

# 第一章 心脏解剖和电生理

本章从心脏传导系统、激动的传导过程、心脏的电生理特性，简要地阐述心脏解剖和电生理的基本知识，旨在加强掌握心电学的基本理论和基本技能。惟此，通过心电学的实践来解释复杂多变的心电图的图形形态变化，达到按图索骥目的，以期收到事半功倍之效。

## 第一节 心脏传导系统

心脏传导系统包括窦房结、结间束、房室交接区、室内传导系统（希氏束、束支、分支、浦肯野纤维）（图 1-1）。

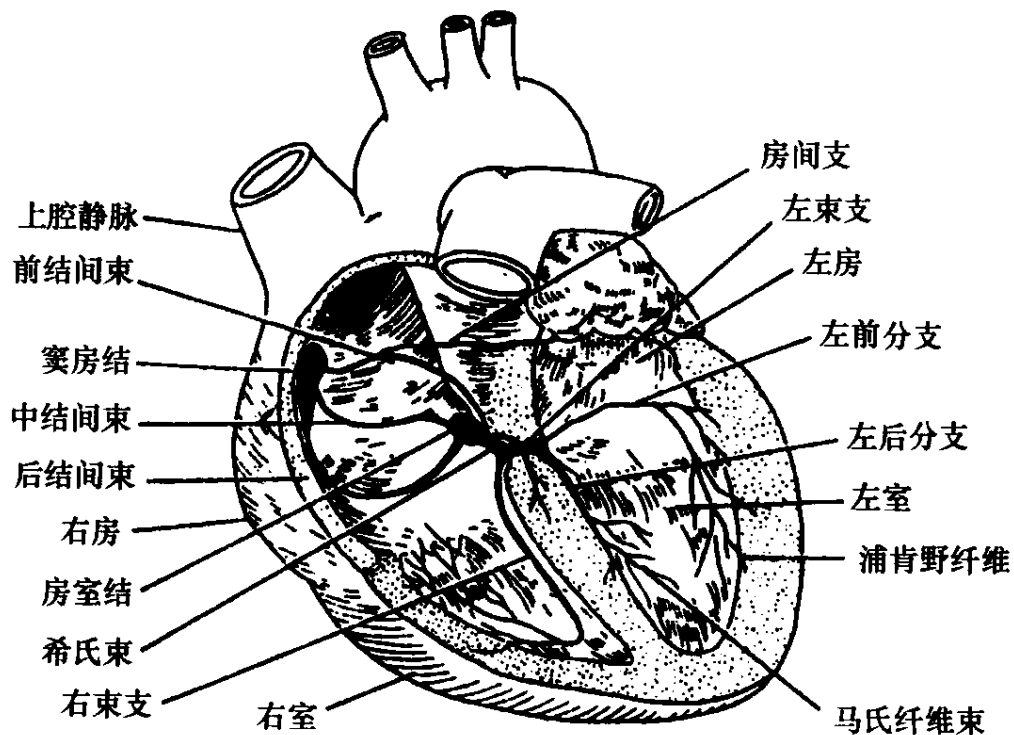


图 1-1 心脏传导系统

## 一、窦房结

人类窦房结是呈扁椭圆形结构，长 10~20 mm，宽 5 mm，厚 1.5~2 mm。位于上腔静脉和右房交界处界沟的长轴的外膜下约 1 mm 处，窦房结中央的窦房结动脉 55%~60% 为右冠状动脉和 40%~45% 为左冠状动脉回旋支的分支。

窦房结细胞包括 P 细胞、过渡细胞、工作心房肌细胞。

1. P 细胞：又称起搏细胞，是窦房结激动形成的所在。具有起搏功能，体积较小（5~10  $\mu\text{m}$ ），卵圆形。细胞核较大，胞质稀薄，含细胞器和肌原纤维少，线粒体分布不规则，形态、大小不一。窦房结内约 2000 个 P 细胞成簇集中于中央，少数分散于周边。相互间无横管系统存在，细胞间只有少数桥粒和狭窄连接，闰盘不发达，仅附着于其他 P 细胞或过渡细胞。

2. 过渡细胞：又称 T 细胞，位于 P 细胞和工作心房肌细胞之间。可能的作用是将 P 细胞产生的激动传播到心房肌细胞，并阻止异位心房激动的侵入。其形态细长，含较多的肌原纤维和线粒体。靠近 P 细胞的 T 细胞间为简单的细胞间连接，而心房肌细胞与 T 细胞间有发达的闰盘衔接。

3. 工作心房肌细胞：它如半岛状延伸入窦房结的边缘，位于窦房结和心房肌细胞的交界重叠带。工作心房肌细胞大多数突起于窦房结的表面，毗邻于尾嵴处。

## 二、结间束

在心房内即窦房结和房室结之间有 3 条重要传导束，称为结间束。

1. 前结间束：从窦房结前缘发生、沿心房前壁下行分为两束，一束到左房称为 Bachman 束或称房间支，它是一组大束，传递心脏冲动优先从右房至左房，此束受损可造成心房内传导阻滞；另一束沿房间隔下行到达房室结上部，称为降支，此束最短。

