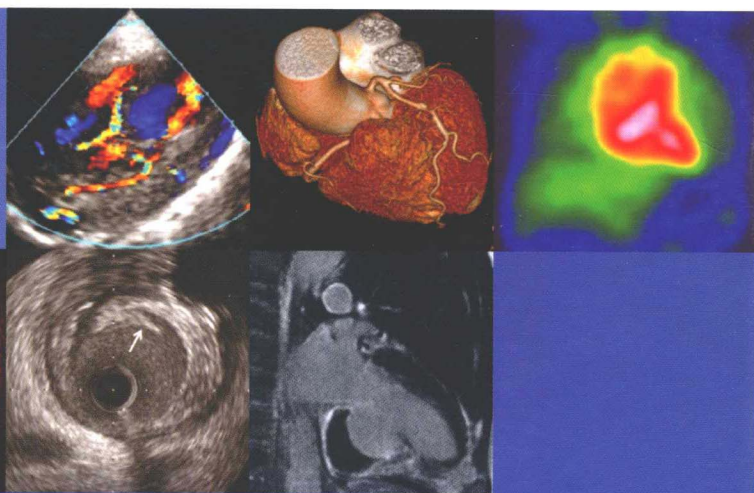


中华心血管疾病影像学系列丛书

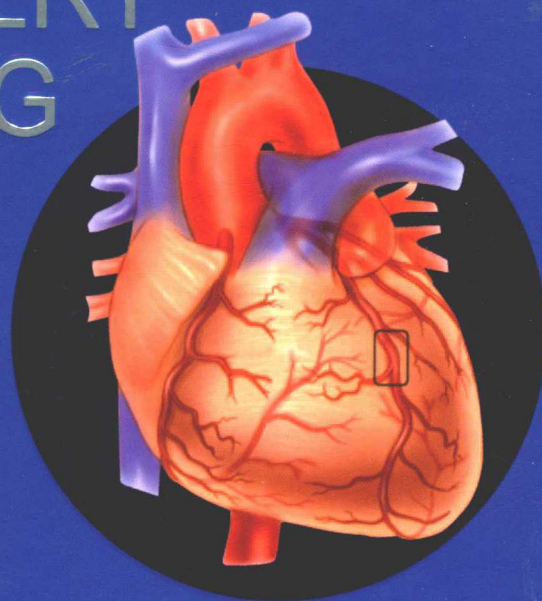
“十二五”国家重点图书



冠状动脉疾病影像学

CORONARY ARTERY DISEASE IMAGING

霍勇 葛均波 方唯一 赵世华 ■ 主编



北京大学医学出版社

中华心血管病影像学系列丛书

“十二五”国家重点图书

Coronary Artery Disease Imaging

冠状动脉疾病影像学

主 编 霍 勇 葛均波 方唯一 赵世华

副主编 何作祥 曲新凯 刘学波 舒先红

编 者 (按汉语拼音排序)

宾建平 (南方医科大学南方医院)

卜 军 (上海交通大学医学院附属仁济医院)

陈国军 (南方医科大学南方医院)

陈 华 (福建医科大学附属协和医院)

陈良龙 (福建医科大学附属协和医院)

窦克非 (中国医学科学院阜外心血管病医院)

方唯一 (上海交通大学附属胸科医院)

葛均波 (复旦大学附属中山医院)

管汉雄 (华中科技大学同济医学院附属同济医院)

郭 宁 (西安交通大学医学院第一附属医院)

何 奔 (上海交通大学医学院附属仁济医院)

何作祥 (中国医学科学院阜外心血管病医院)

侯静波 (哈尔滨医科大学附属第二医院)

霍 勇 (北京大学第一医院)

李 茜 (华中科技大学同济医学院附属同济医院)

李 嫣 (华中科技大学同济医学院附属同济医院)

李 妍 (第四军医大学西京医院)

刘 健 (北京大学人民医院)

刘学波 (上海市东方医院)

陆敏杰 (中国医学科学院阜外心血管病医院)

吕 滨 (中国医学科学院阜外心血管病医院)

吕秀章 (首都医科大学附属北京朝阳医院)

钱 杰 (中国医学科学院阜外心血管病医院)

曲新凯 (上海交通大学附属胸科医院)

权 欣 (中国医学科学院阜外心血管病医院)

施鸿毓 (上海交通大学附属胸科医院)

舒先红 (复旦大学附属中山医院)

孙冬冬 (第四军医大学西京医院)

汪 芳 (卫生部北京医院)

王 浩 (中国医学科学院阜外心血管病医院)

王玉锦 (华中科技大学同济医学院附属同济医院)

王照谦 (大连医科大学附属第一医院)

伍满燕 (北京大学人民医院)

夏黎明 (华中科技大学同济医学院附属同济医院)

杨 姗 (复旦大学附属中山医院)

于 波 (哈尔滨医科大学附属第二医院)

曾蒙苏 (复旦大学附属中山医院)

张 波 (中国人民解放军总医院)

张进华 (华中科技大学同济医学院附属同济医院)

张 梅 (山东大学齐鲁医院)

张瑞生 (卫生部北京医院)

赵世华 (中国医学科学院阜外心血管病医院)

智 光 (中国人民解放军总医院)

钟林涛 (南方医科大学南方医院)

朱天刚 (北京大学人民医院)

北京大学医学出版社

GUANZHUANGDONGMAI JIBING YINGXIANGXUE

图书在版编目 (CIP) 数据

冠状动脉疾病影像学/霍勇等主编. —北京: 北京大学医学出版社, 2015. 4

(中华心血管疾病影像学系列丛书)

ISBN 978-7-5659-1054-8

I. ①冠… II. ①霍… III. ①冠心病—影像诊断
IV. ①R541.404

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 046720 号

冠状动脉疾病影像学

主 编: 霍 勇 葛均波 方唯一 赵世华

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: 北京强华印刷厂

经 销: 新华书店

责任编辑: 高 瑾 黄 越 责任校对: 金彤文 责任印制: 李 啸

开 本: 889mm×1194mm 1/16 印张: 19 字数: 542 千字

版 次: 2015 年 4 月第 1 版 2015 年 4 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5659-1054-8

定 价: 108.00 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)

