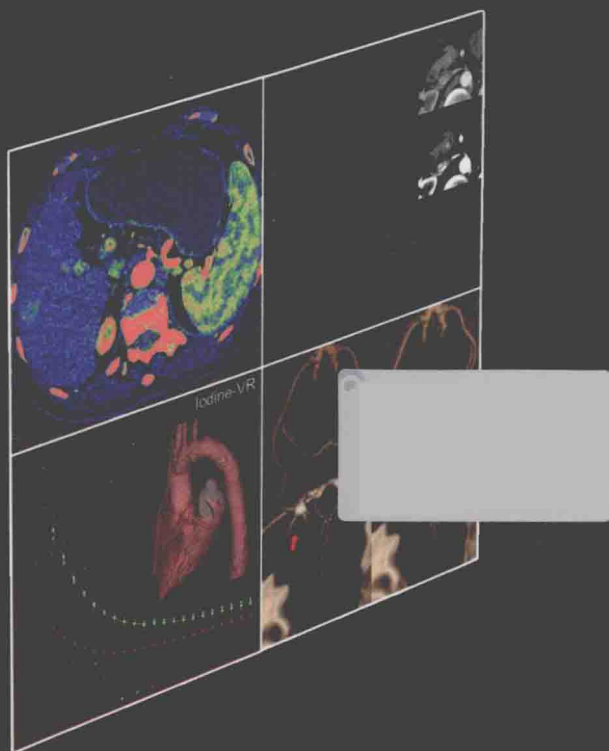


PRINCIPLES AND CLINICAL APPLICATIONS
OF SPECTRAL CT IMAGING

能谱CT的基本原理 与临床应用

主 编 陈克敏
副主编 严福华 林晓珠
李剑颖 沈 云



科学出版社

能谱 CT 的基本原理与临床应用

Principles and Clinical Applications of Spectral CT Imaging

主 编 陈克敏

副主编 严福华 林晓珠 李剑颖 沈 云

编 委 (按姓氏笔画排序)

卜玉莲¹ 上野惠子³ 王明亮¹ 王忠敏¹ 尹其华¹
田中功³ 吕培杰¹ 朱晓雷¹ 刘 燕¹ 孙陶陶¹
严福华¹ 杨文洁¹ 李卫侠¹ 李剑颖⁴ 町田治彦³
沈 云^{3,4} 张 帅⁴ 张 欢¹ 陈 盈² 陈克敏¹
林晓珠¹ 庞丽芳¹ 赵雪松¹ 胡胜平¹ 徐学勤¹
高 娜⁴ 郭 宁⁴ 郭 英⁴ 曹会志⁴ 福井利佳³
缪 飞¹ 樊树峰²

作者单位 1 上海交通大学医学院附属瑞金医院

2 浙江省台州医院

3 东京女子医科大学东医疗中心

4 GE 中国 CT 影像研究中心

科 学 出 版 社

北 京

图书在版编目(CIP)数据

能谱CT的基本原理与临床应用 / 陈克敏主编. —北京: 科学出版社,
2012.7

ISBN 978-7-03-034973-6

I. 能… II. 陈… III. 计算机X线扫描体层摄影—能谱—研究
IV. R814.42

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第133245号

责任编辑: 向小峰 / 责任校对: 钟 洋 包志虹
责任印制: 肖 兴 / 整体设计: 路 远 郭 英 范璧合

版权所有, 违者必究; 未经本社许可, 数字图书馆不得使用

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>

皇家印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012年7月第 一 版 开本: 889 × 1194 1/16

2012年7月第一次印刷 印张: 22

字数: 612 000

定价: 260.00元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

内 容 简 介

目前，CT 已成为疾病诊断和筛查的一种重要手段。与常规 CT 相比，能谱 CT 最显著的特征就是提供了多种定量分析方法与多参数成像为基础的综合诊断模式，如基物质图像、单能量图像、能谱曲线等。其独特的多参数成像模式与常用的 CT 诊断模式有所不同，熟悉其成像原理、影像表现与应用价值会对 CT 诊断和应用带来很大的帮助。

