

心电图讲义



心电图讲义

邢 华 雄 主 编

中国人民解放军空军总医院

说 明

本书是在原来编写的《心电图讲义》基础上加以补充修改，增加了一些近年来的心电图新进展编写而成。本书本着简明扼要、实用易懂的原则编写，适合初学者阅读，也可作为医学院校的教材使用。（字数：300,000）

参加本书编写、绘图和选集资料的有薛长海、唐大为等同志。本书在编写过程中，承蒙解放军总医院杨兴生副主任给予指导和修改，在此表示衷心的感谢。

由于写作水平不高，本书中一定有不少错误和缺点，敬请读者们批评指正。

空军总医院

1982年2月

目 录

第一章 心电图的基本概念	1
心电图的组成	1
心肌细胞的极化状态	2
心肌细胞的除极与复极	3
容积导电	5
第二章 心电向量	9
心电向量的概念	9
空间心电向量环	10
平面心电向量图	10
心电向量的形成	12
心电向量图的记录与分析	15
正常心电向量图	17
第三章 心电图的导联	20
导联的方法与种类	20
标准导联与爱氏定律	22
单极导联与威尔逊(Wilson)氏中心电站	22
导联轴和心电轴	25
第四章 心电向量图与心电图的关系	29
平面心电向量环在各导联轴上的投影	29
演构心电向量图	31
心脏转位对心电向量、心电图的影响	31
单极概念的局限性	33
第五章 正常心电图	35
心电图的测量方法	35
心电波形的描述	36
正常心电图范围	38
第六章 心脏肥大	42
左心房肥大(二尖瓣型 P 波)	42
右心房肥大(肺型 P 波)	43
双侧心房肥大	45
左心室肥大	45
右心室肥大	50
双侧心室肥大	55

第七章 心肌梗塞	57
心肌梗塞的心电图改变	57
一、急性心肌梗塞	57
二、陈旧性心肌梗塞	57
心肌梗塞的心电图改变原理	57
一、心肌梗塞的动物试验基础	57
二、心肌梗塞的电病理基础	60
三、心肌梗塞的向量观念与心电图的关系	63
心肌梗塞的心电图演变规律与分期	64
一、心肌梗塞的心电图演变规律	64
二、心肌梗塞的心电图分期	65
心肌梗塞的定位诊断	66
一、前壁心肌梗塞	66
二、下壁心肌梗塞	74
三、侧壁心肌梗塞	76
四、正后壁心肌梗塞	78
五、心尖部心肌梗塞	80
六、心内膜下心肌梗塞	82
心肌梗塞合并症的诊断	84
一、心肌梗塞合并右束支传导阻滞	84
二、心肌梗塞合并左束支传导阻滞	84
三、心肌梗塞合并梗塞性阻滞	85
四、心肌梗塞合并预激症候群	89
五、心肌梗塞合并心律失常	89
第八章 冠状动脉供血不足	91
冠状动脉供血不足的心电图表现	91
一、慢性冠状动脉供血不足	91
二、急性冠状动脉供血不足	93
三、冠状动脉中间症候群	96
冠状动脉供血不足的心电图改变原理	96
非特异性 ST-T 改变	97
T 波异常的心外原因	99
第九章 常见心脏疾患的心电图表现	101
心包炎	101
一、急性心包炎	101
二、慢性心包炎(缩窄性心包炎)	101
心肌疾病	103
一、心肌炎	103
二、心肌病	103
(1) 原发性肥厚性主动脉瓣狭窄	104
(2) 克山病	105

肺源性心脏病	106
一、急性肺源性心脏病	106
二、慢性肺源性心脏病	107
风湿性瓣膜病	108
一、二尖瓣狭窄	108
二、二尖瓣关闭不全	109
三、主动脉瓣病变	110
先天性心脏病	111
一、房间隔缺损	112
二、室间隔缺损	113
三、单纯肺动脉瓣狭窄	114
四、动脉导管未闭	115
五、法乐氏四联征	116
六、右位心	117
第十章 药物影响及电解质紊乱的心电图改变	119
药物影响的心电图改变	119
一、洋地黄类药物	119
二、奎尼丁	121
三、吐根硷	121
四、普鲁卡因酰胺	122
五、锑制剂	122
六、阿托品	122
电解质紊乱的心电图改变	122
一、低血钾	122
二、血钾过高	124
三、血钙过低	125
四、血钙过高	125
五、血镁过低	126
六、血镁过高	127
七、血钠浓度的改变	127
第十一章 心律失常总论	128
心律失常的解剖学基础	128
一、窦房结	129
二、房室结	129
三、房室束(希氏束)	129
四、浦肯野氏纤维	130
五、结间束	130
六、心脏的激动传导	130
心律失常的电生理基础	131
一、心肌的生物电现象	131
1. 心肌细胞的跨膜电位	131
2. 各种类型心肌细胞膜电位的特点	132