前言

近三十年来,现代心脏病诊疗技术飞速发展,取得了巨大的成就,在很大程度上这些成就都依赖于现代影像学技术的成果:首先,PCI技术是依赖于X线快速数字成像的微创介入冠状动脉成形技术,只有有了现代的数字减影血管造影(DSA)我们才能快速、精确和反复地读取冠状动脉的图像,临床心内科介入医师才能完成复杂的冠状动脉病变介入治疗手术。可以说,如果没有现代的DSA,我们各种介入治疗手术都会举步维艰。另外,不断发展的心脏超声、心脏计算机化断层显像(CT)、心脏核医学和磁共振成像技术使得我们能够越来越清晰地了解到心脏和血管的结构和功能,可以对过去难以准确诊断的一些疾病(如心肌病、主动脉夹层、血管痉挛等)比较轻松地做出准确诊断,也能帮助我们对治疗的效果做出有依据的评估。具体来讲,从二维心脏超声发展到四维心脏超声,从体表心脏超声发展到经食管心脏超声、腔内超声和血管内超声,逐渐使心内科医师从间接诊断发展到能够简便而又准确地了解心脏的结构是否异常,十分方便轻松地对各种结构性心脏病、心肌病的组织和结构异常进行诊断,准确实时指导开展各种结构性心脏病的介入治疗(包括经皮主动脉瓣置换术、经皮二尖瓣关闭不全成形术、经皮左心耳封堵术、经皮左心室壁瘤成形术等最新技术);从4排螺旋CT发展到560排螺旋CT和双源CT,大大提高了CT技术对心脏结构尤其是对冠状动脉病变的识别能力,不仅仅是简单的冠状动脉结构性诊断,而且有可能从冠状动脉血流储备的功能上做出很有价值的诊断;核医学检测心脏功能已经有近四十年的历史,至今仍然是无创性诊断心肌功能和判断心肌是否有损伤的“金标准”,随着正电子发射断层扫描(PET)在临床上的成功应用,其地位更加牢固;磁共振心脏成像技术则是近十余年来在临床上应用越来越多的技术,它不仅能清晰提供不同心肌结构的图像,而且能测定心肌活力,尤其对于心

肌病病因诊断大有帮助。因此,有人很直白地说,离开了现代的影像学技术我们很多心脏科(包括心内科和心外科)医师根本不能对他/她的心脏病患者做出准确的诊断和治疗。这句话可能有些夸张,但又不无道理。是现代的影像学技术成就了现代心脏病的诊断和治疗技术,三十多年来心脏病学的高速发展无一不包含影像学的成果。

除了心脏科医师越来越依赖现代影像学技术以外,另外一个非常现实的问题是有现代化的检查技术,我们能否正确选用?很多医师面对自己的患者不知道选用何种有针对性的影像学检查来帮助自己快速而准确地做出诊断,在临床上针对某一种心血管疾病的诊断依据不足或胡乱检查的例子比比皆是,于是出现很多“经验性诊断”或过度检查的情况。究其根源还是知识的提高和更新没有跟上,有些医师在离开医学院校以后由于某些客观的原因就再没有接受过新知识的培训,或者是在取得临床执业医师资格以后就将书本束之高阁,也许还因受到地域、经济状况等因素的影响,也限制了很多医师接受继续教育。

本书作者都是从事心脏影像学诊疗工作的专家,受中华医学会心血管病学分会的委托,编撰中华心血管病影像学系列丛书,本书是第一册,入选“十二五”国家重点图书,主要介绍与冠心病诊治相关的影像学检查和诊断内容,涵盖冠状动脉病变以及缺血性心肌病变的放射影像检查(CT、磁共振)、核医学检查、心脏超声、血管内超声(IVUS)、光学相干断层成像检查等与冠状动脉病变有关联的影像学检查知识,内容既有广度又有深度。书写方式立足于临床,在尽可能介绍最新临床研究进展的前提下,保证心内科临床的实用性。相信对广大工作在临床一线的心内科医师有一定的帮助,是一本有利于心内科医师不断学习和提高的实用参考书。

方唯一

2015年2月10日



目 录

第一篇 冠状动脉疾病的超声诊断

第一章 超声心动图方法学及进展	3	第二节 超声评价节段室壁运动	25
第一节 常用超声心动图方法	3	第三节 超声评价左心室整体收缩和舒张功能	27
第二节 超声心动图新进展	7	第四节 超声评价心肌梗死并发症	30
第二章 冠状动脉的超声心动图显像	10	第五节 右心室心肌梗死的超声诊断	33
第一节 正常冠状动脉	10	第六节 缺血性心肌病的超声诊断和鉴别诊断	36
第二节 冠状动脉起源异常	14	第七节 超声评价存活心肌	37
第三节 冠状动脉瘤	19	第八节 超声心动图评价血运重建效果	46
第四节 冠状动脉瘘	20		
第三章 冠心病的超声诊断	24		
第一节 室壁分段及其冠状动脉血供	24		

第二篇 多排螺旋 CT 冠状动脉造影

第一章 多排螺旋 CT 的技术原理和发展	59	血流储备分数评价冠状动脉病变的比较	94
第二章 冠状动脉的 CT 成像及其评价	65	第四章 CT 冠状动脉成像在介入治疗中的应用	107
第一节 正常冠状动脉 CT 影像	65	第一节 多排螺旋 CT 在冠状动脉介入治疗中的应用	107
第二节 冠状动脉畸形的 CT 成像	68	第二节 多排螺旋 CT 在慢性完全闭塞病变中的应用	110
第三节 冠状动脉粥样硬化的 CT 成像	71	第三节 多排螺旋 CT 在冠状动脉旁路移植术中的应用	113
第四节 多排螺旋 CT 冠状动脉钙化积分	77	第五章 CT 冠状动脉造影的放射损伤	118
第五节 心肌血流灌注的 CT 评价	78	第一节 CT 辐射剂量的表达	118
第六节 冠状动脉 CT 造影基础上的血流储备分数	80	第二节 冠状动脉 CT 检查的辐射剂量	121
第三章 CT 冠状动脉造影与其他检查的比较	84	第三节 冠状动脉 CT 检查辐射剂量控制	122
第一节 CT 冠状动脉造影与选择性冠状动脉造影的比较	84		
第二节 CT 冠状动脉造影与其他非侵入性检查的比较	91		
第三节 CT 与血管内超声、光学相干断层成像、			

第三篇 冠状动脉疾病核医学

第一章 放射性核素心肌显像的方法学	129	第三章 冠心病的危险分层	146
第二章 冠心病的诊断	136	第四章 心肌存活的评估	148

第五章 冠状动脉血运重建术的应用	154	第六章 冠心病合并心力衰竭的核医学显像 ...	157
------------------------	-----	-------------------------	-----

第四篇 冠状动脉疾病磁共振成像技术与诊断

第一章 概述与扫描技术	163	第三章 比较影像学、影像学检查合理应用与优化组合	183
第二章 冠状动脉疾病磁共振表现	170		

第五篇 血管内超声

第一章 血管内超声 (IVUS) 的成像原理和检查方法	189	第三章 介入治疗并发症评估	209
第二章 IVUS 对冠状动脉疾病的定性和定量分析	198	第四章 血管内超声的衍生技术	224

