

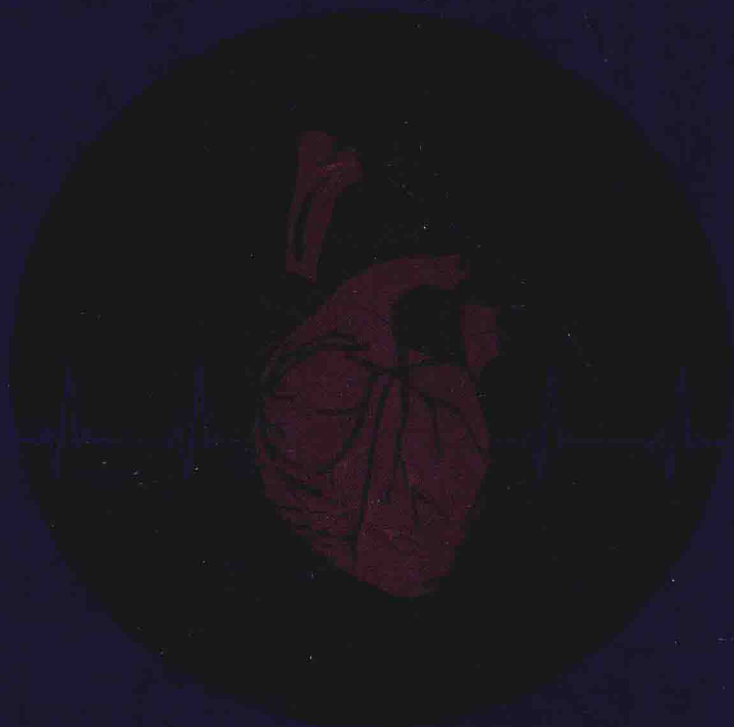
Practice

3rd Edition

of Pediatric Electrocardiography

实用小儿心电图学

第3版



名誉主编 梁翊常

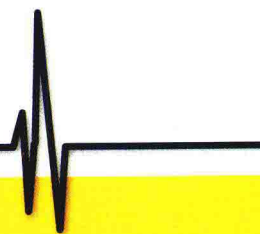
主 编 袁 越



人民卫生出版社
PEOPLE'S MEDICAL PUBLISHING HOUSE

P practice

3rd Edition



of Pediatric Electrocardiography

实用小儿心电图学

第3版

名誉主编 梁翊常
主 编 袁 越
副主编 林 利 高 路 王 勤 张励兵
主编助理 甄 珍
编 委 (按姓氏笔画排序)

首都医科大学附属北京儿童医院

于 霞 王 勤 王 颖 王乃坤 王兰菊 田 莉
吕翠红 朱家莱 刘 颖 李 云 李 棠 李奇蕊
吴明昌 张励兵 邵 魏 林 利 郑德珍 袁 越
贾 羽 高 玲 高 路 唐浩勋 崔 焱 梁翊常
霍美玲 冀石梅

北京大学第一医院

于 文 杜军保 李红霞

中国医学科学院阜外心血管病医院

孙瑞龙 胡绳俊 姜治中

秘 书 刘晓惠 甄 珍

人民卫生出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

实用小儿心电图学 /袁越主编. —3 版. —北京: 人民卫生出版社, 2018

ISBN 978-7-117-27179-0

I. ①实… II. ①袁… III. ①小儿疾病-心电图 IV. ①R725.404

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 166099 号

人卫智网	www.ipmph.com	医学教育、学术、考试、健康, 购书智慧智能综合服务平台
人卫官网	www.pmph.com	人卫官方资讯发布平台

版权所有, 侵权必究!

实用小儿心电图学
第 3 版

主 编: 袁 越

出版发行: 人民卫生出版社 (中继线 010-59780011)

地 址: 北京市朝阳区潘家园南里 19 号

邮 编: 100021

E - mail: pmph@pmph.com

购书热线: 010-59787592 010-59787584 010-65264830

印 刷: 北京汇林印务有限公司

经 销: 新华书店

开 本: 889 × 1194 1/16 印张: 32

字 数: 946 千字

版 次: 1981 年 9 月第 1 版 2018 年 9 月第 3 版

2018 年 9 月第 3 版第 1 次印刷 (总第 4 次印刷)

标准书号: ISBN 978-7-117-27179-0

定 价: 198.00 元

打击盗版举报电话: 010-59787491 E-mail: WQ@pmph.com

(凡属印装质量问题请与本社市场营销中心联系退换)



序 一

《实用小儿心电图学》诞生于1981年，是中国第一部系统介绍小儿心电图的专业学术著作，由儿童心血管专业创始人梁翊常教授主编，作为首部国内小儿心电图学的参考书，出版以来受到广大读者的欢迎，已成为国内儿科界心电图的常用参考书籍，在中国儿科心血管领域有着举足轻重的地位。伴随着我国小儿心脏病学科发展，儿童心电学不断更新，《实用小儿心电图学》（第3版）即将面世，乃众望所归。

心电图检查技术应用已经超过100年的历史，由于它具有设备简单、操作方便、无创安全等诸多优点的同时，还具有灵敏性、准确性及特异性，在心脏病的诊断、治疗过程中居于必不可少的举足轻重的地位，至今无可替代。近年来，随着科学技术的飞速发展，心电图领域中的相关理论、仪器及应用也在不断地发展，始终保持着发展空间。

首都医科大学附属北京儿童医院心脏内科由儿科心血管创始人梁翊常教授建立，历经几代人发展壮大，至今已50余年，心脏内科团队秉承敬业、仁爱、求真、务实的精神，严谨、谦虚的学风，不断开拓创新。近10年来，我院心脏内科在袁越主任的带领下，在全国率先开展了三维标测下小儿射频消融术，完成了小儿射频消融的零曝光，此技术在全国乃至国际小儿心血管界居于领先地位，如切如磋、如琢如磨的治学态度，积累了大量的临床经验及资料，在儿童心律失常、心脏电生理及射频消融等多个领域均有所成就。两年前，心脏内科的袁越主任及其团队决定对《实用小儿心电图学》进行第3版修订，新版书中多处增加引用了儿童心血管疾病的经典及罕见实例，贴近临床思维，易于理解。书中内容高度概括、文字精炼、言简意赅，同时配上精美的插图，让读者爱不释手。