二、心肌的电生理特性·····	133
1. 自律性·····	133
2. 兴奋性(应激性)·····	134
3. 传导性·····	135
心律失常的概念·····	137
心律失常的分类·····	138
一、以病理生理为基础的分类方法·····	138
二、以解剖部位为基础的分类方法·····	138
心律失常的主要发生机制·····	139
第十二章 窦性心律失常 ·····	141
正常窦性心律·····	141
窦性心动过速·····	141
窦性心动过缓·····	142
窦性心律不齐·····	142
窦性停搏·····	145
窦性早搏·····	145
窦房结内游走节律·····	145
病窦综合征·····	146
第十三章 房性心律失常 ·····	148
主动性房性节律·····	148
一、房性早期收缩·····	148
二、房性阵发性心动过速·····	148
三、多源性房性心动过速(紊乱性心房律)·····	150
四、心房扑动·····	152
五、心房纤颤·····	152
六、左心房心律·····	154
七、心房分离·····	155
被动性房性节律·····	157
一、房性逸搏·····	157
二、逸搏性房性心律·····	157
第十四章 房室结性心律失常 ·····	159
主动性房室结性节律·····	159
一、结性早期收缩·····	159
二、结性阵发性心动过速·····	160
被动性房室结性节律·····	161
一、结性逸搏·····	161
二、逸搏性结性心律·····	161
三、冠状窦性心律·····	163
四、从窦房结到房室结的游走心律·····	163
第十五章 室性心律失常 ·····	166
主动性室性节律·····	166

一、室性早期收缩	166
二、室性阵发性心动过速	169
三、心室扑动	171
四、心室纤颤	171
五、紊乱性心室律	171
被动性室性节律	173
一、室性逸搏	173
二、室性逸搏性心律	173
三、死亡前的心电图改变	175
第十六章 心脏传导阻滞	176
窦房传导阻滞	176
房内传导阻滞	176
房室传导阻滞	180
一、第一度房室传导阻滞	180
二、第二度房室传导阻滞	180
三、第三度房室传导阻滞	182
室内传导阻滞	182
一、右束支传导阻滞	185
二、左束支传导阻滞	190
三、左束支分支传导阻滞	192
四、双侧束支及三束支传导阻滞	194
五、间歇性束支传导阻滞	197
六、不定型室内传导阻滞	197
第十七章 心律失常中的一些基本现象	199
文氏现象	199
一、房室传导阻滞文氏现象	199
二、窦房传导阻滞文氏现象	199
三、心房激动外出阻滞文氏现象	199
四、结区激动外出阻滞文氏现象	199
五、室内激动外出阻滞文氏现象	202
六、束支传导阻滞文氏现象	202
隐匿性传导	205
超常传导	208
韦登斯基现象	210
单向阻滞	210
干扰与脱节	212
一、干 扰	213
1. 窦房干扰	213
2. 房内干扰(房性融合波)	213
3. 房室干扰	213
4. 室内干扰(室性融合波和室内差异性传导)	217
二、脱节(干扰性房室脱节)	220

折返节律	222
一、房性折返节律	222
二、结性折返节律	224
三、室性折返节律	226
并行节律	229
一、房性并行心律	230
二、结性并行心律	230
三、室性并行心律	230
第十八章 预激症候群	234
预激症候群的心电图诊断	234
一、典型预激症候群	234
二、James 束型预激症候群	235
三、Mahim 型预激症候群	237
预激症候群的发生原理	237
一、预激症候群的解剖基础	237
二、预激症候群的波形形成	237
三、典型预激症候群心电图分型的向量观念	238
预激症候群与室上性心动过速	240
预激症候群与合并症的诊断	241
一、预激症候群合并心肌梗塞	241
二、预激症候群合并束支传导阻滞	241
第十九章 小儿心电图	242
小儿心电图正常范围	243
小儿心室肥厚心电图诊断标准	246
第二十章 心电图的分析和诊断	250
心电图的分析	250
心电图的诊断	250
心电图室工作常规	251
心电图资料分类	253
第二十一章 心电图机的应用和维修	255
心电图机的组成	255
心电图机的种类	260
心电图机的校验	260
心电图机导联线错接所致的误差	263
心电图机的维护与检修	264
导联线标记符号和导电膏配制法	267
心电图机蓄电池的应用	267
第二十二章 各种心电图试验和其它心电图检查技术	271
心电图双倍量二阶梯运动试验	271
活动平板运动试验	272

