



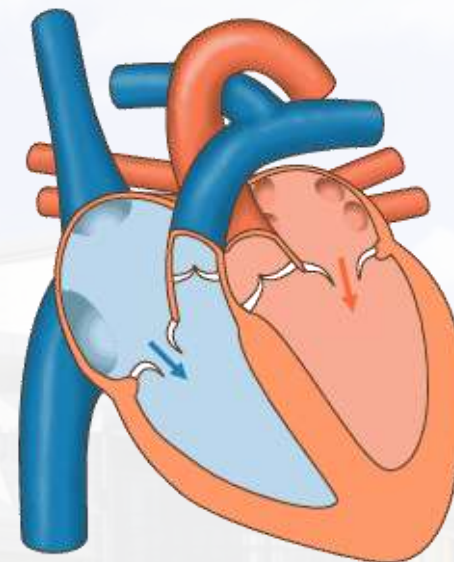
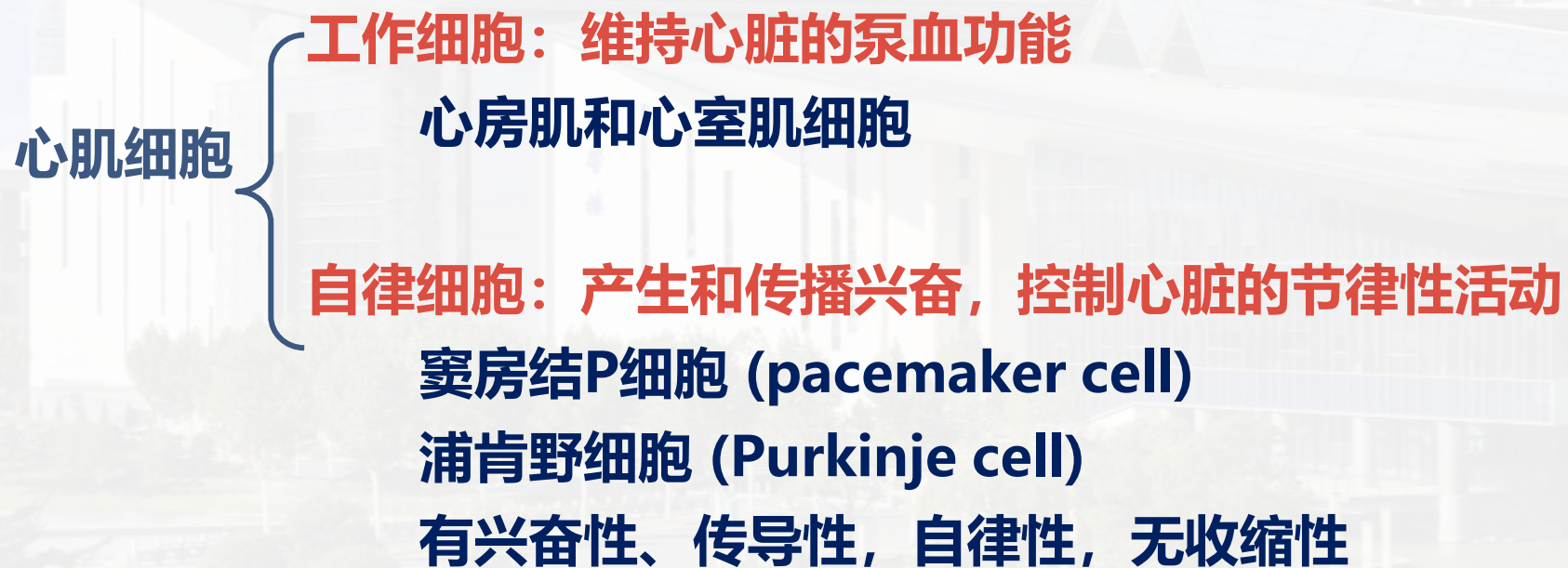
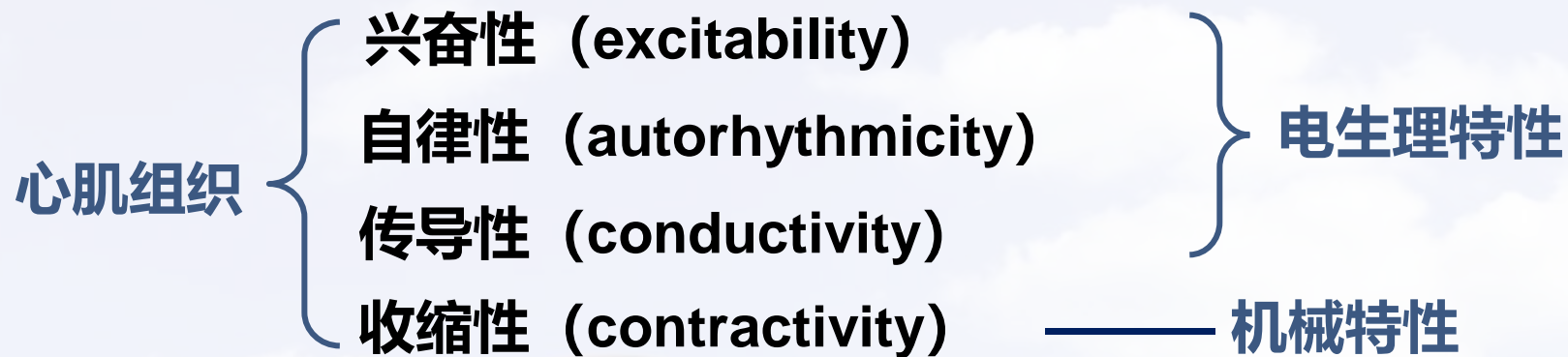
南京医科大学