本书将首都医科大学附属北京儿童医院多年积累的临床资料结合病例编写成书与广大同道分享，并结合日新月异、不断更新的医学知识将全书进行更新、修订，作为第3版即将付梓出版。希望将成为儿科医生心电图学经典的案头必备书籍，帮助更多的儿科及血管专业医师提升专业水平，并促进学科进一步发展，共同为儿童健康事业的发展添砖加瓦！

国家儿童医学中心
首都医科大学附属北京儿童医院院长

2018年8月



序 二

儿童健康事业关系着家庭幸福和民族未来，是中华民族伟大复兴的中国梦的基石，作为中华医学会儿科学分会的候任主任委员，我深感责任重大，任重而道远。中华医学会儿科学分会自成立以来，儿科心血管专业是最早成立的经典专业之一，其学科地位和临床意义重大。

《实用小儿心电图学》初版问世 30 余年，是中国第一部系统介绍儿童心电图的专业学术著作，之后于 1998 年进行第 2 次修订。伴随着我国小儿心脏病学科发展，《实用小儿心电图学》从无到有，不断更新与充实，有赖于众多编者的支持与参与。作为首部国内小儿心电图学的参考书，出版以来受到广大读者的欢迎，已成为国内儿科心电图的常用参考书籍。近年来国家儿童医学中心心血管专业在袁越主任的带领下，在儿童心律失常、心脏电生理及射频消融等多个领域有了突飞猛进的发展，《实用小儿心电图学》在内容方面也有必要与时俱进、充实、更新，以保持其实用性及前沿性。

应广大读者的要求，时隔 20 年，《实用小儿心电图学》进行了第 3 次修订再版。再版工作于 2016 年启动，历时两年完成修订。在秉承原书的风格基础上，进行充实、更新，反映了当前的学术进展。更加注重理论与临床医学相结合，增强了应用技术的临床指导性和前瞻性。

“公慈勤和”的四字院训浓缩了我院的办院宗旨，是儿医人的真实写照，也是《实用小儿心电图学》再版的动力源泉与思想精髓。《实用小儿心电图学》汇集了首都医科大学附属北京儿童医院多年积累的宝贵资料，为“公慈勤和”赋予了新的时代内涵，是儿科医师的宝贵财富的结晶。

在《实用小儿心电图学》（第 3 版）即将面世之际，感谢我院心脏内科袁越主任带领的团队，以及所有作者的努力与付出，不顾辛劳挑灯捉笔，使得本书最终能够顺利出版。本书的出版同时也得到了人民卫生出版社的大力支持，在此一并致以由衷的感谢！

国家儿童医学中心
首都医科大学附属北京儿童医院
中华医学会儿科学分会候任主任委员
北京医学会儿科学分会主任委员

2018 年 8 月



序 三

又是一年春暖花开时，第3版《实用小儿心电图学》展现在心电图这百花盛开的学术园地，正式出版了。这是一本图文并茂的心电图专著，书中内容的文字精炼、条理清晰，尤其是大量的经典及罕见的心电图图例，给读者留下了深刻的理解和记忆。

《实用小儿心电图学》出版问世已30余年，是中国第一部系统介绍儿童心电图的专业学术著作，有很高的知名度，成为众多儿科从业者的指导用书。这本书的最大特点是实用性强，易于理解和掌握。作为一名从事了30余年儿童心血管疾病工作的医生，我深知心电图对心血管疾病诊治的重要性。我代表中华医学会儿科学分会心血管学组及北京医学会儿科学分会心血管学组对第3版《实用小儿心电图学》的出版表示衷心的祝贺。

袁越主任带领的北京儿童医院心脏内科团队在儿童心律失常、心脏电生理及射频消融等多个领域均有所成就，书中多处引用儿童心血管疾病的经典及罕见实例，贴近临床思维，易于理解。我相信，在中国儿科心电图百花盛开的园地中，《实用小儿心电图学》（第3版）一书一定会脱颖而出，成为一处盛景。其不仅适宜初学入门的心电图技师与住院医师阅读，还适宜各级医学生、研究生及各级临床医师学习参考。

青出于蓝而胜于蓝，我相信《实用小儿心电图学》（第3版）将为我国小儿心脏病的学科发展提供优质的教材，在提高我国儿科心电图的判读方面起到了积极推动作用，在小儿心血管临床事业的发展中发挥重要的促进作用。

北京大学第一医院儿科教授、主任医师
中华医学会儿科学分会心血管学组组长
北京医学会儿科学分会心血管学组组长

2018年8月



第 3 版前言

中国第一部《实用小儿心电图学》问世至今 30 余年，自发行以来广受读者欢迎，得到了国内儿科界同仁的充分肯定，更成为了众多小儿心血管从业人员的重要工具书和参考文献，广泛应用于教学、培训和临床实践中。伴随着我国小儿心脏病学科发展迅速，许多理论和技术日新月异，在广大读者的高呼声中，首都医科大学附属北京儿童医院心脏内科不违初衷，与时俱进，厚积薄发，第 3 版《实用小儿心电图学》终于面世。

我们将前版内容进行了相应的调整 and 变化，在精简原来内容的基础上，第 3 版增补了约三分之一的新内容并替换了大量图例。例如，新增平板运动试验、动态心电图、食管心电图、直立倾斜试验、心内心电图等内容。同时，新增“心律失常的介入治疗”、“离子通道病心电图”、“其他心脏病心电图”等章节。在“期前收缩”章节系统地介绍了室性期前收缩的分类，总结了室性期前收缩体表心电图的定位诊断要点。在“心律失常的介入治疗”这一章节中，通过大量图例使读者对射频消融术中心内心电图、三维标测图以及起搏器心电图有了初步认识。值得一提的是，在最后一章中我们将临床工作中遇到的疑难心电图归纳总结，言简意赅地为各位读者讲述了临床常见易混淆心电图的特点，希望对各位读者有所帮助。

