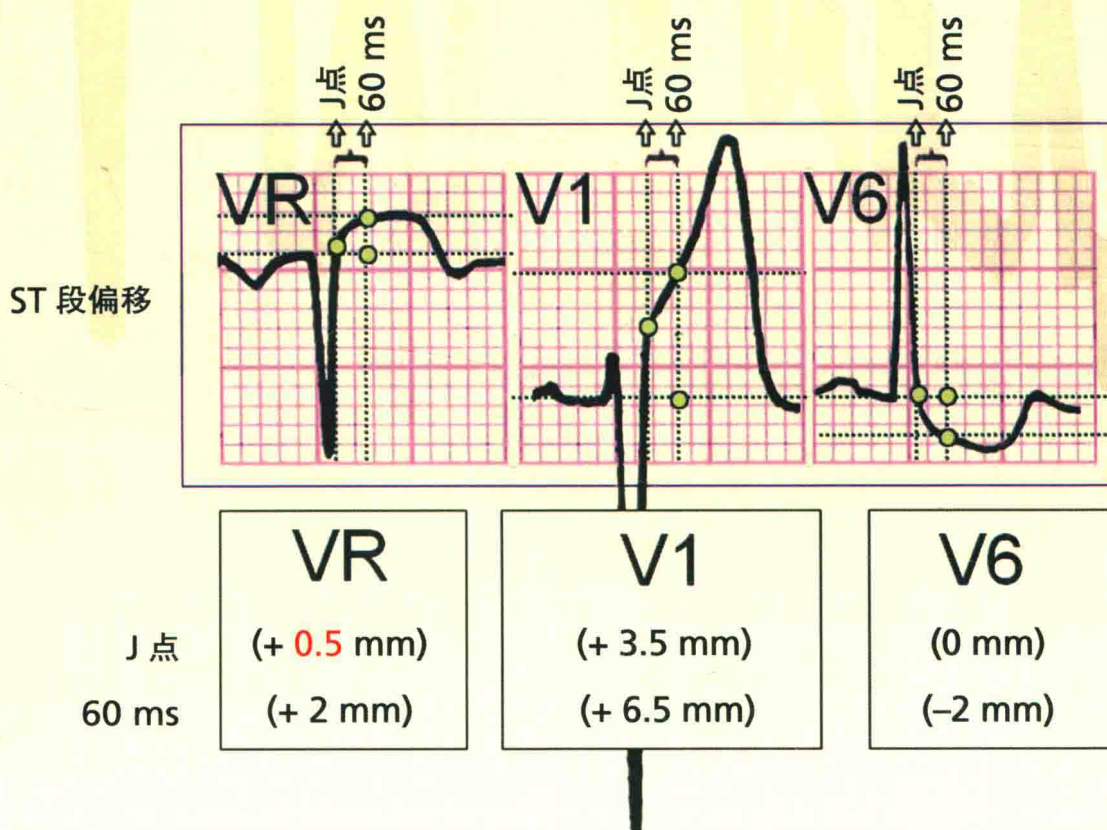


心电图

从入门到精通

ECG FOR BEGINNERS

原著 Antoni Bayés de Luna 主译 刘刚



北京大学医学出版社

心电图从入门到精通

ECG for Beginners

原 著 Antoni Bayés de Luna

主 译 刘 刚

译 者 (按姓名汉语拼音排序)

陈 琪 (中国人民解放军总医院)

侯爱军 (邯郸市中心医院)

纪 征 (唐山工人医院)

刘 超 (河北医科大学第一医院)

刘 刚 (河北医科大学第一医院)

刘红彬 (石家庄市第三医院)

马芳芳 (河北医科大学第一医院)

马国平 (河北医科大学第一医院)

齐书英 (白求恩国际和平医院)

田 立 (河北医科大学第一医院)

王 军 (辛集市第一医院)

战吟戈 (泰达国际心血管病医院)

郑明奇 (河北医科大学第一医院)

北京大学医学出版社

XINDIANTU CONG RUMEN DAO JINGTONG

图书在版编目 (CIP) 数据

心电图从入门到精通/(西) 安东尼·卢纳原著;
刘刚主译. —北京: 北京大学医学出版社, 2016.9

书名原文: ECG for Beginners

ISBN 978-7-5659-1458-4

I. ①心… II. ①安… ②刘… III. ①心电图—基本知识 IV. ①R540.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 211981 号

北京市版权局著作权合同登记号: 图字: 01-2016-3656

ECGs for Beginners. Antoni Bayés de Luna . ISBN 978-1-118-82131-2.

Copyright © 2014 by John Wiley & Sons, Inc.

All Rights Reserved. This translation published under license.

Simplified Chinese translation copyright © 2016 by Peking University Medical Press.

All rights reserved.