2. 中结间束：始于窦房结后上缘，行于上腔静脉后方，向

下进入房间隔后部，从卵圆窝的上方越过，沿房间隔下行达房室结的上缘。

3. 后结间束：始于窦房结后下缘，沿界嵴下行，经欧氏结穿越冠状窦口上方房间隔到达房室结的后下缘，此束最长。

### 三、房室交接区

房室交接区（房室结）系指心房肌纤维和希氏束之间的纤维复合体，根据组织学观察可分为过渡细胞带、致密部分、房室束（希氏束）的未分支部分等3种不同的特殊组织。

1. 过渡细胞带：位于房室结的后方，过渡细胞间相互集合，错综交织成迷路样结构，与致密部分相连接。这是房室结传导缓慢的解剖基础。James等发现一些纤维可以经后结间束延伸到房室结的远端或希氏束，故又称这些纤维为James束。

2. 致密部分：即房室结本身，来源于胚胎组织的房室圈后部细胞，位于房间隔右侧后下方，接近三尖瓣隔叶，紧邻冠状窦口的前方，心内膜下1 mm深处，长约5~8 mm，宽2~4 mm，厚0.5~2 mm。位于Koch三角内。

根据电生理特性，房室结被分成房结（AN）区、结（N）区和结希（NH）区。AN区相当于结后部位的过渡细胞组，具有传导性和潜在自律性。N区在光镜下见到的房室结，有传导性，目前认为有较强的自律性。NH区为结下部束支起始部前，位于房室结与希氏束之间，具有传导性和潜在自律性。约85%~90%的人房室结的血液供应来自房室和室间沟后交叉处的右冠状动脉的分支，其余来自左冠状动脉的回旋支。

3. 房室束（希氏束）：长约10~15 mm，宽约3 mm，与房室结致密部分远端相连，穿过中央纤维体，通过肌部室间隔，与主动脉瓣瓣环和三尖瓣瓣环相邻，称为房室束穿隔部，绕过膜部室间隔和肌部室间隔上缘，称为房室束隔后部，最后为分叉部上端。穿隔部的细胞类似房室结的致密部分，而远端则与束支细胞相似。冠状动脉前、后降支都有分支供应肌部室间隔的上方，因

此，这一部分的传导系统除非缺血范围很广，否则不会受很大的影响。

4. 房室交接区细胞构成：房室交接区至少由 4 种组织学不同的细胞构成，包括 P 细胞和 3 种类型的过渡细胞。

(1) P 细胞：约占房室交接区特殊传导细胞的 5%，聚集成簇。多位于房室结与希氏束交界处远端，且多与神经末梢相连。

(2) 过渡细胞：约占 95%。① I 型过渡细胞：长而纤细，宽约  $2\sim 5\ \mu\text{m}$ ，平行走向，主要位于致密部分的外缘，由经典的闰盘结构以旁对旁的方式连接。② II 型过渡细胞：较 I 型短而宽，以错综复杂的交织排列及多种不同的连接方式（端对端、旁对旁、端对旁及这些方式的组合）为其特征，似乎不是由闰盘或缝隙连接相连。③ III 型过渡细胞：数量最多，主要见于心房侧。III 型过渡细胞与 P 细胞相似，多为圆或卵圆状，宽约  $2.5\ \mu\text{m}$ ，长  $7\ \mu\text{m}$ ，由桥粒、融合膜和膜对合相连，无闰盘结构。全部位于房室交接区远端内。

#### 四、室内传导系统

室内传导系统包括左、右束支及其分支和浦肯野纤维等，束支始于肌部室间隔的上缘，紧贴膜部间隔下方。

1. 左束支：大部分来源于胚胎组织的室 - 球圈细胞，小部分来于胚胎组织的房室圈后部细胞。它发自房室束，短而粗，位于室间隔左侧心内膜下，分出 3 组分支：

(1) 左前分支：近左室流出道处下行入前乳头肌根部，由左冠状动脉前降支的前穿隔支供血。

(2) 左后分支：近左室流入道处向下后行，分布于室间隔后半部、后乳头肌和左室的后下壁。由右冠状动脉的后降支和左冠状动脉的回旋支供血。

(3) 间隔支：从前两分支的夹角处发出，或始于前两分支，或由前两分支出的网状分支交织复合而成。

2. 右束支：主要来源于胚胎组织的室 - 球圈细胞，起自房

室束穿隔部，下行于室间隔右侧，然后转向外下止于右室前乳头肌的基底部。并在其前上方分成前分支止于肺动脉口部；后分支分布于右室后壁、后乳头肌及间隔右后部；外分支止于右心室壁。此 3 组分支形成右室末梢纤维网。右束支细长，呈圆柱状，主要由左冠状动脉前降支的前穿支供血。

3. 浦肯野纤维：由束支分支的末端构成纵横交织的网状结构形成，分布于左、右心室的心内膜下和心室肌内，心室基底部和乳头肌顶部较少。浦肯野细胞覆盖两心室心内膜的大部分，细胞大而清晰，直径  $10\sim 30\ \mu\text{m}$ ，长  $20\sim 50\ \mu\text{m}$ ，含有线粒体和肌原纤维，较工作心室肌少，其肌质网基膜外面覆以一层厚的糖蛋白，表面呈负电荷，具有结合和交换钙离子的功能。细胞间主要通过发达的闰盘尾尾相连，少数边边连接。主要功能是传导心脏激动，速度达  $4000\ \text{mm/s}$ 。游离走行的浦肯野纤维又称假腱索，由顺序排列的浦肯野细胞构成 具有收缩功能。