该书内容丰富，系统性、实用性和可读性强，语言精练，通俗易懂，并在大多数章节后附有相关病例资料和心电图表现，便于临床医师快速掌握相关心电图及疾病的诊断思路，适合于儿科医护工作者、儿科心血管专业医生、医学本科生、研究生、进修生使用。

本书在编写中难免有不当之处，希望各位同仁不吝指教，欢迎发送邮件至邮箱 renweifuer@pmph.com，或扫描封底二维码，关注“人卫儿科”，对我们的工作予以批评指正，以期再版修订时进一步完善，更好地为大家服务。在此诚挚感谢北京儿童医院领导的大力支持、心血管学界同仁的热情鼓励和北京儿童医院心脏内科全体同事的辛勤付出！特别感谢甄珍、刘晓惠两位同志在此次再版修订过程中为心电图收集及整理做出的贡献！

国家儿童医学中心
首都医科大学附属北京儿童医院心脏内科主任

原首都医科大学附属北京儿童医院心脏内科主任

2018 年 8 月



第2版前言

近年来，我国儿科预防医疗事业不断发展，心血管专业的临床及基础研究取得了可喜的成绩。在心电图方面，有些儿科单位已开展了与心电图有密切联系的心电生理研究，对理解心律失常的发生机制，明确诊断和指导治疗起到重要作用。

《实用小儿心电图学》自1981年出版至今已15年。人民卫生出版社希望此书再版，以适应学科的新进展，满足儿科工作者的需要。为此，我们组织了我院内外科心血管专业的力量，并特别邀请中国医学科学院阜外医院心电生理研究室主任技师胡绳俊，研究员孙瑞龙、王方正同志参加编写工作，谨向他们表示衷心的感谢。

新版增添临床心电生理检查及其他新的章节，更新了各章内容，裁并了部分章节。新版吸取了国内外新近的有关文献，总结了该院数十年来较完整的临床心电图资料，对儿科医生可能有所帮助。由于编者水平有限，书中内容难免有缺点和错误，希望同道批评指正。

编写工作中，我院霍美玲副主任技师制作心电图，校对稿件，并编写全书索引。心功能室柴晓敏技师负责稿件电脑打字和誊写，血透析室张克玲同志协助。科研处刘淑琴技师绘制示意图以及心电图室宋爱玲、王晓蕙、王兰菊三位技师协助工作，特此致谢。

1996年2月



第 1 版前言

小儿在生长发育的过程中，不同年龄的小儿心电图有其特殊性。照成人的标准解释小儿心电图，有时可造成诊断上的错误。为此，本书根据小儿心电图的特点，收集和整理了有关小儿心电图正常值及我院近十五年临床积累的小儿异常心电图资料。分析和总结了各种小儿常见心律失常的心电图特点，提出了小儿不同年龄心电图的诊断数据及其临床意义。学习和研究心电图的儿科工作者可以用它作为一本参考书。

全书共二十章，分三个部分：第一部分为心电图的基本概念，小儿心电图特点及正常值；第二部分为异常心电图的诊断并另有专章介绍小儿心律失常的治疗；第三部分为常见心脏病、电解质紊乱和药物作用的心电图改变。为了便于读者参阅和应用，除了典型心电图图解之外，各章附有临床病例的图例分析。

本书第十九章有关先天性心脏病的部分是由中国医学科学院阜外医院心内科王方正同志及心电图室姜治忠同志编写的。全书心电图照片是请该院照相室杨立森和李武奎同志摄制的。对于他们的热情支持，深为感谢。全书索引由我院郑峤同志整理编写，心电图由王洁芬、吕中兰及范建华同志制作，示意图由刘淑琴同志绘制。在编写过程中，阜外医院心电图室姜治忠同志及上海儿童医院吴明漪同志对本书有些章节提出了许多宝贵意见，在此一并致谢。

《实用小儿心电图学》一书是在我院领导下编写的，诸福棠院长很关心这项工作，在百忙中修改了本书部分章节。在编写过程中得到了内科全体同志的大力支持，至为感谢。

限于编者对于小儿心电图的实践经验，本书内容难免有缺点和错误，希望广大读者批评指正。

编 者
1979 年 4 月



目 录

第一章 临床心电图的基本概念 1	第四节 梯形图在心律失常心电图中的应用
第一节 典型心电图及心电图坐标	第五节 干扰与干扰性房室脱节
第二节 心肌的除极和复极过程	第六节 图例分析 2 例
第三节 导联	第六章 正常窦性心律与窦性心律
第四节 心脏的传导系统	失常 110
第五节 P、QRS、T 波的形成机制	第一节 正常窦性心律
第六节 心电轴	第二节 窦性心动过速
第二章 正常心电图 15	第三节 窦性心动过缓
第一节 心电图的测量	第四节 窦性心律不齐
第二节 各波形正常值及其意义	第五节 游走心律
第三节 小儿心电图特征	第六节 窦房传导阻滞
第三章 心功能室检查的临床应用与	第七节 窦性静止
分析 47	第八节 窦房结功能障碍
第一节 心电图	第九节 图例分析 7 例
第二节 动态心电图	第七章 期前收缩 127
第三节 直立倾斜试验	第一节 室性期前收缩
第四节 心电图运动试验	第二节 房性期前收缩
第五节 经食管心房调搏术	第三节 房室交界性期前收缩
第四章 心房肥大及心室肥厚 68	第四节 窦性期前收缩
第一节 心房肥大	第五节 期前收缩的临床意义
第二节 心室肥厚	第六节 图例分析 5 例
第三节 图例分析 13 例	第八章 室上性心动过速、房扑、
第五章 心律失常总论 87	房颤及预激综合征 165
第一节 心律失常的分类	第一节 室上性心动过速
第二节 心律失常产生的机制	第二节 心房扑动与心房颤动
第三节 心律失常心电图的诊断步骤	第三节 预激综合征