第六篇 光学相干断层成像

第一章 光学相干断层成像 (OCT) 的发展历史与现状	233	第一节 IVUS 与 OCT 成像原理和仪器比较 ...	245
第二章 基本原理、仪器和操作	241	第二节 IVUS 和 OCT 图像的判断	248
第三章 OCT 和 IVUS 比较	245	第三节 IVUS 与 OCT 临床应用对比	253
		第四章 OCT 对冠状动脉疾病的分析与评估	262

第七篇 冠状动脉生理功能评价

第一章 冠状动脉生理功能评价概述	271	第三章 血流储备分数 (FFR)	279
第二章 冠状动脉血流储备 (CFR)	274	第四章 微循环阻力指数 (IMR)	292

第一篇

冠状动脉疾病的超声诊断

第一章 超声心动图方法学及进展

第二章 冠状动脉的超声心动图显像

第三章 冠心病的超声诊断

第一章 超声心动图方法学及进展

超声心动图技术在五十多年的历史中，发展迅速，日臻完善，从早年单声束的 M 型进展到二维成像、三维成像、经食管超声心动图，进一步提高了超声诊断心血管疾病的能力。它不但可以直观反映

心脏和大血管的结构形态，实时显示其生理活动情况，动态评估心功能，而且具有无创伤性、可重复性、价格相对低廉和可在床旁进行等无可替代的优势，在冠状动脉疾病诊断中具有重要的作用。

第一节 常用超声心动图方法

一、M 型超声心动图

采用单声束探测从心脏和大血管反射的回声，超声束遇到声阻抗不同的界面（如心壁和血液）就产生反射，当界面与声束径路相垂直时，各界面反射的回声可沿原径路返回探头，然后转换成电脉冲，在示波屏上按界面反射的先后顺序逐个显示距探头不同深度的辉度信号。由于心脏的运动，其各层结构反射的光点也随着心动周期有节律地上下移动。通过慢扫描电路将其显示成水平扫描曲线，即构成 M 型超声心动图（M-mode echocardiography）。图上的横坐标表示时间，并有同步心电图作为时间标志，纵坐标表示距离（图 1-1-1）。

M 型超声不能全面显示心内结构的空间和毗邻关系，在心血管病诊断中的价值有限，但能对各心瓣膜、房室腔及血管壁的活动曲线进行距离和时相分析。

二、二维超声心动图

二维超声心动图（two-dimensional echocardiography）又称切面超声心动图，它与单声束探测的 M 型超声心动图不同，为多声束探测，由心脏或大血管从多条声束线上所返回的大量回声，按其空间位置排列而组成图形。为适应透声窗小而心脏大的特点，探测时需采用扇扫式，又称扇形超声心动图。它可以实时显示心脏不同断面的解剖轮廓、结构形态、空间方位、房室大小和连续关系、瓣膜活动情

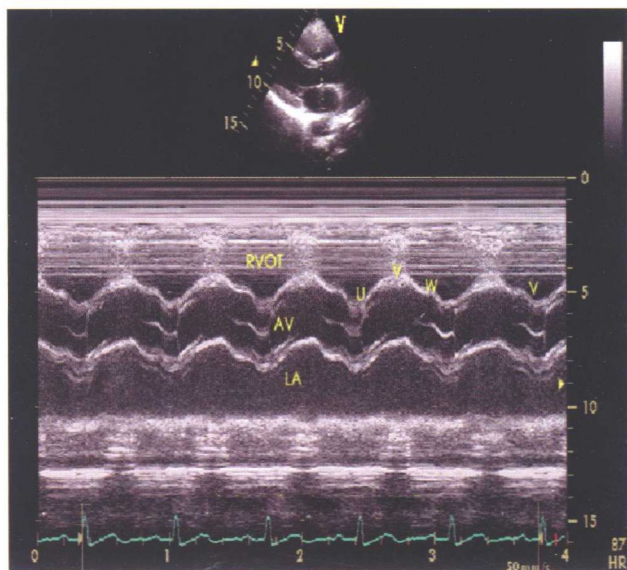


图 1-1-1 M 型超声心动图显示正常人心底波群，两条平行活动的光带为主动脉前壁和后壁的运动曲线

AV：主动脉瓣；RVOT：右心室流出道；LA：左心房

况等^①。二维超声是超声心动图的基础，其他心脏超声技术都是在二维超声基础上发展而来的，例如经食管超声、组织多普勒超声、斑点追踪显像等，对心血管疾病的诊断具有重要的意义。

【检查方法】

二维超声心动图检查时，探头可置于不同的透声窗进行探测，常用的有下列 4 种：

1. 胸骨旁位

探头放置在胸骨左缘第 3~5 肋间，声束从前胸由前向后进行探测。

2. 心尖位

探头放置在左胸前区心尖搏动最显著的部位，声束从心尖由左下前向右上后方向进行探测（图 1-1-2）。

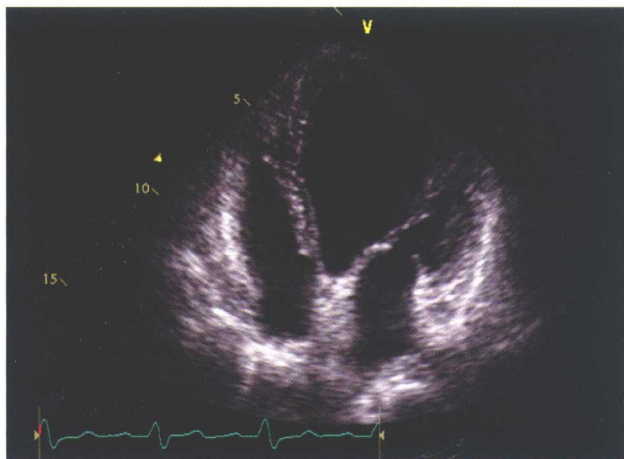


图 1-1-2 心尖位二维超声心动图显示的四腔心脏图像

3. 肋下位

探头放置在剑突下或左前胸最后一根肋骨之下缘，声束自该处向上探测。

4. 肋骨上位

探头放置在胸骨上凹及左、右胸锁关节之上方的软组织间隙内，声束自该处向下探测。

其他透声窗，也可根据临床需要选用，如右胸骨旁位、右心尖位等。

三、多普勒超声心动图

多普勒超声心动图（Doppler echocardiography），尤其是与二维超声心动图的结构显像相结合，可检测心脏和大血管内不同部位的血流方向、特性和速度。这为临床定性和定量诊断狭窄性、反流性和分流性病变，以及测定容积血流量，提供了新的无创性手段。