该书作为国内外的第一本有关能谱 CT 的专著，全面介绍了 CT 能谱成像的基础知识及其在临床诊断中的价值。本书分为能谱 CT 基本原理和能谱 CT 临床应用两部分，共计 11 章 46 节。能谱 CT 基本原理篇首先回顾了 CT 发展的历程和能量 CT 研发的必要性及其实现途径；随后深入剖析了单源瞬时 kVp 切换能谱成像的物理基础，并介绍了实现该技术所必需的硬件平台、图像分析平台和解析技术；接着从基础实验的角度，展现了能谱成像在定量、定性诊断方面的作用；最后展望了能谱成像在临床应用中的潜在价值。能谱 CT 临床应用篇主要涉及头颈部、胸部、腹部、盆部以及骨和关节等领域，对能谱成像的扫描技术、分析方法和诊断要点进行了系统论述；从定位诊断、定性诊断以及综合诊断的角度阐述了 CT 能谱成像在肿瘤性病变、血管性病变以及医源性植入物术后评估等方面的应用；揭示了 CT 能谱成像在优化图像质量、提高病灶检出率和疾病鉴别能力方面的价值。

本书可作为从事医学影像和 CT 工作人员的专业参考书，也可供临床学科专业人员、医学院校师生及相关专业人员阅读参考。

Introduction

Computed tomography (CT) has become an important modality for diagnosing diseases. The most prominent advantages Spectral CT has over conventional CT are its set of quantitative analysis tools as well as its integrated diagnostic method based on multi-parameter images, including material-decomposition images, monochromatic images and spectral curves. On the other hand, this unique multi-parameter imaging method has also introduced unprecedented challenges to radiologists accustomed to the single-parameter diagnostic mode. It is thus important for radiologists to understand the imaging principles, image appearance, and clinical applications of Spectral CT. As the first book on Spectral CT imaging in China (and globally), *Principles and Clinical Applications of Spectral CT Imaging* systematically introduces the basic principles of Spectral CT imaging and its values in clinical applications. This book consists of 11 chapters with 46 sections, and is divided into two parts: the basic principles of Spectral CT imaging, and clinical applications of Spectral CT imaging.

The first part begins by reviewing the history of CT and energy CT with emphases on the necessity of the development of energy CT and the different ways of realizing energy CT in clinical applications, followed by a thorough analysis of the fundamentals of Spectral CT imaging with single tube-fast kVp acquisition approach in terms of its necessary hardware platform, image generation algorithm, and image analysis platform. It then demonstrates the ability of Spectral CT imaging in quantification and material characterization using phantom experiments and finally, predicts the potential of Spectral CT imaging in clinical applications. The second part describes the clinical applications of Spectral CT imaging in various anatomic areas, including head and neck, thorax, abdomen, pelvis, and bone and joints. This part of the book systematically discusses the scanning protocols, analyzing methods and main diagnostic points. It describes the applications of Spectral CT imaging for the detection, qualitative and quantitative evaluation, characterization of neoplastic diseases and vascular diseases, and image evaluation after iatrogenic implants. It reveals the tremendous value of Spectral CT in improving image quality as well as enhancing the detection and characterization of lesions.

This book could be used as reading material for radiologists specializing in CT, a reference for medical students and professionals in other imaging and clinical departments, and as a primer for our colleagues wanting to gain a systematic understanding of Spectral CT.

