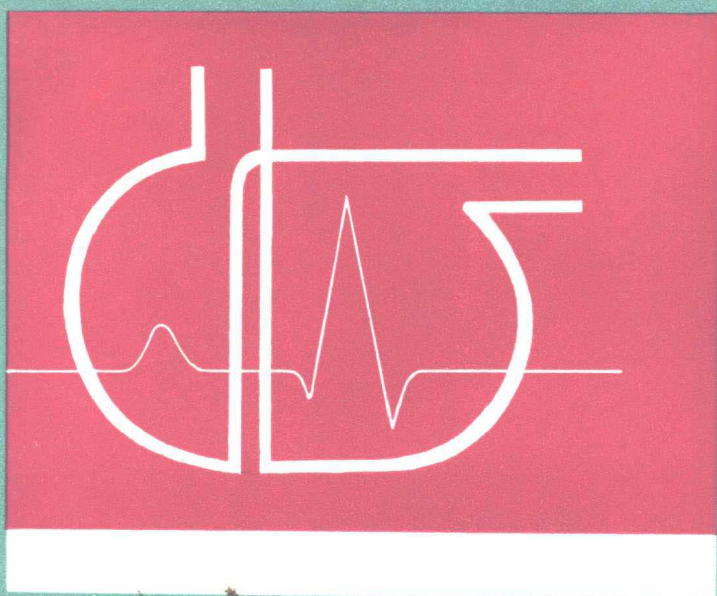




闻颖梅 编
任民峰

心电图入门

人 民 卫 生 出 版 社

心电图入门

闻颖梅 任民峰 编

人民卫生出版社

心 电 图 入 门

闻 颖 梅 任 民 峰 编

人 民 卫 生 出 版 社 出 版

(北京市崇文区天坛西里10号)

人 民 卫 生 出 版 社 印 刷 厂 印 刷

新 华 书 店 北 京 发 行 所 发 行

787×1092毫米16开本 8印张 173千字

1981年2月第1版第1次印刷

印数：1—23,500

统一书号：14048·3894 定价：0.63元

序 言

心电图是临床心脏检查的一项重要工具,在诊断心肌梗塞、心律失常、心肌病变及其它许多心脏疾患中有重要参考价值。随着我国医疗卫生事业的发展,心电图的应用日益普及,广大医务工作者包括许多基层卫生人员迫切要求学习和掌握心电图学知识。本书就是适应这一需要而编写的。

现代心电图学的有关理论是从实践中来的。人们以心电图的临床资料为依据,不断提出一些理论上的假设,在实践中加以验证、修改和补充,但迄今还是很不完备的。随着心电向量图学的发展,等效电偶的概念普遍受到重视,在心电图的教学和临床实践中,被广泛应用于解释心电图和心电向量图的产生原理。这就是等效电偶或等效心电向量学说。根据这一学说,心脏在心动周期内的电活动,在理论上可以用一系列的瞬间综合向量(即等效电偶)来代表。它们发源于假设的某一固定点(“0”点),以该点为中心作空间环形运动,其轨迹构成空间立体心电向量环,在不同的平面上投影为心电向量图。而心电图则是平面心电向量环在不同导联轴上的再投影。

应当指出,应用等效电偶或等效心电向量学说以解释心电图或心电向量图时,必须把心脏看作是一个位于无限大的均匀的球形容积导体中的相对地很小的电偶。因为只有在这种假设的前提下,才可能把心动周期内由心脏电变化产生的无数电偶或向量归纳为近似于由某一固定点发出的一系列瞬间综合向量,它们在体表记录电极上的反映才能符合于物理学上容积导体中电荷电场关系的一般规律。显然心脏电活动的实际情况比这种理想的假设要复杂得多。躯体是不规则的而不是球形的,而且是个不均匀的导体;心脏在体内的位置偏于一侧;同心脏的大小相比,躯体并不构成一个极大的容积导体。因此心脏电活动在体表的反映同等效电偶学说并不完全符合。此外,一些作者用心内电极探测发现,在心脏除极过程中,可以同时存在几个朝不同方向推进的除极面。心电体表标测(surface mapping)应用体表多电极同步记录和计算机处理也发现在心动周期的不同瞬间里,体表电位的变化不能用单一电偶来解释。然而临床和实验资料证明,应用等效电偶学说以解释心电图的产生原理和进行推论时,大多数是符合实际的。即便它只是实际情况的一种粗略的估计,在心电图的教学和临床实践中解释心电图时,等效电偶或等效心电向量学说迄今仍是最为简捷而又能说明问题的。

本书应用心电向量的概念对正常心电图和病理心电图的产生原理作了简要的介绍。以等效心电向量学说为基础,在图解的帮助下,一般只需5~6个单元(每单元2~3小时)即可对心电图的原理和临床应作一概括的介绍,因而受到许多听众,包括医学院学生、基层医务人员和临床医生等的欢迎。

1976年写成讲义初稿后,曾由本人并请汤健同志扩大试讲征求意见,先后在北京医学院第一附属医院和西苑医院三次油印和铅印成册,以满足试讲的需要。本书是在反复实践的基础上根据试讲和印成后收集到的意见修订而成的。书中第一章第一节一、心脏的解剖特点由万选才同志参加拟稿;二、心肌细胞的生物电现象及第二章第七节心律失

常概述部分由汤健同志参加拟稿并提供了宝贵意见。在编写的过程中，承林传骧教授多次审改给予指导，方圻教授、杨世豪主任给予审阅，白文廷同志提供部分材料，还有许多其他同志热心地为本书提出宝贵意见，在此谨表示衷心的感谢。由于编者水平有限，缺点错误所在，请同志们不断批评指正。