【原理】

多普勒超声检测的原理是基于多普勒效应。当超声波射入体内遇到流动着的红细胞时，以及由流动红细胞作为声源将声波返回时，由于多普勒效应而产生频移（ F_d ），即返回频率与发射频率（ F_0 ）之差值。当所检测的血流对着探头流动，返回声波的频率比入射声波频率高，产生正性频移；反之，当血液背离探头而流动，则返回频率降低而造成负性频移。血流方向即可按返回频移的增加或减少，分别表示在谱析显示的正侧或负侧。

频移之大小与血流速度（ V ）成正比，从而可从频移测算血流速度。但需注意声束与血流轴向之间的夹角 θ 对速度测值的影响。如 θ 角较大（ $>20^\circ$ ），需用其余弦值校正。

$$V = \frac{F_d \cdot c}{2F_0 \cdot \cos\theta}$$

其中 $c=1540\text{m/s}$ ，为超声在人体组织内传播的速度。

【检查方法】

目前临床应用的多普勒技术有三类：①脉冲波型；②连续波型；③彩色血流显像。

1. 脉冲波型

脉冲波多普勒应用单一换能器，兼发射和接收功能，主要用于定性和低速血流的定量诊断。它可采用取样容积有选择地接受和检测心腔或血管内不同深度、各种部位的流速、方向和频谱特性，有利于定位和定性诊断，但对高速血流的记录与测量受限制。

2. 连续波型

连续波多普勒应用两个换能器，可分别连续地发射和接受超声波信息。由于该型系测量在传播声束全线上的信息，无距离选择的能力，在定位诊断方面不如脉冲波型。其优点是能检测高速血流，甚至大于 5m/s 的血流速度下均能清晰显示和测量。

无论脉冲波型或连续波型多普勒，其输出信号均可采用频谱显示。通常以横坐标表示时间，纵坐标表示频移或速度的大小，并以正、负侧代表血流方向与探头间的关系，相迎者在正侧，相离者在负侧。根据多普勒频谱并结合同步记录的心电图，可评价在心动周期中血流的方向、流速和频谱特性（图 1-1-3）。

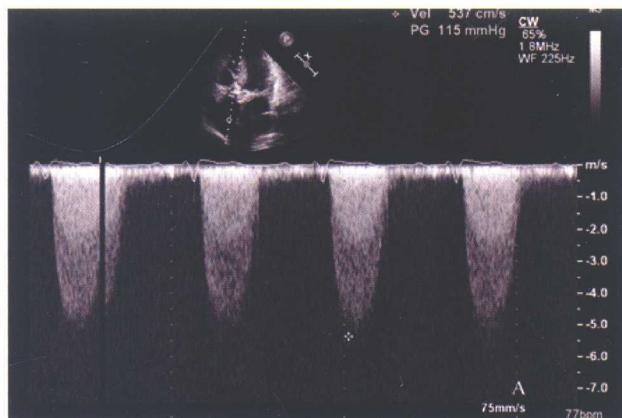
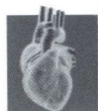


图 1-1-3 主动脉的连续波型多普勒超声心动图



3. 彩色血流显像

采用脉冲波多普勒探测, 将返回的多普勒信号呈现实时二维彩色显示。这是近年来应用于临床的新型多普勒技术。它通过“自相关”和彩色编码技术, 而提供实时的彩色血流动态现象。可在二维显像图上, 用不同的颜色表示血流的方向和特性。例如, 红色代表朝向探头方向流动的血流, 蓝色为背离探头方向流动的血流, 多色镶嵌者为湍流。

彩色血流显像临床主要用于鉴别正常和异常血流。正常血流为层流, 因红细胞在任何时间均以相似的速度和方向流动, 产生的多普勒效应所致的频移相近似, 频谱或流速曲线呈窄带图形, 所伴随的可闻声信号也很平顺悦耳, 在彩色血流显像时, 色泽较均匀。一般血流通过正常瓣口和无梗阻的心室流入道与流出道时, 均为层流。

异常血流多为湍流, 此时的红细胞在任何时间都以不同的速度和方向流动, 所致频移成分参差不齐, 而呈宽带频谱。可闻声信号粗糙, 呈嘈杂声。在彩色血流显像中, 则呈现引人注目的多色镶嵌图形。湍流一般出现在狭窄病变的下游, 反流的上游及分流处。

四、经食管超声心动图

经食管超声心动图 (transesophageal echocardiography, 简称 TEE) 是利用安装在内镜尖端的小型超声探头置于食管或胃内, 从心脏后部探测心脏和大血管, 进行二维超声显像的方法, 这一技术进展很快, 已由早期的单平面 TEE、双平面 TEE 发展到目前的多平面 TEE^[2]。它不仅给经胸超声心动图显像不佳的病例提供了新的探测途径, 而且给术中功能监测及手术疗效的评价提供了新的手段。

目前经食管超声探头为多平面探头。选用换能器的频率多为 5MHz, 安装在经食管超声探头的顶端。成人经食管探头的管体长 100cm, 直径 9mm, 末端有旋钮供调节探头的弯度以控制探头的方向, 可做 180° 旋转, 不仅可获得与探头轴心垂直或平行的切面, 也能获得介于两者之间的任意切面 (图 1-1-4)。

【检查方法】

1. 检查前的准备

经食管超声检查前应禁食空腹。若系门诊患者,

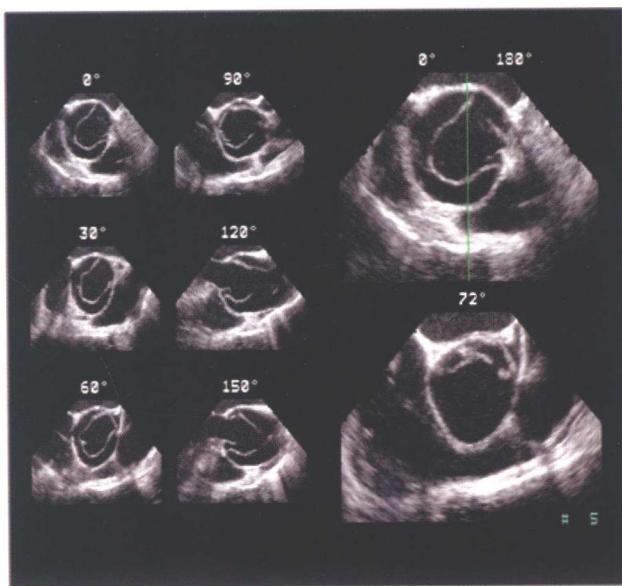


图 1-1-4 经食管超声心动图多角度显示主动脉及其夹层分离

则需予咽喉部局部麻醉, 也有加用静脉注射镇静安眠药如地西泮 (安定) 者。若在手术室中检查, 则只需在全身麻醉后进行。

2. 探头的置入

患者意识清醒时, 应先介绍检查经过以取得患者的合作。多取左侧卧位, 将探头送入患者口中, 令其做吞咽动作, 以便徐徐送入。手术病例, 由于已行气管插管及全身麻醉, 放置经食管探头通常无困难, 但需使用撑口器, 以防患者牙齿损伤探头。

