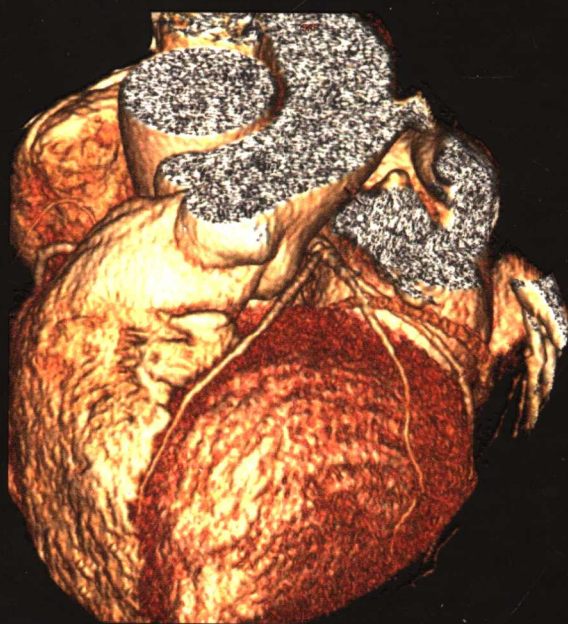


Multi-slice CT Cardiac Imaging
and Invasive Coronary Angiography

多层螺旋CT心脏成像 与冠状动脉造影

主 编 陈步星 胡大一 洪 楠
主 审 许玉韵



北京大学医学出版社

多层螺旋 CT 心脏成像与冠状动脉造影

Multi-slice CT Cardiac Imaging and Invasive Coronary Angiography

主 编 陈步星 胡大一 洪 楠

副主编 温智勇 徐仲英

主 审 许玉韵

编 委 (按汉语拼音排序)

陈 雷	陈步星	陈威威	戴 晖
郭旭梅	洪 楠	胡大一	康 枫
李学斌	马凤云	齐旭红	任 冰
阮剑洪	孙淑红	田 婷	王 枫
温智勇	吴 舰	谢文丽	许玉韵
徐仲英	张跃林	赵希哲	周全红

北京大学医学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

多层螺旋 CT 心脏成像与冠状动脉造影 / 陈步星, 胡大一, 洪楠主编. —北京: 北京大学医学出版社, 2007

ISBN 978-7-81116-339-1

I. 多… II. ①陈… ②胡… ③洪… III. ①计算机 X 线扫描体层摄影—应用—心脏病—成像 ②冠状动脉造影 IV. R814.42 R816.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 136400 号

多层螺旋 CT 心脏成像与冠状动脉造影

主 编: 陈步星 胡大一 洪楠

出版发行: 北京大学医学出版社 (电话: 010-82802230)

地 址: (100083) 北京市海淀区学院路 38 号 北京大学医学部院内

网 址: <http://www.pumpress.com.cn>

E-mail: booksale@bjmu.edu.cn

印 刷: 北京佳信达艺术印刷有限公司

经 销: 新华书店

责任编辑: 高瑾 责任校对: 杜悦 责任印制: 郭桂兰

开 本: 787mm × 1092mm 1/16 印张: 13.5 字数: 326千字

版 次: 2007 年 10 月第 1 版 2007 年 10 月第 1 次印刷 印数: 1—4000册

书 号: ISBN 978-7-81116-339-1

定 价: 128.00 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

选择性冠状动脉造影术过去一直被认为是诊断冠心病的“金标准”。尽管选择性冠状动脉造影检查总体上还是比较安全的，但因是有创伤性检查，存在一定程度发生合并症的风险，患者往往不太容易接受，并且将近有1/3患者冠状动脉造影结果正常，因此也并非所有患者均需要行选择性冠状动脉造影检查。近几年各种诊断冠心病的无创伤性检查技术发展迅速，其中多层螺旋CT（MSCT）冠状动脉成像在诊断冠心病方面取得丰硕成果，是CT发展史上一个重要的里程碑。自2000年推出4层MSCT至2004年底推出的64层MSCT仅用了短短的4年多时间。由于64层MSCT时间和空间分辨率大大提高，加上强大图像后处理技术的应用，使得心脏CT检查技术得以成熟。目前国内已经有多家医院引进64层MSCT，有少数医院引进128层MSCT，在本书即将出版之际，国外已开始将256层MSCT应用于临床。MSCT冠状动脉造影成像正成为心血管医生和影像学医生共同研究的热点。鉴于MSCT成像技术发展迅速，如何充分合理利用MSCT技术，对心血管疾病进行合理应用和评估变得非常重要。当前也迫切需要一本相关专业书籍供心血管工作者和普通内科医生了解和掌握该项技术，真正做到合理检查与应用。