## 第二节 激动在心脏的传导过程

### 一、心脏的激动

心脏本身可以产生传导电激动，维持心脏不停地跳动。

激动又称冲动，系指能引起可扩布的动作电位的兴奋，也指由心脏起搏点发出的可扩布性动作电位。可扩布性兴奋指细胞膜接受刺激产生动作电位并扩布到邻近细胞膜的过程，激动是心肌细胞应激性的重要标志，激动后可发生电活动和机械性收缩反应。即每个心动周期中先产生电活动，经  $40\sim 80$  毫秒后再出现机械性收缩活动，形成兴奋与收缩偶联（图 1-2）。

本书重点介绍心脏电活动，正常的心脏电活动可使心脏的节律、速率正常，即心律正常，这是实现心脏排血功能重要前提，否则电活动紊乱可引起心律失常和排血功能异常。

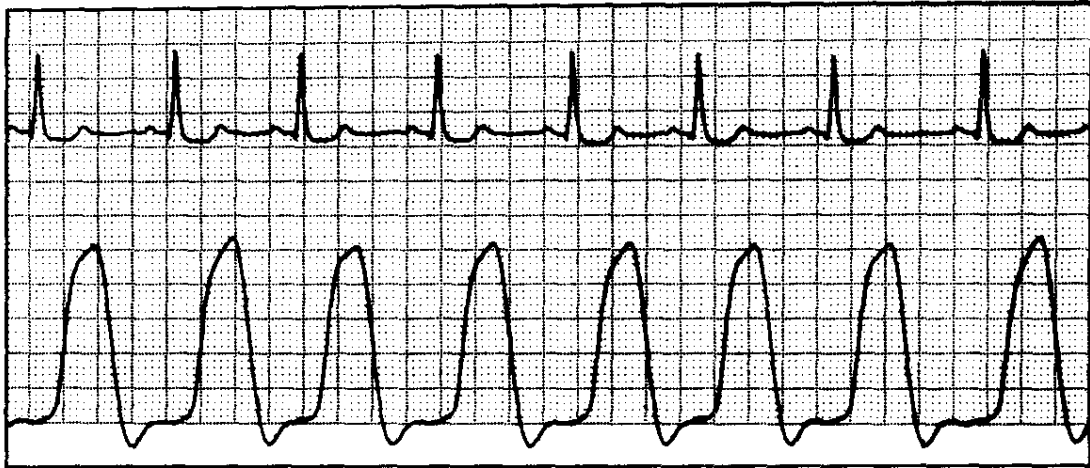


图 1-2 心脏的电活动与机械活动的时间关系

静态心电图上的 P 波及 QRS 波群分别反映了心房及心室的电激动过程，并相继引发心房与心室的机械性收缩活动。此图是卢喜烈在心导管检查室用心电生理记录仪记录 II 导联心电图（上图）和左室压力曲线（下图），可清楚反映出心室电激动 QRS 波群比左室机械性压力曲线约早 80 毫秒。

## 二、心脏激动的起源和传导顺序

1. 心脏激动的起源：正常心脏激动的起源主要来自窦房结，窦房结内的 P 细胞又称起搏细胞。其特点是动作电位（AP）的 4 相具有一定的坡度，能自发地、缓慢地进行舒张期自动除极，当达到阈电位（ $-40\text{ mV}$ ）时，便产生兴奋并发放激动，因而具有自律性。窦房结的自主神经的分布比房室结更为密集，故在正常时自主神经张力的变化控制和影响着窦房结内 P 细胞的活性，使窦房结内占优势的发放激动的部位可随交感神经和迷走神经张力的变动而转移。

2. 心脏内激动的正常传导：心脏各个部分都能传导激动，但其传导性和传导速度都有较大的差别。心脏传导系统的主要功能是自动产生激动和按一定径路传导激动，充分保证心脏的节律活动；激动的传导也包括心房肌和心室肌完成的传播和复极过程的推进，分别发生除极和复极而产生静态心电图（ECG）上的 P-Ta 波和 QRS-T 波，才宣告完成一个激动传导的结束。

正常情况下，窦房结发放的电激动，沿 3 条结间束直接传导到整个心房（从右房上部扩布到右房下部，再传播到左房），激动在心房内的传导时间约为 60~80 毫秒，心房激动产生 P 波。然后再传导到房室交接区以后速度减慢，约为 50~100 毫秒，又以结区最慢才能抵达希氏束，相当于心电图上 PR 段。窦性节律兴奋通过房室交接区时，出现传导速度减慢时，称为房室延搁，这一延搁有助于保证心室在心房收缩完毕之后开始收缩，对于房室能够顺序而协调地进行舒缩活动，以确保心脏泵血功能，具有重要生理意义。激动通过房室束沿心室内左、右束支及其分支传导至浦肯野纤维网传导速度加快，迅速引起心室激动顺序是从室间隔中、下部左面开始，继而心尖部除极，向心底部传播至左、右室的游离壁，从心内膜向心外膜面除极，最后是心室的底部和 / 或肺动脉圆锥部除极。整个左、右室的同步除极的方向是先向右、前、上方，转而向左、右、下方，最后又转向后上方，产生 QRS 波群。心室复极始于心外膜，向心内膜扩布，T 波方向与 QRS 波群的主波一致。心房开始除极至心室除极的时间为 120~200 毫秒，心房开始除极至心室除极结束的时间即 P-J 间期约为 260 毫秒，心室开始除极至心室复极完毕的时间即 Q-T 间期约为  $(400 \pm 40)$  毫秒。