无线电遥测心电图	274
脚踏车功量计运动试验	274
“CASE”活动平板运动试验	274
“HOLTER”心电监护	278
心电图葡萄糖耐量试验	278
心电图饱餐试验	279
心电图心得安试验	279
心电图阿托品试验	280
心电图氯化钾试验	280
压迫颈动脉窦心电图试验	280
心导管检查术中的心电图监护	281
心脏手术心电图监护	282
安装人工心脏起搏器心电图监视	283
高频宽带心电图	286
头胸导联心电图	287
体表心脏等电位图	290
希氏束电图	292
第二十三章 常用心电图技术中的英语词汇	296
第二十四章 心电图正常值和各种心电图试验用表	302
表 1 各波电压的正常值	302
表 2 P-R 间期的正常最高值	303
表 3 Q-T 间期的正常最高值	303
表 4 平均心电轴测量换算表	304
表 5 自 R-R 间期推算心率表	305
表 6 Master 氏二阶梯运动试验运动量表	306
表 7 极限量和次极限量的标准心率表	307

第一章 心电图的基本概念

心脏机械性收缩之前，心肌先产生电激动。这种电流能通过组织和体液传导至体表，在身体不同部位的表面形成电位差，将这种变动着的电位差用心电图机记录下来即为心电图 (Electrocardiograph 简称 E . C . G)。

心电图的组成

心脏是由两种不同的心肌组成，即能产生和传导冲动的特殊传导组织和具有机械性收缩机能的普通心肌组织。窦房结位于右心房上腔静脉入口处，是心脏激动的最高起搏点，它能自动地、有节律地发出一定频率的激动，通过传导系统传至普通心肌组织，引起心肌的机械性收缩反应，即心房与心室的收缩与舒张活动。心脏机械性收缩前，心肌首先发生电激动，电激动开始后心肌即开始收缩，电激动一完成心肌即开始舒张。先有电激动，才引起心房和心室的收缩，两者之间相差约 0.07 秒。根据电生理学原理，心肌电激动的过程，即是心肌细胞进行除极和复极的过程。心脏收缩前的电激动称为“除极”，心脏舒张前的电激动称为“复极”，心脏每跳动一次，就是心房与心室进行了一次除极和复极。

来自窦房结的激动，首先传导至心房，心房受激时产生的除极电位名为 P 波。在右心房除极开始后 0.04~0.06 秒，激动便由窦房结经结间束到达房室结。然后，激动通过房室结、房室束(希氏束)，传至心室，使心室受激，心室受激时产生的除极电位名为 QRS 波群。心房和心室受激后(除极完成后)，随即进行复极，在复极过程中，心房先复极，心室后复极。心房在复极过程中产生的电位极其微小，在心电图上难以观察到，心室在复极过程中产生的电位名为 T 波。因此，心电图是由 P 波、QRS 波群、T 波及各波之间的间期所组成，每一个心动周期在心电图上均出现这样相应的一组波形(图 1-1)。

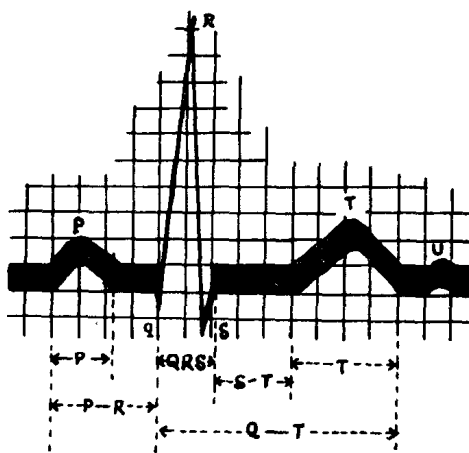


图 1-1 典型心电图

一组典型的心电图波形包括：

P波：反映心房肌除极过程的电位变化。

P-R 间期：代表从心房肌开始除极到心室肌开始除极的时限。

QRS 波群：反映心室肌除极过程的电位变化。典型的 QRS 波群是指三个紧密相连的波：第一个向下的波为 Q 波，继 Q 波后的一个向上的高波为 R 波，继 R 波后向下的波为 S 波。“QRS 波群”是广义的代表心室肌的除极波，并不一定是每一个 QRS 波群都具有 Q、R、S 三个波。