心电图从入门到精通

主 译: 刘 刚

出版发行: 北京大学医学出版社

地 址: (100191) 北京市海淀区学院路 38 号 北京大学医学部院内

电 话: 发行部 010-82802230; 图书邮购 010-82802495

网 址: <http://www.pumpress.com.cn>

E - mail: booksale@bjmu.edu.cn

印 刷: 中煤(北京)印务有限公司

经 销: 新华书店

责任编辑: 高 瑾 责任校对: 金彤文 责任印制: 李 啸

开 本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 16.25 插页: 8 字数: 419 千字

版 次: 2016 年 9 月第 1 版 2016 年 9 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5659-1458-4

定 价: 88.00 元

版权所有, 违者必究

(凡属质量问题请与本社发行部联系退换)

中文版序

转眼又到了秋日胜春潮的八月时节，俗话说：春种、夏长、秋实，这是指春天播下的种子，经过勤劳汗水的浇灌与耕耘，才能换来金秋的收获，换来丰收的硕果和喜悦。而此时摆在案头的《心电图从入门到精通》一书的译稿，正是刘刚教授及团队历经八个月的苦战，最终用汗水变成入秋后最早的丰收硕果。

顾名思义，《心电图从入门到精通》一书是世界著名的心脏病和心电学大师 Antoni Bayés de Luna 专为心电图初学者设计与撰写的，将其 40 余年的临床经验凝聚于此。

与其他心电图入门的专著不同，本书有着诸多鲜明的亮点：

1. 理念水平超前：作为心电图初学者的入门书籍，本书内容虽简明扼要但学术水平却不失前沿性，如阐述心脏解剖特点时，书中已将最现代的磁共振成像技术与心电图的相关概念紧密融合，尚属首创。

2. 文字言简意赅：纵观全书，本书图文比例已成倒置，全书以容易理解和掌握的示意图、心电图典型图例为主，去分析和解释心电图枯燥和难以理解的机制，再配合准确而简要的文字做进一步说明，使本书简明易读、利于理解和记忆。

3. 每章均附试题：为使读者能对每章内容的掌握程度做出自我评估，书中每章之末都附有自测试题，利于自我考核，了解对知识的吸收与掌握情况。

上述诸多亮点，使本书既适合初学者应用，也适宜有一定基础读者的提高。这些亮点也使本书被译为几十种文字而在全球广泛

发行。凭借这些亮点，使本书成为心电图领域的圣经（Bible）。

本书主编 Antoni Bayés de Luna 是一位国际著名的心脏病学家和心电学家，其 1936 年生于西班牙巴塞罗那附近的维克（Vic）小城，而现已耄耋之年的 Bayés de Luna 至今还活跃在心血管领域的第一线。他毕业于巴塞罗那大学，后在英国 Hammersmith 医院完成了心脏病专科医师的培训，并于 1964 年成为心脏病专科医师，随后成为巴塞罗那 Autonomus 大学的全职教授。他曾任西班牙 Catalan 心脏病学会主席，世界心脏联盟的首任主席，他还是世界心脏日组委会主席，为推动世界心脏病学及心电学的发展做出了卓越贡献。

在心电学领域，Antoni Bayés de Luna 著作颇丰。他的《临床心电图学》已出到第 4 版，他的另两本专著已有中文版在国内发行，一本是《缺血性心脏病的体表心电图》，另一本是《基础心电图：正常与异常心电图》，这些中译本使中国心电学者对其并不陌生。本次由刘刚教授主译的《心电图从入门到精通》是我国引进翻译他的第三本专著。Antoni Bayés de Luna 的心电学专著在世界广泛流传，并被欧洲心脏病协会（ESC）主席 Günter Breithardt 教授誉为心电图学的“圣经”。我坚信，由北京大学医学出版社出版发行的这本新译著一定会在中国心电学领域引起巨大反响。

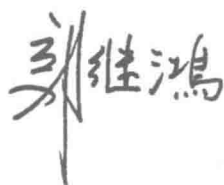
本书主译刘刚教授是我的一位高足，他在北大医学部做博士后期间，学习刻苦，勤奋敬业，敏而好学，不耻下问。他来北大求

学之前，其冠状动脉介入治疗技术已很娴熟，而在北大医学部就读的两年专攻心脏电生理介入治疗技术。石家庄市距北京很近，即便如此上学期间他也很少周末回家，节省下的时间全部用于读书、思考、实践和提高。应当说，两年的寒窗苦读使他心脏电生理专业水平迅速提升，还撰写发表了几篇学术价值颇高的论文。

博士后毕业、修成正果返回石家庄的刘刚已是双剑在握，成为冠状动脉与心律失常介入治疗水平堪称双佳的年轻专家，使其毕业后不久就成为河北省心血管学科的带头人。回到石家庄，他很快就把几项心律失常介入治疗的前沿技术移植到当地：生根、开花、结果。此外，刘刚教授对心电图专业酷爱有加，虽有副院长职务的重任在肩，但仍

坚持每周都操刀做介入治疗手术。几年来，他带领自己的团队利用周末，开展了“心律失常诊治百县巡讲”的公益活动，现已走遍河北省的30多个县，为广大基层医院心律失常诊治水平的提高做出了突出贡献。同时，他麾帐下年轻团队的学术水平也在迅速提高，仅在两年中，本书已是其团队的第二本译著了。目前，他与他的团队仍勇猛地驰骋沙场，拼搏在心血管病领域的第一线，并朝着更高巅峰不断攀登。