第四节	图例分析 15 例	197	第二节	心肌梗死心电图	351
第九章	室性心动过速、室扑、室颤... 217		第三节	图例分析 4 例	357
第一节	室性心动过速	217	第四节	心电图负荷试验（运动试验）... 362	
第二节	心室扑动和颤动	228	第十五章	心包炎及心肌炎心肌病的	
第三节	图例分析 4 例	229		心电图	369
第十章	房室传导阻滞..... 235		第一节	心包炎	369
第一节	房室传导阻滞的分类	235	第二节	心肌病的心电图改变	371
第二节	房室传导阻滞的发生机制	236	第三节	图例分析 18 例	386
第三节	房室传导阻滞的心电图诊断	237	第十六章	离子通道病心电图	420
第四节	房室传导阻滞并发的心律失常	242	第一节	QT 间期延长综合征	420
第五节	房室传导阻滞的临床意义	243	第二节	Brugada 综合征	422
第六节	图例分析 6 例	244	第三节	儿茶酚胺敏感性多形性室速	423
第十一章	室内传导阻滞	251	第四节	短 QT 间期综合征	427
第一节	右束支传导阻滞	252	第五节	致心律失常性右室心肌病	428
第二节	左束支传导阻滞	256	第十七章	先天性心脏病的心电图..... 431	
第三节	左束支分支传导阻滞	258	第一节	先天性心脏病	431
第四节	双侧束支传导阻滞	259	第二节	图例分析 4 例	444
第五节	不定型的室内传导阻滞	260	第十八章	其他心脏病心电图	449
第六节	室内传导阻滞的临床意义	261	第一节	高血压	449
第七节	图例分析 7 例	262	第二节	药物性心脏病	450
第十二章	心律失常的药物治疗	272	第三节	风湿性心脏病	451
第一节	一般治疗原则	272	第四节	肺源性心脏病	453
第二节	心律失常的药物治疗	273	第五节	电击伤	454
第三节	心律失常的非药物治疗	282	第六节	甲亢	455
第四节	儿科主要心律失常的治疗	284	第十九章	电解质紊乱及药物作用对	
第十三章	心律失常的介入治疗：射频			心电图的影响	456
	消融术和起搏器植入	288	第一节	电解质紊乱对心电图的影响	456
第一节	希氏束电图	288	第二节	药物作用对心电图的影响	460
第二节	心律失常的射频消融治疗	307	第三节	图例分析 7 例	468
第三节	图例分析 11 例	314	第二十章	疑难心电图..... 478	
第四节	心脏起搏和起搏器心电图	329	参考文献.....	495	
第十四章	川崎病与冠脉病变心电图... 346		附录	497	
第一节	川崎病与冠状动脉病变的心电图				
	改变	346			



临床心电图的基本概念

心脏发生机械性收缩之前，先产生电激动，这种电激动可传导到人体的表面，使体表各部位产生电位改变，通过心电图机，把每次心动周期中体表一定部位的电位变化描记成连续的波形，即为心电图，它代表心脏电激动的综合过程。

第一节 典型心电图及心电图坐标

典型心电图是由一组波形组成。每一心动周期包括以下各波形（图 1-1）：

P 波 代表左、右心房除极的电位变化。心脏的激动起源于窦房结，最先传导至心房，产生

激动，故 P 波首先出现。

P-R 间期 自 P 波起点至 QRS 波起点的间隔时间，代表激动自窦房结经心房、房室交接区、房室束、左右束支、浦肯野纤维至心室肌的传导时间。

P-R 段 P 波后的一段等电位线称为 P-R 段。自 P 波终点至 QRS 波起点的间隔时间，代表激动在房室交接区、房室束、束支、浦肯野纤维至心室肌的传导过程。

QRS 波 代表左、右心室除极过程的电位变化。第一个向下的波称 Q 波，第一个向上的波称 R 波，继 R 波之后再出现向下的波称 S 波。

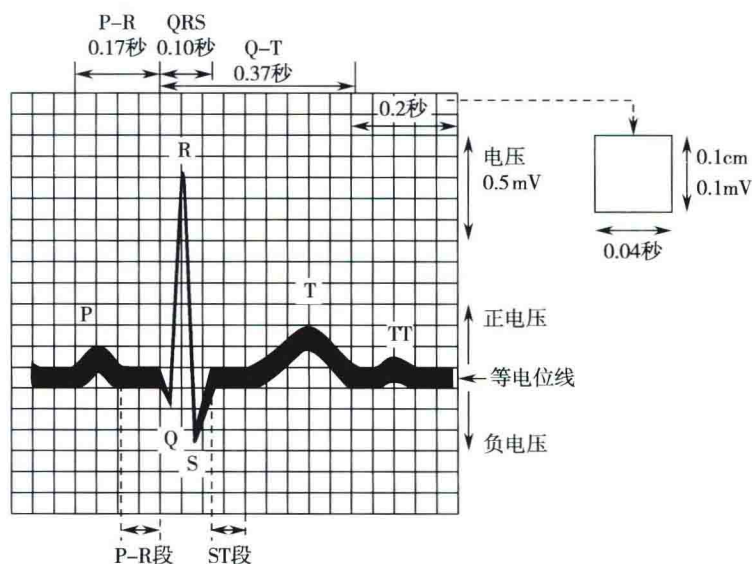


图 1-1 典型心电图及心电图坐标

ST段 自QRS波之终点至T波起点相连的一段。

T波 代表心室复极过程的电位变化。

Q-T间期 自QRS波起点至T波终点的间隔时间。代表心室除极和复极的全过程。

U波 代表心肌激动的激后电位。

T-P段 从T波结束到下一个心动周期P波开始的一段，代表心室完全复极完毕，此段处于等电位线上。

心电图纸印有纵、横直线的坐标，横坐标为时间坐标，常规记录心电图时，纸速为每秒25mm，每一小格代表0.04秒。纵坐标为电压坐标，一般10mm代表1毫伏(mV)电压，每一小格代表0.1mV，每两大格代表1.0mV。根据心电图的坐标，即可测出各波形的时间及电压。

(梁翊常 袁越)