有鉴于此，本书主要内容将对MSCT成像在心脏病领域中的应用价值进行介绍和评价。考虑到读者对象主要是广大临床医生，本书前几章是对MSCT心脏成像发展历史、成像方法和图像的后处理技术进行简要介绍；同时结合MSCT图像，对MSCT成像的正常心脏和冠状动脉解剖结构以及MSCT评价冠状动脉狭窄的方法进行介绍。通过上述内容的介绍，期待临床医生对MSCT心脏成像有个大致的了解。本书的重点内容是MSCT心脏成像对冠状动脉疾病进行评价，因此将选择性冠状动脉造影作为参考标准，利用MSCT心脏成像技术评价冠心病、钙化性动脉粥样硬化、冠状动脉血运重建效果和冠状动脉变异等；同时也就MSCT评价易损斑块方面的最新进展进行了讨论。另外，本书还对MSCT成像在诊断冠状动脉疾病之外的常见心血管疾病，如先天性心脏病和外周血管疾病进行了评价。

与既往不同的是，本书由临床心血管专业医生与放射科医生共同合作编写，

以心血管医生为主，从临床角度阐述MSCT在心脏疾病诊断的作用与评价。书中入选的图像均为64层和128层MSCT图像，并辅以文字注解，以图像诠释文字，更好地帮助读者理解相关内容。希望本书能成为MSCT心脏成像技术供临床医生和放射科医生使用的有益、较新又能密切结合临床实际的参考用书，并期望对提高心血管疾病的诊断水平有所帮助。这里特别要感谢许玉韵教授在百忙之中阅读书中所有章节，并提出许多宝贵意见。

由于经验不足，加上时间仓促，本书难免会有不少缺点和不足，请大家尤其影像学的专家及医生给予批评指正。

编者

2007年7月

序言一

随着现代心脏病学的快速发展，心脏病诊断与治疗的方法越来越丰富。经皮介入诊断由于其立体直观及测量方便的优势，已经成为冠心病、先天性心脏病及其他心脏结构和功能异常的主要诊断方法。但是这种有创检查还具有一定的风险。所以无创检查方法仍然在临床上应用广泛，包括X射线、磁共振、核素显像等。从X射线诊断到21世纪的多层快速螺旋CT，放射心脏病诊断经历了一个多世纪，而且随着影像技术的不断发展，目前在临床上使用的64层螺旋CT，较其上代多层螺旋CT，扫描速度更快，时间空间分辨率更高，且受呼吸心率的影响小，在冠状动脉成像方面有着特殊的应用价值，为冠心病的无创检查提供了一种安全可靠的手段。不同研究显示其对冠心病患者诊断的敏感性达80%以上，特异性可达90%以上，且阴性预测值较高，达94%左右。由此可见，冠脉螺旋CT对评价血管节段和排除冠心病方面非常有用。随着对冠状动脉易损斑块的研究认识的深入，螺旋CT对此也有一定的价值。但是，也应该注意到其对冠心病诊断的局限性，比如心律失常和严重钙化对影像的影响较大。如果对某些环节进行改进，我们相信螺旋CT将很大程度地替代有创介入诊断。此外，多层螺旋CT，结合其他无创检查手段，如超声、核素扫描等，也将大大地提高其他心血管疾病，如先天性心脏病和外周血管疾病的诊断质量和效率。本书通过对螺旋CT技术的原理、方法和其在心脏病学领域实际应用价值的介绍，将对从事心血管病学和放射影像学的广大临床医务人员提供有用的学习参考，对指导临床实践有积极的意义。

龚兰生

2007年7月

序言二

冠心病是心血管病常见病之一，又是心血管病的主要死因，其中超过一半的冠状动脉事件发生在没有症状的人群。因此，早期诊断冠心病具有重要意义。尽管选择性冠状动脉造影术是诊断冠心病的“金标准”，但它是一项有创检查，有一定危险性且价格相对昂贵，患者亦不太容易接受，故不宜作为冠心病的筛查手段。多层螺旋CT（MSCT）冠状动脉成像这一无创技术的迅速发展为诊断冠心病及其他心血管病提供了更多可选择的手段。由于64层MSCT时间和空间分辨率较高及强大图像后处理技术的应用，使64层MSCT在扫描速度、图像清晰度等技术上有了质的突破。总之，MSCT冠状动脉成像是一项无创、低危、快速的检查方法，并已成为一种重要的冠心病早期筛查及冠状动脉血运重建术后随访手段。一次成像可完成冠状动脉钙化程度分析，冠状动脉狭窄评价及冠状动脉斑块评价以及心脏结构和功能分析。但也有其局限性，如患者有严重血管钙化、心动过速、心律不齐等原因造成图像伪影或图像质量不良，将影响对结果的分析。因此，迫切需要能有这方面的专业书籍供在临床一线的医生，尤其是心血管医生了解和合理应用这一新技术。

庆幸在我有生之年能看到并认真阅读、学习了陈步星、胡大一及影像学专家合作及时编写的这本MSCT心脏成像技术及相关参考书的15个章节的内容，尤其对MSCT心脏成像的解剖结构、对心脏结构及功能分析、如何阅读和判断以及对其他心血管疾病的检查应用有了初步和深刻印象，受益匪浅。个人认为本书新颖、简要、图文并茂，结合临床实际，又能从临床角度阐述MSCT在心血管疾病的诊断与评价作用，并简要介绍了MSCT的基础知识。书中入选的图像是作者在临床一线工作中收集的64层和128层MSCT图像资料。因此，我相信该书将较好地指导广大临床工作的心血管及影像学科医生的临床实践。相信这种跨学科合作将会更好地促进卫生事业的发展。