闻颖梅谨识

一九八〇年一月

目 录

第一章 心电图的基本原理	1
第一节 心电图是怎样产生的	2
一、心脏的解剖特点	2
二、心肌细胞的生物电现象	3
三、心脏整体的电现象——心电向量和向量环	7
四、心电图和心电向量环的关系	8
五、小结	9
第二节 心电图的记录和正常心电图	9
一、常用的心电图导联及其波形的形成原理	9
(一)标准肢体导联	9
(二)加压单极肢体导联	10
(三)常用的胸导联	12
二、典型心电图各波的名称及意义	12
三、平均心电向量和平均心电轴	17
四、各导联上心电图波形的正常变化	19
五、其它生理因素对心电图波形的影响	22
六、正常心电图小结	23
第二章 心电图的主要病理诊断	25
第一节 心房肥大	25
一、右心房肥大	25
二、左心房肥大	26
三、双侧心房肥大	26
第二节 心室肥大	27
一、左心室肥大	27
二、右心室肥大	28
三、双侧心室肥大	29
四、心房心室肥大小结	29
第三节 心肌梗塞	30
一、心肌梗塞时心电图改变的基本原理	30
二、心肌梗塞心电图波形的演变过程	33
三、心肌梗塞的定位诊断	33
四、心肌梗塞小结	41
第四节 急性及慢性冠状动脉供血不足	41
一、心绞痛	42
二、慢性冠状动脉供血不足	43
第五节 束支传导阻滞	46
一、右束支传导阻滞	47

二、左束支传导阻滞·····	48
三、左束支分支传导阻滞·····	50
四、双侧束支传导阻滞·····	54
五、三束支传导阻滞·····	54
六、束支传导阻滞小结·····	55
第六节 其它 ST-T 改变的病理意义·····	55
第七节 心律失常·····	57
概述·····	57
分类·····	60
一、窦房结发生冲动异常·····	60
(一)窦性心动过速和窦性心动过缓·····	60
(二)窦性心律不齐·····	61
(三)游走性心律·····	61
(四)窦性停搏·····	62
二、异位搏动和异位心律·····	63
(一)被动性异位搏动和异位心律·····	63
1. 交界性逸搏和交界性逸搏性心律·····	63
2. 室性逸搏和室性自身心律·····	64
(二)主动性异位搏动和异位心律·····	64
1. 房性和交界性过早搏动·····	66
2. 室性过早搏动·····	67
3. 阵发性室上性心动过速·····	69
4. 阵发性室性心动过速·····	71
5. 心房颤动·····	72
6. 心房扑动·····	73
7. 心室颤动·····	73
8. 心室停顿·····	75
三、传导异常所致的心律失常·····	75
(一)窦房传导阻滞·····	75
1. 偶发型窦房传导阻滞·····	76
2. 递增型窦房传导阻滞·····	76
3. 固定型窦房传导阻滞·····	77
(二)心房内传导阻滞·····	78
(三)房室传导阻滞·····	78
1. 第一度房室传导阻滞·····	78
2. 第二度房室传导阻滞·····	78
3. 第三度房室传导阻滞·····	80
(四)预激症候群·····	80
四、继发的异常波形和继发的心律失常·····	81
(一)继发的异常波形·····	82
(二)继发的心律失常·····	84
心律失常小结·····	89
附：分析心律失常的方法·····	91

第三章 常见心脏病的心电图表现	97
第一节 心肌病变	97
第二节 风湿性心脏病	98
第三节 冠心病及高血压病	98
一、病态窦房结综合征	99
二、心肌梗塞心电图的鉴别诊断	99
第四节 慢性肺原性心脏病	100
第五节 肺梗塞	100
第六节 心包炎	100
第七节 先天性心脏病	101
第八节 药物作用及电解质紊乱	101
第九节 心电图实例介绍	103
附录	116
一、阅读心电图的步骤	116
二、书写心电图报告方法	116
三、心电图的测计方法	116
四、正常值	119
五、马氏二级梯双倍运动测验登梯次数表	122

第一章 心电图的基本原理

心电图是从体表上记录下来的心脏周期性的电变化。伴随心脏的搏动，心电图上出现一组特征性的波群（P、QRS、T及U）。典型的心电图记录如图1-1。对心电图各波、段和间期进行分析，可以为临床提供有关心脏疾病的重要参考资料。

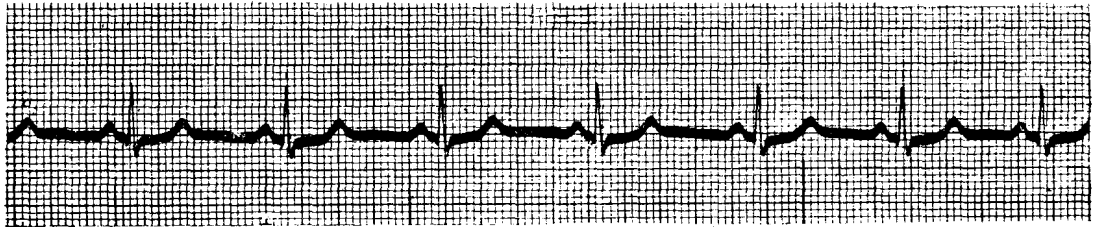


图 1-1 典型的心电图记录
正常窦性心律（Ⅰ导联），心率 69 次/分

心电的产生及其记录原理可粗略地比喻为在一桶盐水中中心安放一节电池，电池的正、负极即在盐水中形成一个电场（图1-2），电流从正极流向负极。用一对记录电极，联接盐水中的任何两点，可以通过电表记录这两极间的电位差。由于记录电极所在的位置不同，它们所反映的电位亦有不同；接近正极处电位较高，接近负极处电位较低。在不同记录电极之间，电表记录的电位差亦有不同。