S-T 段：是继 QRS 波群以后，T 波以前的一段平线。代表左、右心室全部除极完毕到复极开始以前的一段时间。

T 波：代表心室肌复极过程所引起的电位变化。

Q-T 间期：代表整个心室肌自开始除极至复极完毕的总时间。

U 波：在 T 波后面有时可以看到一个矮小波，称为 U 波。对 U 波的发生机理已经发展了许多学说，包括：

(1) U 波可能代表心肌的激后电位。

(2) U 波可能表示浦氏纤维组织以及可能整个传导系统的动作电位，时限较长。

(3) U 波可能相当于乳头肌的复极。这似乎是目前最可信的解释。因为乳头肌由于其结构和功能的原因而复极延迟，即在主要心肌快复极之后乳头肌才复极。

心肌细胞的极化状态

生物电现象是一种普通的生理现象，为兴奋的重要标志，也是活组织的基本特征之一。活体内的生物电来源主要为离子浓度差，离子浓度不对称，使荷电离子产生转移，形成电流。静止的神经或肌肉纤维细胞的表面存在有特殊的临界层——薄膜，这种膜具有选择性通透的特性，即对钾、氯等离子容易通透，对钠离子则不容易通透，结果形成膜内外电解质分布不一致。研究证实在细胞外的介质中（血液、淋巴）含有许多氯化钠，在细胞内则氯化钠极少（细胞外钠的浓度约为细胞内的 36 倍）；反之，细胞内则有大量的钾，而细胞外介质中钾极少（细胞内钾的浓度约为细胞外的 38 倍）。细胞膜本身是由荷阴性电位的脂质——糖——蛋白综合分子所组成。为了保持其化学梯度的平衡，钾离子从高浓度的膜内不断向低浓度的膜外扩散。当钾外渗时氯也随之外出，但由于细胞膜本身带有负电性，在一定程度上阻碍氯的外出，这样就使得较多的钾离子渗出到膜外，许多氯离子却被阻拦在膜内，结果造成细胞膜内外分别附着一层极性不同的钾、氯离子。膜内外两边的正负离子互相吸引着（静电力作用），这种膜外面呈正电位、膜内呈负电位的状态，称为“极化状态”。膜内电位约为 -90mv （图 1-2）。膜内负电位的大小是和静息时钾外渗的多少有密切关系，钾外渗越多，留在膜内游离的阴离子就越多，因而膜内负电位也越大。显然，若钾不停地从膜内向膜外扩散，膜内的钾必然逐渐减少，直到膜内外钾的浓度相同为止。但是，事实上膜内钾的浓度总比膜外高数十倍，膜内外钾的浓度比是很稳定的。这是由于静息电位达到一定数值时，膜外的正电位就阻止膜内的钾继续向膜外扩散，使膜内外的钾扩散速度达到动态平衡；同时膜内带负电的阴离子吸引着膜内带正电的钾离子，使膜内钾逐渐不能向膜外扩散，故维持一恒定的浓度比，使膜内负电位维持在约 -90mv 水平，这种电位称为“静息电位”或“渗透电位”。由于细胞膜是介于正、负电位之间，因此膜本身是被极化了的，膜本身的极化具有一定绝缘（隔电）性

能，而有利于“静息电位”的维持。在静息时，透入细胞内的钠极少，故钠对静息膜电位的发生并无重要影响。

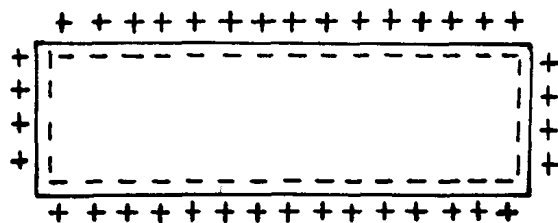


图 1-2 心肌细胞极化状态的膜电位

上述离子转移的形式，主要取决于胞膜的通透性和细胞膜内、外两侧离子化学浓度的差别与静电力的大小，属于被动性离子转移。为了保持细胞内外环境的恒定，不使细胞丢失过多的钾离子和进入过多的钠离子，细胞本身具有一种主动转移的功能，称为钾-钠交换泵。通过钾——钠交换泵的作用，可以把钠离子从细胞内攒出，同时把钾离子带进细胞内，而不受离子化学浓度差的因素所干扰，甚至可以逆着化学梯度差进行离子的转移，这种主动性的离子转移需要一定能量(来自心肌代谢过程)的供应，即 A.T.P (三磷酸腺苷)。目前认为细胞膜上存在有和钾、钠起作用的 ATP 酶，此酶横跨细胞膜，与细胞外的钾作用后，钾即被带入膜内，与此同时 ATP 酶又被细胞内的钠所活化，将钠送出膜外。钾——钠泵所需的能量即来自 ATP 酶的作用，它使 ATP 水解成 ADP(二磷酸腺苷)和无机磷酸，同时释放出所需能量。

