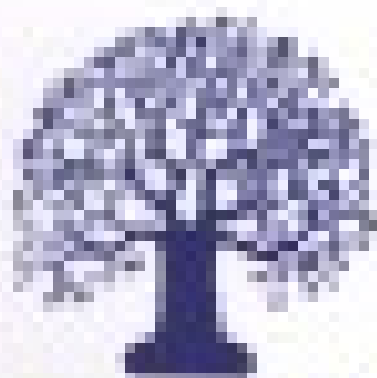


四维 心电向量研究

.....
专业学者潜心数十年的研究成果
鲜明论点确凿论据启迪研究思路

主 编 孙 辉 刘 雨 郑志环
于瑞基 张 霞

 北京科学技术出版社



四维 心电向量研究

专业学者潜心数十年的研究成果
国际学术领域权威专家研究思路


主编 王 健 副主编 王 健
王 健 王 健

清华大学出版社

四维心电图向量研究

主 编 孙 辉 刘 雨 郑志环
于瑞基 张 霞



 北京科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

四维心电向量研究/孙辉等主编. —北京: 北京科学技术出版社, 2009. 9

ISBN 978-7-5304-4156-5

I. 四… II. 孙… III. 心电图-研究 IV. R540.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 063269 号

四维心电向量研究

主 编: 孙 辉等

责任编辑: 赵 晶 康震平

责任校对: 黄立辉

责任印制: 韩美子

封面设计: 回归线视觉传达

出 版 人: 张敬德

出版发行: 北京科学技术出版社

社 址: 北京西直门南大街 16 号

邮政编码: 100035

电话传真: 0086-10-66161951 (总编室)

0086-10-66113227 (发行部) 0086-10-66161952 (发行部传真)

电子信箱: bjkjpress@163. com

网 址: www. bjkjpress. com

经 销: 新华书店

印 刷: 三河国新印装有限公司

开 本: 880mm × 1230mm 1/32

字 数: 250 千

印 张: 11

版 次: 2009 年 9 月第 1 版

印 次: 2009 年 9 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5304-4156-5/R · 1155

定 价: 45.00 元



京科版图书, 版权所有, 侵权必究。

京科版图书, 印装差错, 负责退换。



编写人员名单

主 编：孙 辉 刘 雨 郑志环
于瑞基 张 霞

其他编写人员：曹拯世 杭洪霞 任爱华
任莉霞 许 彪 于冬梅
俞 慧 殷昭军 张文霞

我爱我师，但我更爱真理。

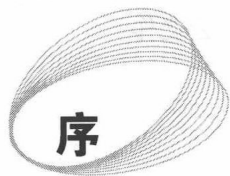
——亚里士多德



内容简介

本书立足于四维空间进行心电学理论研究，本书分别从空间心电向量理论、空间心电向量的物理学含义、电偶学说、容积导电学说、单细胞动作电位与心电图的形成、心电图形成的物理学机制、心电图描记的技术原理、心电学概念的含义及意义、心肌电活动稳定性、几种临床心电图的形成等等不同的角度进行了论述，其研究内容涵盖了心电学研究的诸多领域，尤其针对充满争议、存疑颇多的心电学基础理论领域，作者立足于经典的数学、物理学概念、定理、定律，进行了深入的探讨，力求阐述精确，论证严谨，讨论系统。本书在内容、方法、观点、论证等多方面均有独到之处，相信会给读者耳目一新之感。

本书可作为心电学工作者、心血管病医师的有益参考书。



心电图是怎样形成的？

同本书作者一样，请允许我先引用一段话：“空间心电向量环及两次投影的概念已成为心电图的理论基础，但是仍有学者对心电向量环及两次投影学说持否定态度，依据是投影学说中的立体心电向量环至今无法证实，心向量图与心电图之间虽有一定联系，但仍有一定的差距，认为第二次投影只是人为的撮合。”

这段话选自卢喜烈教授的《现代心电图诊断大全》，黄大显主编的《现代心电图学》等都有类似阐述。可见这个问题并不简单。然而作为一个心血管病医师或者心电学工作者，我们经常要面对这个问题，经常要面对年轻后辈们询问的目光。多少次我们曾试图言简意赅地阐述它，可是我们阐述明白了吗？可以说卢喜烈教授的这段话代表了学术界同仁共同的心声。