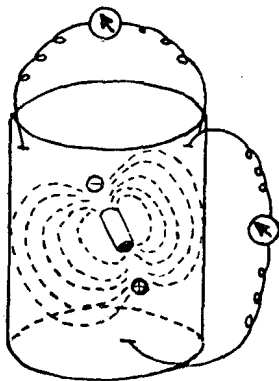


图 1-2 电池在盐水中产生
电场的示意图

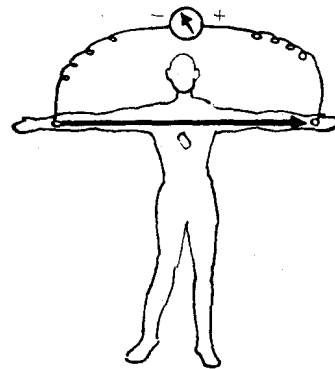


图 1-3 导联和导联轴
粗箭头代表导联轴及其方向（标准导联Ⅰ）

可以把人的躯干组织比做一桶盐水，它也能导电，因此是个能导电的容积导体。心脏作为一个电源相当于一个“电池”。在心动周期中心脏的电变化，反映在体表两点间的电位差，可以用导线联接记录电极（即导联），通过心电图机进行记录。心电图机相当于一个精密的电表，在接受心电信号后，经过放大加以记录即得心电图。

临床上通常选用一些统一的体表区安放电极，组成常规应用的 12 个导联。心电图学上在两电极间画一条带箭头的直线，称为导联轴（图 1-3）。箭头所指代表导联轴的

方向,该处电极接心电图机正极。常用的12个导联便可用12个相应的导联轴,分别从不同的角度来反映体表电极间电位差的变化。

第一节 心电图是怎样产生的

一、心脏的解剖特点

心脏位于胸腔前纵隔下部,外形如桃,斜置于横膈之上。心尖指向左前下方,相当于第五肋间锁骨中线以内1~2厘米。心底朝向右后上方,是心脏大血管出入处。房室间隔把心脏分为左右两半,在心房和心室之间有纤维环相隔。由于胚胎发育中心脏向左旋转,因此,右心处在右前方,紧贴胸壁;左心靠近左后方,紧贴下面的横膈和后面的食道。从心底的正中到心尖的连线是心脏的解剖长轴,通常指向左前下方,因受不同体型或胸廓和腹腔内容物的影响,心脏的解剖长轴可近于垂直(心脏垂悬位)或近于水平(心脏横位)。

在胚胎发育的过程中,心肌细胞经不同的特殊分化,形成以收缩功能为主的普通心肌细胞和以节律形成和传导功能为主的特殊传导系统。

1. 普通心肌细胞 具有强力的收缩功能,但传导速度较慢(0.4~1米/秒)。心肌细胞相互连接,在相互的接触面上具有极紧密的、低电阻的特殊结构,把许多心肌细胞连成功能上的合体。由于胚胎发育中形成的房室间纤维环,把完整的心肌分成基本不连续的心房肌和心室肌;使他们仅以特殊传导系统相连,各自独立进行收缩。

心室肌比心房肌要厚得多,分为浅、深两层,肌纤维呈螺旋形排列包绕左、右心室,最深部的肌层形成小梁和乳头肌。出生前左、右心室壁的厚度是相似的,出生以后左心室肌层逐渐增厚,到4~5岁的时候才达到象成年人那样比右心室厚约三倍。

2. 心肌的特殊传导系统 包括窦房结、结间束、房室结区、房室束支和浦肯野纤维等(图1-4)。

(1) 窦房结 位于右心房上腔静脉入口处的界沟上,是整个心脏的起搏点。它由起搏细胞和介于起搏细胞和普通心肌之间的过渡细胞网以及结缔组织所组成。结的中央有来自右冠状动脉分支的滋养动脉,结内有丰富的神经纤维。正常时心脏受交感和副交感神经双重支配。交感神经使心率加快,心脏收缩力增强;迷走神经使心率减慢。他们在正常时保持一定的紧张性,以迷走神经占优势,对心脏的活动进行调节。迷走神经末梢释放乙酰胆碱与心肌的M样受体相结合起抑制作用,交感神经末梢释放去甲肾上腺素与心肌细胞的 β 受体相结合起兴奋作用。

(2) 结间束 是位于心房内部的特殊传导系统,由浦肯野细胞、过渡细胞和与普通心肌相似的肌纤维混杂而成,分前、中、后三支连接窦房结和房室结区。前支并分出一支房间束沟通左、右心房。结间束以比心房肌快四倍的速度(约1.7米/秒)把窦房结的兴奋传到左心房和房室结区。