最后，我想用著名诗人泰戈尔的一句话结束序言：“仰望长空，尽管那里没能留下任何痕迹，但我仍要高傲地呼喊，在那万里苍穹中我们展翅搏击过。”我向往着去苍空展翅搏击，也渴望更多的年轻者去比翼拼搏。



2016年8月1日

译者前言

《心电图从入门到精通》原著由西班牙著名心电学家 Luna 教授主编。Luna 教授 50 年来在心电学方面的专著出版过 8 种语言 20 多个版本，在该领域有很深的造诣。在此，感谢北京大学医学出版社的信任，将 Luna 教授的此本针对心电图初始学习的专著交托于我来进行翻译。

《心电图从入门到精通》一书，主要针对广大基层医生、全科医生、初涉心电图的医学生或者对心电图有兴趣的人们进行学习和培训。书中从心电图的基本理论到临床心电图的表现进行详细列述，将心电图波形和电流在心脏中传导和中断的机制很好地结合起来，由浅入深地阐述了心脏病学和心脏电生理学的知识，并配有大量彩图，以方便学

习和理解。在每一章的结尾部分，也有同步自我检测试题便于所学知识点的掌握和巩固。同时，本书对于有经验的临床医生，也可以作为一本口袋书，方便随时翻阅和查找。

在翻译本书的过程中，很荣幸得到我的恩师著名心电学专家郭继鸿教授的鼓励和指导，并欣然为之作序，鼓励我要坚持学习，不忘初心。感谢 Roberto Faias Rebola 在翻译过程中对我语言的指导，感谢朱培泽对本书翻译的支持！也对翻译过程中所有参与和帮助我们老师、同事、学生及朋友予以衷心的感谢！

鉴于我们翻译经验有限，专业理论水平不足，对原著理解有误之处在所难免，请广大读者给予批评指正。

刘刚

二〇一六年八月

原著序

能为初学者呈现这本心电图书籍是我的荣幸，这是一本在我初学心电图时梦寐以求的书。这本书构思之初便是为初学者编写的，因此本书十分适合那些想要快速入门，并对此毫无头绪的读者，本书并未包含那些看似复杂或难解的内容，因为实际上本书所包含的内容是一位专业人士的基本工作。书中的大部分图片和表格在我之前出版的书中已经发表过，为了使正文更为简洁我们再次重新进行编排。

对于读者，如果能使他们学习心电图的过程变得更为简单，我会为此感到很骄傲。作为一名大学教授，这正是我 50 年来一直想要努力完成的事，也是我的学生们经常建议的一件事。在最近的 40 年中，我曾用英语、加泰罗尼亚语和西班牙语编写了大量心电图书，这些图书被翻译成了 8 种语言和多于 20 种版本。但是，这本新书有其独到之处，因为书中呈现了心电图最本质的特征——最便宜、最快捷和最有效的检查方法，在医学界已存在上百年。

书中正文所包含的加粗黑体字代表的是我认为至关重要的内容。在每一章节末，都有涉及这些重点的一个小测验用于读者自评。这样，任何医学专业的住院医师，不仅心内科医师，还包括其他的全科医师、重症监护医师、麻醉科医师、儿科医师、医学生和护士也能理解正常的和病理性的心电图波形，判别心律失常类型和明白它们的起源。

我的目的是将心电图曲线转化成简单易懂的能代表电激动的序列，从窦房结初始刺

激到心室肌这样一步步展开。我在书中说明了 P 波、QRS 波和 T 波形态是如何形成的，以及正常的和病理性传导过程是如何产生的。我不建议去记忆心电图模型，因为与这样，不如去理解和推断这些图形是如何产生的。抱着这样的想法，我在正文中应用了大量图片而不是用文字去描述。

本书由 4 部分组成，分为 18 章。第 1 部分大概描述了基础的正常心电图；第 2 部分描述了不同病理性心电图的典型形态；第 3 部分描述了各种心律失常心电图类型；第 4 部分重点描述了在临床实践中如何正确地使用心电图去诊断患者，这部分是现代临床心电图学最主要的目的。

如果读者不能完全理解某一概念，不应对自己丧失信心。此时所需要的恰恰是第二次阅读。我也很乐意通过网络通信去给予帮助。读者同样可参阅书中列出的参考资源，包括我们最新版本的《Clinical Arrhythmology（临床心律失常学）》和《Clinical Electrocardiography（临床心电生理学）》（Wiley-Blackwell，分别为 2011 年和 2012 年出版）。这两本书涉及的内容更为广泛以及内容十分全面，与之相较本书所呈现的仅是较为基础的内容。

最后，我想补充一些重要的建议。心电图的解读与临床情况关联十分密切，并且在诊断一个病例时临床情况经常是决定性的因素。通常如果患者呈现的是一份正常的心电图，我们也不能断定就能排除心脏疾病，正如我们不必对某一单独出现的病理性心电图图形过于担心一样，因为它可能只代表某些