钾——钠泵和离子扩散是同时存在于细胞膜的两种不同的离子转运过程。离子扩散称为被动转运，进行得相当缓慢。但是，动作电位的发生仅在几毫秒之内，故认为发生动作电位时，钾、钠离子进出膜过程不单纯是被动的扩散作用，而是在某种载体参与下进行的，因此上述被动转运也是相对而言的。

钾和氯不断地从膜内向膜外渗透，细胞膜又不断地“主动”向膜内转移钾和氯，这种过程在有机生命中永远不停地进行着，使膜内外钾和氯的浓度不变(浓度稳定)，从而保证了恒定的渗透压，同时也就是保证了膜电位(静息电位)的永远存在。

心肌细胞的除极与复极

当细胞膜某处受到激动时，该处膜的绝缘性受到破坏，使细胞膜的通透性发生改变，胞膜对钠的通透性突然增高，而对钾的通透性则降低。在细胞受到激动的瞬间，大量的钠离子由高浓度的细胞外进入到低浓度的细胞内，使细胞内由原有的 -90mv ，立即反跃成 $+20$ — $+30\text{mv}$ ，细胞静止状态时的那种“极化状态”被消除了，这个过程称为“除极”，除极时细胞内由负电位转变为正电位称为“极化逆转”。激动后，由于新陈代谢，细胞膜依靠了钾——钠泵的作用，重新调整了对钾、钠的通透性，使胞膜对钠的通透性迅速降低，同时对钾的渗透性升高，这时钠离子主动外排，钾离子同时很快外逸，于是又恢复静止时的“极化状态”，这个过程称为“复极”。

心肌细胞在除极和复极过程中产生的电位变化称为“动作电位”。

1. 细胞在除极与复极过程中细胞内的电位变化：把微电极的一端刺入单一心肌细胞内

并和电流计的正极相连，将电流计的负极放在细胞外液中并与地相接，使细胞外液的电位为零，这时所测的膜内外之间的电位差改变称为“跨膜动作电位”(图 1-3A)，心室肌细胞在静止时膜内电位约为 -90mv 。当细胞受到激动时，细胞外的钠离子大量进入细胞内，细胞内电位从 -90mv 突然升高至 $+20\sim+30\text{mv}$ (0 位相)，相当于心室肌除极产生的 R 波升支；随后钠渗入停止，并从细胞内向细胞外排出，进入恢复期，逐渐恢复到原来的静止电位。整个复极过程分为三期：(1)迅速恢复期(1 位相)，相当于心室除极的 R 波下降支；(2)缓慢恢复期(2 位相)，相当于心电图的 ST 段；(3)晚期恢复期(3 位相)，相当于心室复极产生的 T 波，然后进入静止期(4 位相)，相当于心电图的 TQ 段。从 0 位相开始到 4 位相开始的时间，称为跨膜动作电位的时限，相当于心电图的 Q-T 间期(图 1-3B)。

2. 细胞在除极与复极过程中细胞膜外的电位变化：将电流计的正负两个电极放在细胞表面两点时，测得的为膜表面两点之间的电位差变化。我们所记录下来心电图，相当于从许多许多的心肌细胞表面上记录下来的综合电位差变化。