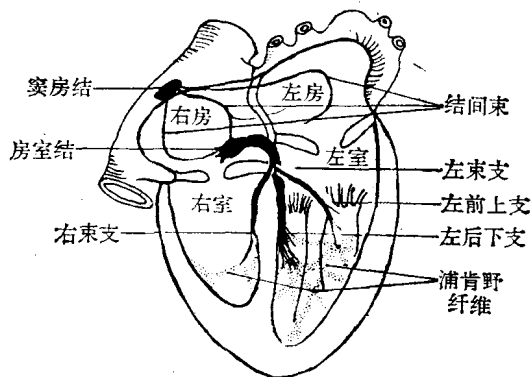


图1-4 心脏传导组织示意图

(3) 房室结区(房室交界) 近年来认为过去所指的房室结实际上不是一个单一的结构,它由三部分组成:房-结区(交界纤维)、结区、结-希区(过渡纤维),合称房室结区。它们位于房间隔下部的右侧,冠状窦开口的右前方,室间隔膜部之上,主要为过渡细胞组成,也有部分起搏细胞和少量结缔组织,血管、神经支配丰富。房室结区具有传导性和自动节律性,细胞纤细,传导速度极慢(约0.05米/秒),造成兴奋的房室延搁。结区即过去所说的房室结,只有传导性而没有自动节律性。结希区位于结区和房室束(希氏束)之间,具有传导性和自动节律性。

(4) 房室束及其分支 房室束主干长约15~20毫米,在室间隔上端的膜部分成左、右束支,分跨室间隔的两侧。右束支较细,沿途分支少,一般在到达乳头肌的基底部后才大量分支,分布于整个右心室。左束支呈阔带状,在室间隔左面上和中三分之一交界处,主要分为前上支和后下支;前者分布于左室前壁和侧壁,后者分布于左室膈面。近年来提出的左束支第三分支,又称为隔分支,于左右两分支之间可呈网络状态分布在心室的自由壁及乳头肌。心室除极即由室间隔左侧上 $\frac{1}{3}$ 处开始。

(5) 浦肯野纤维 是左、右束支的最后分支,密布于左、右心室的内膜下,并垂直向外膜延伸,过渡于普通心肌纤维。房室束和浦肯野纤维的传导速度都很快,每秒可达4米,从房室束开始到浦肯野纤维末端仅需要0.03秒。因此心室壁虽然较厚,但由传导系统传来的冲动可以在很短时间内依次引起心室壁内外层的兴奋,使整个心室协调一致地进行收缩和排血。

二、心肌细胞的生物电现象

心肌活动过程中伴随着一系列的电变化,这就是心肌细胞的生物电现象,它与细胞膜内外的离子分布有关。正常的心肌细胞,膜内正离子以钾离子(K^+)为主(其浓度为膜外的30倍左右),负离子主要为有机离子。膜外正离子以钠离子(Na^+)为主(其浓度为膜内的20倍左右),负离子主要为氯离子(Cl^-),静息时膜内外离子分布处于动态平衡状态(图1-5)。细胞膜对不同的离子有选择性的通透性,钙离子(Ca^{2+})基本上都在细胞外,极难透过细胞膜,而带负电的蛋白质大分子则几乎完全在细胞内不能通透细胞膜。

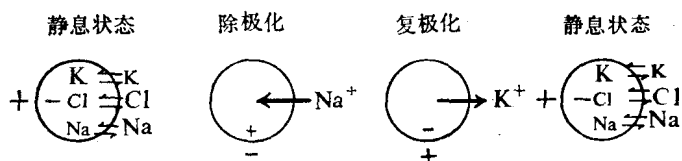


图1-5 心肌细胞内外的主要离子梯度及兴奋过程中的离子转移和动作电位改变(字母大小代表相对浓度)

1. 静息电位 在静息状态时心肌细胞膜内外保持一定的电位差,膜外带正电,膜内带负电,称为“极化状态”。设膜外为零,膜内可用微电极测得为-90毫伏,这个电位差即“静息电位”,亦称“休止电位”。

2. 动作电位 包括除极化和复极化过程中细胞膜内外的不同电位变化(图1-6)。当心肌细胞接受外来刺激发生兴奋时,膜内的电位逐渐增高,即膜内外电位差减小。当减小到一定程度(约-60~-70毫伏),即达到“阈电位”时,便出现一个迅速而剧烈的电位变化,产生动作电位,这一现象称为“除极化”。这时膜外电位剧降,在除极后期的一瞬间其电位可低于膜内;膜外为负,膜内为正(约+20毫伏)。随后,已除极部位的电位又逐渐恢复到静息时的“静息电位”即“复极化”。心肌复极较缓慢,在未完全复

极之前，难以接受下一次刺激而发生兴奋，称为“不应期”。

3. 兴奋的传导 心肌细胞发生兴奋后，在静息部位（极化状态）同已兴奋的除极化部位之间出现了明显的电位差，除极化部位为负、静息部位为正。由此产生局部电流，电位自高的静息部位流向电位低的正在兴奋的除极化部位。这个局部电流对邻近的静息部位形成一个有效刺激，使该邻区也发生兴奋，并依次引起更前方的部位发生兴奋。如此由一点兴奋后引起的连锁反应，使兴奋沿着一定的方向向前传导（图 1-6）。

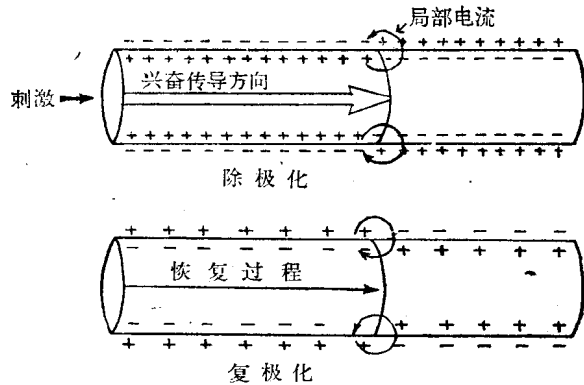


图 1-6 心肌细胞兴奋传导和恢复过程示意图

由兴奋转入恢复期时膜内外正负电位逆转。各期电荷强度不同，产生的局部电流强度也不同。粗箭头代表兴奋传导方向

4. 心肌细胞动作电位的产生原理 心肌细胞在不断除极化和复极化的过程中，细胞内外的电位差（膜电位）呈周期性的改变，应用微电极技术可测出这一周期中膜内外电位差（跨膜电位）的连续变化，得到该细胞的动作电位曲线。以心室肌为例说明如下（图 1-7）。