在某些异常情况下，心脏正常起搏点的激动不能顺利地传导传布于全心脏，而在某一处发生停滞，称为传导阻滞，其中以房室交接区和左、右束支的传导阻滞最为常见。

3. 心脏的传导时间：激动的传导时间表示在心脏内传导过程的持续性和顺序性，具有单方向性特点。正常时，激动从窦房结发放经心房并使其传导的时间为 0.08~0.12 秒，激动从窦房结发放后经心房，房室交接区，房室束、左右束支及分支，浦肯野纤维直至心室肌所需要时间为 0.16~0.20 秒，其中包括激动在房室交接区内延搁约 0.05 秒，激动在心室内传导时间为 0.06~0.10 秒，整个心脏完成激动所需的全部时间为 0.25 秒。

激动在心脏传导系统和心肌中的传导速度，是以单位时间内

激动的传导速度来表示，单位是  $\text{mm/s}$ 。传导速度是衡量传导性的标志，若其发生改变，常是引起心律失常或 QRS 波群改变的原因。心脏传导系统不同部位及不同心肌的传导速度各不相同，正常人心脏各部分激动传导速度如图 1-3 所示。

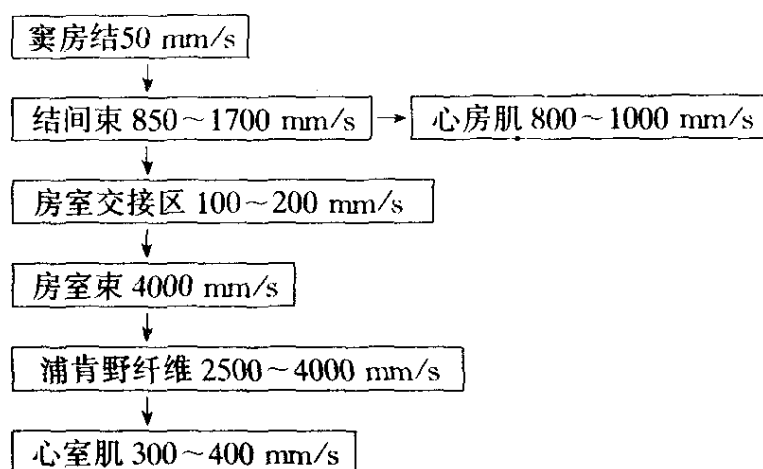


图 1-3 心脏内激动传导途径及传导速度

### 第三节 心肌的电生理特性

心肌细胞具有自律性、兴奋性、传导性和不应性，它们都是以心肌组织跨膜生物电活动为基础的电生理特性，心肌的收缩性是在跨膜动作电位的触发下产生收缩反应的特性，是以收缩蛋白之间的生物化学和生物物理反应为基础的，是一种机械特性。

#### 一、自律性

组织、细胞能够在没有外因作用下，自动地有节律性产生并发放激动，引发心脏收缩和舒张活动。其包括两层含义：自动性，其高低用单位时间内自律细胞能够自动发生节律兴奋次数（次/min），即自动发放的频率来衡量，它既受最大舒张电位与阈电位之间差距的影响，更取决于自律细胞 4 相自动除极（起搏除极）的速度；节律性，是指心跳的规整程度，把这种固有的自动性和节律性电生理特性，合称为自律性。

1. 自律性强度：心脏的传导系统中的各种自律细胞都具有

自律性，但有其等级差别的，其中窦房结的起搏细胞自律性最高，次之为心房、房室交接区，房室束及其束支，而心室中的浦肯野纤维自律性最低（表 1-1）。

表 1-1 心肌起搏自律性强度

	激动复发频率 (次/min)	起搏点分级	稳定性
窦房结	60~100	一级	稳定
心房	50~60	二级	相对稳定
房室交接区	40~60	三级	较稳定
心室	20~40	四级	不稳定

2. 各起搏点间的相互关系：在正常情况下，窦房结的自律性最高，由此发放激动，控制着心脏协调一致活动，其他起搏点被抑制，因此把窦房结称为最高起搏点、基本起搏、主导起搏点、一级起搏点、正常起搏点，由窦房结发放激动和传导的心律，称为窦性心律。窦性心律是指窦性节律，窦性心率是指窦性速率。只要窦性 P 波有规律地发生，其心率快慢或不齐称为窦性心动过速，窦性心动过缓或窦性心律不齐；如在一系列窦性 P 波中合并异位搏动或传导阻滞，其心律仍应判为窦性心律。如果窦房结发生器质性病变或功能性改变，不能发放出激动或传导，则由潜在起搏点、次级起搏点、备用起搏点、异位起搏点自动产生激动引起部分和整个心脏活动，以继续维持心脏活动，若由于窦房结的自律性降低，激动产生过缓或激动虽及时发生但因传导阻滞而无法传导，房室交接区或更低部位的潜在起搏点便取而代之发放激动以维持心脏继续跳动，从而形成被动性异位心律，即逸搏或逸搏心律，若窦房结以外的潜在起搏点自律性异常增高，便可取代窦性心律形成主动性心律，即各种期前收缩或心动过速。