许玉韵

2007年8月

目 录

第一章 多层螺旋 CT 心脏成像的历史	1
第一节 概述	1
第二节 多层螺旋 CT 成像在心脏疾病检查中的应用历史	2
第三节 影响多层螺旋 CT 心脏成像检查的技术因素	3
第二章 多层螺旋 CT 心脏成像检查的基本方法	16
第三章 多层螺旋 CT 心脏成像的后处理技术	25
第四章 选择性冠状动脉造影术	34
第五章 多层螺旋 CT 心脏成像与心脏解剖结构	54
第六章 多层螺旋 CT 心脏成像评价心脏的结构和功能	63
第一节 多层螺旋 CT 心脏成像评价心脏功能	63
第二节 多层螺旋 CT 心脏成像评价心肌血液灌注	67
第三节 多层螺旋 CT 成像上常见的心脏内和心脏外异常	70
第七章 多层螺旋 CT 冠状动脉狭窄的分析和评价	77
第八章 多层螺旋 CT 心脏成像与选择性冠状动脉造影	91
第九章 多层螺旋 CT 成像与钙化性动脉粥样硬化斑块	110
第一节 多层螺旋 CT 评价钙化性动脉粥样斑块的方法	110
第二节 多层螺旋 CT 心脏成像评价冠状动脉钙化性斑块	111
第三节 多层螺旋 CT 成像评价冠状动脉以外钙化病变	116
第十章 多层螺旋 CT 心脏成像与冠状动脉易损斑块	128
第一节 易损斑块的特征和评价方法	128
第二节 多层螺旋 CT 与血管内超声成像评价易损斑块的比较	129
第三节 多层螺旋 CT 与光学相干断层扫描成像评价易损斑块的比较	131
第四节 多层螺旋 CT 成像与急性冠脉综合征	137
第十一章 多层螺旋 CT 心脏成像与冠状动脉血运重建治疗	142
第一节 多层螺旋 CT 心脏成像与冠状动脉介入治疗	142
第二节 多层螺旋 CT 成像与冠状动脉旁路移植术	153

第十二章	多层螺旋 CT 心脏成像与冠状动脉变异	159
第十三章	多层螺旋 CT 心脏成像与先天性心脏病	166
第一节	常见简单先心病的多层螺旋 CT 心脏成像	166
第二节	复杂先天性心脏病的 CT 成像	168
第十四章	主动脉、肾动脉和颈动脉多层螺旋 CT 成像	180
第十五章	多层螺旋 CT 心脏成像在心脏电生理检查和治疗中的应用	194
索 引	198

第一章 多层螺旋 CT 心脏成像的历史

第一节 概述

心脏和血管组成人体的循环系统，血液在其中按一定方向循环流动，称为血液循环。心脏是由心肌组织构成的空腔器官，是血液循环的动力装置。心脏由心包、心肌、瓣膜构成固有结构，心肌与瓣膜共同将心脏分隔为心房和心室，左、右心房和左、右心室之间分别是房间隔和室间隔。心房心室同时与肺循环和体循环系统的大血管相通，构成血液在心脏内的流动通路。心脏自身由冠状动脉供血并通过冠状静脉回流。

心脏的主要功能或者说根本功能是循环功能，即在心脏电生理活动的节律控制下，心肌不停地有规律地做收缩和舒张交替的运动，舒张时容纳静脉血返回心脏，收缩时将血液射入动脉，推动血液沿单一方向循环流动。这种运动形式与水泵类似，故心脏的循环功能又可称之为泵血功能或泵功能。此外心脏还具有分泌心钠素和其他具有生物活性成分的内分泌功能。

人体血液循环的主要任务是完成体内物质的运输，维持机体新陈代谢，因此，作为血液循环原动力的心脏，其结构和功能是否正常具有极其重要的意义。心脏结构异常和功能异常之间往往具有复杂的因果关系及相互作用，结构异常程度和功能异常程度之间也往往不平行或不匹配。只有从心脏的结构和功能两方面作出评价，才是对心脏完整的评价。由于心脏的泵功能主要是以物理运动的方式实现，所以以物理原理为主的各种影像学方法是目前临床对心脏结构和功能评价的主要客观检查手段。临床症状、体征及心肌酶学等化验检查也是评价心脏结构和功能的有效方法。