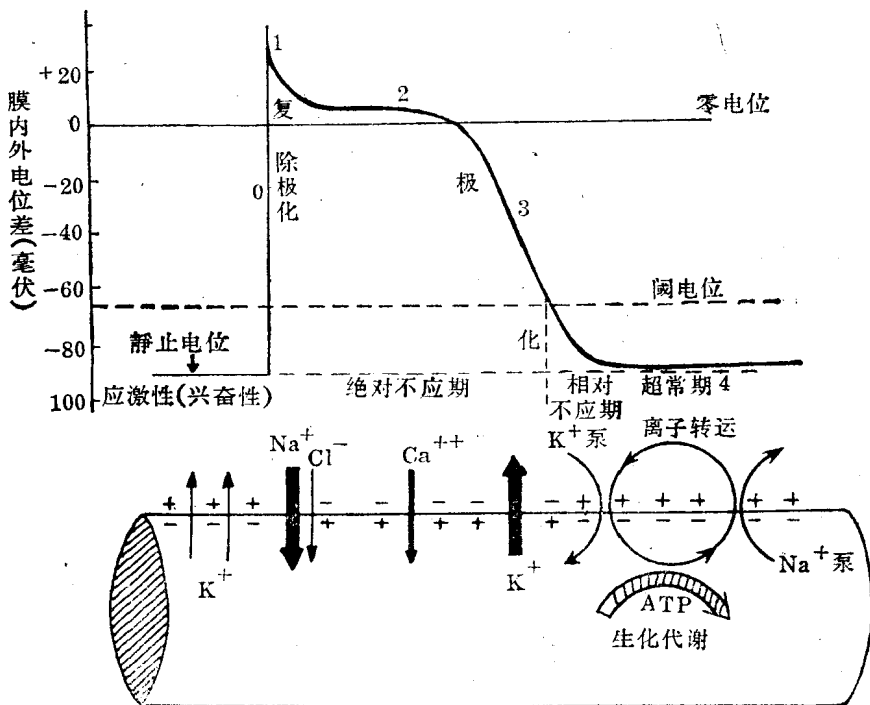


图 1-7 心室肌细胞的动作电位曲线

心室肌细胞的静息电位为 -90 毫伏，兴奋后它的动作电位曲线可划分为〔0〕、〔1〕、〔2〕、〔3〕、〔4〕五个时相。这种复杂的电位变化主要是由于心肌细胞内外的离子分布不

同，和在不同情况下心肌细胞膜对不同离子有不同的通透性所造成的。静息电位和动作电位各相的跨膜电位及其产生原理可大致归纳如表1。

表1 心室肌细胞动作电位的变化及产生原理

心肌细胞的状态	电位(相)	膜内外的电位变化	产生电位变化的主要原因
极化	静息电位	膜外为正、膜内为负。设膜外为零、则膜内可测得为-90毫伏	细胞膜对K ⁺ 的通透性较高促使部分K ⁺ 外流，与膜内不通透的阴离子(蛋白质大分子)相互吸引，在膜的两侧形成极化状态
除极化	动作电位[0]相	膜内外电位差剧减，在除极后期的一瞬间，膜外为负，膜内为正(约+20毫伏)	细胞膜对Na ⁺ 的通透性迅速增高，Na ⁺ 内流进入膜内，使膜内电位增高
快速复极初期	[1]相	膜内电位迅速下降	Na ⁺ 内流停止，Cl ⁻ 快速内流使膜内电位迅速下降
复极的平台期	[2]相	膜内外电位差接近于零，处于暂时平衡状态	主要是Ca ²⁺ 内流。Na ⁺ 内流和K ⁺ 外流趋于平衡
快速复极末期	[3]相	膜内电位进一步迅速下降到静息电位水平	细胞膜对K ⁺ 的通透性迅速增高，K ⁺ 迅速外流，膜内电位下降
静息期	[4]相*	恢复静息电位时的状态，膜外为正，膜内为负	钠、钾泵**的主动转运作用将细胞内多余的Na ⁺ 泵出，换回丢失的K ⁺

* 具有自律性的细胞[4]相电位不稳定，能够自动缓慢地除极。

** 钠、钾泵是细胞的主动转运过程，这一过程需要能量。

心脏细胞膜内外离子的正常分布不同，是产生膜内外电位差的直接原因。静息期，膜内外离子的分布因离子泵的作用而保持相对恒定，并使膜电位得以维持稳定。但在心肌细胞接受外来刺激而产生动作电位的过程中，膜电位的改变可激活膜上的离子通道，使细胞膜对不同离子的选择通透性发生改变。膜内外离子转移引起膜电位的变化，又进一步使一些不同离子通道开放或关闭，如此形成动作电位中连续的时相变化。总的说来，离子的转移取决于膜内外离子的浓度差（自浓度高的一方，向浓度低的一方转移）和电-离子平衡（膜内外离子分布不均，造成电位差，可阻碍离子进一步顺浓度梯度转移）及细胞膜的选择通透性（膜上的各种通道的启闭）。在心脏电生理上起重要作用的主要为钠、钾和钙通道等。