非特异性改变。

我要感谢每一位对本书感兴趣的读者。我同样要对那些在我的成长中曾给予我帮助的书籍的作者们表达敬意和钦佩之情：美国的 Drs. Grant 和 Dr. Marriot，英国的 Dr. Stock，墨西哥的 Drs. Sodi 和 Cabrera，巴西的 Dr. Tranchesì，以及阿根廷的 Drs. Rosenbaum 和 Elizari 和其他我曾咨询过的学者，还有参考文献中所列出的作者。我十分感谢我亲密的合作伙伴：Drs. J. Riba, M. Fiol, A. Bayés-Genís 和 J. Guindo, D. Goldwasser, A. Baranchuk, J. García Niebla 和 D. Conde，同样还有我之前的同伴

W. Zareba, R. Brugada, I. Cygankiewicz, P. Iturralde, R. Baranowski 和 X. Viñolas 以及其他许多人，正是所有这些人给予了我最大的启发和支持。我同样要感谢 Montserrat Saurí 和 Joan Crespo 以及在最后时期参与的 Esther Gregoris——我的秘书团队，他们十分辛劳并总能保持愉快气氛。在此我也要感谢 Menarini，特别是 Dr. M. Ballarin 在后勤方面的支持。我由衷地感谢我的妻子 Maria Clara，她一直以来包容我忙乱的生活，同样还要感谢我的 5 个孩子和 13 个孙子（女），他们知道我将会一直伴其左右……虽然我现在正在为此书编写序言。

Antoni Bayés de Luna

2014 年圣诞节于维多利亚大教堂广场

abayes@csic-iccc.org

之前著作的序言摘选

Textbook of Clinical Electrocardiography (临床心电图教学手册)

Martinus Nijhoff 出版社, 1993

Dr. Antoni Bayés de Luna 不仅仅是将心电图作为诊断工具的专家, 同时正如本书中所描述的, 他还是合理精湛运用心电图技艺的学家。本书以十分清晰的形式为读者提供了心电图的相关知识, 适用于各水平的学者。

Hein J.J. Wellens, 马斯特里赫特, 1993

Basic Electrocardiography (基础心电图学)

Futura Blackwell, 2007

Antoni Bayés de Luna 教授, 本书的作者, 是一位国际知名的心电图学家和临床心脏病学家, 多年来致力于帮助读者认识和理解心电图知识。对于每一位心脏病医生、内科医生、初级护理人员以及那些积极拓展提升自身心电图技艺的医学生而言, 本书是一份不可或缺的“宝藏”。

Yochai Birnbaum, 德克萨斯州, 2007

Clinical Arrhythmology (临床心律失常学)

Wiley Blackwell, 2011

我觉得本书充分展示了作者的权威性以及作者在临床心律失常学和心电图学领域极高的造诣、非凡的教学能力和多年来在该领域丰富的经验。我相信本书将使读者受益匪浅。

Valentí Fuster, 纽约, 2011

Clinical Arrhythmology (临床心律失常学)

Wiley Blackwell, 2011

作者有关心电图的各种书籍, 以多种语言出版, 深受每一位心脏电活动爱好者的欢迎。之前从未有心脏病学家像本书作者一样对心电图进行了如此详细的描述。在如此详尽的成果中包含了一项几乎不可能完成的工作, 就是对心脏电活动的详尽剖析。

Pere Brugada, 布鲁塞尔, 2011

Clinical Electrocardiography: A Textbook (临床心电图学: 教科书)

Wiley Blackwell, 2012

Antoni Bayés de Luna 教授作为当今世界上最杰出的心电图学家之一是一名技艺精湛的心脏病学家。作为一名临床医生, 阅读心电图是达到诊断目的的一种手段, 用来评估患者身上已知的或未知的心脏疾病, 而不是简单地判读心电图本身。在多人共同编著教材的年代常出现内容脱节以及呈现出重复甚至相互矛盾的内容, 这时就非常需要一本由一个权威并且受人敬仰的人独立编著的图书。《临床心电图学: 教科书》恰恰就是这样的一本书。

Eugene Braunwald, 波士顿, 2011

原著前言

本书是 Antoni Bayés de Luna 教授的第 12 部著作。Antoni Bayés de Luna 教授有关临床心电图学的经典书籍，对“初学者”十分有意义并且强调了体表心电图的临床应用。很显然如果未对心电图有清晰临床理解的话是不可能记住各种心电图类型的。本书在心电图的讲授方面与其他书籍不同。特别体现在 A. Bayés de Luna 教授为我们呈现了最新、最全面的概念诠释以及能解释某些心电图类型病理生理机制的最新证据。

Bayés 教授一直不知疲倦地致力于探索能解释心电改变的电生理机制，并且已经系统性地总结了自己的观点。在心电图中见到的任意异常表现，读者都能找到与其相对应的解释和相关的临床诊断与治疗效果。作为他的学生以及多年的合作伙伴，我们十分珍惜他的教导，并且他所讲授的知识已经传播到了全世界许多国家；自从 1977 年第一本著作问世以来，其已被翻译成了多种语言。

Bayés 教授的心电图书籍已经在全世界成为经典的心电图阅读教材，这本新的专著能脱颖而出源于其采用了大量的图片，远远多于之前的著作，同时还因为本书重点强调了心电图表现与相应心脏磁共振成像结果之间的相关性。与此同时，针对初次学习心电图解读方法或无法获取最新的心电图信息的