医学影像学以 X 线引入临床应用为起点，至今已逾百年历史。X 线及其后发展的各种影像学方法均具有穿透性的特点，能够透过体表观察人体内部结构，极大地拓展了诊断学的范畴，提高了诊断的准确度。在 X 线应用于临床最初的几十年间，心脏领域的影像学研究主要以 X 线透视及摄片为主。与肺脏和骨骼不同，心脏内部缺乏天然对比，故 X 线下仅能观察心脏大血管的外形，并通过其外形的改变推断内部结构异常，或者观察心包、心瓣膜或冠状动脉的钙化。随着技术进步，新原理和新方法不断产生。目前，用于心脏结构和功能评价的医学影像学方法除了常规 X 线检查外，还包括冠状动脉造影及心房心室大血管造影、超声成像 (ultrasonic imaging)、核医学 (nuclear medicine)、核磁共振 (nuclear magnetic resonance, NMR) 或称磁共振成像 (magnetic resonance imaging, MRI)、计算机断层成像 (computed tomography, CT) 等。冠状动脉造影仍是诊断冠状动脉狭窄的金标准。心房心室大动脉造影广泛用于先天性心脏病，尤其是复杂的先天性心脏畸形的结构及血流动力学方面的评价。自 20 世纪 60 年代超声检查被引入临床后，二维、三维及多普勒超声等以其简便易行的优势成为现在临床进行心脏结构和功能评价的首选方法。核医学的

诊断方法主要应用于心肌灌注、心肌梗死范围及存活性的研究。MRI和CT随着近年来技术的进步,迅速成为心脏领域的最新手段,对心脏形态和功能的各个方面给予有效的评价。

第二节 多层螺旋CT成像在心脏疾病检查中的应用历史

1972年,G Hounsfilde博士成功地将传统的X线摄影与计算机技术相结合,发明了CT并因此获得了1979年诺贝尔医学和生理学奖。30余年来,CT的硬件及软件技术经历了数次跨越式发展,CT也逐渐应用于心脏领域并成为一项成熟的技术。

最早期的CT,由于结构上的不成熟,导致扫描及成像时间过长,只能应用于脑部等静止的结构。技术进步后,扫描和成像时间缩短,胸腹部可以通过屏气克服呼吸运动的影响。当时的CT,每屏气一次,只可以完成胸部或腹部单层图像的扫描成像,如果层厚是10mm,通常需要屏气20~30次才能完成整个胸部的扫描。而心脏每分钟数十次的搏动,使得此时的CT无法应用于心脏。

传统CT的扫描方式是X线球管旋转扫描,检查床移动到下一扫描位置(即进床过程),再次旋转扫描,再次进床,每次扫描获得单层图像。1989年,应用滑环技术和连续进床技术,CT实现了X线球管旋转的同时进行扫描,由此诞生了螺旋CT(helical or spiral CT)。螺旋CT使扫描时间大为缩短,单次屏气20~30s即可完成整个胸部或腹部的扫描。1998年北美放射年会上,多层螺旋CT(multi-slice CT or multi-detector CT, MSCT or MDCT)推出,意味着CT技术的又一次大的进步。多层螺旋CT以多层排列的探测器代替以往的单层探测器,并且随着探测器的增宽,X线球管发射的也不再是传统的扇形X线束,而是锥形X线束。多层螺旋CT的X线球管每旋转一周,可获得探测器宽度范围上的多层图像,因此扫描速度再次大大提高,采集速度是单螺旋CT的数倍,完成单器官扫描时间缩短到数秒到十余秒。也正是因为探测器的增宽,多层螺旋CT在实现快速扫描的同时可实现大范围的扫描,例如,单次屏气即可完成胸腹联合扫描,所以多层螺旋CT也被称为容积CT(volume CT, VCT)。多层螺旋CT在推出之初,仅为4层CT,随后迅速出现8层、10层、16层、32层、40层、64层和128层CT等众多产品。目前,国内外的多层螺旋CT以16层和64层CT居多。

多层螺旋CT的快速大范围扫描使心脏CT检查得以成熟,具体来说,针对心脏不间断有规律搏动的特点,多层螺旋CT主要通过软硬件技术手段在下列方面进行设计及优化:

第一,提高时间分辨率。提高时间分辨率的意义在于降低心率对心脏CT成像质量的影响,提高检查的成功率。多层螺旋CT心脏成像的时间分辨率是一个复杂的概念,包括形成单层图像的时间分辨率(X-Y轴时间分辨率)和完成整个心脏扫描所需的时间(Z轴时间分辨率)。X线球管旋转的速度越快,探测器宽度越宽,时间分辨率也就越高,同时扫描原始数据的重建算法也影响时间分辨率,采用多扇区重建算法比单扇区重建算法能获得更高的时间分辨率。现在,64层CT可以在特定条件下实现最高40多毫秒的图像时间分辨率,5s内完成整个心脏的扫描。目前,又有双源CT推出,即配置两个X线球管及两个对应的探测器,能够进一步提高时间分辨率。

第二,提高空间分辨率(尤其是Z轴空间分辨率)。提高空间分辨率的意义在于使心脏

的精细结构显示得更清晰。CT扫描获得的是X-Y轴图像，即轴位（横断位）图像，但心脏结构具有复杂的几何构象和空间走行，尤其是冠状动脉，需要在轴位以外的层面观察其解剖形态，因此必须利用Z轴数据对轴位图像重组。过低的Z轴空间分辨率将使重组图像模糊且出现锯齿状边缘。自16层CT起，CT实现了体素各向同性，即横断面图像的空间分辨率（也称X-Y轴分辨率）基本等同于纵向的空间分辨率（也称Z轴分辨率），这就意味着扫描获得的横断面图像重组为冠状、矢状或其他方位的图像后无明显失真。多层螺旋CT的空间分辨率与单排探测器的采集厚度、探测器的排列方式、原始数据的插值重建算法、X线球管的焦点尺寸和形状等因素有关。目前，64层CT的Z轴空间分辨率可以达到0.4mm左右，128层CT的分辨率可达0.31mm。