NANJING MEDICAL UNIVERSITY

心脏电生理活动



心肌细胞按电生理学分类



心室肌细胞跨膜电位及其机制

(一) 心室肌细胞静息电位

1. 幅度: -90mV
2. 机制: K^+ 平衡电位 (与骨骼肌和神经纤维相似)

(二) 心室肌细胞动作电位

➤ 动作电位分 0、1、2、3、4期。

➤ 心室肌细胞动作电位各期离子流:

0 phase: Na^+ influx

1 phase: K^+ efflux

2 phase: Ca^{2+} influx and K^+ efflux

3 phase: K^+ efflux

4 phase : Na^+ - K^+ pump, Ca^{2+} pump

Na^+ - Ca^{2+} exchange

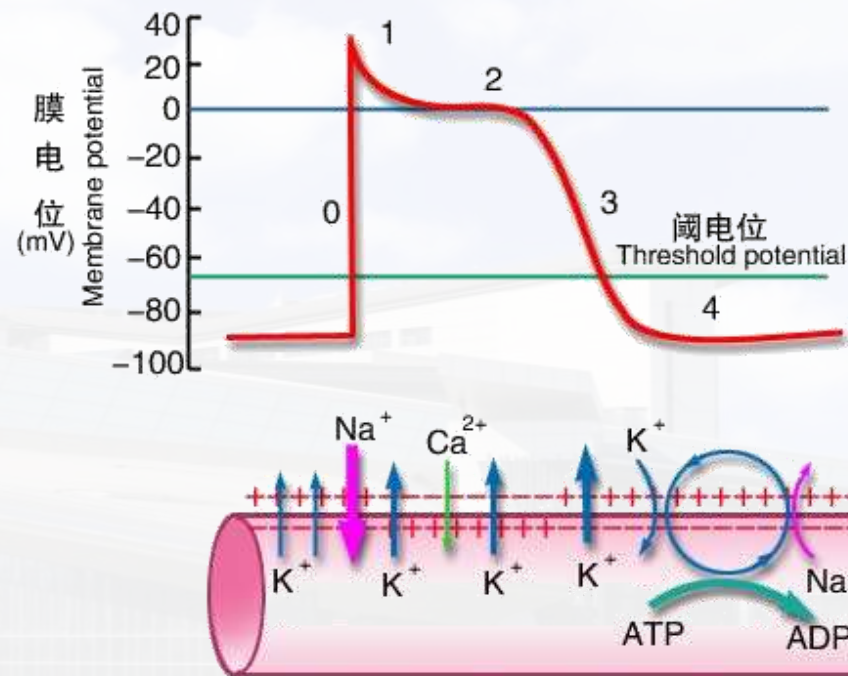


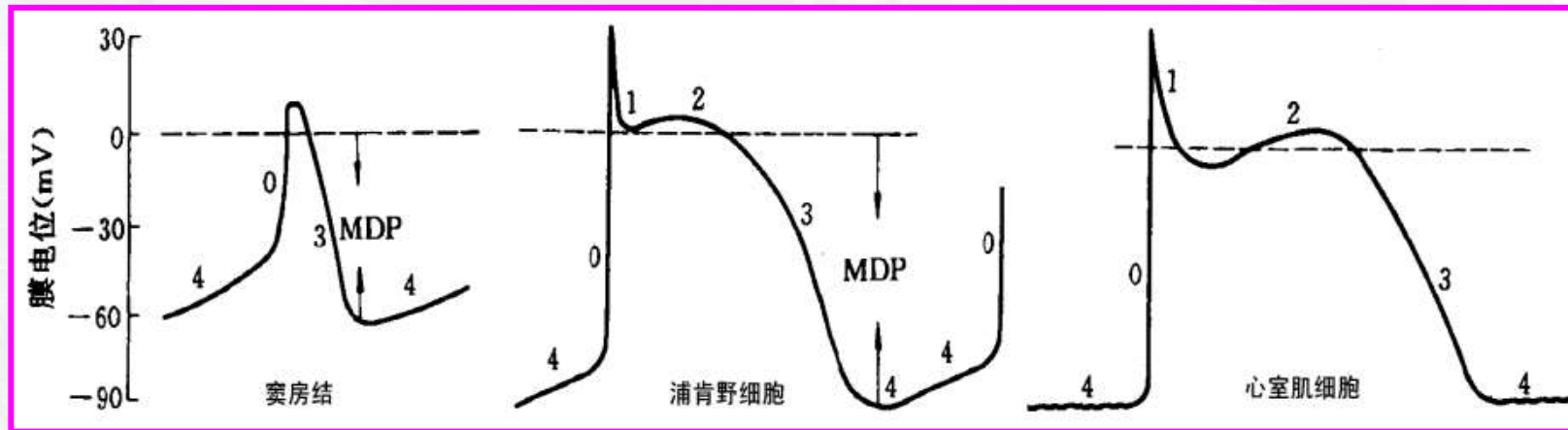
