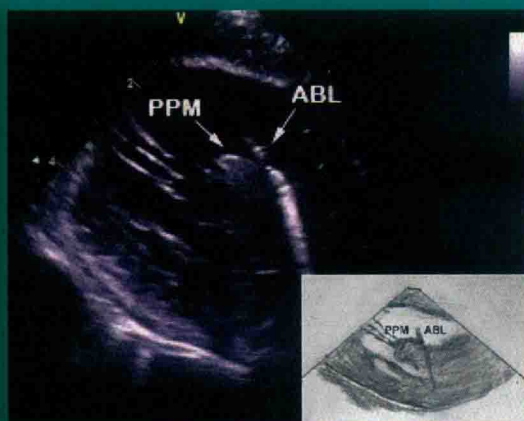


中国医学科学院阜外医院
武汉大学人民医院
四川大学华西医院
宾夕法尼亚大学

张澍 教授
黄从新 教授
黄德嘉 教授
任建方 教授

联合作序推荐

心腔内超声与 三维电解剖标测



主 编 / 范 洁 杨 兵 张劲林

本书共享 **340** 余幅图片和 **160** 余段视频
深入理解心律失常介入诊疗相关的心脏解剖



科·学·出·版·社

心腔内超声与 三维电解剖标测

主 编 范 洁 杨 兵 张劲林

副主编 张 曦 匡晓晖 李 文

编 者 (以姓氏笔画为序)

丁立群	马 涛	王礼琳	王洪涛	石瑞正	叶 平
叶琼芝	匡晓晖	向 虹	刘 锐	刘 强	刘岁娟
刘昭娅	李 文	李 俊	李小荣	李秀花	杨 兵
杨 明	余金波	沈文志	沈明志	张 进	张 曦
张劲林	陈世权	陈曼华	范 洁	金荣杰	孟 洁
高 田	高晓龙	郭 嘉	崔艳菊	裘航远	戴 敬
魏飞宇					

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书由多位经验丰富的心律失常和超声心动图专家倾心编写而成。全书共分为4章,介绍了心腔内超声的基本概念、心腔内超声导管的操作方法和技巧及常见的超声扇面,描述如何应用超声导管进行各个腔室的三维模型重建。从实战病例出发,重点阐述如何应用心腔内超声指导各种复杂心律失常的导管消融术,并介绍了心腔内超声在心律失常介入诊疗并发症中的监测,以及在心脏置入电子装置和肥厚型心肌病导管消融等新领域的应用。本书编写简明、实用,重视理论与实践结合,全书图文并茂,包含了340余幅图片及160余段视频,可帮助读者从超声扇面、三维电解剖模型、超声视频等不同角度全面、深入地理解与心律失常介入诊疗相关的心脏解剖。

本书适合心内科、超声科医师阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

心腔内超声与三维电解剖标测 / 范洁, 杨兵, 张劲林主编. —北京: 科学出版社, 2019.1

ISBN 978-7-03-060236-7

I. ①心… II. ①范… ②杨… ③张… III. ①超声心动图—应用—心律失常—介入性治疗 IV. ①R541.705

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 293120 号

责任编辑: 纳 琨 / 责任校对: 张怡君

责任印制: 肖 兴 / 封面设计: 吴朝洪

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

三河市春园印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2019年1月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2019年1月第一次印刷 印张: 12

字数: 280千字

定价: 128.00元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

序一

作为介入心脏病学的重要分支——心律失常的介入治疗，包括心脏电子器械置入、心电生理和导管消融，以及经皮左心耳封堵等手术的蓬勃发展，使很多心律失常的治疗策略发生了巨大改变。现阶段我们可以有效控制乃至治愈多种心律失常，如阵发性室上性心动过速、心房颤动、特发性室性期前收缩、室性心动过速及部分器质性心脏病室性心动过速。心律失常的介入治疗除了要有良好的电生理基础理论外，还须对相关的心腔内解剖有完整而深入的理解。经典的心脏电生理对于解剖的观察主要依赖 X 线影像，但这种方式只是平面图像，且视角局限，无法观察心腔内的精细解剖，同时还有电离辐射。在现代心律失常的介入治疗中，做到精确的标测、精准的消融是我们追求的目标。既往的心腔内超声可实时观察心腔内结构，为术者提供有用的心脏结构信息，而结合三维电场、磁场定位的新一代心腔内超声，可以精细地显示心脏、大血管及毗邻的非心脏结构，并能完成三维模型构建，更容易被未接受过专业超声培训的心律失常医生所理解和接受，极大地提高了手术的成功率，降低了手术风险。