第三，优化图像后处理技术。薄层大范围的CT扫描使数据量骤增，优化影像后处理技术的意义在于更高效地处理庞大的数据流，同时使CT诊断由二维平面模式向多维空间模式发展。在心脏CT领域，可以实现冠状动脉分析、心功能分析、计算机辅助诊断技术等。优化图像后处理技术主要依赖工作站的软硬件完成。

多层螺旋CT使心脏CT检查得以成熟和普及，但最早有效进行心脏CT检查的却不是多层螺旋CT，而是电子束CT（Electron Beam CT，EBCT）。电子束CT也称超高速CT，在1983年前后发明并应用于临床。电子束CT的设备结构与普通CT及螺旋CT有本质区别，它采用电子枪产生电子束，并通过聚焦及偏转线圈控制电子束方向，使之扫描环形阳极靶（钨靶），代替了传统CT上机械旋转运动的X线球管，没有任何机械运动，工作过程全部电子化，这是它能进行高速扫描的基础，也是它的真正创新之处。电子束CT的特点是扫描速度快，成像时间短，其每周扫描时间最快约50余毫秒，适合于心脏等运动器官。正是由于上述特点，电子束CT也被认为是CT技术的巨大进步，可将其划分为新一代CT。但是，电子束CT由于设备昂贵，在国内外装机数量有限，除了扫描速度快外无其他明显优势，而且，随着CT的发展，64层及64层以上CT的最高时间分辨率已经与电子束CT接近或相当，而多层螺旋CT的空间分辨率优于电子束CT。因此，多层螺旋CT普及率明显高于电子束CT。多数学者认为电子束CT是CT发展中的一个重要的旁支。电子束CT在心脏CT领域的工作是开拓性的，现在多层螺旋CT对心脏检查中的许多技术和方法即源于电子束CT。

第三节 影响多层螺旋CT心脏成像检查的技术因素

多层螺旋CT心脏成像检查能否取得高清晰图像取决于多种因素，为提高心脏CT成像的成功率，有必要对影响心脏多层螺旋CT检查的各种因素进行分析。

一、心率

由于心脏不停地做有节律的收缩和舒张运动，因此，心率对心脏CT检查的影响最显著。心率的影响主要包括心率过快和心律不齐两个方面。

正常成人的平均心率约为75次/分，即一个心动周期约为800ms，其中心房的收缩期和舒张期分别约为100ms和700ms，心室的收缩期和舒张期分别约为300ms和500ms，心房和心室共同的舒张期约为400ms。虽然现在多层螺旋CT的最高图像时间分辨率可达40ms

左右,但这并不意味着多层螺旋CT的X线球管可以在这么短的时间内完成一周的旋转并成像,受到机械装置原理和材料等的限制,现在的多层螺旋CT球管旋转最快约为350毫秒/周。数百公斤甚至上吨的旋转机件以接近每分钟200转的速度旋转,所需要的功率是相当惊人的,由此产生的向心加速度约为重力加速度的十余倍。尽管如此,350ms对于心动周期来说仍然相当长,所以,多层螺旋CT进行心脏检查时,必须利用心电门控技术,即利用多个不同心动周期中相同的时相(一般是舒张晚期,此时心脏相对运动幅度较小)的数据进行图像重建,这种心电门控也被称为回顾性心电门控。多层螺旋CT的图像时间分辨率是在硬件基础上依靠软件算法获得的,对心率十分敏感(尤其是采用多扇区重建算法时),如果心率加快,心动周期更短,心脏搏动对图像的影响必然增大,即运动伪影加重,表现为图像模糊,血管显示不清,锯齿状改变错位不连续等。如果心律不齐,每个心动周期长短不一,进行重建的数据不一定均来自舒张晚期的时相,也会导致图像紊乱或错位不连续。对于4层或16层多层螺旋CT,一般认为心率小于60~75次/分时,图像质量较好^[1-5]。Hoffmann等^[6]对50名心率在45~103次/分的患者研究表明,对于16层CT,心率和图像质量呈显著负相关,获得最佳图像质量时的心率小于等于75次/分,而在期前收缩或心律不齐的患者中,88%患者的图像无法达到临床诊断要求。Nieman等^[7]将78例患者按心率快慢分为3组,第1组心率为49~62次/分,第2组为63~72次/分,第3组为73~104次/分。结果第1组78%的冠状动脉节段可用于分析,第2、3组分别为73%和54%,检测冠状动脉狭窄的敏感度和特异度三组分别为97%、74%、67%和96%、94%、94%。对于64层CT,心率在75~80次/分也可获得较满意的CT图像质量^[8-10]。双源CT更可以在80~100次/分的心率下获得符合临床诊断要求的CT图像^[11-13]。