图 心室肌细胞动作电位和主要离子流示意图

➤ **特点: 复极过程比较复杂, 持续时间长, 降支与升支很不对称。有较长的2期平台期**

自律细胞跨膜电位及其机制

心肌自动按一定节律发生兴奋的能力——自律性

- 自律细胞生物电特点是**没有稳定的静息电位**，**4期自动去极化**，达阈电位时，即爆发新的动作电位
- 能够使自律细胞产生自动去极化的内向电流，也叫做**起搏电流**
- 4期自动去极是自律细胞产生自动节律性兴奋的基础

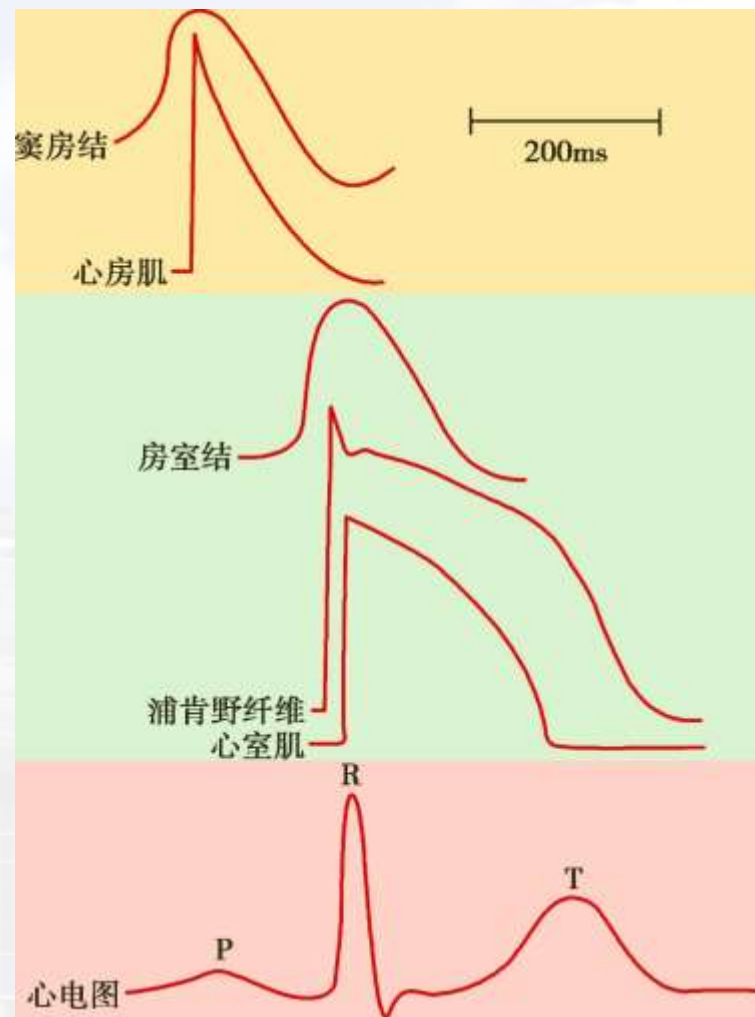


自律细胞跨膜电位及其机制

- 根据4期是否自动去极化：自律细胞、非自律细胞
- 根据0期去极化速度快慢：快反应细胞、慢反应细胞

去极化是由 Na^+ 引起 → 快反应细胞
(心室肌细胞、浦肯野细胞)

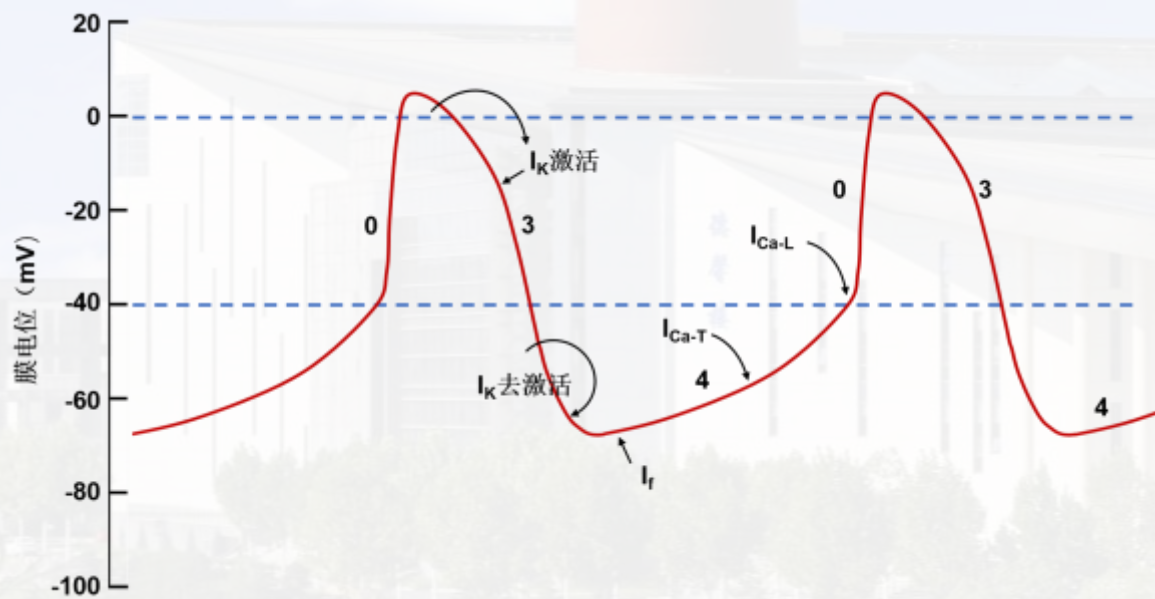
去极化是由 Ca^{2+} 引起 → 慢反应细胞
(窦房结细胞)