主编简介



陈克敏，上海交通大学医学院医学影像系主任，上海交通大学医学院附属瑞金医院主任医师、教授、博士生导师。1976年毕业于上海第二医学院医疗系，1983~1989年就读于上海医科大学研究生院，并于1987~1989年在日本东京圣母病院和庆应大学病院做临床进修医师。毕业后长期在医学院校附属医院从事临床放射学的诊断和介入治疗工作及相关的教学和科研工作，在腹部影像学、神经影像学、骨关节影像学、非血管介入及数字化影像等方面均有较多的涉及。2010年以来组织瑞金团队在能谱CT的临床研究和应用方面做了大量的工作，特别是应用能谱CT在提高小病灶的检出率和肿瘤的分期及鉴别方面等进行了很多有益的探索，并与东京女子医科大学东医疗中心及浙江省台州医院开展了多方面的合作研究，已总结并撰写了与能谱

CT相关的中英文论著20余篇，其中关于小肝癌检出及鉴别方面的应用，作为能谱CT方面的研究，已率先发表于国际著名杂志 *Radiology* 上，并被评为最受关注的文章之一。

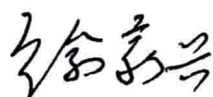
目前担任《中华放射学杂志》、《中华肝脏病杂志》、《中国医学影像技术》、《介入放射学杂志》等20余本统计源期刊的编委和副主编等。近年来承担国家863项目、973子项目、国家自然科学基金、国家级精品课程、上海市科委重点项目等10余项，已发表相关论文300余篇，参加编写专著30余部，其中主编4部。获得上海市科技进步奖等奖项多项。

序 一

1895 年，德国科学家伦琴发现了 X 线，首次使人眼能看到人体内部结构，从而奠定了现代医学影像学的基础。1972 年英国科学家 Hounsfield 研制成功的横断面成像 CT 的问世震动世界，成为影像学发展道路上的一个里程碑，从此，新技术不断涌现，其中 CT 和 MR 并驾齐驱，发展最快。CT 的发展从非螺旋到螺旋，从单排到多排，从 2 排、4 排、16 排、直到 64 排，主要解决心脏冠脉扫描问题。在后 64 排 CT 时代，CT 的发展超越了排数的框架，形成各具特点的发展方向，以满足临床更多需求和有所突破。有体现“快”的双球管技术，有“气垫机架”、平衡设计理念的应用求“全”型及超“宽”探测器全脏器覆盖结合解剖形态和功能（如灌注），可谓精彩纷呈，各有特色。但我感到最有创“新”意义和应用前景的是能谱 CT，最受人关注和热议。能谱 CT 是一个崭新的概念，虽然早在 1973 年 Hounsfield 即已提出这个理念，但由于当时技术的限制未能实现，至今才姗姗来迟。能谱 CT 之所以“新”是因为它改变了传统的 CT 扫描模式即 kVp 混合能量成像（polychromatic），转变为 keV 单能量成像（monochromatic），可以提供传统图像外多个单能量图像、基物质图像、能谱曲线以及有效原子序数等，并进行物质分解和组织定性，这就是说在空间对比和时间分辨率外又提供了能量分辨率和解析化学成分的“化学分辨率”，这些信息都是以往的 CT 无法获得的，并且已在临床应用上显示其巨大潜力和广阔应用前景，尤其是肿瘤，在检查、诊断、鉴别诊断、定性、分级、分期以及疗效评估等方面将起到很大作用。医学及物理工程专家、科学家早已注意并不懈地进行探索研究。双能减影 CT 即为其雏形，虽技术上受到限制但也在不断发展中，故在后 64 排时期，CT 已进入能谱 CT 时代。能谱 CT 作为一种创新技术，虽然在我国的应用已初显端倪、初见成效，但大多数影像工作者及临床医生仍比较陌生，有些困惑。上海交通大学医学院附属瑞金医院放射科陈克敏教授及全科同志，堪称能谱 CT 临床应用的先行者之一，早在 2011 年 1 月在北京的一次学术会议上，他报告了用能谱 CT 对小肠肿瘤的组织定性和肾癌的病理分级，引起了大家很大兴趣。由他率领的这个临床应用科研组（包括放射人员、工程物理专家和参加研发的科学家团队）凭借医院的实力和学术技术水平及能谱 CT 的优势，经过辛勤细致的临床工作和实验研究，深入探索，总结经验，撰写了《能谱 CT 的基本原理与临床应用》一书。这是国内首次问世的有关能谱 CT 的专著，内容比较全面，颇具特色，全书分 2 篇共 11 章。第一篇为能谱 CT 的基本原理；第二篇为能谱 CT 的临床应用。第一篇回顾了 CT 发展的过程及阶段性（约 10 年周期）发展的技术特点，重点对单源瞬时 kVp 切换能谱成像的基本原理，从高压发生器、X 线管到探测器整个影像链的要求，硬件平台、分析平台和解析技术等做了全面系统的阐述。提纲挈领，深入浅出，对影像科医生正确掌握