第二节 心肌的除极和复极过程

单个心肌细胞的电激动是心脏电激动的基础。应用微电极插入心肌细胞内，借助敏感的电位计记录，可观察到单个心肌细胞的电激动现象，测得心肌细胞膜内外的电位差及变化情况(图1-2)。当心肌细胞处于静息状态时，细胞内的电位低于细胞外。如以细胞外的电位为零，细胞内低于此，为负电位。这种心肌细胞未受刺激静息状态的细胞膜内外的电位差称为静息跨膜电位，简称静息电位。心室肌的静息电位 $-90\sim-80\text{mV}$ 。当心肌接受适当的刺激后，细胞内的负电位消失，短时间内转为 $+20\sim+30\text{mV}$ ，再经过几个时相又恢复到原有的负电位。这一静息电位消失与恢复过程称为动作电位，即心肌细胞的除极和复极过程。体表心电图与心肌细胞的动作电位是密切相关的。

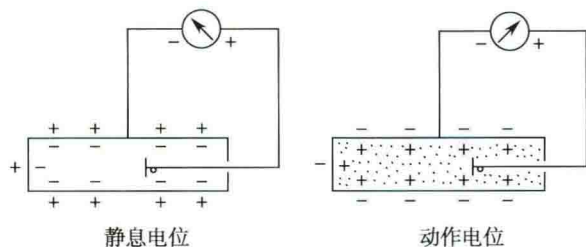


图1-2 测定心肌细胞膜电位示意图

一、静息电位及动作电位产生的机制

心肌膜电位的变化与下列因素有关：

1. **心肌细胞膜内外离子浓度** 心肌细胞内液和细胞外液中各种离子浓度不同，形成化学梯度，离子从高浓度处向低浓度处转移。细胞内液中钾离子(K^+)浓度为细胞外液的30~40倍，而细胞外液中的钠、钙、氯离子(Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Cl^-)浓度高于细胞内液(表1-1)。由于化学梯度促使细胞内 K^+ 向细胞外转移，细胞外 Na^+ 、 Ca^{2+} 向细胞内转移，发生离子流。离子流方向以正离子在细胞两侧流动的方向来命名。正离子外流称为外向离子流，正离子内流称为内向离子流。外向离子流出现正电荷向膜外运转，形成跨膜电流称为外向电流，内向离子流形成内向电流。内向电流导致膜电位向正电位转化，促进除极过程，外向电流导致膜内电位向负电位转化，促使膜复极。

表1-1 心肌细胞内外主要离子浓度及平衡电位值(Nernst公式)

离子	浓度 (mmol/L)		内 / 外比值	平衡电位值 (mV)
	细胞浓度	细胞外液		
钾	140	4	35 : 1	-94
钠	30	140	1 : 4.6	+40
钙	10^{-4}	2	1 : 20 000	+132
氯	30	103	1 : 3.5	-33

2. **心肌细胞膜上的离子通道** 心肌细胞膜由两层脂质分子组成，膜上镶嵌有不同蛋白质分子，形成供离子通过的孔道，称离子通道。各种离子向细胞内外移动，都需经过各自的特异通道。离子通道的激活和失活依赖于膜电位。适当的膜电位在一定条件下，离子通道激活，闸门开放，离子自由通过，随后通道失活，闸门关闭，阻止离子通过。 Na^+ 通道的多肽结构中 S_4 段为激活闸门，单位4及单位4间的连接点为失活闸门。 Na^+ 通道在膜电位约 -85mV 激活，闸门开放，细胞膜对 Na^+ 通透性增大，直至膜电位上升至 0mV 附近，通道失活，闸门关闭，阻止 Na^+ 移至细胞内。

3. **钠泵及 Ca^{2+} 、 Na^+ 交换** 心肌细胞膜内钠泵通过消耗能量三磷酸腺苷(ATP)，主动将细胞内多余的 Na^+ 排除细胞外，以及细胞外的 K^+ 进入细胞内，是从浓度低处向浓度高处逆向运转的，排出的钠要比细胞外运转入细胞内的 K^+ 多，为

3 : 2。Ca²⁺、Na⁺ 交换受膜电位及膜内外 Ca²⁺、Na⁺ 的浓度阶差的影响, 3 个 Na⁺ 交换 1 个 Ca²⁺。静息状态时, 3 个 Na⁺ 进入细胞内, 1 个 Ca²⁺ 移出细胞外。

二、静息电位

静息电位的形成主要由于心肌细胞内外 K⁺ 浓度阶差很大引起。随着化学梯度细胞内 K⁺ 向细胞外移出。静息状态时, 细胞膜 K⁺ 通道激活, 闸门开放, 进而促进大量 K⁺ 外移。细胞内带正电荷的 K⁺ 移到细胞外, 使细胞外电位高于细胞内。细胞内带负电荷的主要有蛋白质, 它不能通透出细胞外, 因而细胞内电位低于细胞外。但 K⁺ 的外移, 又受到电学的引拒, 即细胞外的正电位拒斥 K⁺ 继续外移, 而细胞内负电位又吸引 K⁺ 存留。这两种相反的作用力(化学梯度及电学引拒)作用迅速达到平衡, 使细胞膜内外电位差稳定在某一水平, 即为静息电位。静息状态时, 细胞膜外为正电位, 膜内为负电位, 心肌细胞处于极化状态。应用 Nernst 公式计算 K⁺ 的平衡电位值为 -94mV (表 1-1), 与微电极测得值 -95~-80mV 相近, 因静息电位并不完全由 K⁺ 决定, Cl⁻ 及 Na⁺ 虽通透性极小, 但也起到微弱的作用。

三、动作电位

心肌动作电位的基础是静息电位, 当心肌细胞受到外来刺激而兴奋时, 静息电位迅速消失, 约占 1~3 毫秒 (ms), 以后又逐渐缓慢恢复, 约占 300 毫秒。静息电位时, 心肌细胞为极化状态; 当静息电位消失, 细胞内为正电位, 细胞外为负电位, 称为除极; 继而又恢复极化状态称为复极。静息电位消失与恢复过程的膜电位变化即动作电位。动作电位分为 0、1、2、3 四个时相。0 相为除极阶段, 1、2、3 相为复极阶段。4 相为静息期或舒张期。一般心房肌和心室肌细胞 4 相电位保持稳定水平, 即静息电位 (图 1-3)。