各部位心肌细胞动作电位

窦房结细胞的动作电位形成机制

- **0期**：当4期自动去极化达到阈电位 → **激活慢钙通道（L型钙通道）** → **Ca²⁺内流 (I_{Ca-L})** → 0期去极 (-40 ~ 0 mV)
- **3期**：慢钙通道渐失活 + **激活钾通道 (I_K)** → Ca²⁺内流↓ + K⁺外流 → 3期复极 (0 ~ -65 mV)
- **4期出现一种逐渐增强的净内向电流**



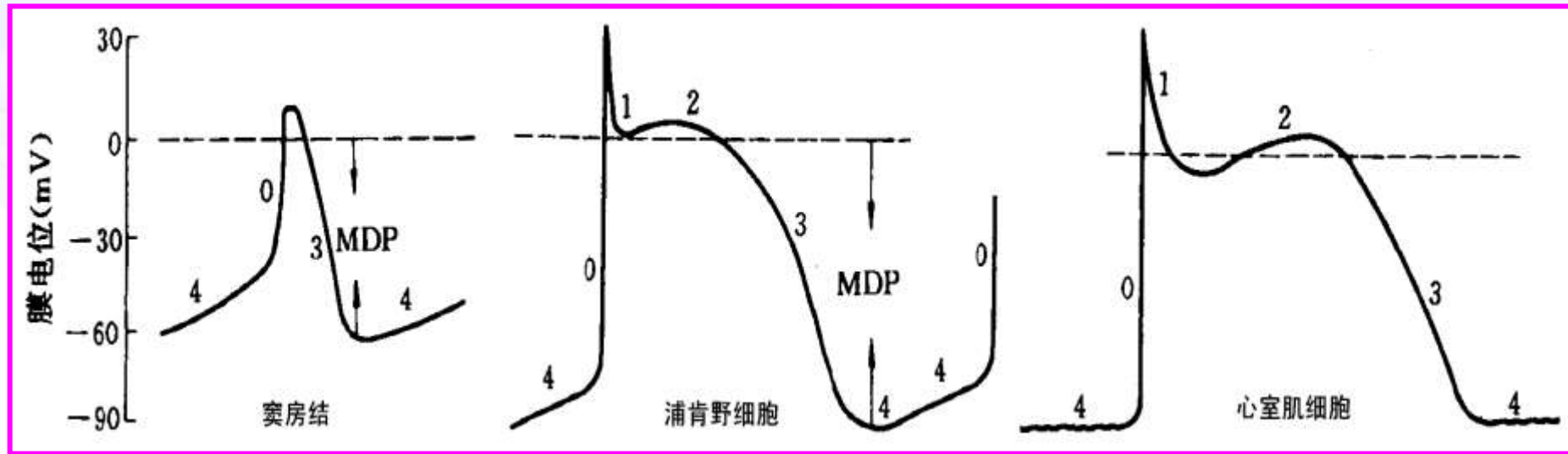
窦房结P细胞舒张期去极化和动作电位发生原理示意图

- ① **I_f(内向离子电流)激活**：Na⁺内流为主，K⁺外流为辅。内向电流逐渐增强
- ② **外向电流逐渐减弱 (I_K去激活衰减)**;
- ③ **I_{Ca-T}离子流**：T型钙通道其激活电位约为-50mV，形成一个短暂微弱的内向Ca²⁺电流
- ④ **非特异性缓慢内向电流 (Na⁺-Ca²⁺交换)**

浦肯野细胞的动作电位形成机制

动作电位与心室肌细胞相似，但4期自动去极化。

4期：内向电流 I_f (Na^+ 内流) 逐渐增强， K^+ 外向电流逐渐衰减 (以 I_f 电流的作用为主)