【适应证】

1. 经胸超声检查显像困难者 如肥胖、肺气肿、胸廓畸形或在近期胸部手术后, 以及正在使用机械辅助呼吸的患者。

2. 经胸超声检查难以显示的部位

例如, 左心耳、上腔静脉、左右肺静脉, 以及胸降主动脉。对左右冠状动脉主干的显示, 经食管超声较经胸超声显像更清晰, 所能显示的范围更广。

3. 经胸超声检查所获信息可能有限的病种

例如, 主动脉夹层分离、人工瓣膜功能不全、自然瓣膜病变、感染性心内膜炎, 以及心内肿块。

4. 心脏外科手术和介入手术术中监护

例如, 瓣膜成形术、房间隔缺损封堵术、经皮主动脉瓣置入术、经皮二尖瓣钳夹术等。

【禁忌证】

1. 食管静脉曲张、食管狭窄和炎症

2. 急性心肌梗死
3. 严重心律失常、心力衰竭
4. 高热, 体质极度虚弱
5. 血压过高、过低, 严重肝、肾功能不全
6. 剧烈胸痛、咳嗽

五、负荷超声心动图

负荷超声心动图 (stress echocardiography) 是指在外加心脏负荷 (运动、药物或心房调搏等) 下的超声心动图检查, 主要评价负荷状态下心脏室壁运动及血流动力学指标。

最早的有关踏车运动负荷超声心动图的论文发表 1979 年的《循环》杂志, 尽管当时的图像不够理想, 但是能够成功地检测到负荷诱发的心肌缺血。计算机技术的不断发展使运动后采集的图像质量明显提高, 并且引入药物负荷试验减少了呼吸伪差。特别是 20 世纪 80 年代数字化记录系统的发展, 使试验前、中、后的图像在同一屏幕显示, 能够直接比较室壁运动的变化, 诊断准确性有了显著提高。负荷超声心动图已在临床广泛开展, 成为诊断冠状动脉粥样硬化性心脏病 (冠心病) 的重要技术。

(一) 负荷超声心动图的优势

静息状态下, 轻度狭窄的冠状动脉不一定表现为室壁运动异常, 因此可能被漏诊, 致使普通二维超声诊断冠心病的敏感性较低。在负荷状态下, 即使冠状动脉狭窄不严重, 由于其血流不能相应增加, 导致供氧量小于需氧量, 相应的节段就出现心肌缺血, 超声图像上表现为室壁运动减弱或消失。早期的动物实验发现, 冠状动脉血流量减少 10%~20% 时, 负荷超声表现为室壁运动减弱; 当血流量减少 80% 时, 负荷超声表现为室壁运动消失; 当透壁缺血时, 超声表现为相应节段矛盾运动。因此, 负荷超声心动图能发现静息状态下不能发现的冠心病, 显著提高超声心动图诊断冠心病的敏感性。

实验研究表明, 心肌缺血进行性加重时, 心肌收缩力的障碍发生在心电图改变和临床出现心绞痛之前, 负荷超声心动图能够在心电图改变或心电图改变之前发现室壁运动异常, 所以是检测心肌缺血较敏感的方法。临床研究证实, 负荷超声心动图发现冠状动脉病变的敏感性和特异性均较心电图运动试验高, 尤其适用于静息心电图异常 (ST-T 改变、室内传导阻滞、左心室肥大、WPW 综合征和

心室起搏心律) 以及应用洋地黄的患者。

与放射性核素显像比较, 负荷超声心动图具有相似的敏感性、特异性和准确性, 但无放射性损害、无需特殊设备、费用较低而且可以在床旁重复进行。

负荷超声心动图还能提供其他有用的信息, 如胸痛的其他原因 (心包积液、二尖瓣脱垂、主动脉瓣狭窄等) 和冠心病的并发症 (附壁血栓、室壁瘤等)。负荷超声心动图的这些优势使其跻身于冠心病无创性诊断和评价手段的前列。

(二) 常用负荷超声心动图方法

1. 运动负荷试验

包括运动平板试验、卧位或立位踏车试验等。运动平板试验优点是最接近生理状态, 因此应用广泛。不足之处是超声图像受呼吸影响大, 采集图像技术要求高, 必须在运动后 1~2min 内获取图像, 需要一定的训练; 而且难以判断存活心肌, 不能评价运动过程中的血流动力学变化, 有运动障碍者不能进行该试验。卧位踏车运动试验优点是比较接近生理状态, 能评价运动过程中的血流动力学变化, 超声图像受呼吸影响较运动平板试验小; 但患者容易出现腿部疲劳感, 较难达到目标心率, 使其敏感性受到限制。

2. 药物负荷试验

包括正性肌力药物 (例如多巴酚丁胺) 和血管扩张药 (双嘧达莫、腺苷)。药物负荷试验优点是适用于不能足量运动的可疑冠心病患者, 能评价运动过程中的血流动力学变化, 且超声图像不受呼吸影响, 更重要的是能够判断存活心肌。不足的是该试验不够接近生理状态。

3. 静态负荷试验

包括冷加压试验、握力试验、心房调搏等。冷加压试验和握力试验简便易操作, 但较难达到目标心率。心房调搏需要调搏导管, 心率容易控制, 但会造成患者不适。

了解各种方法的优缺点, 有利于选择合适的方法, 更好地达到试验目的, 提高敏感性。如果试验目的是需要发现心肌缺血, 则首选运动平板试验, 其次选择卧位踏车试验, 最后选择药物负荷试验。如果需要评价运动过程中的血流动力学指标、瓣口面积等变化, 则首选卧位踏车运动试验, 其次选择药物负荷试验。年老、体弱的卧床患者, 则首选药



物负荷试验。如果需要评价存活心肌，则首选多巴酚丁胺药物负荷试验。

（三）负荷超声心动图的分析方法

分析负荷超声心动图试验结果，最常用的方法是判断室壁运动。目前大多采用美国心脏病学会推荐的16段室壁（不包括心尖帽）分段标准。以左心室短轴为例，将左心室基底段、中间段均分为6段，即前间隔、下间隔、前壁、侧壁、下侧壁和下壁；将左心室心尖段分为4段，即室间隔、前壁、侧壁和下壁（图1-1-5）。