读者，本书新增了表格用来总结重点内容和典型的易犯错误。

本书代表了作者 40 多年来一丝不苟、与时俱进以及甚至可以说是痴迷般的钻研。作为他的同事，我们十分自豪地为大家呈现这一成果并且极力向那些渴望明白心电图复杂性的读者推荐本书。A. Bayés de Luna 教授多年来一直投身于心电图学研究第一线，他将继续以对复杂心电图的新的思维和新的解说惊艳世人。在心电图这一领域 A. Bayés de Luna 教授是一位非常有天赋的专家。他在独自完成本书编写过程中的毅力与条理性使本书从头至尾读起来生动有趣并简单流畅。同《Braunwald 心脏病学》或《Hurst 心脏病学》一样，Bayés de Luna 这部作品也是一本经典的读物。

本书中这四部分可使读者逐渐熟悉正常心电图和各种各样的病理性心电图，包括心室肥大、室内传导阻滞和心律失常。

Antoni Bayés de Luna 是巴塞罗那自治大学心脏病学系教授。从 2006 年起他的研究小组已经出版了 59 篇文章以及 9 部专著，而教授的许多同事在这一时期都选择了退休。他现已在全世界 20 个地方进行了讲座，并且最近视察了第 51 个每年举办的临床心电图课程。祝贺教授并且请您不要放慢在心电图学上探索的脚步！

Miquel Fiol Sala

Cap de l'Unitat Coronària i
Director de l'Institut de Biomedicina
Hospital Son Espases, Palma

Antoni Bayés Genis

Cap Servei de Cardiologia
H. Germans Trias i Pujol, Badalona
Professor Titular de Cardiologia, UAB

目 录

Contents

第 1 部分	正常心电图	1
第 1 章	解剖学和电生理学基础	3
第 2 章	心电图图形：它是什么？又是如何产生的？	11
第 3 章	记录设备与使用技术	31
第 4 章	心电图分析	37
第 2 部分	异常心电图	53
第 5 章	心房异常	55
第 6 章	心室肥大	63
第 7 章	室内传导阻滞	77
第 8 章	心室预激综合征	93
第 9 章	心肌缺血与坏死	101
第 3 部分	心律失常心电图	145
第 10 章	心律失常的概念、分类及机制	147
第 11 章	室上性心律失常心电图	161
第 12 章	室性心律失常心电图	175
第 13 章	被动性心律失常心电图	189
第 14 章	如何分析心律失常心电图	197
第 4 部分	心电图的临床应用	201
第 15 章	从症状到心电图	
	有胸痛及其他症状时的心电图	203
第 16 章	遗传性心脏病预后不良心电图及其他预后不良的心电图类型	211
第 17 章	心电图在其他心脏疾病和不同环境中的应用	225
第 18 章	无明显心脏疾病的异常心电图和严重心脏疾病的正常心电图	237
参考文献		241
索引		245

第 1 部分 正常心电图

The Normal Electrocardiogram

本部分包括 4 个章节。第 1 章主要概述人体心电图的解剖学和电生理学基础。第 2 章解释心电图如何记录心脏电激动从窦房结传导到心室肌（心房和心室的除极和复极，即 P 波与 QRS-T 波）。第 3 章介绍心电图机和记录技术。最后一章，即第 4 章详细介

绍正常和异常心电图结果的分析步骤，包括各项参数的正常值及特点。

应当透彻理解这些概念之后再学习本书的其他章节。如有必要，建议反复学习此部分的内容。

第 1 章

解剖学和电生理学基础

Anatomical and Electrophysiological Bases

1. 1. 心脏的壁

心脏有 4 个腔——两个心房和两个心室，主要由可收缩的细胞组成，即心肌细胞。起源于窦房结（SN）的电激动沿特殊传导系统（SCS）扩布于整个心脏。

左心室（LV）有 4 个壁：前壁、间隔、下壁和侧壁。图 1.1 示前壁和下壁的 3 个部分，间隔和外侧壁的各 5 个部分，和心尖部（即第 17 区）。磁共振成像显示以往称为“后壁”的部分对应于左心室分区的下壁基部（图 1.1 中第 4 部分）（Bayès de Luna et al., 2006a; Bayès de Luna A and Fiol-Sala, 2008）。