电子束CT没有机械旋转结构,通过电子束偏转完成每周旋转的时间远小于心动周期,受心率过快的影响比多层螺旋CT小,并且,电子束CT采用前瞻性心电门控技术,即通过R波触发扫描,当心律不齐时,对少数不规则出现的R波可以漏过不触发采集,对心律不齐的敏感性低于多层螺旋CT^[14-16]。

心率过快和心律不齐导致心脏CT的图像质量显著下降,甚至检查失败,除了对CT设备的性能进行改善外,实际工作中还可以综合采取下列措施提高检查的成功率。首先,当患者来到医院的影像科室时,不要立即开始检查,最好让患者休息一段时间后处于静息状态下再开始检查;检查前与患者进行必要的沟通,使之对检查过程心中有数,消除紧张情绪,有利于心率的平稳缓和;连接好心电门控装置后,除了观察患者的心率是否满足检查要求外,还需要正确地对患者进行呼吸和屏气训练,使之配合检查,同时可观察患者屏气与不屏气时是否有明显的心率变化。多层螺旋CT往往根据屏气前的心率自动选择扫描时的螺距,如果屏气后心率变化明显就会导致螺距与心率不匹配,影响图像质量,这种情况下,可在扫描前人工输入患者屏气后的心率值使之匹配^[17]。其次,对于心率超过70~80次/分的患者,在没有禁忌证的条件下,CT检查前约1小时可采取药物控制心率,最好使心率控制在70次/分以下。其中,最常使用的是 β 受体阻滞剂,例如美托洛尔或普萘洛尔,口服和静脉途径给药均可^[5, 18-22]。Shim等^[23]使用16层螺旋CT在心脏CT检查前1小时给15例心肌缺血的患者口服普萘洛尔20~40mg,并与24例对照组比较后得出结论,使用 β 受体阻滞剂降低心率后,心脏CT显示冠状动脉的图像质量明显改善,尤其是对右冠状动脉的显示。

此外,根据心率选择单或双(多)扇区算法对CT重建图像也有明显影响。双(多)扇区算法能提高多层螺旋CT的图像时间分辨率,适用于心率较快的患者,但其代价是使空间分辨率有所下降,并且对心律不齐更加敏感,因此,心率较慢的患者采用双(多)扇区算法不一定是最佳策略。綦维维等^[17]对78例患者的心脏CT图像进行分析后认为,心率小于70次/分的患者适用于单扇区算法,70~80次/分的患者适用于双扇区算法。

部分CT设备还具备心电门控编辑功能,通过插入或删除心动周期,人为调整心跳节律,使部分偶有心率不齐患者的图像质量得到改善^[10]。

二、数据重建技术

如前所述,目前的多层螺旋CT均采用回顾性心电门控。由于多层螺旋CT扫描获得的是连续容积数据,图像可以在心动周期(R-R间期)的任何时间段重建,因此选择合适的重建时相以保证图像质量是十分重要的,尤其是对冠状动脉的观察。多数研究认为,在50%~70%的R-R间期重建图像质量比较好,这个时期一般是处于舒张中期,对于冠状动脉显示良好^[5, 24-26]。但左冠状动脉前降支、回旋支及右冠状动脉最佳的重建时相仍有细微差别,Hong等^[21]认为,左冠状动脉前降支重建最佳时相为50%和60%R-R间期,左冠状动脉回旋支为60%,右冠状动脉为50%。Kopp等^[24]认为,左冠状动脉前降支最佳时相为60%~70%R-R间期,左冠状动脉回旋支为50%,右冠状动脉为40%。Achenbach等^[25]则认为左冠状动脉主干及前降支重建最佳时相为70%~80%R-R间期,左冠状动脉回旋支及右冠状动脉为50%。实际工作中,一般可选择50%~70%的R-R间期重建,必要时增加其他重建时相,从中选择最佳的重建时相,不过,增加重建时相会成倍的增加工作量,降低效率,因此需要根据实践经验和实际情况均衡图像质量和工作效率之间的关系。与多层螺旋CT相似,电子束CT图像质量也与前瞻性心电门控的触发时相有关,其时相选择类似于多层螺旋CT^[15-16]。

多层螺旋CT采集的容积数据经过重建后得到的是横轴位断层图像,通常有数百层的图像。不论是观察冠状动脉,还是观察心房心室等,一般都要对横轴位图像进行重组,以其他的方式或角度进行显示,由于16层以上的多层螺旋CT实现了体素的各向同性,重组的图像空间分辨率等同于横轴位图像,保证了重组图像具有良好的图像质量。结合横轴位图像和重组图像观察,方能得出比较全面的结论。横轴位图像重组的方法通常有如下几种:最大密度投影法(maximum intensity projection, MIP)、多平面重建(multiplanar reformations, MPR)、表面遮盖显示(surface shaded display, SSD)、容积重现或体绘制(volume rendering, VR)、仿真内镜(virtual endoscopy, VE)等^[27-35]。其中,MPR属于二维平面图像,适于多角度观察心脏形态结构,而且,还可以沿任意路径行曲面MPR(图1-1)。