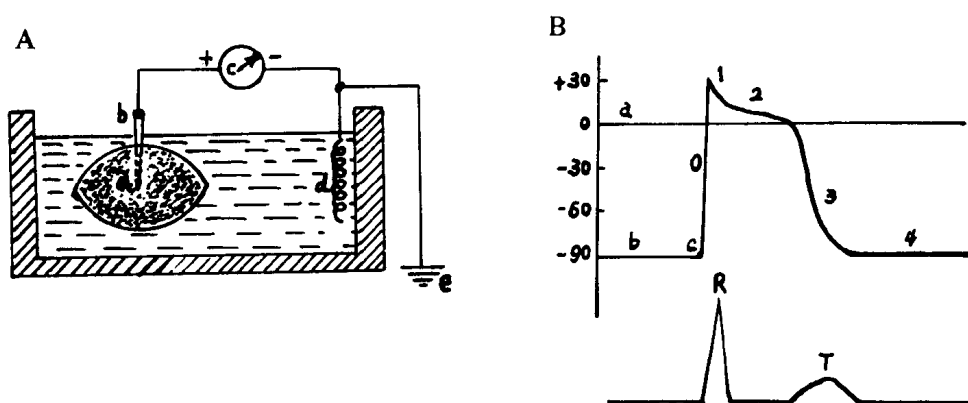


图 1-3 心肌细胞的跨膜动作电位

- A 测定心肌细胞内外电位差(跨膜电位)示意图
a. 心肌细胞 b. 细胞内微电极 c. 电位计 d. 细胞外液电极 e. 接地
- B 跨膜动作电位曲线(上)与单极心电图(下)的关系
a. 零电位线 b. 静息膜电位 c. 动作电位的开始

细胞在静止时处于极化状态，膜表面均为正电位，无电位差存在，因此没有电流产生。当细胞膜某处受到刺激时，该处膜的绝缘性能便受到破坏而开始除极，其邻近部位仍处于极化状态，膜外已除极的部位呈负电，未除极的部位呈正电，两者之间形成了电位差，电流便从未除极部位流向已除极部位。细胞已除极部位与未除极部位的交界处形成的电位差好似一对电偶，电偶是由一对相距很近、电量相等的正负电荷所组成。生理学上电偶是指极化膜两侧的电荷排列关系以及除极与复极所引起的一连串在胞膜表面上移动的电荷运动现象。除极作用产生的电偶，在单个肌纤维细胞上推进，具有一定方向和强度，未除极的部位为电源(+)，已除极部位为电穴(-)，电源的正电荷不断流向电穴，电偶的电源在前，电穴在后，除极方向就是电偶移动的方向。电源(未除极处)的电位逐渐下降，当电位下降至一定程度时，则该处细胞膜也开始除极，刚除极的部分和它的前方尚未除极的邻接部位相比，又成为新的电穴，前方未除极的邻接部位又成为新的电源，如此向前不断扩展，直到整个细胞完全除极为止，这时细胞膜外均为负电荷，无电位差存在，电流消失，完成极化逆转。(图 1-4A)

细胞在复极时，先受刺激的部位先开始复极。在复极过程中，已复极部位的膜表面为正

电位，后面未复极的膜表面为负电位，膜外形成电位差而产生电流，电流的方向是从已复极的部位流向未复极的部位，即电源在后、电穴在前，其电流方向正好和除极过程相反

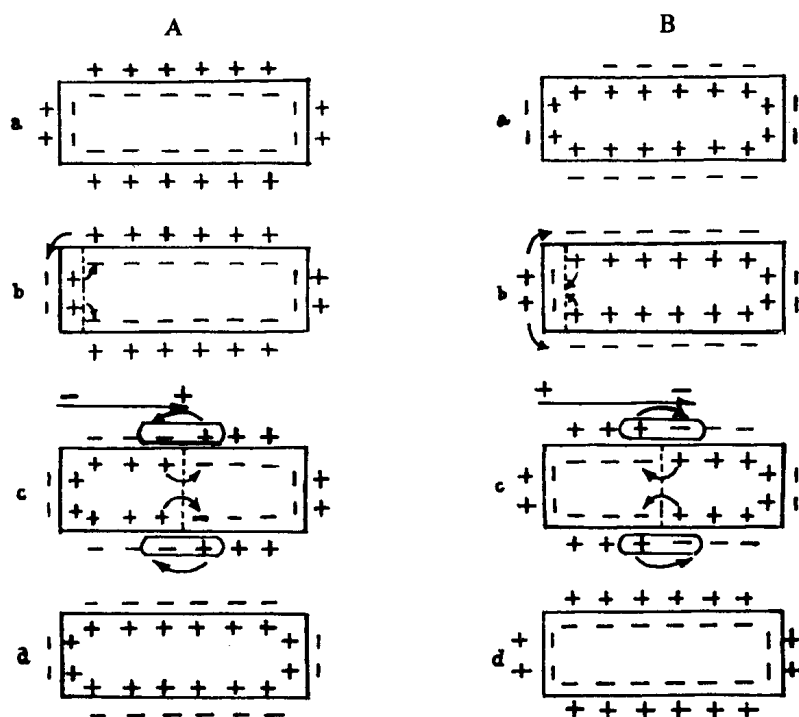


图 1-4 心肌细胞的激动过程示意图

- A 除极过程
a. 极化状态 b. 开始除极 c. 除极过程中 d. 除极完毕
B 复极过程
a. 完全除极 b. 开始复极 c. 复极过程中 d. 完全复极(极化状态)