心脏起搏治疗可明显改善缓慢性心律失常患者的生活质量，延长患者的生命。国内在应用心腔内超声引导下起搏电极置入领域尚处于探索阶段，也是对不能接受 X 线治疗患者的解决方案。近年来特殊部位起搏，如希 - 浦系统起搏可能是起搏领域的一个革命性进展。该术式的长期效果需更长时间、更大规模地临床观察，而手术关键操作步骤还需进一步规范，如电极置入心室的部位、深度等。本书介绍了范洁教授团队利用心腔内超声实时引导左束支区域起搏的电极置入的部位，明确电极置入心肌的深度，有望成为该术式新的术中实时影像学评估方法。

目前，心腔内超声与三维电解剖标测的整合正在逐步应用到心律失常的介入治疗中，并可能成为非常重要的方法和技术，而现阶段国内心律失常专科医生对心腔内超声的操作和超声心动图图像的解读并不熟悉，也缺少相关的教程。范洁、杨兵、张劲林三位教授邀请国内多位从事三维电解剖标测和心腔内超声工作的一线知名心律失常专家共同编撰了这部专著。书成之后请我作序，使我有先睹为快的机会。通读此书，不但内容丰富、图文并茂，还有大量的视频资料，难能可贵的是将每位专家对操作流程、经验和体会通过病例的方式

展现出来，实用性极强。字里行间闪烁着编者的学术智慧，展现了他们对技术的精益求精，彰显了医者对患者的关爱。相信该书的出版对推广心腔内超声与三维电解剖标测的整合，以及在复杂心律失常介入治疗领域的应用起到积极的作用，并对临床规范使用大有裨益。

阅读此书获益良多，也乐意将此书推荐给各位心脏起搏和心电生理学的同道，我相信该书会被大家所钟爱，成为案头必备工具书。

中国医学科学院阜外医院 张 澍

2018年7月

序二

医学影像学的发展，极大地提升了人类在非直视解剖的前提下对疾病相关解剖的认知度，它变抽象的逻辑推理为客观的影像认知，并由此又催生出一批诊疗新技术，实属医学发展史上的重要里程碑。

超声影像学是医学影像学中的重要一页，其中心脏超声影像学又是超声影像学中的华丽篇章。正是由于这一亚学科的发展，人们已由采用“视、触、叩、听”的方法对心血管及其疾病的粗象认知，跃升到通过对超声影像的直面解读来做出精准判断。正如我们采用听诊的方法来判断二尖瓣狭窄时的二尖瓣开口面积一样，经验医学的判断是粗象的、推理性的，而心脏超声影像则可精准地测量开口面积大小等，无疑，后者远胜于前者。科学的发展已使常人的视野跃升至慧眼，从宏观到微观的认知远胜肉眼辨知。

心腔内超声则又是心脏超声影像学的重要发展，它比经胸心脏超声所采集到的影像信息更直观、精准，它对于人们了解心脏结构的病理、生理状态提供了近乎直视的画面，极大地提升了判知的准确性。

然而，心律失常疾病的发生、发展及其转归，不仅取决于心脏的结构重构，还取决于心脏的电重构与神经重构。因此，仅了解结构只能提高一个方面的认识，尚不能完全解读疾病的全部。如对心律失常的认识，不仅要了解结构重构对心律失常的影响，进而认知心律失常的结构相关性；更重要的是要了解电重构对心律失常的影响，认知心律失常的电学相关性。如能将二者结合起来，则是人们对心律失常认识方法学的又一重要进展。

可喜的是，心腔内超声与电解剖标测系统的整合，直接将超声所获的腔内结构影像在电解剖标测系统上建立起三维立体模型，并将每一次采集的超声扇面在三维心脏模型上的位置和方向显现出来，同步结合电解剖标测所见，直观地呈现出结构与电学相结合的图像特点，为经导管消融心律失常精准选择靶点，规避因医源性损伤而发生的解剖相关性并发症、电学相关性并发症提供了直观的影像学指导，这是心血管超声影像学与心电学的又一次革命性进步。