室壁运动分级和记分详见第三章第二节。

正常人随着负荷量的增加，室壁运动逐渐增强，室壁增厚率增加，心室收缩末容积逐渐减少，射血分数不断增加。

负荷试验中出现新的室壁运动异常，或原有室壁运动异常加重，则提示该节段心肌缺血；若原有的室壁运动异常在小剂量多巴酚丁胺负荷试验时得到改善，在大剂量时加重，则提示该节段有存活心肌；若运动消失的节段在各负荷量时无明显改变，则提示该节段为瘢痕组织（表1-1-1）。



图1-1-5 16段室壁分段示意图

1~6分别表示基底段前壁、侧壁、下侧壁、下壁、下间隔和前间隔，7~12分别表示中间段前壁、侧壁、下侧壁、下壁、下间隔和前间隔，13~16分别表示心尖段前壁、侧壁、下壁和室间隔

表1-1-1 负荷试验时不同心肌组织的反应

心肌类型	静息时室壁运动	负荷时室壁运动
正常	正常	增强
缺血	正常	减弱
存活	减弱	先改善，后恶化
瘢痕	异常，室壁变薄	无变化

第二节 超声心动图新进展

超声心动图新技术层出不穷，例如组织多普勒显像、应变和应变率显像、三维超声心动图、斑点追踪显像等，如果将这些新技术与常规超声技术相结合，则能够更加早期和精确地评价冠状动脉、室壁运动和存活心肌，进一步提高超声诊断冠状动脉疾病的敏感性和特异性，为临床正确诊断和随访疗效提供有益的无创工具。

一、组织多普勒显像

组织多普勒显像（Doppler tissue imaging, DTI）是新近开发的室壁运动分析技术，其定量诊断近年来发展迅速，对于冠心病的诊断具有重要的临床和研究价值。

心脏的多普勒信息由流动的血液和室壁运动产生，心脏血流和室壁运动的速度和振幅范围是不相同的，所以它们具有不同的多普勒信号特征。彩色多普勒血流成像技术是使心脏的多普勒信号通过高通滤波器后，将低速室壁运动信号滤除，显示高速

运动的血流信息。DTI技术是使心脏的多普勒信号不经过高通滤波器，而将所有信号全部通过增益控制器、模数转换器后直接进入信号选择器，计算机系统择出低速、高振幅的室壁运动信息，最后通过自相关信号处理技术，对代表心肌运动的多普勒频移信息进行彩色编码，以彩色二维、M型或多普勒频谱等形式，将心肌室壁运动的信息实时展现在荧光屏上，可以得到各节段的速度-时间曲线、位移-时间曲线，能够准确地定量心肌节段的运动速度、位移和同步性^[3]（图1-1-6）。

心肌缺血时，心肌运动的速度和时相也会发生相应改变。DTI可用于评价冠心病节段运动异常，包括收缩起始的延迟，心肌增厚或缩短的程度及速度降低。

二、应变和应变率显像

应变反映了心肌在张力的作用下发生变形的能力，常用心肌长度的变化值占心肌原长度（即

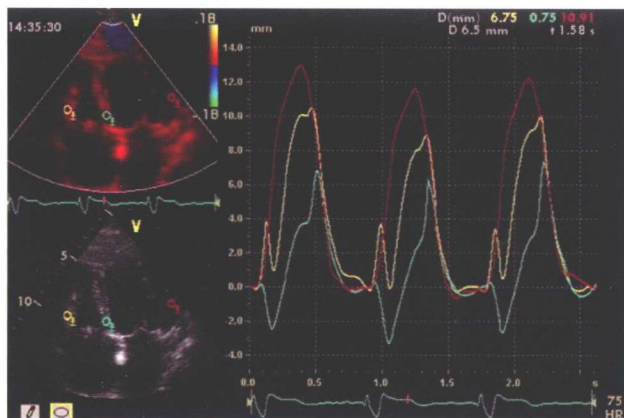


图 1-1-6 组织多普勒显像

红色、黄色和蓝色分别表示左心室侧壁、右心室游离壁和室间隔基底段的位移-时间曲线

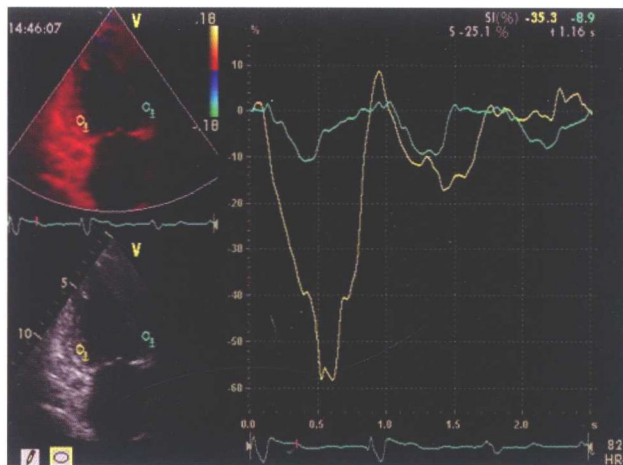


图 1-1-7 左心室前壁和下壁基底段应变-时间曲线

蓝色和黄色分别表示左心室前壁（缺血心肌）和下壁（正常心肌）基底段的应变-时间曲线，可见缺血心肌的应变显著降低

不受外力作用时)的百分数表示。负值代表心肌纤维缩短或变薄,正值代表心肌组织延长或增厚。应变率是应变的时间导数,反映了心肌发生变形的速度,单位为 $1/s$ 。应变和应变率显像可以更客观、更直接地反映心肌的局部功能,在评价心肌功能方面较DTI具有更多的优势,可以判断局部心肌的实际运动情况,区别心肌是主动收缩还是被动运动。心肌缺血时,心肌的应变和应变率显著下降,瘢痕组织的应变和应变率为0。各节段的应变-时间曲线还可以评价局部收缩功能及其同步性^[3](图1-1-7)。

三、斑点追踪显像

斑点追踪显像(speckle tracking imaging, STI)技术可以自动跟踪心肌组织中自然声学斑点,并自动计算出两点间运动轨迹。即使心肌有很微小的位置变化,STI也能较好地跟踪心肌运动,定量心肌运动的速度、位移和应变。STI无多普勒角度依赖性,有较好的时间和空间分辨率,可以定量心肌纵向、径向和环向三个方向的收缩功能,还可以较准确地评价心肌扭转^[4](图1-1-8)。