I_f 通道在浦肯野细胞分布很低，其激活开放速度较慢，4期自动去极化速度很慢
在正常窦性心律下，浦肯野细胞的节律性活动受到来自窦房结的超速驱动压抑

心肌细胞的生理特性

(一) 兴奋性 指细胞在受到刺激时产生兴奋的能力

可用**阈强度**来衡量心肌兴奋性的高低

(1) 静息电位 (RP) 水平

RP下移→距阈电位远→需刺激阈值↑→兴奋性↓

RP上移→距阈电位近→需刺激阈值↓→兴奋性↑

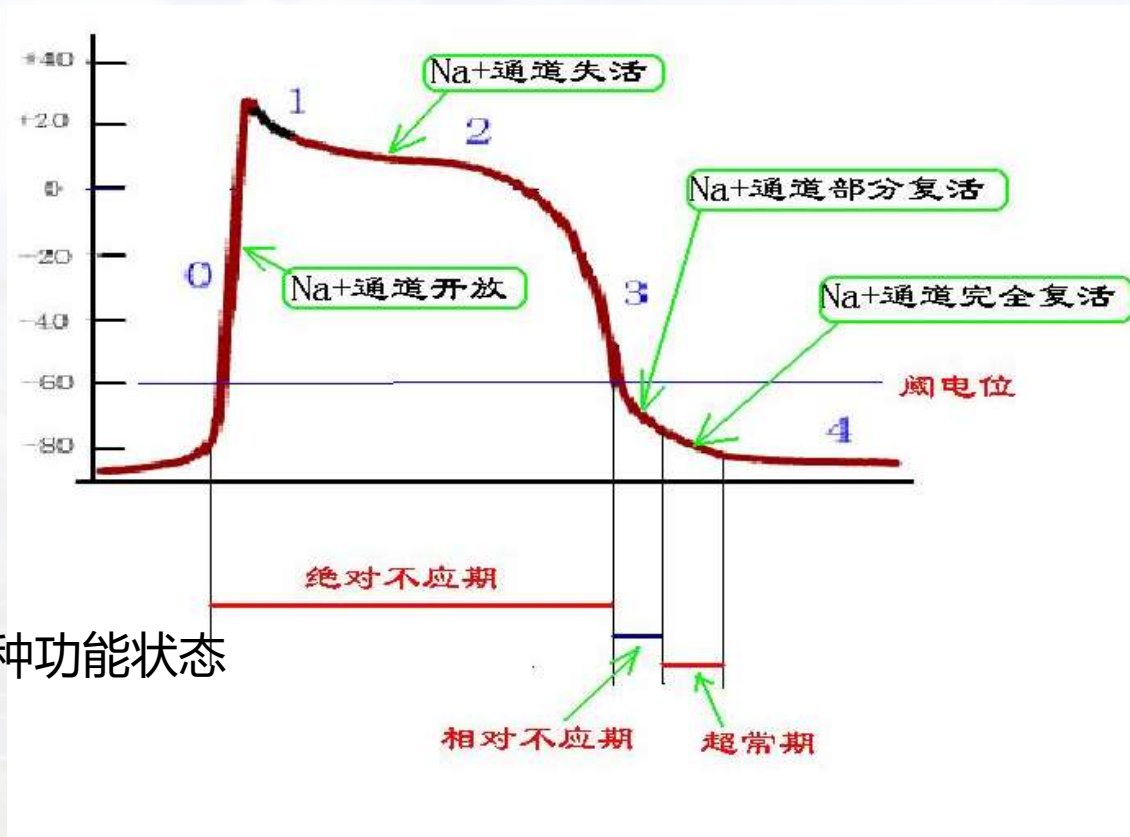
(2) 阈电位水平

阈电位上移→RP距阈电位远→需刺激阈值↑→兴奋性↓

阈电位下移→RP距阈电位近→需刺激阈值↓→兴奋性↑

(3) 引起0期去极化的离子通道的性状：激活、失活和备用三种功能状态

细胞膜上大部分钠通道(或钙通道) 是否处于备用状态, 为细胞是否具有兴奋性的前提。



心肌细胞的生理特性

(二) 自律性 心脏在没有外来因素作用下，能够自动地发生节律性兴奋的特性

- 衡量指标：单位时间内自动兴奋的频率
- 自律细胞生物电特点是4期自动去极化，达阈电位时，即爆发新的动作电位。

心脏起搏点 (pacemaker)

① 正常起搏点和异位起搏点

正常起搏点——窦房结 (窦性心律)

潜在起搏点——窦房结以外的起搏点 (异位心律)