由范洁、杨兵、张劲林教授等所著的《心腔内超声与三维电解剖标测》即将出版，出版前作者邀我作序，仅凭我对该著作所涉内容的一知半解，作序实为我难；但作为一次新

的学习机会，倍觉先睹为快，也就只好以学习心得代序了。

捧读全卷，我被卷中新颖的内容深深吸引，字里行间跳跃着科学的发展在心血管病学领域绽放的花朵，仿佛看到心腔内超声影像学与三维电解剖标测相结合所显现的三维图像宛如一对刚劲的翅膀，添插在心血管医生肩臂上，让他们在医学的蓝天下展翅高飞；宛如一对慧眼的镜片，镶嵌在心血管医生的视野前，让他们明察心律失常关键靶点之秋毫。作者对内容编排、取舍之匠心，图表制作之精美，行文解读之流畅，要点阐述之明确，均令我叹为观止，爱不忍释。这是一本学术含量极高的专著，是一本迄今新现的学术专著，是一本提高、升华对心律失常认知的专著，是一本可供广大医务人员及医学生扩大学术视野的专著，是一本从事心血管疾病防治、研究的医务工作者应读的专著。

上述学习心得，是为序。

武汉大学人民医院 黄从新

2018年7月3日于心研所

序三

自 1987 年导管射频消融术被用于治疗快速性心律失常以来，历经 30 余年的发展，心脏电生理的基本理论和导管射频消融术日益成熟，发展迅速，现已成为绝大部分快速性心律失常治疗的首选方法，对某些心律失常是唯一的根治手段。导管消融的病种日趋复杂，包括心房颤动、房性心动过速、特发性和器质性心脏病室性心动过速、血流动力学不稳定的室性心动过速等。常规 X 线影像结合三维电解剖标测与影像融合等最新技术，仍然无法完全满足电生理术者对心律失常相关精细解剖理解的要求。心腔内超声能够实时、精确、清晰地显示心脏结构及毗邻解剖关系，以及随心脏舒缩时的实时变化，特别是对那些 X 线无法显示的突出在心腔内的解剖结构，如乳头肌、调节束、假腱索等，有独特的优势。同时，心腔内超声可分析血流和组织多普勒，评估血流动力学、瓣膜和室壁功能状态，监测并发症。

目前，国内外尚缺乏将心腔内超声和三维电解剖标测结合，详细阐述心腔内超声在各种心律失常中应用的专著。当我阅读本书初稿时，我高兴地发现这本书运用大量实战病例，将心腔内超声与三维电解剖标测结合讲解，深入浅出，可以帮助心电生理医生迅速、准确理解心腔内超声在各种心律失常中的具体使用方法。难能可贵的是，为了方便读者更好地理解超声扇面，书中配有大量的视频链接，这种创新的展现模式将给读者带来更好的阅读体验。

我十分荣幸受邀为此书撰写序言，本书的主要读者是心电生理医生，即使是没有超声心动图专业基础知识，也能快速上手。这部专著是一本非常专业的工具书，必将推动心腔内超声在心律失常领域的应用。感谢本书所有编者，无私地将心腔内超声使用的宝贵经验与广大读者分享。

四川大学华西医院 黄德嘉
2018 年 7 月 9 日于成都

序四

电子相控阵伴有彩色多普勒功能的心腔内超声，可为心律失常介入诊疗术中提供实时心脏解剖显像和各种血流动力学与心肌的功能分析。近 10 多年来的临床实践证明，心腔内超声结合三维电解剖标测明显提高了手术的精准度、有效性和安全性。新近，心腔内超声实现了与三维电解剖标测的完美整合，超声扇面的解剖细节与三维解剖空间方位的结合，便于未经超声心动图系统理论培训和缺乏实践操作经验的心脏电生理医生，直观地理解超声扇面所显示的解剖结构，进而快速学习、理解和应用心腔内超声技术。

绝大多数心脏电生理医生，是在传统 X 线引导下接受导管技术的培训。由于心腔内超声对心脏组织结构和功能的实时监测能力，大大超越 X 线的平面显像模式，且患者对心腔内超声导管在体内留置有良好的耐受性，心腔内超声在临床介入性电生理诊疗手术中的应用需求已日趋增加。范洁、杨兵、张劲林三位教授主编的《心腔内超声与三维电解剖标测》一书，系统介绍了心脏内超声导管操作、基础扇面、三维重建及其与三维电解剖标测的结合使用。该书搜集了近年来国内开展的心腔内超声指导下治疗不同心律失常的精彩病例，通过 340 余幅图片及 160 余段视频，详细描述使用心腔内超声引导各种心律失常诊疗的方法、经验和体会。本书既可供心脏电生理医生和医技人员学习心腔内超声与三维电解剖标测，又可供临床介入性心脏电生理专业医生在临床诊疗时参考对照之用。