关于膜上各种离子通道的本质尚不十分了解，一般认为心肌细胞膜上的液态类脂分子间镶嵌着一些带负电的蛋白质分子，亦称载体蛋白，它们的构型和在细胞膜上的排列发生改变时，可以组成对各种不同离子的通道，在功能上如同大小不同的筛孔。当心肌细胞受到刺激时膜内外电位差减小，在接近阈电位水平时（-60~-70毫伏）膜上蛋白质的构型改变，形成可使钠离子快速通过的通道，即钠的快通道。这时钠离子迅速进入膜内，同时钾离子通道趋于关闭，钾停止外流，于是膜内电位迅速增高形成动作电位的[0]相。当膜内电位继续升高到一定水平时又有抵抗钠离子继续内流的作用使钠通道封闭。当除极化达到另一水平（膜内为-55毫伏）时，还可激活膜上的另一种蛋白质引起它的构型变化形成钙离子通道。钙离子激活得较缓慢，通透性不高，持续时间较长所以又称为钙的慢通道。心室肌复极化时的[2]相（平台期）主要就是由钙离子的慢

通道形成的，它使钙离子缓慢地进入细胞内，以致使膜内的电位在一段时期里维持在较高的水平上。在复极化过程的〔3〕相时，钾离子通道开放，钾离子快速外流，从而恢复了细胞膜内外的电位差，膜内电位又下降趋于静息电位的水平。最后在动作电位的〔4〕相，钠钾泵的主动转运作用将细胞内多余的钠泵出，换回丢失的钾，膜内外的离子分布又恢复到除极化前的静息状态。这一过程需要消耗能量，它由三磷酸腺苷提供。

从心脏不同部位记录心肌细胞动作电位，其曲线具有不同的特征，某些病理状态下心肌细胞的动作电位曲线发生明显改变。一些药物可通过选择性影响不同离子通道而改变心肌细胞的动作电位特征，发挥治疗作用。

5. 心肌细胞动作电位的类型 心肌细胞的动作电位可分为快反应与慢反应两大类型(图 1-8)。心房肌、心室肌、结间束、房室束及浦肯野纤维属于快反应电位细胞。它们的动作电位形成得快，消失得也快。而窦房结、房室结细胞属于慢反应电位，其动作电位形成慢，消失得也慢，它们的特点如表 2。

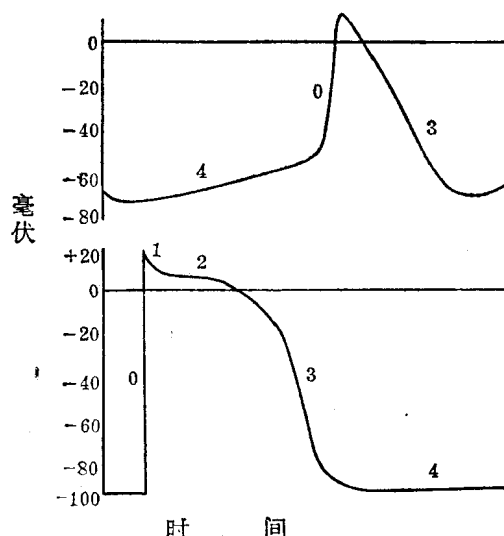


图 1-8 典型的快反应电位和慢反应电位
上图 窦房结细胞(慢反应)的动作电位曲线
下图 心室肌细胞(快反应)的动作电位曲线

表 2 两种类型心肌细胞动作电位的特征

	快 反 应 电 位	慢反应电位
心肌细胞	心房肌、心室肌、结间束、房室束、浦肯野纤维等	窦房结、房室结等
静息电位	-80~-90毫伏	-40~-70毫伏
阈电位	-60~-70毫伏	-30~-40毫伏
除极化速度	快(200~1,000伏/秒)	慢(1~10伏/秒)
除极化幅度	大(100~130毫伏)	小(35~75毫伏)
复极化速度	快	慢
传导速度	0.5~3.0米/秒	0.01~0.1米/秒
除极化时的离子活动	Na ⁺ 内流, Ca ²⁺ 内流	Ca ²⁺ 内流

快反应电位细胞的静息电位和阈电位较低(负值较大)，兴奋时产生的动作电位幅度大，速度快(表现为〔0〕相的坡度大)，兴奋的传导速度也快，一般不易为较小的病理因素所阻滞，因此这类细胞传导的安全度较大。反之，慢反应电位的安全度较小，易受各种影响而发生心律失常。心脏快反应电位细胞的除极化是以钠和钙离子内流为基础的，而慢反应电位则完全由钙离子缓慢内流所产生。在某些病理和药物中毒的情况下，快反应电位细胞的钠通道形成障碍，可使快反应电位转变为慢反应电位，导致心律失常。心肌慢反应电位的发现是近代心脏电生理学的重要进展之一。

单个心肌细胞的电活动是心脏整体电活动的基础。不同部位的心肌细胞按照一定的空间方向和时间顺序依次进行除极和复极，全部心肌细胞的电活动综合构成心脏整体的电活动，再经体表电极记录为临床心电图。这里需要注意的是由微电极记录的单个心肌细胞的动作电位是单个细胞除极（兴奋）和复极（恢复）过程中，膜内外电位变化的直接记录。而体表心电图则是心动周期内心脏整体电活动的间接记录，是心脏已除极和未除极或已复极和未复极部位之间的电位变化在体表上的反映。因此不能简单地把二者等同起来。一般说来，可以粗略地认为心房肌除极化的〔0〕相和复极化的〔1〕相相当于心电图上的P波。心室肌除极化的〔0〕相和复极化的〔1〕相与心电图上QRS波的形成有关，〔2〕相与ST段形成有关，〔3〕相可能与T波形成有关。一切影响心肌细胞动作电位的因素不仅影响到心电图的波形，而且与各种心律不齐的产生有密切的关系。但是，心肌细胞的电变化同心电图之间的确切关系如何，至今仍不十分清楚，有待进一步探讨。