② 窦房结对潜在起搏点的控制机制

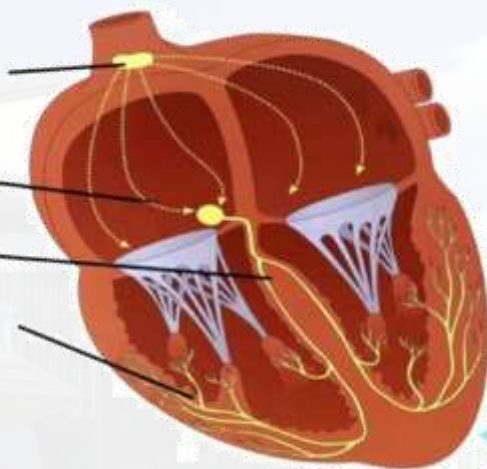
抢先占领 超速驱动压抑

100次/分 窦房结

50次/分 房室结

40次/分 左右束支

25次/分 浦肯野纤维



心脏内自律性的等级差异

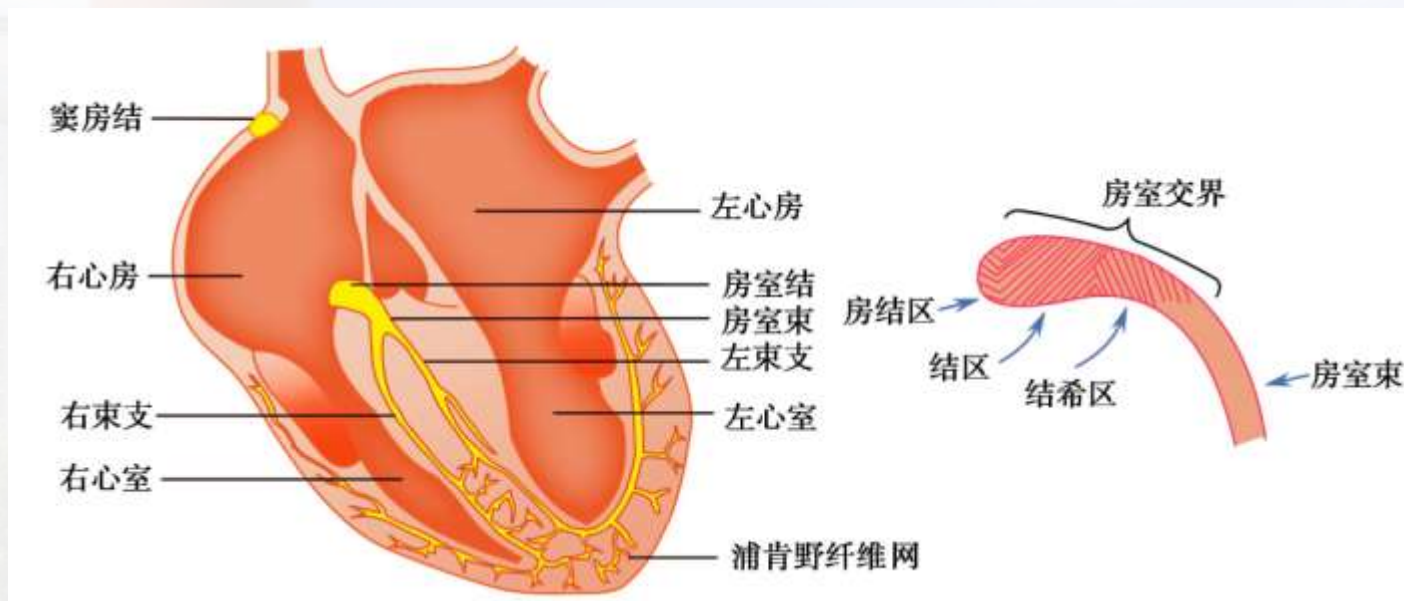
心肌细胞的生理特性

(三) 传导性 心肌细胞具有传导兴奋的能力或特性

➤ 衡量指标：动作电位传导速度

➤ 传导速度最快的部位——浦肯野纤维，可达4m/s

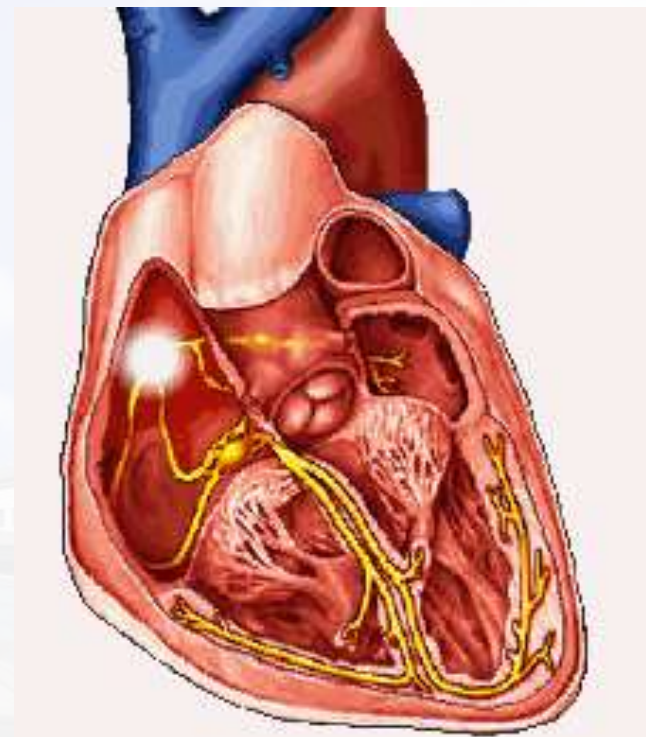
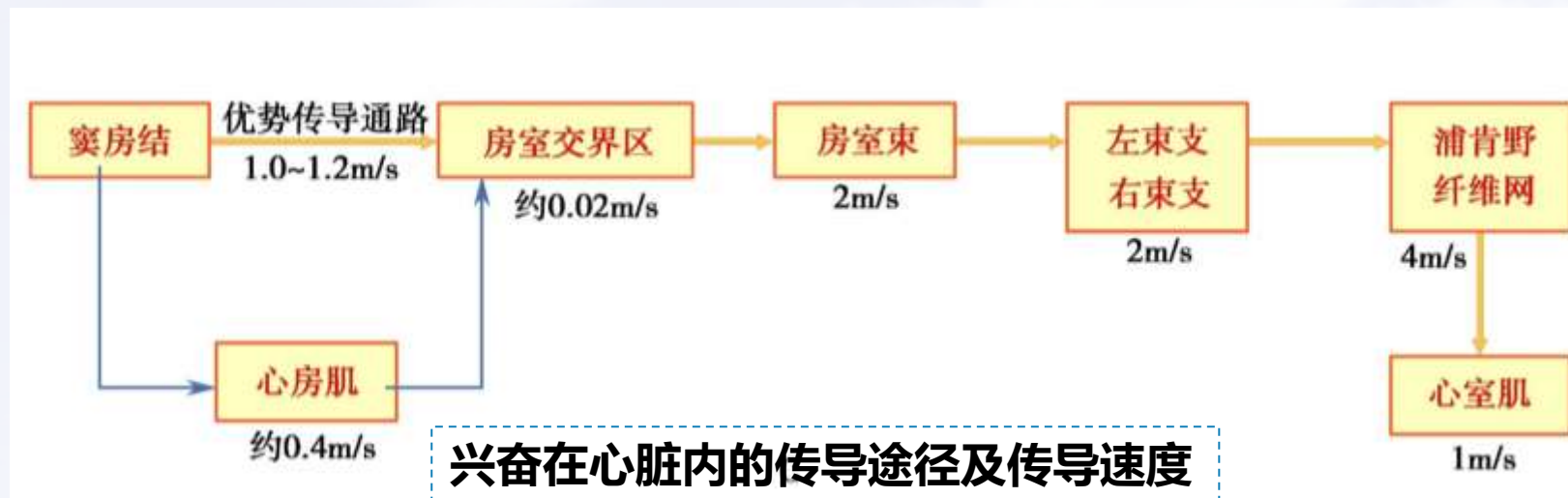
心肌细胞间的闰盘结构形成低电阻区，使心肌成为功能性合胞体，收缩的同步性较高