0 相 是心肌细胞静息电位迅速消失的时相, 膜电位从 -90mV 迅速上升为正电位, 极化逆转, 为心肌细胞除极过程。除极速度浦肯野纤维为 800V/s, 心房、心室肌 200~500V/s, 而窦房结及房室结较慢, 仅 20~50V/s, 因离子通透性而异。图 1-3 示心室肌细胞膜电位及离子流, 除极过程细胞膜上 Na⁺ 通道激活, 闸门开放, 细胞膜对 Na⁺ 通透性骤然增加, Na⁺ 内流促使膜电位的

上升, 更多的钠通道开放, 使 Na⁺ 通过更为通畅。此外, 细胞外液 Na⁺ 浓度为 140mmol/L, 明显高于细胞内液的 30mmol/L, 大量 Na⁺ 离子流急剧进入细胞内, 形成快 Na⁺ 内向电流。使细胞内电位迅速上升, 在 1~3 毫秒内由负值达到 +30mV, 一瞬间发生电位由负转为正电位, 称为极化逆转, 在 0mV 以上水平称超射。虽然 Na⁺ 内流与 0 相上升相互促进, 但由于膜电位上升到 0mV 附近时, Na⁺ 通道失活, 限制 Na⁺ 内流。另外, 在膜电位上升到 -55mV 时, 细胞膜上的 Ca²⁺ 通道亦被激活, 除极过程中也激活了其他复极电流, 因而除极 0 相上升的幅度受限, 并连接复极过程。

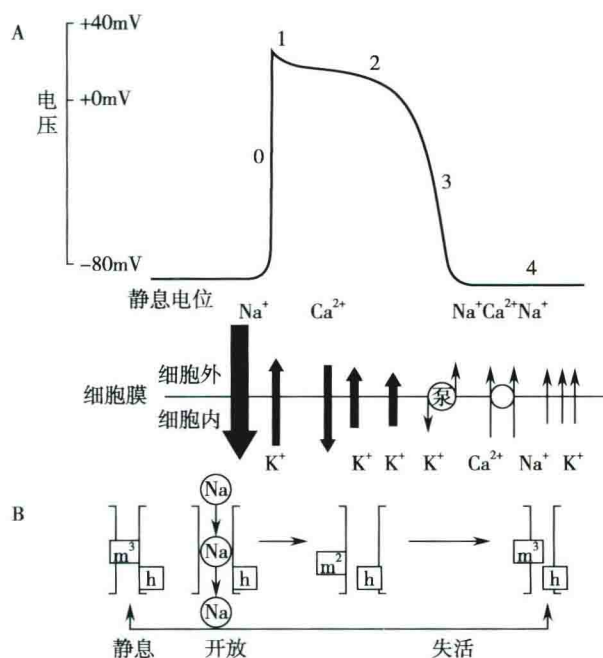


图 1-3 心室肌细胞动作电位及离子活动示意图

A. 不同时相的离子流, 箭头指示方向, 粗细提示不同时期离子流的大小; B. 细胞膜钠离子通道的闸门在不同时期的改变

1 相 为初始复极相。整个复极过程较缓慢, 离子流不同。1 相约占 10 毫秒, 形成 1 相的主要离子流是短暂的 K⁺ 外流、Cl⁻ 内流和快 Na⁺ 内流的失活, 使膜电位降低, 此后即进入平台期。

2 相 又称平台期, 此期净电流较小。膜电位保持在零电位水平, 时间长达 100 毫秒, 是心肌细胞动作电位的特征。在膜电位 -55mV 时, 慢 Ca²⁺ 通道已开始激活, 平台期 Ca²⁺ 通过 L 型 Ca²⁺ 通道进入细胞内, 加以细胞外 Ca²⁺ 浓度高于细胞内 2 万倍, 形成了 Ca²⁺ 内流, L 型通道失活缓慢,

因而2相复极速度慢，平台期持续较长。另一主要离子流为 K^+ 外流。与静息期比较，2相 K^+ 外流较少，其原因是通过 K^+ 通道(ik_1)内向整流，使 K^+ 保留在细胞内，外流较少，也是保持平台期电位能长达100毫秒以上的一个因素。

3相 是继平台期之后的终末快速复极相。复极速度较2相快，但仍占150毫秒， Ca^{2+} 慢通道失活关闭， Ca^{2+} 内流停止，膜电位下降，外向 K^+ 流增多，当膜电位愈接近负值时，就愈促进 K^+ 外流，直到 K^+ 平衡电位，即静息电位($-90mV$)。

以上四个时相组成了心肌细胞动作电位，持续时间称动作电位时程，一般为300毫秒。

4相 在3相复极完成之后，即为静息期或舒张期。心肌细胞在除极及复极过程中细胞内离子改变在4相中恢复。通过细胞膜上的钠泵将多余的 Na^+ 排出，并摄取细胞外 K^+ 进入细胞内。2相进入的 Ca^{2+} ，经过 Ca^{2+} 、 Na^+ 交换， Na^+ 进入细胞内， Ca^{2+} 移出。从而使4相维持在静息电位水平。无自律性的心肌细胞，4相保持在稳定水平，为一水平线。具有自律性的特殊细胞，如窦房结及房室交接区，4相并不保持在稳定水平，达到最大的负电位(即最大舒张期电位)后，便缓慢地以一定斜度上升，至阈电位时便开始0相除极，称为自发性舒张期除极，可能由于 Ca^{2+} 缓慢内流引起。

四、心肌细胞的动作电位类型

不同的心肌细胞膜电位可分为两个类型：快反应电位和慢反应电位。正常情况下，心房肌、心室肌、房室束、结间束、房室束、束支及浦肯野纤维的反应电位，属于快反应纤维。其膜电位特点是：①静息电位大，约 $-90\sim-80mV$ ，并保持稳定水平；②0相上升幅度大，速度快，即除极速度快，主要由 Na^+ 通道激活引起；③激动传导速度快。窦房结和房室交接区的膜电位是慢反应电位，属慢反应纤维。其膜电位特点是：①静息电位较小，约 $-70\sim-50mV$ ，而且不稳定，出现自发性舒张期除极；②除极速度慢，上升幅度小；③激动传导速度慢。图1-4示窦房结膜电位，0相上升速度慢小，幅度小，1、2、3相界限不分明，4相不在一水平线。快、慢反应纤维的电位差别见表1-2。