三、心脏整体的电现象——心电向量和向量环

心脏的除极是由心房而心室，自上而下，由内层到外层相继进行的。当兴奋向前扩布时，在已除极的部位同前方待除极的细胞间出现电位差，正（电源）在前，负（电穴）在后。这样在界面上就形成了无数个瞬间心电向量（或电偶），它们随着除极过程的推进而向前移动。在除极的不同瞬间，这些朝着不同方向具有不同强度的心电向量可按力学原理归结为一个电的合力，叫做瞬间综合向量（等效电偶）。例如，当兴奋经过房室束向左、右心室传导时，随着除极面的扩大，便有指向左侧和右侧、前方和后方等四面八方的除极向量。这些同方向或反方向的向量相互叠加或对消的结果，在心动周期的每一瞬间可以归结为一个总的合力，即瞬间心电综合向量（图1-9）。就象几匹马拉车，尽管马力不同，方向不一，但在每一个瞬间，马车只能朝其合力的方向移动一段距离，这个合力也就是它们的瞬间综合向量。这种向量可以用一个箭头来表示：箭头的长度代表向量的大小，箭头的方向为向量的方向，由负到正。

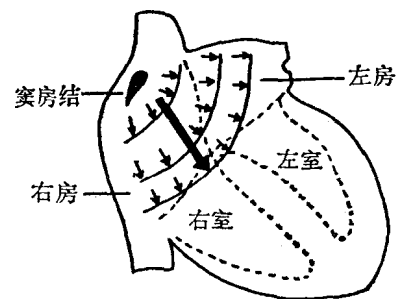


图 1-9 瞬间心电综合向量示意图

小箭头代表除极面上无数个瞬间心电向量，粗箭头代表一个瞬间的心电综合向量，它是该瞬间除极面上朝向四方八面诸不同强度的向量的综合

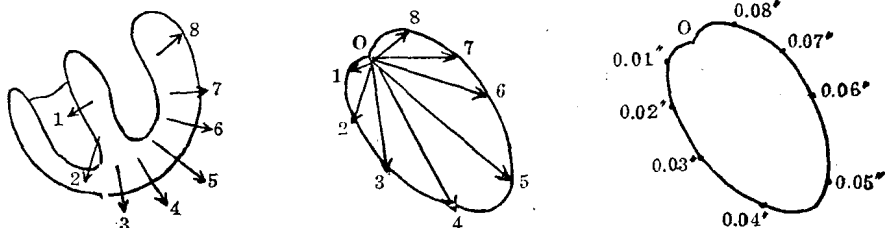


图 1-10 心室除极向量环-QRS 环的形成

左图所示，每一箭头代表一个瞬间心电综合向量，图中的数码代表各瞬间心电综合向量出现的先后次序。顺序连接各向量的顶端得到一个运行着的向量环。右环上的时间（秒）代表各瞬间综合向量在向量环上出现的不同时程

心脏在整个心动周期里有一连串的瞬间综合向量。它们的大小和空间位置在每一心动周期里呈现规律性的改变。仍以心室肌为例,每一心动周期中从开始除极到全部除极完毕有无数个瞬间综合向量,若按其出现的先后排列,可得到如芭蕉扇样的图形,顺序连接各向量的顶端(即扇的边缘)即构成心室除极的立体心电图向量环,简称 QRS 环(见图1-10)。它代表心室除极向量在整个心动周期里作空间环形运动的运行轨迹,其运行方向反映了各向量依次出现的顺序,其长轴相当于心室除极中最大的向量。同理,心房除极和心室复极的一系列瞬间综合向量组成较小的 P 环及 T 环,它们运行的时程亦各不相同。至于心房的复极和房室传导组织的兴奋过程等,则因其电位变化较小或被掩盖于其它向量变化之中一般不能显示。

四、心电图和心电图向量环的关系

如上所述,在每个心动周期里,心室除极的一系列瞬间综合向量组成 QRS 立体向量环,它是整个心动周期里最主要的向量环。对于立体的东西,人们总是只能从一个方向看到它的一面。譬如一个火柴盒,从前面、上边或从旁边看,看到的是三种不同形态和大小的长方形。立体向量环也是如此。如自人体按置两组相互垂直的记录电极,将反映到两组电极上的电位分别接至阴极射线示波器的水平偏转板和垂直偏转板上,就可以在屏幕上看到光点移动形成的平面心电图向量环。正如以平行光线从前到后,从上往下或从左或右侧面投向立体向量环时,可取得三个不同平面上的投影,分别称为额面(前后看),横面(从头顶向下看)及左、右侧面(从旁看)平面向量环(图1-11)。一般常规心电图所描记的则相当于额面及横面向量环在有关导联轴上的再次投影。用一定速度移行