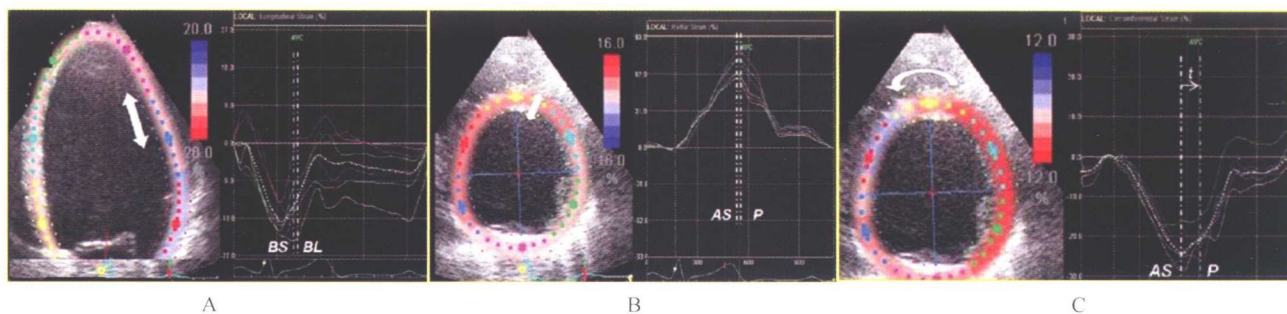


图 1-1-8 心肌三个方向的应变-时间曲线

A. 心肌纵向应变-时间曲线; B. 心肌径向应变-时间曲线; C. 心肌环向应变-时间曲线

四、实时三维超声心动图

实时三维超声心动图(real-time three-dimensional echocardiography, RT3DE)是应用矩阵型探头技术,由计算机控制,按照纵向和横向排列相控阵方式发射声束,同时沿着Y轴和Z轴扫描,通道

数量超过10000个,实时采集三维信息,最后形成金字塔形的三维数据库。能够快速、实时、逼真地显示心脏的空间立体结构及其毗邻关系,不需要几何假设,准确定量心腔容积,能够提高心血管疾病诊断的敏感性,为临床提高更丰富、更精确的信息。RT3DE的扫描方式有实时三维显像、全容积显像和



三维彩色多普勒成像。由 RT3DE 得到的 17 节段容积-时间曲线能够显示各节段的容积变化和达到最小

容积的时间，可用于评价局部收缩功能及同步性^[5]（图 1-1-9）。

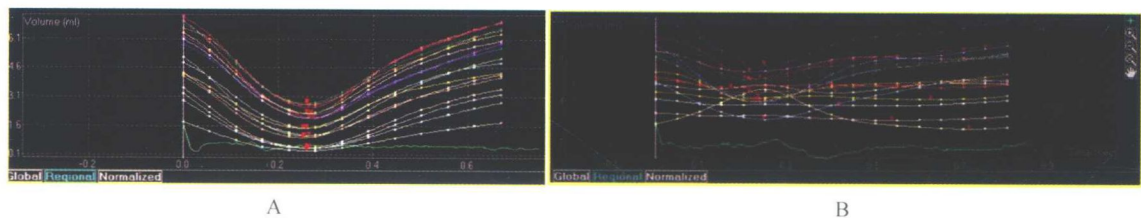


图 1-1-9 17 节段容积-时间曲线

正常人（A）和心肌梗死患者（B）的 17 节段容积-时间曲线，可见后者曲线平缓杂乱，提示局部收缩功能降低，同步性差

（舒先红）

参考文献

- [1] 王新房. 超声心动图学. 北京: 人民卫生出版社, 2009: 28-45.
- [2] 张运. 介入性超声心动图学. 山东: 山东科学技术出版社, 2000: 6-8.
- [3] 舒先红. 临床超声心动图新技术. 上海: 复旦大学出版社, 2004: 147-157.
- [4] 舒先红. 超声心动图疑难杂症的诊断. 上海: 复旦大学出版社出版, 2009: 257.
- [5] 高云华, 唐红. 实用超声心动图学. 北京: 人民军医出版社, 2011: 54-55.

第二章 冠状动脉的超声心动图显像

第一节 正常冠状动脉

一、正常冠状动脉解剖

心脏的血供来自冠状动脉。冠状动脉起始于主动脉根部，开口于主动脉窦内。主动脉窦（aortic sinus）是主动脉根部的膨出部分，分为三个窦：正常体位时位于前方者为前窦，又称右冠状窦，有右冠状动脉开口；位于后方者为左后窦和右后窦，左后窦有左冠状动脉的开口，又称左冠状窦，右后窦一般无血管开口，又称无冠状窦。左冠状动脉92%开口于左冠状窦内，8%开口于窦外。右冠状动脉94%开口于右冠状窦内，6%开口于窦外。当左、右冠状动脉不起自相应的主动脉窦而起自主动脉的其他部位或起自肺动脉时，称为冠状动脉起源异常。左冠状动脉开口径为2~7.5mm，右冠状动脉开口径为2~7mm，冠状动脉口狭窄时冠状动脉口径变窄甚至闭塞。

（一）左冠状动脉

左冠状动脉（left coronary artery）起始于主动

脉的左后方，主干甚短，走行于主肺动脉后方不易显露，在左侧冠状沟内分为两个主支，即前降支和旋支。分支之前一段称为左冠状动脉主干（左主干）。左主干的前方为肺动脉，后方为左心房前壁，下方为左纤维三角及二尖瓣环的内侧部分。多数成人左主干长度为5~20mm，但这一长度的变异较大^[1]（图1-2-1A）。部分人群可在左前降支与旋支之间另发出一分支，称为中间支。正常人群中出现率高低报道不一，为10%~30%，解剖学研究发现该支血管的检出率为60%左右。该支血管的发育程度变异较大，多数较为细小，冠状动脉造影不易发现。

1. 左前降支

左前降支始段位于肺动脉起始部的左后方，被肺动脉起始部掩盖。前降支下行的长度变异较大，多数人前降支沿室间沟下行并绕行心尖止于后室间沟的下1/3处，与来自后室间沟的右冠状动脉后降支一起参与下壁心肌的血液供应。少数人的前降支