鉴于当前的心腔内超声三维建模并非实时显像，其显像分辨力较二维心腔内超声尚显不足。但是随着计算机重建技术和超声导管工艺与显像技术的不断优化，心腔内超声显像结合三维电解剖标测，将会进一步加强在心血管解剖、功能、血流动力学、心肌组织特性，以及诊断术中并发症等方面发挥出其独特的实时评价能力。

承蒙编者热情相邀，本人有幸先读此书有关章节并作序，在此向广大读者推荐。

Cardiac Electrophysiology Laboratory,
University of Pennsylvania Health System

任建方

2018 年 6 月

前言

随着心律失常尤其是复杂心律失常（如心房颤动、器质性心脏病室性心动过速、特殊部位房性和室性心律失常等）介入手术的广泛开展，现有的三维电解剖标测系统虽能较为真实地重建心脏大血管的解剖，也具备较好地与磁共振和 CT 的影像融合技术，但仍不足以满足上述复杂心律失常导管消融术对心脏大血管解剖、功能细节和精准度的要求。

单纯的心腔内超声在术中可以实时、直观地显示心脏大血管解剖，指导标测与消融导管到达特殊的解剖部位，监测手术并发症等，但理解这些扇面需要较好的超声心动图基础，故而限制了这项技术在国内的推广和普及。新近，心腔内超声实现了与三维电解剖标测系统的整合，可以直观显示超声导管在心腔中的位置，指导构建心脏及周边大血管的三维模型，并将相应的扇面显示在电解剖标测系统重建的三维模型上，以借助超声扇面和三维模型的关系，理解该扇面所显示的心脏大血管解剖，帮助心律失常专科医生迅速地理解该扇面所显示的心脏大血管解剖，即使没有经过系统的超声心动图培训也可快速通过心腔内超声的学习曲线。此外，心腔内超声已经在特殊部位起搏、经皮左心耳封堵和梗阻性肥厚型心肌病的射频消融等一些新的应用领域显示出其独特的优势。

国内外关于心腔内超声方面的专著较少，目前尚无结合三维重建模型进行阐述的教材。本书编写的宗旨简明、实用，重视理论与实践结合，书中包含 340 余幅图片及 160 余段视频，可以指导读者从超声扇面、三维电解剖模型、超声视频等不同角度全面、深入地理解与心律失常介入诊疗相关的心脏解剖。全书共分为 4 章，第 1 章概述了心腔内超声的基本概念及心腔内超声相应设备。第 2 章讲述了心腔内超声基本操作流程和技巧及其常见的超声扇面，详细描述如何应用超声导管进行各个腔室的三维模型重建。第 3 章是本书精华所在，从临床病例出发，重点阐述如何应用心腔内超声指导各种复杂心律失常的导管消融术。第 4 章介绍了心腔内超声在心律失常介入诊疗并发症中的监测，以及在心脏置入电子装置和肥厚型心肌病导管消融等新领域的应用。

本书是由多位经验丰富的心内科医生和超声科医生共同完成的，主要编写者分别来自云南省第一人民医院、南京医科大学第一附属医院和武汉亚洲心脏病医院，均是心律失常领域最具有工作经验的专家，在应用心腔内超声指导心律失常介入治疗工作中积累了丰富的经验，为该书的撰写奠定了良好的基础。同时，感谢浙江大学附属邵逸夫医院、武汉市

中心医院、西安交通大学附属第二医院、中南大学附属湘雅医院、中国人民解放军总医院海南分院的专家，他们无私地将自己对心腔内超声的理解和经验通过病例的方式展现在本书相关章节中。相信该书能帮助心血管疾病方面的专业医生迅速掌握心腔内超声导管的操作和常见扇面的识别，并用于指导心律失常的射频消融等相关领域的应用。由于心腔内超声与三维电解剖标测的整合技术应用于临床时间尚短，编写时间有限，书中存在的疏漏和不足之处，希望读者给予批评指正。作为介绍心腔内超声与心脏三维电解剖的专著，我们希望该书成为心腔内超声指导心律失常介入手术的指导用书，并得到相关专业医学专家的喜爱。