使用能谱 CT 至关重要。第二篇对能谱 CT 在人体各个领域的应用做了系统详尽的论述。这是关键性的，因为医疗设备和技术再先进也是要经过临床实践的检验，本篇从扫描技术、分析技术、诊断和鉴别诊断、临床效率及今后展望等方面详细论述，材料齐全，反映出作者工作的严谨和客观科学的态度。本书文字流畅、图像优良，是一本医工结合比较完善的著作。本书的出版只是一个序幕，通览全书，感到能谱 CT 作为一种创新技术，其临床应用领域十分宽广，更多的领域有待继续探索开发。应看到，在肿瘤的诊断治疗中，能谱 CT 可能更有其优势，尤其是物质分解、组织定性，不禁令人想象今后能否实现能谱 CT “活检”！？这对医生及病人将是个福音。

技术的发展永无止境，能谱 CT 也不例外。我国目前有“高端 CT”约 300 余台，有关的国内外医学、工程物理专家及制造厂家无不全力以赴在开发能谱 CT 和技术。先进的光子计数技术（photon counting）也在研究中，但万里之行始于足下，就目前技术条件，应尽量在临床应用中进行探索并拓宽应用范围，深入各领域认真总结经验，会为今后发展奠定基础。本书是一本好的专业参考书，不论是影像科医生、工程师等专业人员，还是有关的临床科医生，尤其心血管科、肿瘤科等，都是一本“开卷有益”、值得一读的书籍，有助于更新丰富知识。本书的出版，对推动能谱 CT 在我国的应用及其临床研究无疑将起到十分有益的作用。



2012 年 6 月

空军总医院放射科教授

中华放射学会前副主任委员

《中华放射学杂志》前总编辑

国家卫生部和总后勤部卫生部大型影像设备专家组成员

序 二

CT 的诞生可以说是医学影像学乃至整个医学界的一个革命，它把人体组织以最直观的图像显示出来，将疾病的临床诊治提高到一个新的阶段；1989 年螺旋 CT 的发明可以说是 CT 技术的一个飞跃，它为 X 线 CT 技术临床应用开拓了新的天地；20 年后的能谱 CT 的问世可以说是 CT 技术的又一个突破，它改变了人们对传统 CT 的认识，为 CT 领域的相关研究和应用提供了新的方向。

早在 20 世纪 70 年代后期，放射学界开始了早期双能量减影的一些临床研究和临床应用，近十几年来随着 CT 成像硬件和软件技术上的整体发展和临床需求的增加，以及 CT 能谱成像物理基础的成熟，CT 能谱成像的研究逐步成为热点。能谱 CT 的优势在于其实现了多参数成像，即在常规 CT 所具备的高空间分辨率和时间分辨率的基础上，又增加了能量分辨率及理化性质分辨率这二项参数。通过能谱曲线的绘制、基物质成像及有效原子序数的测定，能谱 CT 能够对被检组织的性质和功能状态提供更多参数的评价，如果将上述几个参数联合应用，其在疾病诊断和鉴别诊断中将更具优势和帮助。