心脏特殊传导系统

心肌细胞的生理特性

(三) 传导性



房-室延搁 (atrioventricular delay)：因房室交界区兴奋传导速度特别慢，使兴奋通过这里时需要延搁一段时间，才向心室传导，这种现象称为房室延搁

意义：使心室在心房收缩完毕之后才开始收缩，确保心脏泵血功能的实现

心肌细胞的生理特性

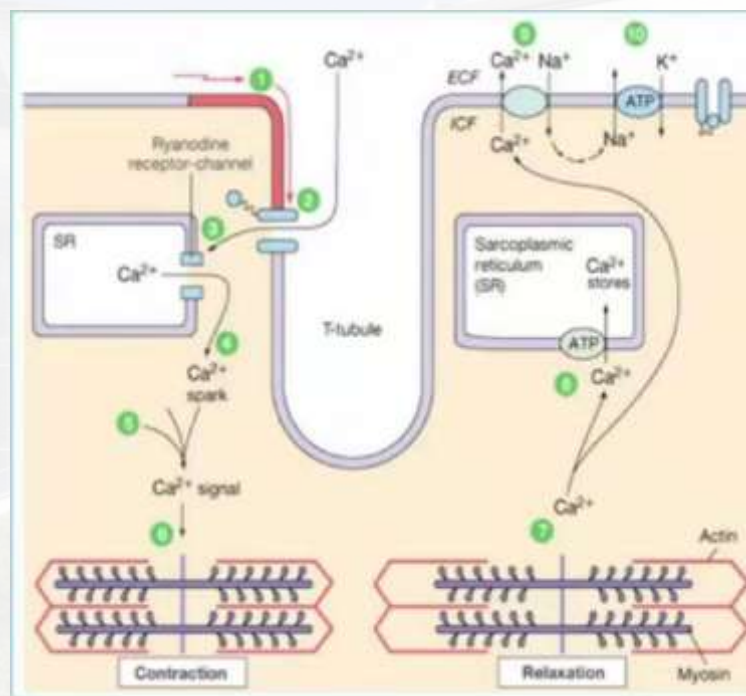
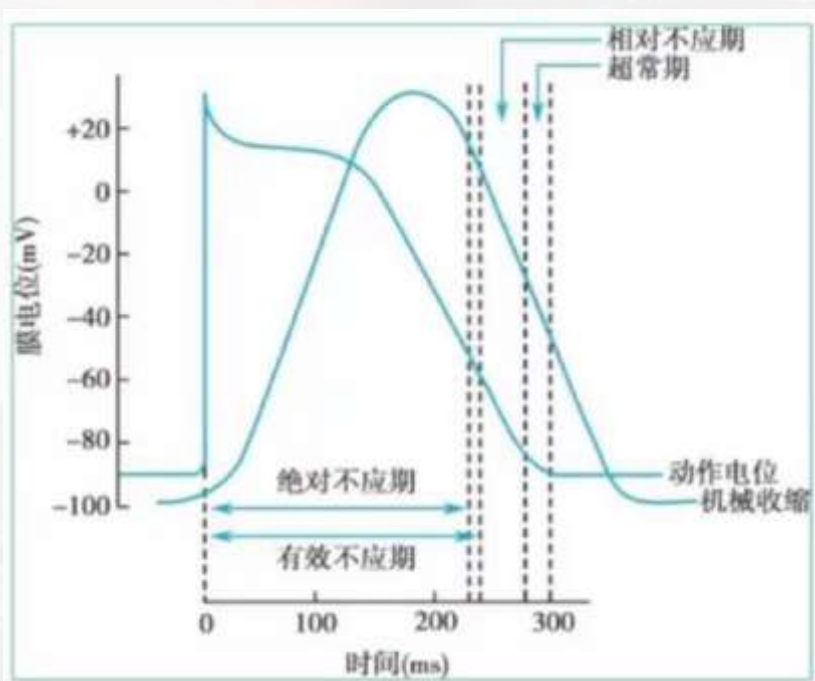
(四) 收缩性