编 者

2018 年 11 月

目 录

第 1 章	心腔内超声概述.....	1
第一节	超声心动图发展历程及原理.....	1
第二节	心腔内超声发展及优势.....	7
第三节	心腔内超声设备及导管.....	11
第 2 章	心腔内超声基本操作流程及技巧.....	14
第一节	心腔内超声基础扇面及心脏三维重建.....	14
第二节	心腔内超声导管操作基本要点及技巧.....	21
第三节	心腔内超声三维重建右心房的流程及技巧.....	35
第四节	心腔内超声三维重建左心房的流程及技巧.....	42
第五节	心腔内超声三维重建右心室的流程及技巧.....	48
第六节	心腔内超声三维重建左心室的流程及技巧.....	55
第七节	心腔内超声指导房间隔穿刺的流程及技巧.....	61
第 3 章	心腔内超声在射频消融中的临床应用.....	67
第一节	心腔内超声指导心房颤动的射频消融.....	67
第二节	心腔内超声指导三尖瓣峡部的线性消融.....	79
第三节	心腔内超声指导特殊部位房性心律失常的射频消融.....	84
第四节	心腔内超声指导右心室流出道室性心律失常的射频消融.....	91
第五节	心腔内超声指导左心室流出道室性心律失常的射频消融.....	95
第六节	心腔内超声指导起源于三尖瓣环室性心律失常的射频消融.....	101
第七节	心腔内超声指导左心室前组乳头肌室性心律失常的射频消融.....	105
第八节	心腔内超声指导左心室后组乳头肌室性心律失常的射频消融.....	110
第九节	心腔内超声指导调节束室性心律失常的射频消融.....	116
第十节	心腔内超声指导右心室室上嵴室性心律失常的射频消融.....	127

第十一节	心腔内超声指导非缺血性心肌病室性心律失常的射频消融	133
------	---------------------------------	-----

第十二节	心腔内超声指导假腱索室性心律失常的射频消融	142
------	-----------------------------	-----

第 4 章 心腔内超声的其他应用 148

第一节	心腔内超声指导梗阻性肥厚型心肌病射频消融	148
-----	----------------------------	-----

第二节	心腔内超声指导左心耳封堵术	152
-----	---------------------	-----

第三节	心腔内超声监测射频消融术中心包积液	158
-----	-------------------------	-----

第四节	心腔内超声在介入术并发症监测及预防中的应用	162
-----	-----------------------------	-----

第五节	心腔内超声指导希 - 浦系统起搏	172
-----	------------------------	-----

第 1 章 心腔内超声概述

第一节 超声心动图发展历程及原理

一、概述

超声心动图（echocardiography）是应用超声波回声了解心脏和大血管形态结构、生理功能及血流情况的影像学检查。近年来，超声心动图检查在临床上普及率越来越高，发展也越来越快。目前已应用于临床的超声心动图检查技术有 M 型超声、二维超声、彩色多普勒超声、经食管超声、血管内超声和心腔内超声等，不仅适用于常规心血管疾病的诊断和筛查，也是心血管介入手术的重要辅助工具。

二、超声心动图的发展简史

（一）超声萌芽时期（1842—1929 年）

1842 年奥地利物理学家及数学家 Christian Johann Doppler 阐述发光物体的光谱就像发声物体的声调一样，随着物体朝向和背离观察者的运动而变化，并将此现象称为 Doppler 效应。1881 年发现压电现象。1883 年，英国 Galton 做出第一支能产生 25 000 周 / 秒的高频振动短笛，这是发射超声最早的尝试。1929 年首次用超声对金属进行探测。第二次世界大战中一名美国工程师 Floyd Firestone 出于军事目的，用超声对水中物体进行定位，成功地开创了这种非破坏性探测技术。

（二）早期心脏超声成像仪的雏形（1950—1960 年）

1950 年德国学者 Keidel 首先记录了由心脏组织反射回的超声波，间接探查心脏体积。随后，美国及瑞典学者研制出简易回声仪，记录心脏结构活动曲线，并在 1954 年将其命名为“超声心动图”。1960 年设计出最早的心血管腔内观察的超声换能器。