能谱成像无疑是未来 CT 成像技术的发展方向之一，今后在临床和科研领域获得的 CT 影像信息会越来越多，但如何充分利用和分析所获得的这些信息，就需要理解能谱 CT 的原理、技术及相关问题，但目前尚缺乏相关的专著和文献。上海交通大学医学院附属瑞金医院放射科在陈克敏主任领导下，以睿智的眼光在国内率先开展能谱成像临床实验和研究，自 2010 年 1 月以来，已积累了大量的临床研究资料。本书是瑞金医院对该项新技术相关经验的初步总结，同时融入了国内外最新文献资料和有关经验，对能谱技术的临床诊断应用和评估做了较为详细的介绍。本书贯彻理论与实践相结合，先进性、科学性与通俗性相结合的原则，突出能谱 CT 的临床实用性，力求做到通俗、易懂。作为国内第一本系统介绍 CT 能谱成像技术和临床应用的专著，必然对该项技术在国内的推广应用起到积极的作用，促进该项技术的更多的临床研究和应用，使医生和患者从中获益。

忆上海中山医院于 1998 年出版的国内第一本有关螺旋 CT 的专著的编写过程，感触颇多，此书出版不久，我国螺旋 CT 由单排 CT 迅速进入多排螺旋 CT 的快速发展阶段；而 2012 年上海瑞金医院出版的国内第一本有关能谱 CT 的专著，也依然会对今后的能谱 CT 的临床科研和临床应用发挥其应有的作用。

本人和国内广大同道热切期待与本书见面的同时，欣然应邀作序。



2012 年 6 月

上海复旦大学中山医院放射科教授
上海医学影像研究所名誉所长

序 三

随着计算机技术的不断发展，CT 检查技术也在不断发展和完善之中，特别是近十年来 CT 的发展产生了质的飞跃，从单排探测器到多排探测器、从秒级到亚秒级的扫描速度、从某一脏器的局部成像到大范围的成像等，特别是冠状动脉的 CT 成像更是令人鼓舞。CT 的发展大大提升了 CT 检查在临床诊治中的地位。而近年来由于探测器材料和排列方式等的改变，使得能谱成像又重新回到历史舞台上。从理论上讲，通过高、低两种能量的扫描后，经过数学计算重建出 40~140keV 之间的 101 个单能量图像，以此为基础可得到反映物质衰减特性的能谱曲线。从物理学角度来看，每一种物质都有特定的能谱曲线，因此，在医学上可以用于鉴别不同病理成分的病灶。能谱 CT 实现了多参数成像，使得百年以来习惯于“看图说话”的放射科医生将会过渡到了解各种基物质的浓度和各种疾病的能谱曲线，和形态学特征相结合，将会全面反映被检组织的特性和功能改变，为诊断提供有价值的信息。

目前能谱 CT 还不够普及，大多数医生都会带着疑虑看待这个“新生事物”，我本人也是如此，带着诸多问题匆匆浏览陈克敏教授主编的《能谱 CT 的基本原理和临床应用》一书，书中客观阐述了能谱 CT 的基本原理和潜在的临床应用前景，而书中大多数的临床应用经验来自瑞金医院放射科近三年的实践结果，虽然有些章节的内容不够详实，有些观点也需要大量的临床病例积累来进一步证实，但是更多的是看到能谱 CT 以崭新的面目展现在众人面前，等待检验，等待发掘，或许若干年后能谱 CT 如“昙花一现”，退出了历史舞台，但更期待它如“雨后春笋般茁壮成长”，为影像学诊断提供新的技术手段，为影像学科研提供新的技术平台，为影像学人才培养提供新的舞台，为开辟 CT 技术新纪元添砖加瓦。