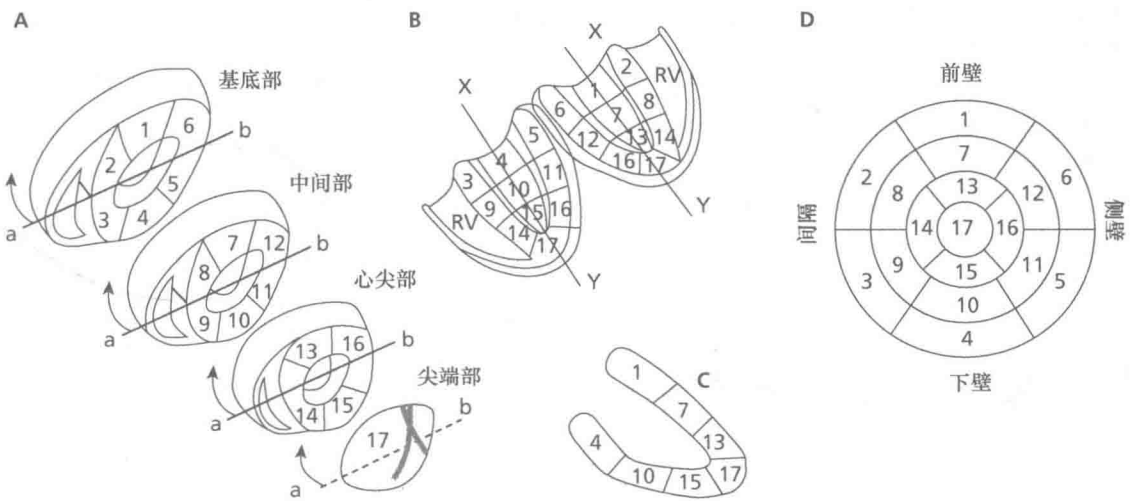


图 1.1 A. 美国影像学会将左心室以横断面（短轴）分为基底部、中间部和心尖部三个水平。基底部和中间部的水平面又各分为 6 部分，心尖部分为 4 部分。再加上心尖，共分为 17 区（Cerqueira et al., 2002）。图中 B 为在水平面沿长轴切开左心室所见的 17 区，C 为沿长轴矢状切面所见。D 为左心室的 4 个壁及其 17 区所组成的“靶心图”或“牛眼图”。RV：右心室

1. 2. 冠状动脉循环（图 1. 2）

根据冠状动脉（冠脉）灌注情况，心脏分为两个区域：由左前降支供血的前间壁（图 1. 2A）和由右冠脉和回旋支供血的下侧

壁（图 1. 2C 和 1. 2D）。有一部分（图 1. 2A 中灰色的部分）是由上述两者之一优势支配。比如说，如果在前降支较长，则第 17 区（心尖）由左前降支供血，否则，其由右冠脉甚至部分由回旋支供血。

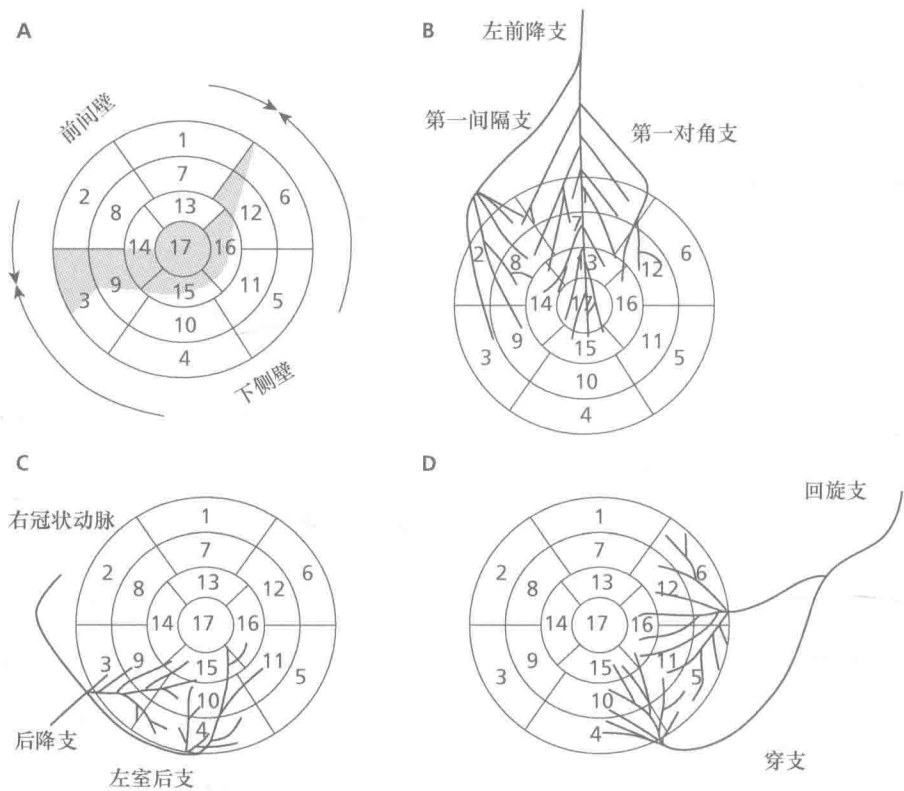


图 1.2 A. 示灰色区域为冠脉循环的解剖变异造成的优势血管支配区。B 至 D 示靶心图中上述区域由相应的冠脉分支供血。比如，心尖（第 1 区）通常由左前降支供血，有时由右冠状脉供血，甚至由回旋支供血。第 3 区和第 9 区由左前降支和右冠状脉共同供血，另外，中下侧壁的小部分区域由左前降支和回旋支共同供血。第 4、10 和 15 区由右冠状脉或回旋支供血，这取决于哪个是优势冠脉（80% 的人为右冠脉优势型）。第 15 区通常由前降支供血