3. 影响自律性的因素：4 相上升速度加快，到达阈电位时间缩短，导致起搏激动的频率增快，自律性增高，心动周期变短，心率增快，反之亦然。阈电位水平下降（即膜电位负值增大），4

相自动除极速度加快，到达阈电位的所需时间减少，兴奋频率增快，自律性增高，心率增快；反之心率减慢。最大舒张期电位升高（即膜电压负值变小），到达阈电位时间缩短，自动除极所需时间减少，兴奋频率增加，自律性增高，心率加快，反之心率减慢。

## 二、兴奋性

心肌细胞受到刺激时，能够发生除极和动作电位的特性，称为兴奋性。

心肌细胞受到刺激产生兴奋反应，细胞膜电位发生变化，在这一系列变化过程中，细胞兴奋性也发生周期性变化，快反应细胞是电压依从性，慢反应细胞是时间依从性。当有效不应期延长时，兴奋周期延长，期前收缩刺激不易引起期前兴奋，折返环容易因不应期延长而被阻断；反之，有效不应期偏短，易出现期前兴奋，形成折返导致心律失常。总之，无论兴奋性升高、降低或丧失，都能造成兴奋性异常所致的心律失常。

心肌细胞兴奋周期与动作电位、心电图的关系如图 1-4 所示。

## 三、传导性

在反应期间，心肌细胞上任何一处兴奋后，其兴奋过程都以动作电位的形式由该处沿细胞膜向外扩布，直至整个心肌细胞，这一传导特性称为传导性。

心脏各部分的传导能力，均不相同，详见表 1-1。

传导性异常导致的心律失常，如意外传导、递减传导、传导阻滞、折返现象等。

## 四、不应期

传导组织和心肌在兴奋之后的一段时间内，不再对连续而来的任何刺激产生兴奋反应或者反应能力下降，这段时间称为不应

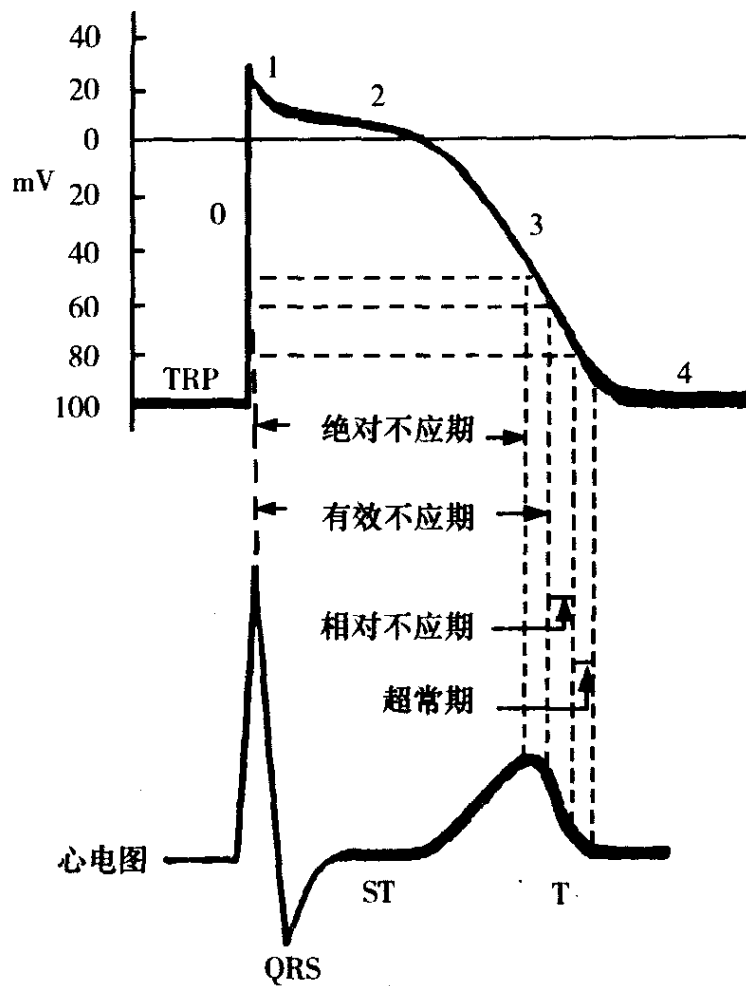


图 1-4 心肌细胞兴奋周期与动作电位、心电图的关系

上图：心室肌细胞动作电位；下图：与上图相对应的心电图。 TRP

为静息电位

期。不应期的存在可避免心肌强直收缩，以防血液循环中断，且可使心脏得到适当休息，以免过度疲劳，起到一种保护心脏的作用。

1. 绝对不应期：从动作电位 0 相到复极  $-55\text{ mV}$  左右的一段时间，相当于心电图 QRS 波群起点至 T 波顶点，快、慢通道均处于失活状态，此时不论用多大刺激，也不能引起心肌细胞兴奋，称为绝对不应期。此期相当于心脏收缩期。绝对不应期异常延长，可造成二度以上房室传导阻滞。