心电图到底是怎样形成的？如果让我用一句话来概括本书的内容，那么很简单，就是上面这句话。作者分别从空间心电向量理论、空间心电向量的物理学含义、电偶学说、容积导电学说、单细胞动作电位与心电图的形成、心电图形成的物理学机制、心电图描记的技术原理、心电学概念的含义及意义、心肌电活动稳定性、几种临床心电图的形成等等不同的角度回答了上述问题，语言生动，论述严谨，结论鲜明。掩卷之余我们不免要作如下思考：我们这么



多年的传统心电学研究成果到底具有怎样的意义？其价值到底如何？心电学研究的前景怎样？出路在哪里？总之一句话，本书内容虽然抽象，有些晦涩难懂，但是言之凿凿，令人深省，绝非人云亦云之作。

二

作者自陈本书的写作开始于 QT 离散度 (QTd) 的研究。QTd 是 1985 年 Campbell 等提出的一个心电学概念，1990 年 Day 等首次确认了 QTd 在临床领域的应用价值。此后针对 QTd 的研究越来越多，掀起热潮。但是时至今日，有关 QTd 的研究从形成机制、电生理学意义到研究方法、临床应用价值都还没有取得一致意见，争议颇多。本书作者研究发现，之所以造成上述局面，其根本原因在于心电学理论，尤其是基础理论的不完善，于是开始致力于心电学理论研究，最终完成本书。

纵观心电学史不难发现，截至目前心电学研究领域的几乎所有成果都是基于临床实践的经验总结，纯粹的理论研究凤毛麟角。这种情况下心电学理论研究就很难超越或者引领临床心电学的发展，以至于在心电图、心向量图已经广泛应用于临床的今天，仍然没有一套心电学理论能够让哪怕大部分的心电学工作者满意，更不能够行之有效地解决临床心电学问题。以空间心电向量理论为例，大部分学者认为它较好地讲清了心电图的形成、心电图和心向量图的关系，因而理所当然地把它作为最重要的心电学基础理论。但是研究表明许多临床问题却不能通过它顺利解决，比如目前的热点问题 QTd、心室晚电位、T 波电交替、心率变异性等。进一步研究会发现，甚至于像 ST-T 的形成机制这样的基本问题都很难通过它解决。其他如电偶学说、容积导电学说等，上述缺陷更加明显。

概括而言，目前的心电学理论存在如下问题：第一，不严密。即关键词词义模糊，描述不准确，不能在数学、物理学、化学等基础学科中找到相同含义的词，或者用相关的基本概念加以明确定

义或解释。第二，不系统。空间心电向量理论、电偶学说、容积导电理论以及用以解释、阐明各种临床心电学现象的其他学说都很局限，各自独立，既不相容，又不能相互支撑成为一套有机的理论体系。第三，不实用。即不能够有效地解决临床心电学问题。第四，整体不完善。心电学研究的进展主要是基于实践经验的总结，其成果最终体现为理论上的概括和总结，即心电学理论体系的建立。该心电学理论体系应该能够反作用于临床实践，即促进临床心电学的进展。现有的心电学理论显然不够完善，并且实质上已经严重阻碍了基础和临床心电学研究的进展（如 QT 离散度问题、心室晚电位问题）。

综上所述，建立一套高度概括的、系统的、严密的、实用的心电学理论体系，已经成为目前心电学研究的重中之重。

三

上面已经提到，目前的心电学研究主要是基于临床实践的经验总结，所以就方法而言，总结病例归纳出一个合理的结论就成为主要的手段。针对某些具体的心电学问题所设计的临床对照实验，就其实质而言仍是病例总结。打开国内外林林总总的专业杂志，我们会发现，各类研究报道总不外乎上述范畴，且不说荟萃分析本身所存在的统计学局限性，单就其结论的性质而言，事实已经反复证明很难产生突破性的具有实质意义的理论贡献。

那么究竟怎样才能实现真正意义上的心电学理论的发展完善呢？这是个极其严肃的、值得思考的问题。记得大概法国物理学家、科学史家皮埃尔·迪昂说过：“那么就让我们把机会留给那些爱幻想的人吧。”幻想，此处指大胆地想象和创新，绝非毫无根据地空想。既然临床病例的归纳、总结不能从根本上解决问题，那么何不换一种思维呢？本书作者在反复论证的基础上大胆地提出了自己的意见和建议，值得探讨。