以冠状动脉走行为路径,进行冠状动脉曲面MPR,能将弯曲走行的冠状动脉“展开”,有利于其全程的显示(图1-2,图1-3)。

而且MPR保留了心脏各结构的真实密度,对细微结构显示良好。MIP、SSD及VR等方法均为指定三维空间内符合指定密度的组织结构的立体图像,在医学影像学后处理工作站上,这些方法产生的图像可以任意角度旋转,以便从不同角度进行观察。MIP一般用于显示冠状动脉,方法快速,图像类似血管造影,与SSD方法相比能显示更多细节(图1-4,图1-5)。

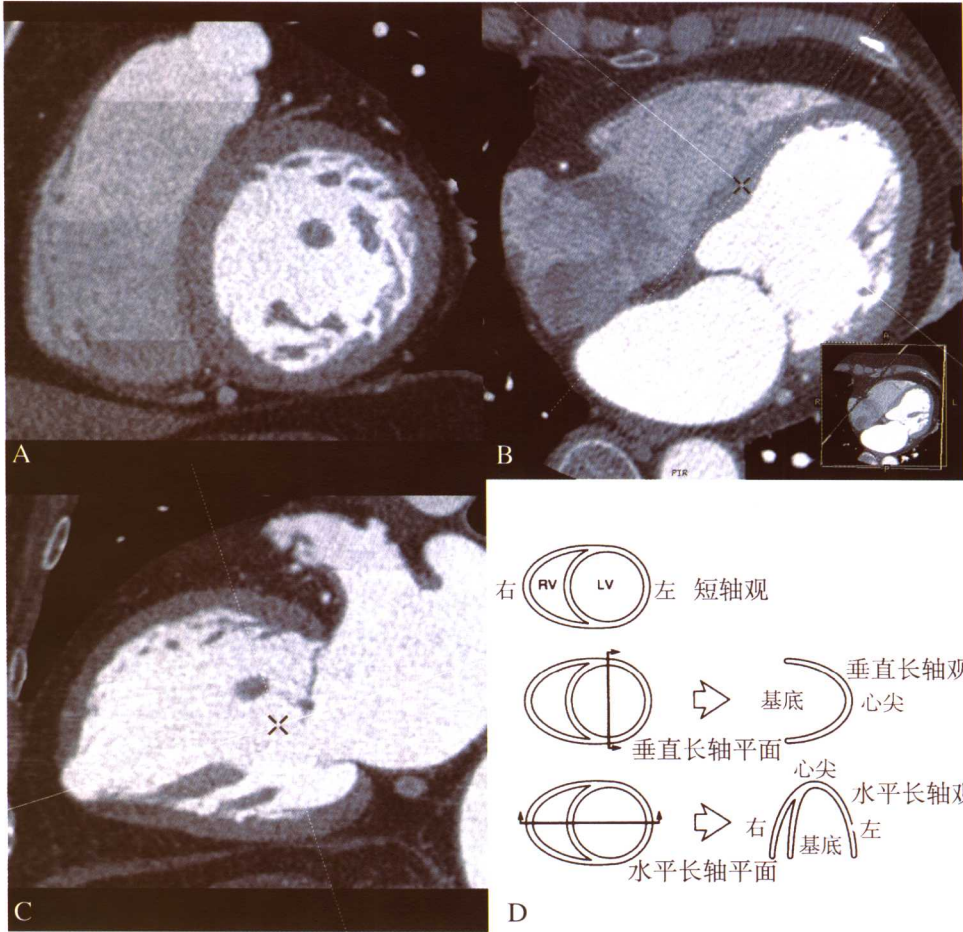


图 1-1 A 至 C 为心脏 MPR 重建图像。A, 左室短轴位图像; B, 左室垂直于室间隔的长轴位图像; C, 左室平行于室间隔的长轴位图像; D, 心脏长短轴模式图