2. 有效不应期：从动作电位 0 相到复极后  $-60\text{ mV}$  时，强烈刺激可产生局部兴奋，但不能形成动作电位及扩布性兴奋，把 0

相到复极后  $-60\text{ mV}$  左右的间期称为有效不应期。

3. 相对不应期：从动作电位  $-60\text{ mV}$  到  $-80\text{ mV}$  此期细胞受到刺激能兴奋，但传导缓慢，称为相对不应期，相当于心电图 T 波顶峰至 U 波结束的一段时间。此期易发生差异传导与 3 相阻滞等心律失常。

4. 易颤期：在心房与心室兴奋后的特定时间内，给予强刺激可诱发心房颤动或心室颤动。心房易颤期位于 QRS 波群降支到 ST 段开始后 20 毫秒，病理情况下可延长至 T 波，此期发生的房性期前收缩易诱发心房颤动；心室易颤期位于 T 波升支顶点前 30 毫秒，此期发生的室性期前收缩有诱发心室颤动的危险性（图 1-5）。

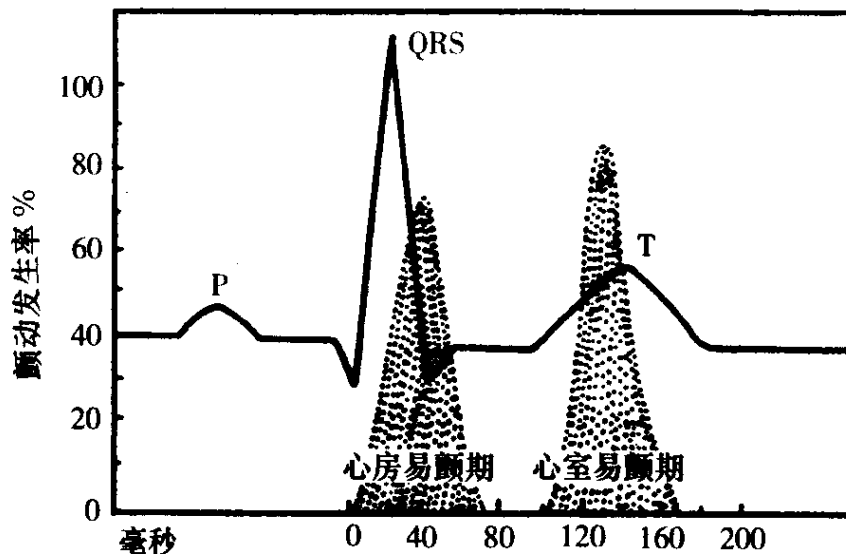


图 1-5 心房、心室易颤期

有关心肌细胞的跨膜电位及其离子机制、心电场的产生和传播、心电图的形成等，可参见《临床心电信息学》等专著，在此不再赘述。

〔张开滋 曲晓燕 韩泽蓉 刘晓媛 王红宇 张秀芝〕

## 第二章 心电监测总论

本章简要介绍监测心电图概念，重点阐述监测特点、监测仪器以及监测心电图的分类、监测心电图的导联系统和测量方法，使广大医务人员有一个深入了解过程，为进一步学好、用好监测心电图掌握好基本知识。

### 第一节 概述

#### 一、监测心电图的概念

1. 监测的含义：监测的英文（monitor）含义，从名词角度讲是“警告”、“指令”；从动词角度讲是为了特殊目的给予的特殊“守护”、“护理”、“检查”之意。

2. 监测心电图的定义：监测心电图（monitoring electrocardiogram, MECG）又称监护心电图，是在静态心电图的基础上拓宽和发展起来的检测心电信息学技术，指利用心电监测仪器对患者的心电信息活动进行长时间和（或）远距离监测，通过计算机分析处理后直接显示或打印出心电波形及数据，为临床诊断疾病提供依据。

3. 发展简史：很久以前人们就知道对患者进行监测的价值，但直到20世纪初以前，临床医师仍仅能凭自己五官的感觉对患者进行人工监测。1950年有人在手术室首次应用心电示波器监测手术患者，这种雏形心电监测仪所起到的独特监护作用引起了学者们的青睐和重视，启迪了人们应用电子技术进行自动监测患者的设想。

1962年Day首创冠心病监护病房（CCU）应用床边心电图持

续监测急性心肌梗死（AMI）患者，及时发现与处理恶性心律失常，使他所在医院该年度 AMI 住院患者死亡率从 39% 降至 19%。CCU 因此迅速得到认同，在世界各地纷纷建立。在此基础相继建成重症监护病房（ICU），除综合 ICU 外，又建立了分科 ICU，如新生儿 ICU、呼吸 ICU、神经 ICU、烧伤 ICU、生命救护站流动的或固定的 ICU 等。

