmHg)

脉搏压 : $Sp - Dp = 30 - 40 \text{ mmHg}$

平均动脉压 : $\sim 100 \text{ mmHg}$





常用的动脉血压
测量方法有以下两种：

直接测量法

间接测量法
(无创)

是临幊上经常用的方法。先将与水银检压计相连的袖袋充气，使其压力超过收縮压；然后逐渐放气減压，并在肘动脉处听诊，即可测得。（你可以单击左侧画面学习）

2. 生理变异：

- ① 年龄 \uparrow 10岁 \rightarrow Bp \uparrow 1mmHg (血压随年龄的增加而升高, Sp的升高比Dp的升高更明显)
- ② 吸气 < 呼气Bp : 吸气负压抽吸 , 血贮于肺中 \rightarrow 回心血量 \downarrow \rightarrow 射血量 \downarrow \rightarrow Bp \downarrow
- ③ 活动 > 安静
- ④ 站位 > 卧位
- ⑤ 右臂 > 左臂 (= 1.33kPa or 10mmHg)
- ⑥ 上午 > 下午 (8 ~ 11时最高, 0 ~ 8时最低)
- ⑦ 高原 > 平原
- ⑧ 男性 > 女性

(二) 动脉脉搏

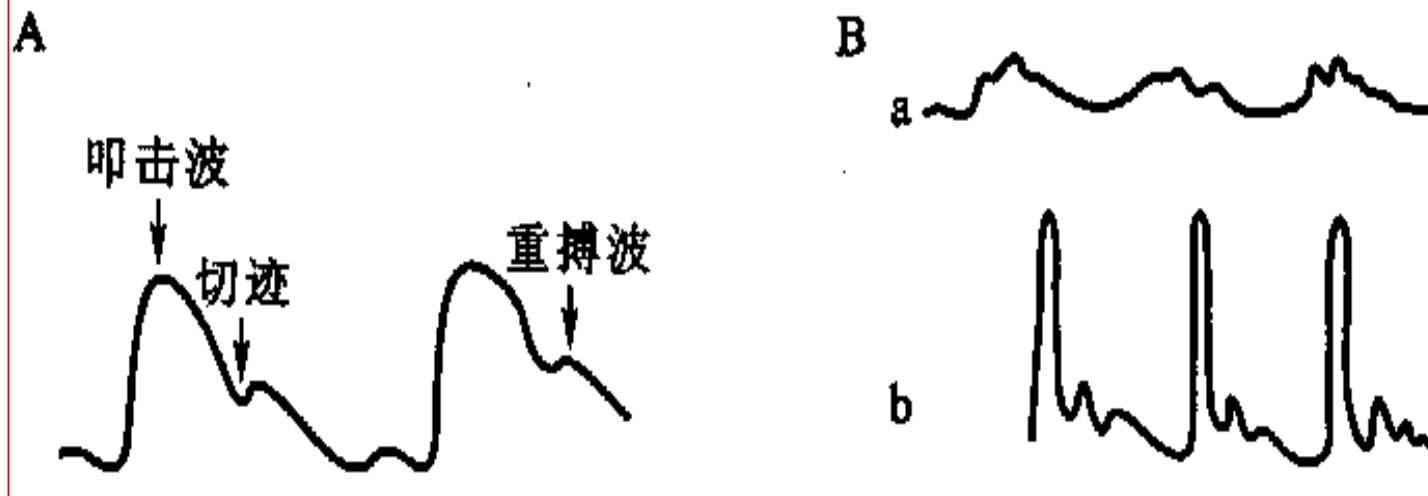


图 6-17 动脉脉搏的波形

- A. 正常颈总动脉脉搏的波形 B. 变异的桡动脉脉搏的波形
- a. 主动脉瓣狭窄； b. 主动脉瓣关闭不全