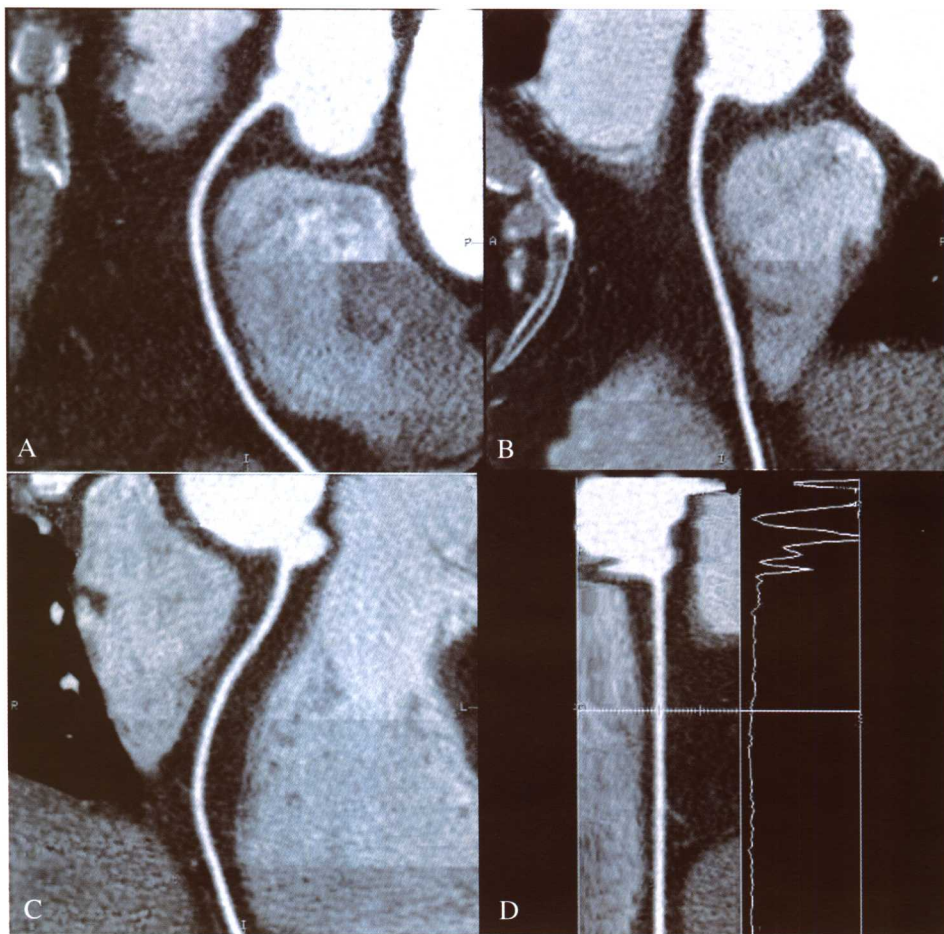


图 1-2 右冠状动脉曲面 MPR 图像。A 至 C，不同角度右冠状动脉曲面 MPR 图像；D，右冠状动脉血管拉直图像

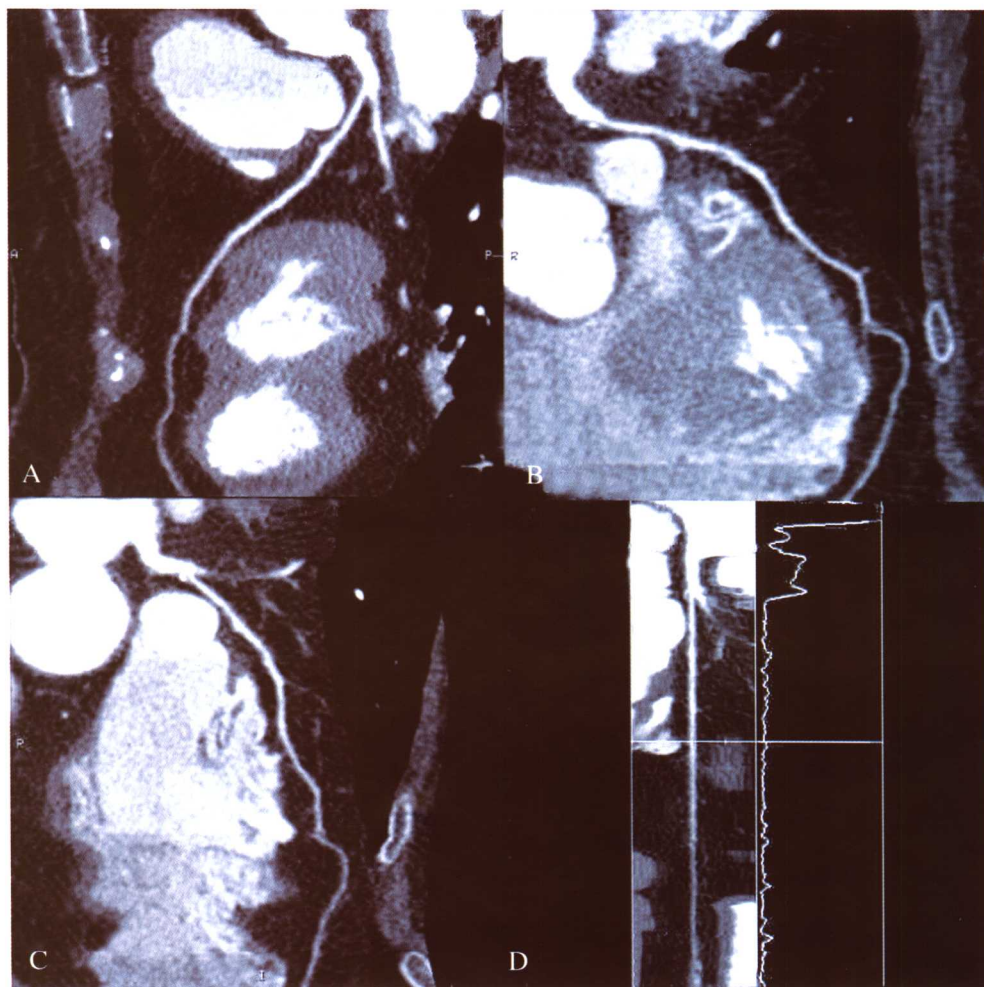


图 1-3 左冠状动脉前降支曲面 MPR 图像。A 至 C，前降支不同角度曲面 MPR 图像；D，前降支血管拉直图像