## 第二节 监测心电图的监测方法

### 一、监测特点

1. 长时间性：床边心电图监测不需要患者主动协助，心电信号采集方法很简单，全部操作过程均无创伤性。因此，可以根据临床需要持续任意长的时间监测各种重危患者的全部心电信息变化情况。这一点与静态 ECG 检查不同，后者只能检查很短时间内（通常只有 10 秒至 2 分钟）的心电信息变化。

2. 实时性：接受床边心电图监测的患者都相对固定于一定的监测场所（CCU/ICU），并有专业人员动态观察、分析、诊断和处理患者随时间变化而出现的各种心电变化。一旦患者发生心律失常或出现急性心律失常先兆，监测人员可以及时发现和诊断，并迅速采取各种有效治疗措施。

3. 可干预性：床边心电图监测能够实时显示整个监测过程中发生的任何心律失常，监测人员可以根据具体情况及时采取各种干预措施，真正做到及时发现、早期诊断和及时治疗。

4. 自动性：目前很多现代化的监护系统都带有功能强大的自动检测、识别、诊断和报警功能，能实现对各种恶性心律失常的自动监测记录和警示。

5. 适应性：由床边心电图监测的无创性以及导联系统简单可靠，监测过程中也不影响各种常规和急救诊疗措施的实施，因此可应用于各种重危患者。

## 二、监测仪器

1. 床边心电监测仪：设置在患者床边，通过导联直接从人体引入心电信号，可以独立地进行病情监测，显示心电波形，必要时可进行报警并自动记录。有的床边监测仪还配有除颤器、起搏器等心脏复苏设备，结构简单，心电信号不易受干扰。常配备在抢救室、手术室、CCU/ICU病房。(图 2-1)

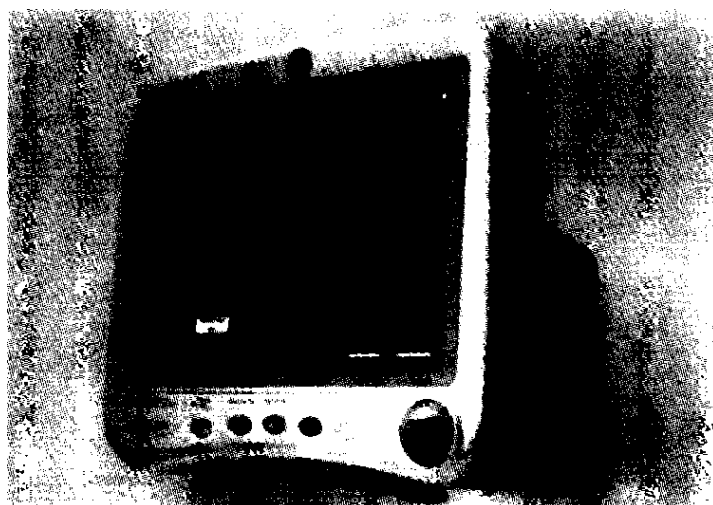
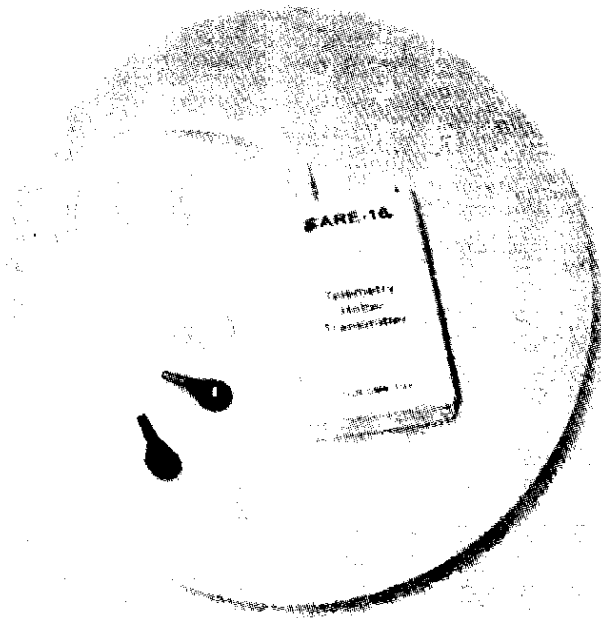


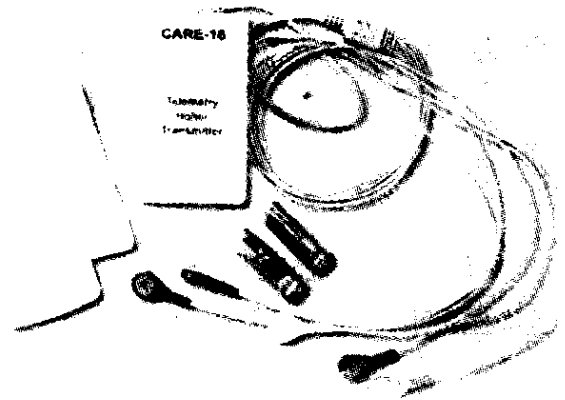
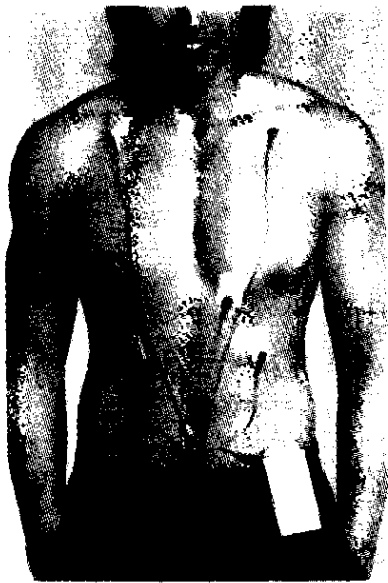
图 2-1 Dash 4000 监护仪