(图 1-4B)。将以上膜表面的电位变化连续记录下来，便形成一个方向相反电量相等的双向波。

综合上述(1)在除极过程中，膜外形成电位差而产生电流，除极的前方为正、后方为负，相当于心室除极产生的 QRS 波群；(2)在复极过程中，膜外形成电位差而产生电流，复极的前方为负，后方为正(和除极的方向相反)，相当于心室复极产生的 T 波；(3)除极以前和复极以后(极化状态)、除极后至复极前(极化逆转)，膜表面无电位差，无电流产生。心室极化状态在心电图上为 T-Q 段，极化逆转在心电图上为 ST 段；(4)电流计正极置于除极方向的前方，记录为向上的波，反之为向下的波；电流计正极置于复极方向的前方，记录为向下的波，反之为向上的波。

心电图是由体表记录下来的，这与从细胞膜表面所测之动作电位在原理上相似。但是，由于心脏是由许许多多细胞组成的复合体以及心脏结构的特殊性，所以临床心电图记录的是整个心脏所产生的综合电位变化，这和从单一心肌细胞表面所测得的电位变化大不相同。

容 积 导 电

一、概念：

一节电池相当于一对电偶。把一节电池放进一盆稀释的盐水中，由于稀释的盐水是个导

体，便必然有电流自正极流入负极，电流布满于整个食盐水中，这种导电的方式称为容积导电，盛在容器中的导体称为容积导体。

在容积导体中向导体上下、左右、前后各个方向传导的无数电流线，形成一个电场，即

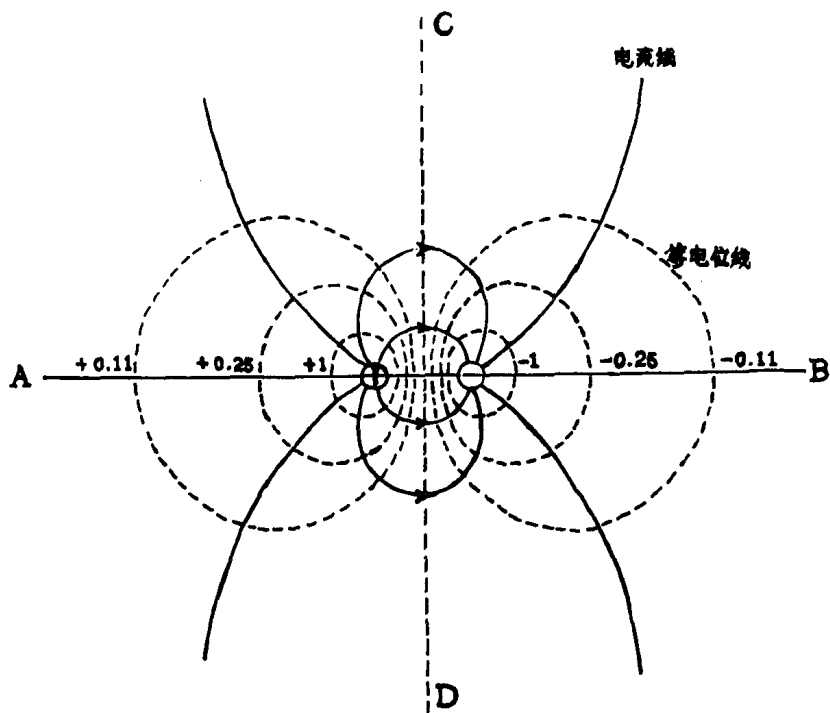


图 1-5 电偶在容积导体中产生的电流线和等电位线示意图

在容积导体中各处都有不同强度的电流在流动着，因而导体中存在着不同的电位差(图 1-5)。电池正负两极的连线 AB 称为轴心线，电流的方向是从 A 到 B，通过轴心线 AB 的中心可作一垂直平面(CD)，由于 CD 面上各点与正负两极距离相等，故在此平面上各点的电位等于零，称为电偶电场的零电位面。零电位面把电偶的电场分为两个半区，在零电位面的 A 侧各点距正极较近，呈正电位，此区称为电偶电场的正电位区；在零电位面的 B 侧各点距负极较近，呈负电位，此区称为电偶电场的负电位区。