作者立足于数学、物理学、化学等自然科学的基本概念、基本



原理展开心电学研究，其研究内容几乎涉及心电学研究的所有领域，所以无论是观点、研究思路、研究角度、研究方法都不乏新意，尤其在研究方法上，作者本人已经作了精确的概括和说明，不再赘述。

四

科学的最基本态度之一就是疑问，科学的最基本精神之一就是批判。

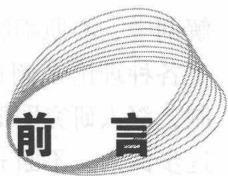
美国著名数学家 N·维纳提出：“如果一条定理有矛盾，或者，如果一项证明在你所能施加的最大压力下变得不完善了，那么就把它弃之……如果一条定理仅仅是看起来较离奇或不同寻常，且如果付出了最大的努力也无法发现什么矛盾之处，那么就不要再将它弃之。如果一项证明看起来，其唯一的错误是它不合常规，那么要敢于接受它，要敢于接受不合常规的数学及一切事物。”

当年轻的作者将他的心电学论文集交给我时，我想起了上面这段话。这是 N·维纳对待学术的态度，也是我们值得借鉴和学习的态度。对于本书内容，相信读者会给出自己的评价。最后，请让我仍以 N·维纳的一句话作为本文的结束吧：

“许多科学学科都有这样一个时候，即，新论文的鲜明性和确切性象征着即将到来的重要目标。”

鲍含诚

2002 年 7 月



一、20 世纪高新技术促进了心电学的 诞生和迅猛发展

自 Willem Einthoven 研制成世界上第一台心电图机以来，心电图应用于临床已经历时百年，百年来心电图的研究和应用进展迅速，很快成为临床最常应用的辅助检查项目之一。100 多年来，心电图在心血管疾病及非心血管疾病等各临床领域应用得越来越广泛，其价值越来越重要的同时，其技术本身也在发展、完善，尤其 20 世纪 70 年代以后电子计算机技术的发展及临床心电生理学的研究进展，为心电学的研究注入了巨大的活力，此后人们不仅能在心腔内直接记录到电活动，同时还能够应用程序刺激的方法重复或诱发心律失常。心向量图、心脏负荷试验、动态心电图、食管心脏起搏、体表电位标测图、窦房结电图、希氏束电图等各类心电检查和描记技术纷纷出现，使心电学研究日新月异。回首百年，陈灏珠教授总结到：心电图学已经发展成为心电学。

二、心电学仍然面临巨大的挑战

总结过去，展望未来。目前的心电学研究仍然面临着巨大的挑战。

一方面，基于心电图早期研究所着重探讨的导联设置和记录方



法，分析记录各种波形并推断其所代表的意义，积累了大量有关心电图波形振幅和时间的数据，提出了判断正常心电图和异常心电图的指标。这些指标和判断标准基本上都是经验性的。以后随着组织解剖学、心肌细胞电生理研究、心向量图研究等的发展，陆续提出了各种理论来阐述从实践中得到的结果，探讨各种波形的产生机制，深入研究图形变化可能反映的问题，从而使对心电活动的认识逐步深入，不断充实，拓展更新。这是截至目前心电学研究所采用的普遍模式。我们不能否定上述研究模式的价值和意义，但又不能不遗憾地看到，囿于上述研究模式，基础心电图正常和异常波形的形成机制，如 QRS 波的形成、T 波的形成、ST 段的偏移、病理性 Q 波的形成和演变等，时至今日仍然阐述不清；在此基础上的 T 波电交替、心室晚电位、QT 离散度等心电图概念或现象，其形成机制更是莫衷一是。至于对基础心电图与食管导联心电图、心脏电生理检查、心内膜、心外膜电位标测、窦房结电图、希氏束电图等关系的理论研究和阐述，基本上是一片空白。