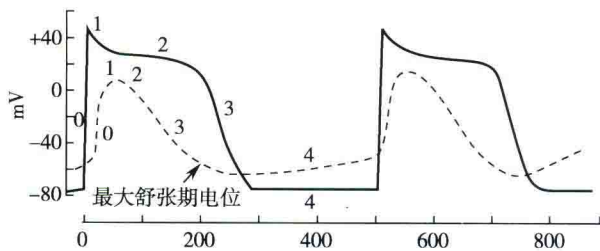


图 1-4 浦肯野纤维和窦房结细胞的动作电位比较示意图

实线为浦肯野纤维，静息电位 $-80mV$ ，4相呈水平线。应激发后，0相迅速上升。虚线为窦房结细胞，4相最大舒张期电位 $-60mV$ ，发生自发除极，上升为0相

表 1-2 快、慢反应纤维膜电位差别

电生理特性	快反应纤维膜电位	慢反应纤维膜电位
通道激活及失活	快	慢
主要离子流	钠离子	钙离子
阻断剂	河豚毒素	维拉帕米
静息电位	$-90\sim-85mV$	$-70\sim-50mV$
阈电位	$-70\sim-60mV$	约 $-40mV$
0相超射	$+15\sim+30mV$	$0\sim+15mV$
0相速度	$100\sim1000V/s$	$1\sim10V/s$
动作电位幅度	$100\sim120mV$	$40\sim55mV$
传导速度	$0.5\sim3.0m/s$	$0.01\sim0.1m/s$
心肌纤维类型	心房、心室肌及传导纤维	窦房结、房室结起搏细胞

五、动作电位与心电图的关系

心室肌细胞动作电位代表单个细胞除极和复极过程。0相到3相结束时间为动作电时程。0相为除极；1、2、3相都是复极过程。心电图QRS-T波为体表记录的左、右心室综合的除极和复极过程，两者是相关的。0相相当于心电图QRS波，1相相当于心电图中的J点，2相相当于ST段，3相相当于T波，4相相当于T波后的等电位线。动作电位时程相当于Q-T间期(图1-5)。

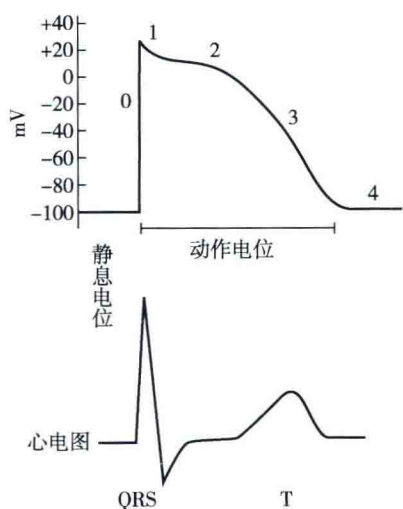


图 1-5 心室肌细胞动作电位与心电图的关系

(梁翊常 袁 越)

第三节 导联

每个心动周期的心脏电活动可传播到人体表面，将正负两个电极板放在人体表面的任何部位，再用导联线连接到心电图机，即可记录心电图。放置电极板的方法与心电图机的连接方式称为导联。心电图导联系统是国际通用的。

一、常用的心电图导联

1. 标准导联 包括 I、II、III 导联，电极板与导联线连线方式见图 1-6。红色导联线接右臂，黄色接左臂，绿色接左下肢，黑色接右下肢为地线。I 导联：左上肢接连于心电图机的正极，右上肢接连于心电图机的负极。II 导联：左下肢

接连于心电图机的正极，右上肢接连于心电图机的负极。III 导联：左下肢接连于心电图机的正极，左上肢接连于心电图机的负极。标准导联又称双极导联，于 20 世纪初由爱索芬 (Einthoven) 所创立。

2. 单极肢体导联 20 世纪 40 年代采用单极导联。将探查电极置于某一肢体，连接于心电图机的正极，另两个肢体的导线各通过 5000Ω (欧姆) 的电阻后，互相连接到中心电站，其电位接近于零，即为无干电极，再连接于心电图机的负极。这种连线方式称单极肢体导联。右上肢单极肢体导联(用 aVR 代表)、左上肢单极肢体导联(用 aVL 代表)及左下肢单极肢体导联(用 aVF 代表)的连线方式见图 1-7。