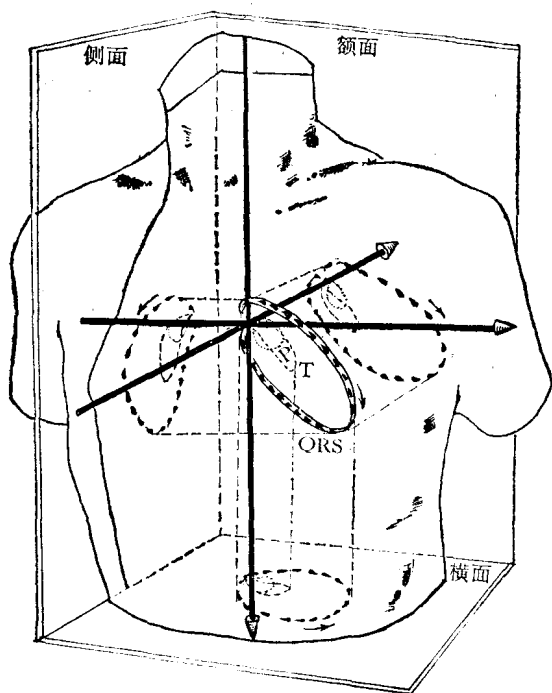


图 1-11 心脏立体向量环与三个平面向量环的关系

QRS 环为心室除极环 T 环为心室复极环
P 环为心房除极环

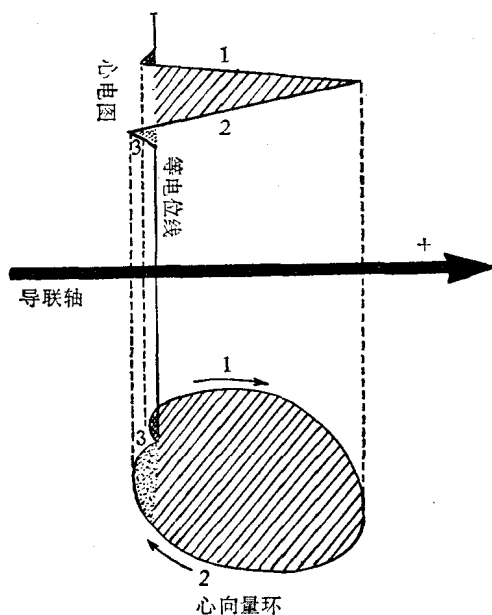


图 1-12 心电图向量环与心电图的关系

的记录纸对这随时间的推移而变化着的投影加以连续描记，可得到一组波群，即心电图的波形（图 1-12）。

向量环由一系列瞬间综合向量组成。随着向量环的不断运行，各个瞬间综合向量在有关导联轴上可产生不同的投影，投影的大小或长短，取决于该瞬间综合向量本身的大小及其与导联轴的夹角关系。当瞬间综合向量与导联轴相平行时其投影最大，即电压最高；垂直时投影成一点，在该导联的心电图上即不显示波幅。正如在中午直射的阳光下，横置的竹竿其投影要比斜置的长，竹竿位置渐趋垂直时，投影缩短，直立时投影成一点。

心室的每一兴奋周期，产生一个 QRS 向量环，在 QRS 向量环后的一段间歇期里无心电向量，此时心室全部除极完毕，各处电位相等。在向量环上光点滞留在环的起点—O 点上，O 点的投影在心电图纸上记录为一段等电位线。该等电位线的延长线将向量环分为前后两个部分，它们在心电图上分别投影为向上（正向）及向下（负向）的波形（图 1-12）。此外，由图 1-12 可见 QRS 向量环上每一段的运行方向与 QRS 波上相应段的方向也是一致的，即与导联轴方向相同时得上升支，方向相反时为下降支。由于不同导联轴是分别从不同角度来反映额面和横面向量环的投影，所以各导联上心电图的波形也各不相同。

五、小结

在心脏活动过程中，心房和心室的各部分心肌细胞有次序地进行除极和复极，由此产生的心脏整体的电活动可按力学原理归结为一系列的瞬间心电综合向量。它们在一个心动周期中作空间环形运动的轨迹构成立体心电向量环。应用阴极射线示波器在屏幕上具体看到的额面、横面和侧面心电向量环，则是立体向量环在相应平面上的投影。而心电图上所记录的电位变化是一系列瞬间心电综合向量在不同导联轴上的反映，也就是平面向量环在有关导联轴上的再投影。投影所得电位的大小决定于瞬间心电综合向量本身的大小，及其与导联轴的夹角关系。投影的方向和导联轴方向一致时得正电位，相反时为负电位。用一定速度移行的记录纸对这些投影加以连续描记，得到的就是心电图的波形。心电图波形在基线（等电位线）上下的升降，同向量环运行的方向有关：和导联轴方向一致时，在心电图上投影得上升支，相反时得下降支。向量环上 O 点的投影即心电图上的等电位线，该线的延长线将向量环分成两个部分，它们分别投影为正波和负波（图 1-12）。

由此可见，心电图同心电向量图有着非常密切的关系；心电图是向量环在不同导联轴的反映。心电图的长处是可以从不同平面的不同角度，利用比较简单的波形、线段对复杂的立体心电向量环，就其投影加以定量和进行时程上的分析。由于临床心电图检查设备简单，图形易看，在长期应用中积累了许多有价值的资料，其中许多是目前的心电向量图方法所不能代替的。但心电向量图学理论上的发展又进一步丰富了心电图学的内容，使之更容易为人们所理解和掌握。二者均是心电在体表上的记录，临床上也是相互为用的。

第二节 心电图的记录和正常心电图

一、常用的心电图导联及其波形的形成原理

（一）标准肢体导联 最早应用于描记心电图时采用三个标准导联（图 1-13）。