1.3. 特殊传导系统（图 1.3）

电激动沿结间束（包括 Bachmann 束、Wenckebach 束和 Thorel 束）传导，从窦房结到房室结以及希氏束传到心室，然后通过心室传导系统：右束支（RB）和左束支（LB）的主干及其分支（左前分支、左后分支及二者之间的中间纤维）传导至心室各部分（图 1.3A 和图 1.3B）。

图 1.3 C 中灰色的部分是环绕房室交界区的结构。图 1.3D 显示左心室的三个激动入口（Durrer et al. , 1970）。

1.4. 心肌细胞的超微结构

心脏由两种细胞构成。

- **收缩细胞**：即心肌细胞，负责心脏泵血的功能。正常情况下这种细胞没有自律性，不能产生激动。
- **特殊细胞**：即构成特殊传导系统的细胞，负责激动形成（自律性）和将激动传导至收缩性心肌。

收缩细胞（图 1.4）由以下几部分构成。

- 肌纤维构成的收缩系统，由收缩性和舒张性的肌节构成（1.4A、1.4B2 和

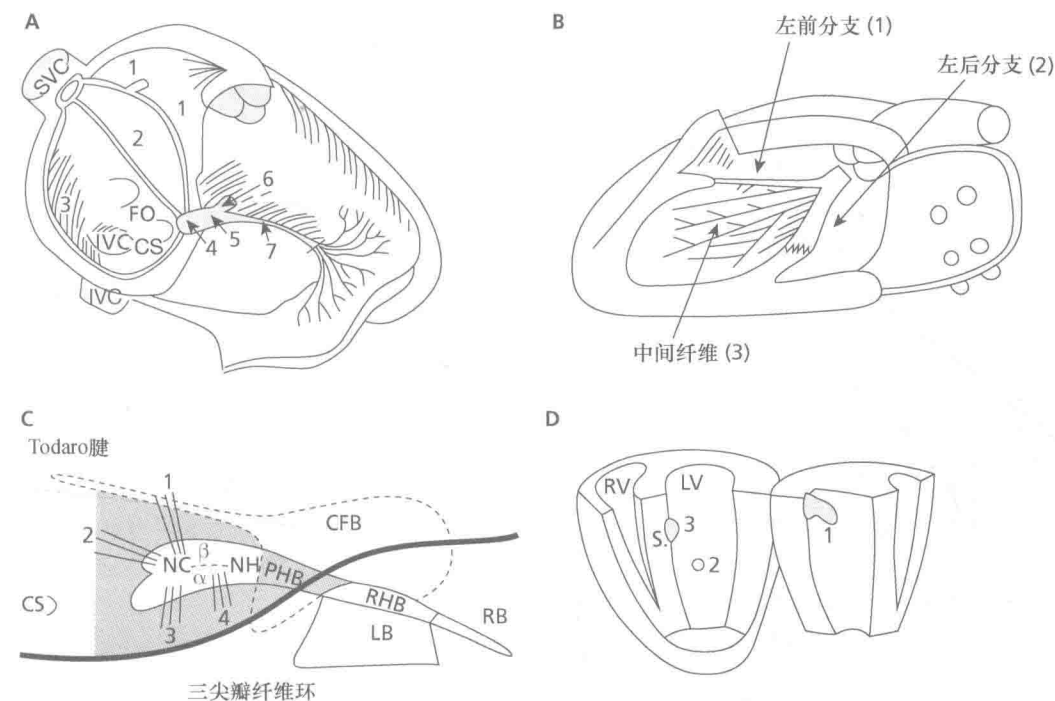


图 1.3 A. 特殊传导系统的右侧面观，1、2 和 3：结间束；4：房室结；5：希氏束；6：左束支；7：右束支及其分支；CS：冠状窦；FO：卵圆窝；IVC：下腔静脉；SVC：上腔静脉。B. 左心室左侧面观：(1) 左前分支，(2) 左后分支，(3) 中间纤维（四束支理论）或心室四点激动学说。C. 房室交界区，包括整个房室结在内的扩展延续部分。房室交界区的灰色阴影部分内可能包含其独特的折返环路。CFB：中心纤维体；NC：完整的房室结；PHB：希氏束贯穿部分；RHB：希氏束分支部分；LB：左束支；RB：右束支。并显示慢传导径路 (α) 和快传导径路 (β)；1~4：结间束进入房室结的入口纤维；NH：结希过渡区；CS：冠状窦。D. 左心室剖面图显示左心室激动的三个入口点（见正文）。LV：左心室；RV：右心室；S：室间隔

1.4B3)。活动所需的能量由线粒体提供。

● 细胞激动-静息系统，由脂质双分子层形成的细胞膜（肌膜）构成（图 1.4B1 和 1.4B2）。离子（ Na^+ 、 K^+ ，尤其是 Ca^{2+} ）通过细胞膜上的通道流动，从而使细胞激动，除极和复极，心肌收缩以及细胞静息（心肌舒张）。