另一方面，医疗科技的发展又不断地为心电学的发展提供新的课题。例如起搏器日趋复杂的功能使起搏心电图日益多变而复杂；计算机心电图滤波参数与以往的心电图机迥然不同，其灵敏度相差较大；心电图远程监测和会诊系统方兴未艾，这都与传统意义上的心电图存在不同程度的差异。如何判断上述各种心电图正常与否，如何对待其图形之间的差异，如何评价各种新型心电图检查设备、检查手段的检查结果，都常使临床医生和心电图医生困惑和迷茫。

三、心电学理论的发展与现状

郭继鸿教授把国际心电图发展史分为五个时期：Einthoven 前期、Einthoven 期、Wenckebach Lewis 期、Wilson 期及 Wilson 后期；同时把中国心电图发展史分为播种与奠基期（1903 ~ 1949）、普及与提高期（1950 ~ 1970）、腾飞与发展期（1971 ~ 2002）三个阶

段。国际、国内心电学研究一步一个脚印地发展到今天，其技术成果以及在组织解剖学基础上取得的有关心脏电活动传导与心律失常关系的理论成果是毋庸置疑的，其临床应用价值也有目共睹。但是相对于技术研究所取得的成就，暴露出来的是理论研究的薄弱和滞后。基础心电图 T 波、U 波等的形成及意义、房颤等心律失常的形成机制等老问题尚未最终解决，T 波电交替、T 波切迹、异常 J 波、心室晚电位、QT 离散度等新问题不断出现，有哪一个问题是恰恰顺应了现有的心电学理论阐述，而不对其提出挑战的呢？

以心电学最基础的理论——空间心电向量理论为例，目前仍然未能被学术界普遍接受。卢喜烈教授在《多导同步心电图分析大全》等专著中的论述到：“空间心电向量环及两次投影的概念已成为心电图的理论基础，但是仍有学者对心电向量环及二次投影学说持否定态度，依据是投影学说中的立体心电向量环至今无法证实，心向量图与心电图之间虽有一定联系，但仍有一定的差距，认为‘第二次投影’只是人为的撮合。”这种说法代表着学术界质疑的声音。其他心电学理论，如电偶学说、容积导电理论等，质疑的声音有过之而无不及。当新的心电学问题渐次出现在面前时，学术界加强和完善心电学理论的呼声越来越迫不及待。

自 20 世纪 60 年代以后发展起来的心肌细胞电生理学研究，已经逐步深入到细胞、分子水平，但其研究对象一度局限于细胞膜和细胞内小器、离子通道的生理、药理特征、病理变化以及抗心律失常药物的作用等，较少研究心电图波形的形成原理。直到 90 年代确证了心肌细胞电生理特性存在不均一性（heterogeneity）以后，才开始了这方面的研究。心肌细胞电生理学的研究似乎开辟了一条不同于上文所述传统研究模式的研究途径，但是仍然处于起步阶段。

2002 年 6 月在荷兰 Leiden 大学医学中心举行的 Einthoven 心电图描记术应用 100 周年国际性庆典及学术大会上，学术交流内容涉及到心电图发生模型、心电学导联系统研究等基础领域的问题；国内学术界在心电图临床应用 100 周年之际出版了许多心电学著作，涉



及心电图形成机制等基础理论的内容相当薄弱，很少有较为全面令人信服的理论阐述。2007年尹炳生教授《头胸导联临床比较心电图学》的出版是像笔者一样的研究者渴慕已久的事。

在心电图描记等技术日臻成熟和完善、取得丰硕成果的今天，理论的薄弱和滞后日益显得尖锐和突出。心电学理论的落后已经严重制约了临床心电学的发展，也阻碍了心电学设备的研制、技术的推广和应用。例如心向量图的应用尚远不及心电图广泛；许多心电图新概念、新技术迟迟不能推广应用于临床；许多心电学研究没有统一的操作规范和判断标准等，不胜枚举。总之，今天，加强心电学理论研究，尤其是基础理论研究，完善心电学理论体系，仍然是摆在国际、国内心电学工作者面前的严峻课题。

四、心电学理论体系应该具备的特征

概括分析了心电学研究遵循的传统的研究模式之后，我们会认识到心电学首先作为一门应用科学是由其本质决定的。心电学从其诞生那一刻起就注定了其作为应用科学的价值和命运。但并不是说应用科学不需要理论，或不强调理论，否则就不成其为科学。相反，理论是其核心和灵魂，应用只是其表现和躯体。