具有 12 导联心电监测，心律失常分析，ST 段分析，心排血量分析，可连接医院信息管理系统

2. 无线遥测心电监测仪：通过患者随身佩戴的心电信号发射器，将获取患者的心电信号输至发射器内，后者以无线的方式将心电信息发射至遥测心电监测仪中接收器内，将接收到心电信号再输入放大器、显示器，进行心电示波显示，并打印出无线电监测心电图。因遥测半径在 100~300 m 内，因不用导线与心电监测仪相连，患者可在遥测范围内活动，即能得到有效监测，现代仪器的抗干扰性能强，可得到满意的心电波形。发射盒具有精巧玲珑、佩戴舒适、波形保真、活动方便等特点。(图 2-2)



A. 模拟发射盒



B. 全数字化双导联发射盒

图 2-2 无线遥测监测仪的发射盒  
(左图为电极的安放及发射盒的佩戴)

多参数实时遥测监测如图 2-3 所示。

3. 中央心电监测系统：现代 CCU/ICU 内通常配备中央监测系统，由一台中央监测仪和 4~8 台床边监测仪组成，床边监测仪的心电信息通过电缆与交换器输入到中央监测台，中央监测台有 4~16 个显示通道，可同时显示和记录多个患者心电，并具有报警功能，并配有血压、呼吸、体温及其他生命体征的监测功

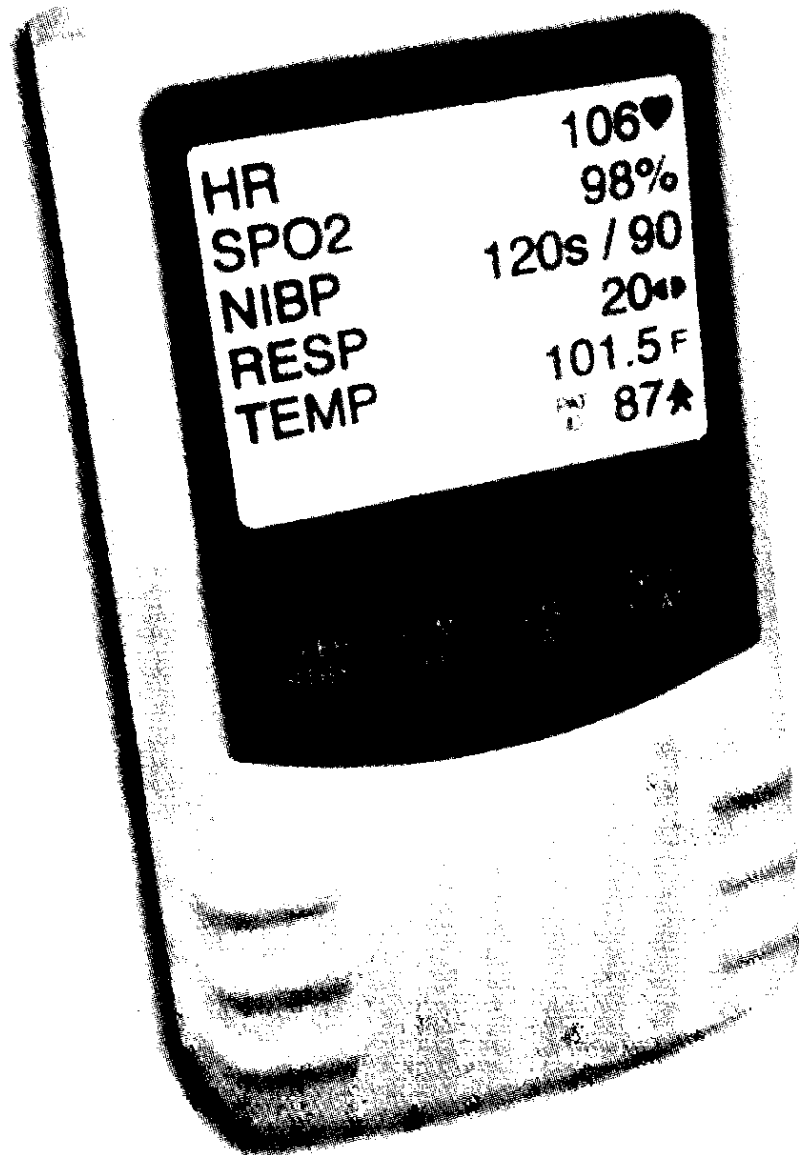


图 2-3 多参数实时遥测监测

可同时遥测监护心电、无创血压、血氧饱和度、体温、呼吸、脉搏等参数，各参数清晰显示于中央站和记录盒上能，而成为多功能监测系统。（图 2-4、2-5）