● 横管（T 管）系统（图 1.4B2），可使电刺激进入细胞和肌质网（图 1.4B2）。肌质网包含细胞收缩所必需的钙离子。

● 特殊细胞，不具有收缩性，有 3 种类型：①P 细胞：自律性较高，特别是窦房结；②浦肯野细胞：自律性较低，位于希氏束、希氏束的分支以及浦肯野纤维网；③移

行细胞。

1.5. 心肌细胞的电生理特性

1.5.1. 自律细胞和收缩细胞的跨膜舒张电位（TDP）和跨膜动作电位（TAP）

所有的收缩心肌细胞在静息时，细胞膜外的正电荷和细胞膜内的负电荷都处于平衡状态（图 1.5A）。如果将一个微电极置于静息状态的心肌细胞膜内侧，另外一个微电极置于膜外侧（图 1.5B）。跨膜的电位差就产生了，被称为跨膜舒张电位（TDP）。正常情况下电压是 -90mV （图 1.5B）。

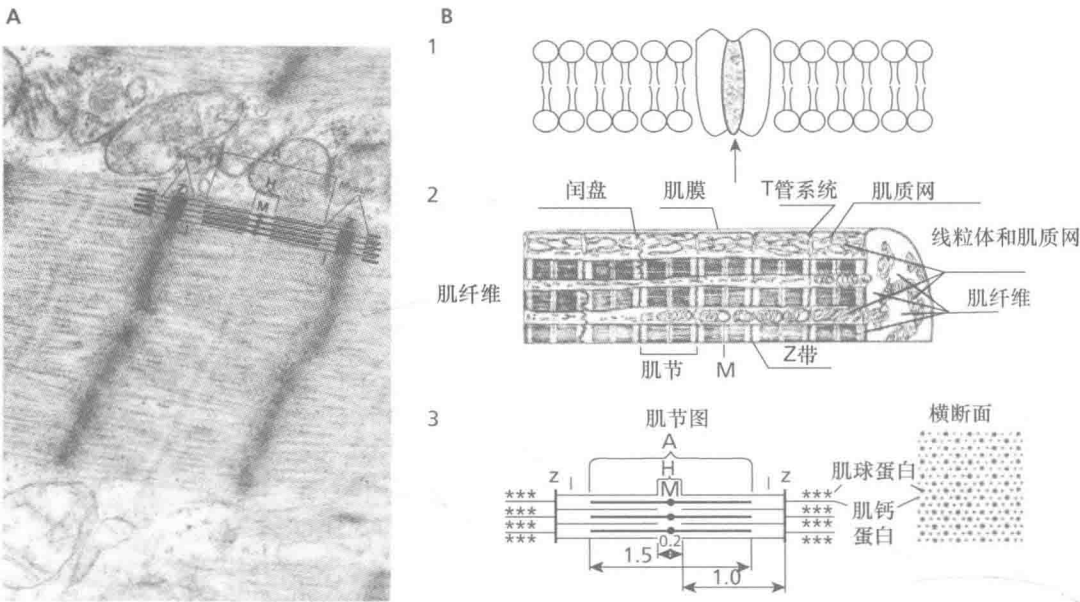


图 1.4 A. 肌节的显微结构，可以看到肌动蛋白和肌球蛋白的细丝（B3）。B1 为细胞膜（肌膜）离子通道的示意图。B2 为心肌收缩细胞的各种构成部分。B3 为肌节构造的放大图

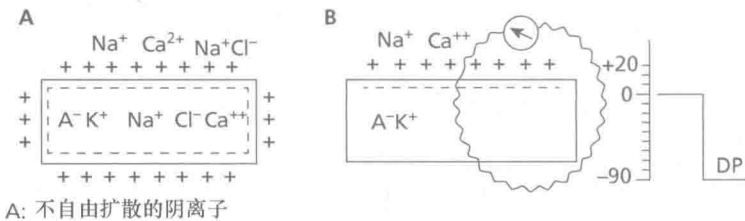


图 1.5 A. 细胞内主要的负电荷取决于细胞内不可自由扩散的阴离子，这些阴离子的量显著多于带正电荷的阳离子，尤其是 K^+ 。B. 将两个微电极置于心肌纤维的表面，在静息期（0 线）记录到平坦的基线，说明细胞表面没有电位差。当其中一个微电极置于细胞内膜时，基线下降至 -90mV 。收缩细胞的基线（DP）比较平坦（图 1.6），而特殊传导系统细胞的基线缓慢上升（图 1.7）

由于收缩细胞不具有自律性，所以静息电位是水平的（图 1.6）。这意味着在舒张期，钾离子外流和钠离子、钙离子内流处于平衡状态。

来自相邻细胞的电激动传导至收缩细胞时，钠离子迅速流入细胞内，这使细胞内电位达到阈电位，产生跨膜动作电位（TAP）（图 1.6）。

因此，收缩细胞激活（除极和复极）的基础是动作电位的形成（图 1.6）。电刺激

（a）从一个细胞传导至相邻细胞后，后者快钠通道开放，钠离子快速内流使细胞内电位达到阈电位（TP）进而产生动作电位（b 和 c 是阈下刺激）（图 1.8B）。动作电位分为 4 期，0 期是除极期，细胞外电荷内流；1~3 期是复极期，上述电荷改变迅速复原。

特殊传导系统（SCS）的细胞 TDP 逐渐上升，因为存在外向钾电流快速失活而产生舒张期除极。特殊传导系统中窦房结（SN）有最快的 TDP 上升，故其自律性最高，并