任何一门学科的研究进展，就其本质表现而言都是其理论体系的建立和完善。理论体系的完善又具体体现在理论的统一性、概括性、系统性、精确性、实用性、抽象性几个方面，尤其前四个特征更为关键。建立一套高度概括、统一、系统、严密、实用的心电学理论体系，应该成为心电学研究的终极目标！

庞大的物理学体系发展到广义相对论和量子力学理论阶段，已经令世人叹为观止，而物理学家们仍在追求理论的大统一（实际上所有的科学研究都是如此）。那么相对渺小而又具体得多的心电学研究不更应该追求理论的统一吗？将泛泛的描述上升到理论的高度，并加以提炼和总结，从而以尽量精炼的语言表达出来，揭示心电学的本质，这就要求心电学理论具有高度的概括性。完善的心电

学理论体系应该能够解释心电图与心向量图，普通心电图与食管导联心电图、希氏束电图、窦房结电图、心内膜电位标测、心外膜电位标测，心电图与心磁图等等的关系；能够阐明基础心电图正常和异常波形的形成机制，T波电交替、心室晚电位、QT离散度等心电图概念或现象；对各具体领域、具体环节、具体问题的阐述应该能够相容——这就要求心电学理论具有系统性。完善的心电学理论体系应该不致被误解，没有歧义；不光在本理论体系内，与基础自然科学中的相关概念、阐述也要协调、一致起来，至少没有矛盾之处——这就要求心电学理论具有精确性。完善的心电学理论体系应该能够促进临床心电学的进展，能够解决目前存在争议的心室晚电位、QT离散度等问题，并且促进心电学新概念、新技术在临床的推广应用——这就要求心电学理论具有实用性。相对于所研究的具体现象、具体问题而言，理论阐述具有抽象性，这是理论阐述本身的属性之一。心电学理论也不例外，这就是心电学理论的抽象性。

完善的心电学理论体系应该超越泛泛的现象描述，应该以最精炼的语言直入本质，揭示本质，反映本质，应该具有高度的概括性和精确性，而不拒绝抽象。

五、建立健全心电学理论体系本身也是一个值得研究的课题

目前心电学理论的研究进展落后于心电学技术的研究进展这一尴尬现状，与目前心电学研究所普遍遵循的传统的研究模式不无关系。正是这种研究模式，直接导致了心电学研究中着眼于临床、重视技术成果的研究应用，而相比之下轻视或忽略了理论的研究，造成了技术领先于理论、超前于理论的局面。

前面已经讨论过，否定这种传统的心电学研究模式是不对的，目前抛弃这种研究模式也不现实。至少在此后相当长的一段时间内，心电学研究还要在这种研究模式下发展完善。但事实已经证明并将继续证明，满足于单纯这一种研究模式进行心电学研究是不足



取的，尤其对于心电学理论研究。目前学术界对 QT 离散度等心电学新概念争论不休、迟迟不能取得一致意见，就是具体例证。回顾历史我们也应当看到，许多重要的心电学研究成果并不都是在上述传统的心电学研究模式下取得的，相反，常常超出了上述研究模式作用的范围。有些成果如心电图机的研制成功，甚至完全超出了上述研究模式。

建立健全心电学理论体系，我们需要解决的问题实在太多，但最基本的一点是，我们必须超越传统的心电学研究模式，拓展心电学研究的深度和广度。继承传统的同时，在研究模式、思维模式上不被束缚，往往是取得突破性成果的关键。

建立健全心电学理论体系，我们必须具有科学的精神，科学的态度，科学的思维和科学的方法。应该甘于寂寞，不要一味地追随潮流。

回顾历史，历史给我们启示，也给我们鞭策；展望未来，未来给我们希望也给我们压力。本书力求从一个全新的角度对心电学理论展开探讨。

爱因斯坦说过：“科学永远不是也不可能是一本已经写完的书。”理论的完善永远都是相对的，其概括性、系统性、精确性等几方面特征都只具有阶段性的相对的意义。这一无可辩驳的事实指导我们如何评价历史，如何看待现在。正因如此我们才对历史感到骄傲，才对为心电学研究作出不朽贡献的前辈们满怀崇敬！笔者希望借本书的出版表达对心电学前辈们的诚挚敬意！

孙辉

2008 年 5 月初稿

2009 年 3 月修订