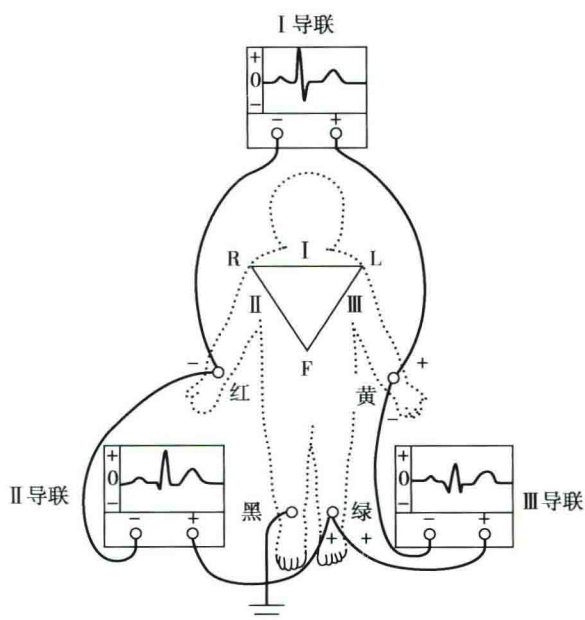


图 1-6 标准导联连线方式

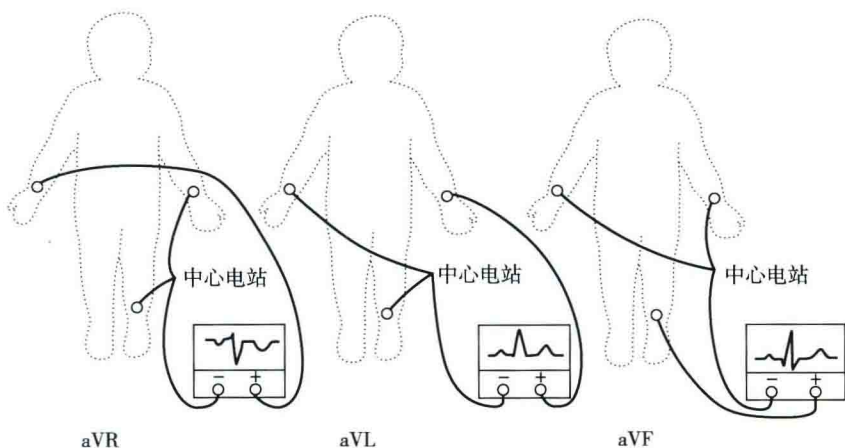


图 1-7 单极肢体导联连线方式

3. 心前区导联 探查电极置于胸前位置, 接连于心电图机的正极, 无干电极连于中心电站 (三个肢体的导联线各加 5000Ω 的电阻, 连接在一起, 其电位几乎等于零), 再连于心电图机的负极。常用 V_1 、 V_2 、 V_3 、 V_4 、 V_5 、 V_6 导联。心前区导联连线方式及探查电极的位置见图 1-8 及图 1-9。

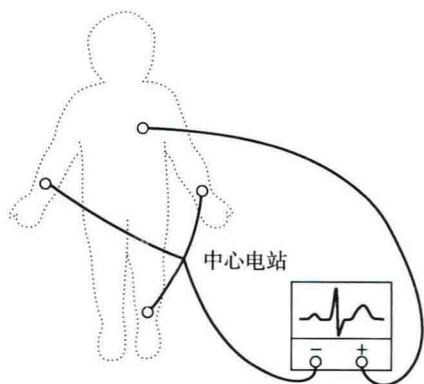


图 1-8 心前区导联连线方式

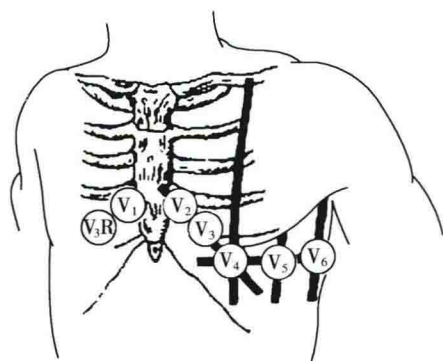


图 1-9 心前区导联探查电极的位置

V_1 导联探查电极位于胸骨右缘第四肋间, V_2 位于胸骨左缘第四肋间, V_3 位于 V_2 与 V_4 连线之中点, V_4 位于左第五肋间锁骨中线处, V_5 位于与 V_4 同一水平的腋前线处, V_6 位于 V_4 同一水平的腋中线处, V_3R 位于右前胸壁, 相当于 V_3 的位置。 V_1 、 V_2 、 V_3R 导联位于右室前面的胸壁上, 为右心前区导联, V_5 、 V_6 导联位于左室前面的胸壁上, 为左心前区导联, V_3 、 V_4 导联为中间心前区导联。

各导联描记的心电图都是反映综合心电向量, 双极导联和单极导联没有本质上的差别, 标准导联和单极肢体导联的心电图都是额面心电向量在不同导联轴上的投影, 心前区导联心电图是横面心电向量环在心前区导联的投影 (见本章 P、QRS、T 波形成机制节)。

心电图机均有导联盒, 各导联连线方式在操作上很简单, 只需描记时正确按规程操作, 准确描记各导联的心电图。

常规心电图描记采用 I、II、III、aVR、aVL、aVF、 V_1 、 V_2 、 V_3 、 V_4 、 V_5 、 V_6 共十二个导联。小儿右室占优势, 常加 V_3R 导联。

二、附加导联

除以上常用导联外, 在特殊情况下, 还需做附加导联, 协助心电图诊断。随着心电学发展, 附加导联罕见应用, 绝大多数依赖心内电生理的日臻深入来明确临床工作中所遇到的疑难心电图的诊断。

1. 食管导联 用食管电极导管放入食管下端靠近左房水平, 可记录到明显的食管心电图的心房波 (P_E)。用于鉴别宽 QRS 波的心动过速、心房扑动、心房颤动及室上性心动过速。

2. 肢体心前区导联 CR_1 导联: 将正极 (黄色导线) 放于 V_1 位置, 负极 (红色导线) 放于右上肢, 导联选择钮置于 I 导联描记。 S_5 导联: 将正极 (黄色导线) 放于胸骨右缘第五肋间, 负极 (红色导线) 置于胸骨柄, 导联选择钮置于 I 导联描记。 CR_1 及 S_5 导联描记 P 波较明显, 有助于心律失常的诊断。

3. 监测导联 MCL 导联: 负极置于左锁骨下锁骨中线处, 正极置于心前区导联 V_1 、 V_2 、 V_3 、 V_4 、 V_5 及 V_6 处, 即为 MCL_1 、 MCL_2 、 MCL_3 、 MCL_4 、 MCL_5 、 MCL_6 导联。 MCL_2 及 MCL_6 用于监测心律失常; MCL_2 及 MCL_3 用于监测心肌缺血。

三、导联轴

某一导联正负极之间的假想连线, 称为该导联的导联轴。导联轴的方向为负极指向正极, 正极段为正电段, 负极段为负电段。

1. 爱索芬三角学说 爱索芬 (Einthoven) 于 1913 年提出三角学说以解释心电图的原理, 有四点假设: ①人体为一均匀的容积导体; ②标准导联的三个连接点 (左臂、右臂、左下肢) 形成等边三角形, 三角形的三边 LR、FL、FR 分别为 I、II、III 导联正负两极连线; ③心脏的电激动过程, 犹如在此三角中心点的一对电偶移动; ④肢体导联的电位改变代表额面心电变化。此假设符合现今心电生理研究结果。

从三角形中心点分别画与三个导联轴的垂