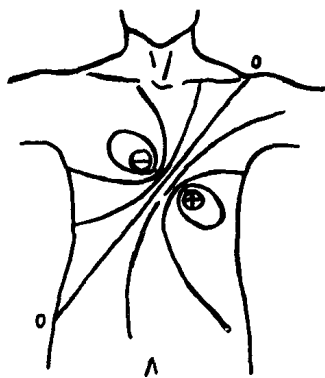


图 1-6 心电场(人体体表电位分布示意图)

人体的组织液均含有电解质，因此也是一个容积导体。心脏在人体内好象一个电池放在电解质溶液中一样，心脏相当于一个电偶，心电偶的两极相当于电池的正负两极，心脏周围以外的全身组织相当于容积导体，这样，在体内必然有电流自心电偶的正极流入负极，形成一个心电场。心电场在人体表面分布的电位称为体表电位(图 1-6)，OO 线表示零电位面，它把心电场分成两半，即正电位区与负电位区，其电位分布情况大致和图 1-5 相似。心脏激动时，心电偶的移动方向大致是从右上到左下，在激动过程中的每一瞬间，心电偶的方向和大小都在不断地变化着，因此体表电位的分布也必然出现相应的改变，如果用导线将体表某部和心电图机(即电流计)连接起来，就能将体表的电位变化按激动的时间顺序记录下来，所获得的曲线

就是心电图。

二、容积导体中任一点的电位：

容积导体中任一点的电位决定于以下三个因素：

1. 探测点的电位(V)和电偶的强度(E)成正比，即电偶的强度越大，该点电位越高。
2. 探测点的电位和该点与电偶中心的距离的平方(r^2)成反比，即距离越远，该点电位的绝对值越低。
3. 探测点的电位和该点与电偶轴心线所形成的角度(θ)余弦成正比，即 θ 角越大该点电位越低， θ 角越小该点电位越高。

用公式表示为：
$$V = \frac{E \cdot \cos\theta}{r^2}$$

$\cos\theta$ 是直角三角中 θ 角的余弦函数(图 1-7)

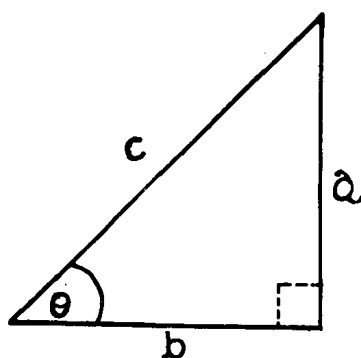


图 1-7 直角三角函数

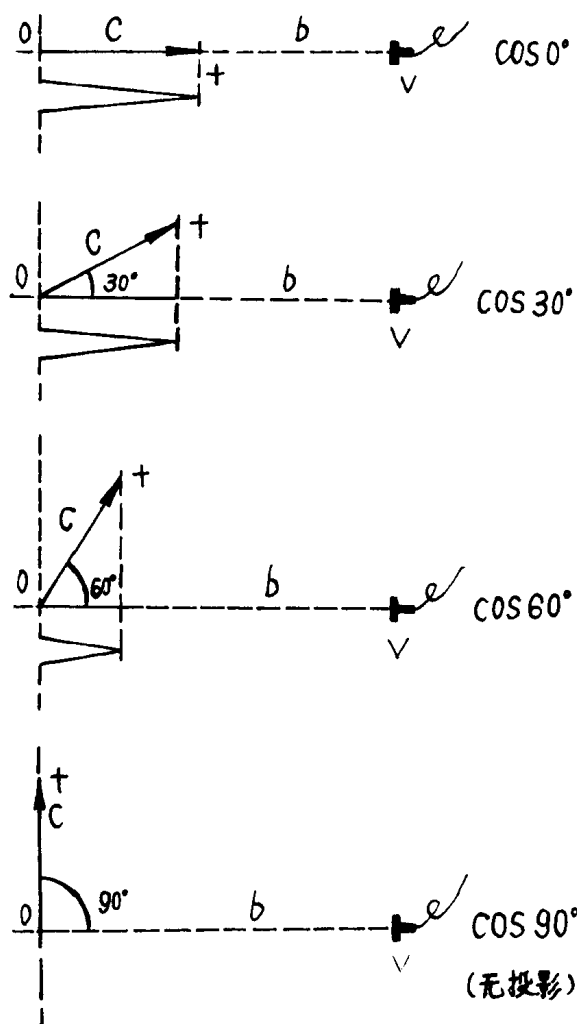


图 1-8 直角三角的余弦函数投影

$\cos\theta = \frac{b}{c}$ 。随着 θ 角度的增大，底边 b 逐渐缩短， $\frac{b}{c}$ 的比例值逐渐减小； θ 角缩小，底