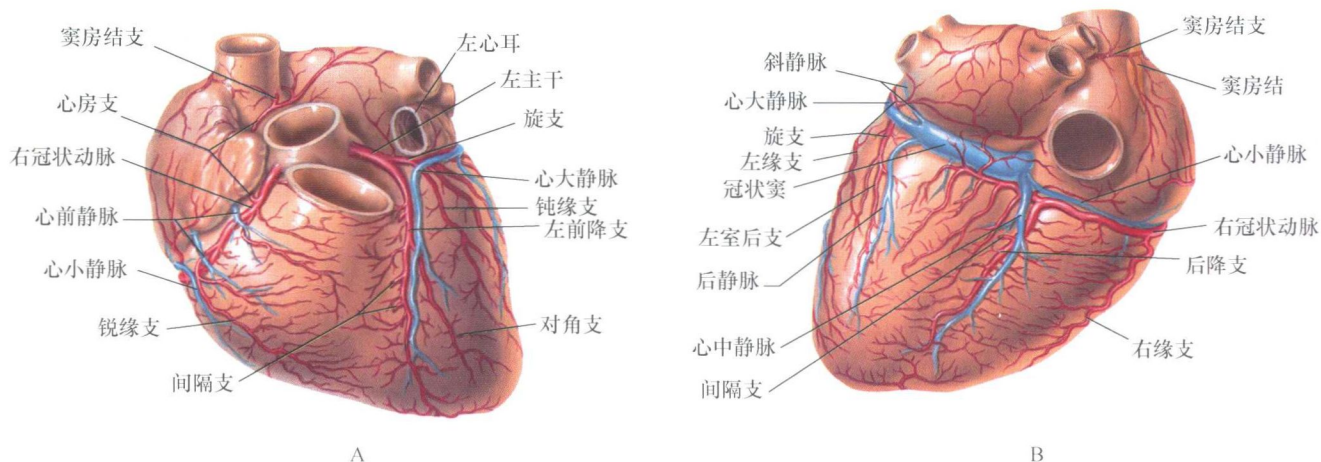


图 1-2-1 冠状动脉解剖示意图

A. 冠状动脉胸肋面观；B. 冠状动脉膈面观



可止于后室间沟的上、中部，并参与下壁心肌的大部分供血。前降支与后降支分别下行于前、后室间沟，在心尖和左心室下壁处两者可独立平行走行并发出分支，也可互相吻合。前降支发出两组血管：对角支走行于左心室前壁并支配其血供；对角支的大小和数目变化较大，多根据从前降支发出的顺序命名。穿膈支自前降支右侧发出，口径小于对角支，主要支配室间隔前 2/3 的血供。

2. 左旋支

左旋支是左冠状动脉的另一大分支，与前降支多成直角，向左向后走行于左房室沟内。发出钝缘支，也是根据从旋支发出的顺序命名。旋支的终末支部位变异较大，其分布区域与右冠状动脉远端分支互相消长。

(二) 右冠状动脉

右冠状动脉发自右冠状窦，沿右房室沟向前下方走行，通过肺动脉圆锥和右心房之间，在右心耳下方进入右冠状沟内，绕过心右缘到膈面，主干在房室交界区继续向左走行，终于左心室的膈面。人群中 50% 者圆锥支是右冠状动脉的第一分支，支配右心室漏斗部的血供，而另一半人群的圆锥支直接发自主动脉根部；人群中 60% 的右冠状动脉的第二分支是窦房结支，其余的窦房结支发自左旋支；右冠状动脉发出一些小分支供应心房和右心室游离壁，另外发出一大分支——锐缘支抵达心脏的锐缘：在十字交叉处，右冠状动脉发出后降支，支配后间隔的血供，以及后侧支，走行于后左房室沟内，支配左心室下后壁的血供。若前降支细小，不能到达心尖部，则后降支可延伸至心尖支配前间隔远 1/3 段。右冠状动脉发出房室结支，在后降支开口远端垂直发出，偶尔可见房室结支由旋支远端发出（图 1-2-1B）。

(三) 冠状动脉的分布类型

左、右冠状动脉在心脏的分支分布个体差异很大，相对而言，在心脏胸肋面个体差异较小，而在膈面分布变化较大。

目前最常用的分类方法为 Shlesinger 分类法：以心脏膈面的后室间沟为界线，根据后降支动脉主要来自哪一侧冠状动脉而分出右优势型、左优势型和均衡型。人群中右优势型为 60%~65%，左优势型 5%~10%，均衡型为 25%~30%。右优势型由右冠状动脉在后室间沟内发出后降支，左、右心室膈面的血液循环全部或大部分由右冠状动脉供血。

左优势型为后降支由左旋支发出，并为心脏膈面供血。均衡型为左旋支供应左心室膈面，右冠状动脉供应右心室膈面。

二、冠状动脉的超声显像

随着超声技术的进展和超声造影剂的应用，超声心动图已可以直观观察冠状动脉的起源、走行和形态^[2]。而近年来发展的彩色多普勒冠状动脉血流显像技术更可以较为直观地显示冠状动脉主干及其分支的血流，同时可以探测心肌内冠状动脉血流，并对冠状动脉远端血流进行检测^[3]。

二维超声心动图可清晰显示左、右冠状动脉的起始部，在心底短轴切面于主动脉根部 4~5 点处可见左冠状动脉的开口，在 10 点处可见右冠状动脉的起源（图 1-2-2A 和 B）。

在胸骨旁大动脉短轴切面调整探头方位，可显示左冠状动脉的主干向左走行，顺时针方向旋转探头约 30° 时，可见其长轴图像，分叉处指向肺动脉瓣者为左前降支，其下方为左旋支（图 1-2-2C）。左主干向肺动脉方向倾斜 15°~30°，而后平直走行，左前降支顺室间隔下行，而左旋支向左后走行。将探头稍向上翘，于主动脉根部的右上缘 10 点部位可见右冠状动脉长轴图像。在左心室长轴切面清楚显示主动脉前壁时，向内旋转探头，再略向上扬，也可见右冠状动脉（图 1-2-3）。右冠状动脉自右冠状窦起源后迅速右行或进一步从出口处下行。右冠状动脉近端长轴在心尖四腔切面和剑下五腔切面可显示，右冠状动脉中段短轴在剑下心尖四腔切面可显示。

在二维超声心动图上冠状动脉呈梭状、圆形或管状。左主干开口呈漏斗状，正常左主干长度 < 20mm（约 95%），直径为 4~10mm（平均 7mm），右冠状动脉直径为 3~6mm，左前降支近端为 3~5mm。冠状动脉及其分支不在同一水平，二维超声难以显示全貌，通常在一个切面上只能显示一段冠状动脉，因此在超声探查时需不时变换探头的方向方能观察到冠状动脉的连续情况。

近年来发展的彩色多普勒冠状动脉血流显像技术弥补了二维超声心动图观察冠状动脉的不足，在显示冠状动脉主干及其分支的同时，可探测心肌内冠状动脉血流。其有效性经冠状动脉造影对照证实对左前降支远端的总检出率达 90%，后降支检出率达 75%。和冠状动脉造影相比，此项技术具有无