1. **无完全强直性收缩**：使心肌始终保持收缩与舒张交替进行地节律活动，保证心脏有序地充盈与射血

2. “全或无”式收缩

3. **Ca²⁺依赖性**： $[Ca^{2+}]_o \uparrow \rightarrow Ca^{2+} \text{内流} \uparrow \rightarrow \text{肌缩力} \uparrow$

$[Ca^{2+}]_o \downarrow \rightarrow Ca^{2+} \text{内流} \downarrow \rightarrow \text{肌缩力} \downarrow$



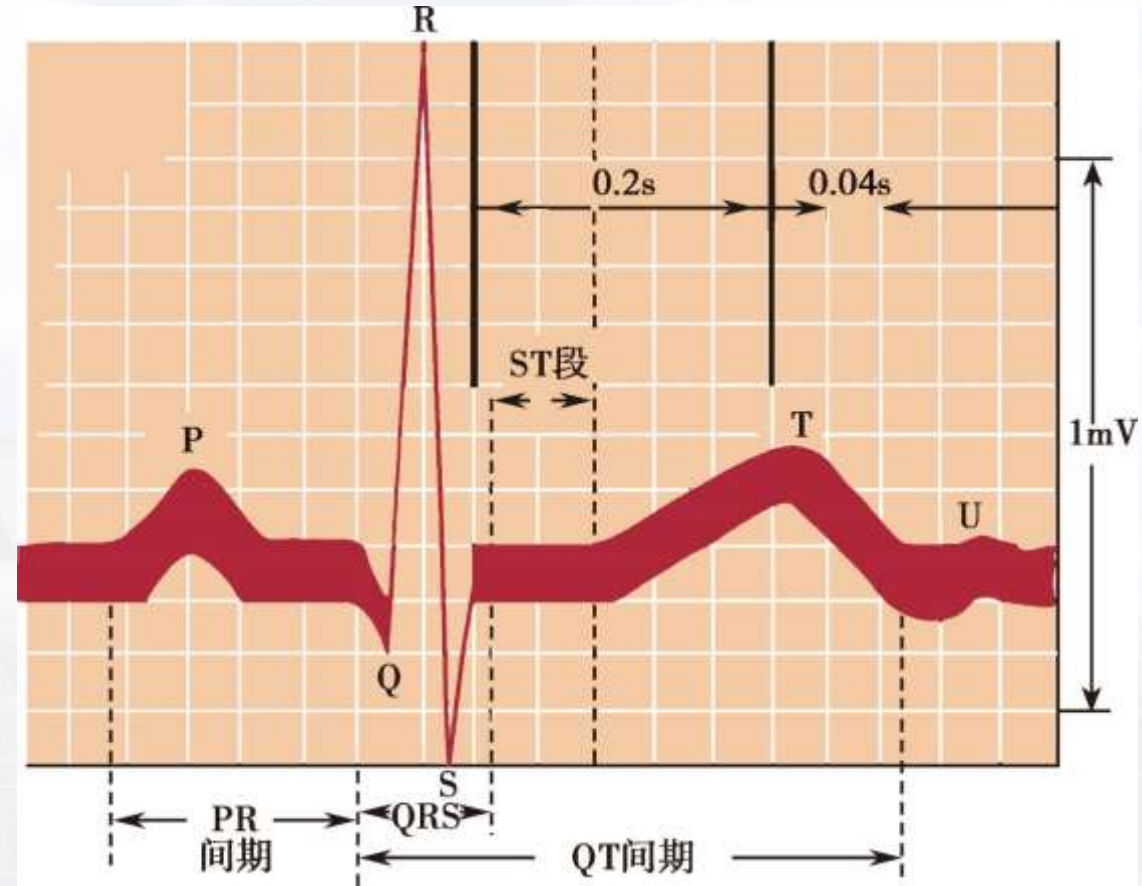
体表心电图

心脏的生物电变化传导到体表，由测量电极在体表一定部位记录出来的心脏电变化曲线，称体表心电图。

正常心电图的波形及生理意义

1. P波：心房去极化
2. QRS波群：心室去极化（波形大而复杂）
3. T波：心室复极化
4. U波：某些导联可见；目前认为与心室复极有关
5. PR间期：房室传导时间
心率快，PR间期短；传导阻滞，PR间期延长
6. QT间期：心室去极→复极的时间
心率快，QT间期缩短；心率慢，QT间期延长
7. ST段

}	正常：与基线平
	异常：偏离基线（心肌缺血、急性心肌梗死）



正常人体心电图