（三）多普勒超声早期应用（1962—1969 年）

1962 年美国 Claude Joyner 和 John Reid 首次应用 M 型超声心动图研究活体心脏。随着该技术的不断推进与研究，1964 年成功研制出脉冲多普勒仪。至 1967 年，已应用超声检查二尖瓣狭窄与关闭不全、心包积液、先天性心脏病、主动脉瘤等疾病。同年开创了冠状动脉内多普勒超声，1969 年成功测量到人体冠状动脉的血流信号，并由芝加哥 Magnaflux 公司研发了实时的机械扇形扫描仪。

（四）经食管超声技术的发展（1971—1980 年）

1971 年美国学者 Side 与 Gosling 将压电晶片作为换能器，镶嵌于胃镜的顶端，插入食管，观察胸主动脉内的多普勒效应，应用食管超声技术评估主动脉弓的血流。1974 年静态三维超声心动图诞生，1975—1980 年启用连续波多普勒、改进成像方法，完善了经食管超声心动图。

（五）彩色多普勒超声技术的发展（1982—1984 年）

1982 年彩色多普勒血流成像研究获得巨大成功，1984 年实时二维彩色多普勒血流成像技术应用于先天性心脏病、瓣膜疾病和主动脉瘤等心血管疾病诊断方面。1983 年第一本彩色多普勒超声图谱出版，次年冠状动脉内多普勒导管研制成功。

（六）三维实时超声、介入超声的技术飞跃（1990 年至今）

1990 年，Hellen-brand、Doucette 等应用经食管超声、冠状动脉内多普勒超声，测量冠状动脉血流、监测房间隔缺损封堵术。1994 年诞生了动态三维超声心动图。1998—2003 年，Kalman、Bruce、Gentry 等在超声指导下精确定位指导手术消融位置，监护心内介入手术。2001 年，美国 Tomas Kohl 等在房间隔缺损的介入治疗中应用了心腔内超声技术。

三、超声心动图原理

（一）二维超声心动图（two-dimensional echocardiography, 2DE）

二维超声心动图又称切面超声心动图。是应用超声回波原理成像，即向人体发射脉冲超声，并接收各层组织界面的回声，属于亮度调制型，即单条声束传播途径中遇到各个组织界面所产生的一系列信号，以光点亮度或灰度方式显示在时基扫描线上。回波信号反射强，光点亮，否则相反，如无反射，则表现为暗区。此时基扫描线上的光点分布，代表声束通过的一条线的组织结构。当探头在扫查心脏、大血管结构的平面时，时基扫描线亦做相应成比例移动，两者所组合形成的图像就是 2DE，并且只有当帧频超过 16 帧/秒以上时，可清晰地观察到心脏平面结构及其活动情况。

(二) 多普勒超声心动图

多普勒超声心动图是应用多普勒原理与超声显像技术相结合评价心腔及大血管内血流情况和血流动力学的一种重要的无创性检查方法。

1. 多普勒效应与多普勒频移 多普勒效应即声源与听者做相对运动时,两者相互接近,声音频率增加,否则相反。频移是在声源和接收器之间有相对运动时,发射频率与接收频率之间的差值。超声探头发射的频率与运动的心脏反射的超声频率是不同的,这种现象称之为多普勒频移。

当探查心脏或大血管时,血液中流动的血细胞(主要是红细胞)对射入的超声波发生反射,并被超声探头所接收。此时流动的血细胞相对于超声探头就产生了多普勒频移。血细胞流动的速度大小、方向及与超声探头位置之间的关系决定了多普勒频移的大小和方向。血流朝向探头流动时,从血流反射的超声频率高于发射频率,多普勒频移即为正值;血流背离探头流动时,从血流反射的超声频率低于发射频率,多普勒频移即为负值。而多普勒频移为探头发射频率与血细胞反射频率的差值。通过多普勒方程测得多普勒频移可估测血流速度。当超声束与血流方向平行时,可获得精准的血流速度,而当超声束与血流方向垂直时检测不到血流速度,当超声束与血流方向之间的夹角 $\leq 20^\circ$ 时血流速度的低估率 $\leq 6\%$ 。

2. 彩色多普勒血流显像(color Doppler flow imaging, CDFI) 利用运动目标指示器原理计算血液中的红细胞运动状态对心脏和血管进行探测。根据红细胞的移动方向、速度、分散情况,调配红、绿、蓝三原色,并变化其亮度,重叠在二维图像上,显示血流方向和相对速度,了解层流、湍流、涡流的特征。在CDFI中,速度的大小以不同的色调来表示,流速越高,色调越高即色彩越亮;反之,流速越低,色调越低即色彩越暗。速度的方向以红、蓝两色来表示,将朝向探头即正向频移的血流标为红色,背离探头即负向频移的血流标为蓝色。

3. 频谱多普勒 包括脉冲多普勒和连续波多普勒两种。

(1) 脉冲波多普勒(pulse wave Doppler, PW): 应用同一换能器间断发射、接收返回的超声波。PW能精确显示取样容积的深度、位置,临床上常用来定位血流,但所测速度上限为 $1.5 \sim 2.0\text{m/s}$ 。应用PW测定的最大血流速度受脉冲重复频率(pulse repetition frequency, PRF, 每秒发射的超声脉冲的次数)和探头频率的限制。脉冲重复频率的 $1/2$ 称为极限频率(nyquist limit, $=1/2\text{PRF}$)。当多普勒频移超过极限频率时,会出现混叠现象,即过高的频谱移向相反的方向,当多普勒频移低于极限频率时,无失真现象,当多普勒频移超过极限频率而低于重复频率时,频谱方向与实际相反;当多普勒频移等于重复频率(二倍极限频率)时频谱值为零。根据多普勒方程式,降低超声探头的发射频率或增加超声束与血流方向之间的夹角可以减少混叠,或者通过减小取样深度、调整频谱基线的位置来消除混叠。

(2) 连续波多普勒 (continue wave Doppler, CW): 与 PW 的原理不同, CW 是应用两个晶体换能器, 一个连续发射高频脉冲波, 另一个连续接收反射的回波。因此扫查超声束范围内的所有血细胞产生的多普勒频移都被记录下来。其特点是可探测高速血流, 但无距离分辨力, 不能定位诊断, 在临床上常用来测定湍流的血流峰值速度。

(三) 三维超声心动图 (three-dimensional echocardiography, 3DE)

三维超声心动图是在二维超声成像基础上, 计算机系统对按照某一规律采集的二维图像及其相邻切面进行空间定位、像素补差平滑, 以大容量计算机进行三维重建, 并将重建好的三维图像显示在屏幕上。3DE 成像技术包括二维图像获取、三维图像重建和重建图像的显示。随着技术的发展, 3DE 主要包括动态 3DE 和实时 3DE 两种技术, 前者在获取所需二维图像, 计算机系统三维重建, 以表面或体元显示法立体显示组织结构, 并以电影环技术动态放映; 后者应用全矩阵阵列换能器实时发射和接收 X、Y、Z 三轴 (扫描方向相互垂直) 形成的“金字塔”样的三维立体声束, 并以体元显示法立体和实时显示心脏和大血管的结构。

四、超声心动图的临床应用与价值

(一) 经胸超声心动图 (transthoracic echocardiography, TTE)

经胸超声心动图是指应用超声波透过胸壁组织探查心脏和大血管以获取相关信息的一组无创性检查方法, 包括 M 型超声、二维超声、多普勒超声及其相关衍生技术。TTE 因无创、费用低、可重复性高等优点, 已成为临床最常用的心血管疾病影像诊断技术。

1. M 型超声心动图 M 型超声获得的是室壁运动的时间 - 距离曲线, 通过此曲线的运动轨迹及斜率能准确了解室壁与瓣膜的运动速率。临床工作中应用其测量室壁运动的幅度、心室壁的厚度, 以及收缩和舒张功能, 由此来反映心肌的运动状态。

2. 二维超声心动图 二维超声成像技术是通过声束不同角度的切割, 实时显示一定切面上心脏、大血管各结构之间的相互关系, 其可清晰地显示心脏内菲薄的瓣膜和纤细的腱索, 以及心脏解剖结构的细小变化和生理功能的异常改变。20 世纪 70 年代早期, 随着“实时”成像系统的不断完善, 二维超声成像技术在临床上广泛开展, 已成为心血管疾病最重要的影像学诊断方法, 并为其他类型超声诊断技术奠定了基础。

3. 三维超声心动图 三维超声心动图与二维超声显像相比, 在二维基础上又多了一维空间, 重建图像提供的信息量及对细微结构的分辨率远胜于二维法, 易于被超声工作者与临床医生理解和接受, 提高了超声诊断的准确性与可靠性。随着计算机与探头技术的不断进步, 三维超声心动图已发展至现在的实时三维超声心动图、立体三维超声心动图等技术。三维超声心动图能够直观显示心脏这一结构复杂而又活动快速器官的立体形态和空间方位,