在此，祝贺陈克敏教授主编的该书顺利出版发行，为广大放射学同行发现能谱 CT、了解能谱 CT 提供了一条途径，我相信阅读完此书之后，将会对能谱 CT 的基本原理有更深入的理解和认识，从而为客观评判其临床应用价值提供一些帮助。有鉴于此，欣然应邀作序。



2012 年 6 月

中华医学会放射学分会主任委员

复旦大学副校长

复旦大学附属华山医院放射科主任、教授

前言

自 1972 年第一台 CT 机应用于临床以来, CT 技术已经经历了多次重大的发展, 其中包括螺旋 CT 的出现和多排探测器 CT 的应用, 而能谱成像则是 CT 领域发展中又一个新的方向。螺旋 CT 的问世是 CT 领域的重大突破, 螺旋技术的应用使得 CT 进入三维重建和血管成像的时代。此后螺旋 CT 由单排发展为双排、4 排、16 排、64 排乃至数百排, 多排螺旋 CT 的出现使得 CT 在临床的应用更加广泛, 64 排以后的 CT 发展出现了不同的方向, 包括宽体探测器、双球管、单源瞬时 kVp 切换的能谱技术等。

自 CT 进入临床应用, 有关能量 CT 的概念和构想就开始有人提出, 鉴于当时技术条件的限制, 作为能量 CT 的终极目标——能谱 CT 技术一直未能进入临床应用。直到 2008 年基于单源瞬时 kVp 切换的能谱成像技术的成熟, 能谱 CT 才真正开始进入临床应用。能谱成像是 CT 领域的又一突破性进展, 代表了后 64 排 CT 发展的一个重要方向。作为代表 CT 技术前沿的能谱 CT, 与常规 CT 相比, 其最显著的特征就是以多参数成像为基础的综合诊断模式。

能谱 CT 多参数成像提供了多种新的图像模式, 如基物质图像、单能量图像等, 目前对于正常组织结构和各种病变在这些新的图像模式上的表现尚未有统一的认识和标准。另外, CT 能谱成像还提供了多种定量分析的方法与参数, 对于正常脏器测值及其在图形界面中的表现也尚未有可供参考的范围。能谱 CT 多参数成像模式的出现给 CT 诊断方式带来了一些新的变化, 与以往的工作流程和思维习惯有所不同。如何认识正常结构和病变组织在能谱 CT 上的表现, 并在此基础上逐步确立相关疾病能谱 CT 的诊断标准和共识, 将有待于进一步的临床研究和资料积累。作为一项新技术, CT 能谱成像尚未被同行们所熟识, 其成像原理、影像表现与应用价值均与常规 CT 存在一定的不同。因此, 在临床工作中非常需要介绍能谱 CT 原理和应用的参考资料及书籍。

作为国内第一批使用能谱 CT 的医院, 我们总结了最近两年多以来关于能谱 CT 的使用经验和体会, 并联合通用电气公司的有关专家及国内外相关医疗单位编写了此书。本书主要阐述了能谱 CT 的基本原理与技术以及能谱 CT 的临床应用两方面的知识。第一篇首先回顾了 CT 发展的历程和能量 CT 的研发及其实现途径; 随后深入剖析了单源瞬时 kVp 切换能谱成像的物理基础, 并介绍了实现该技术所必需的硬件平台、图像分析平台和解析技术; 接着从基础实验的角度, 呈现了能谱成像在定量、定性诊断方面的潜力; 最后展望了能谱成像在临床应用中的潜在价值。本书第二篇主要涉及头颈部、胸部、腹部、盆部以及骨和关节等领域, 对能谱成像的扫描技术、分析方法和诊断要点进行了系统介绍; 从定位诊断、定性诊断以及综合诊断的角度讲述了 CT 能谱成像在肿瘤性病变、血管性病变以

及医源性植入物的术后评估方面的应用特征；展示了 CT 能谱成像在优化图像质量、提高病灶检出率和疾病鉴别能力方面的相关价值。

虽然我们使用能谱 CT 的时间还不够长，涉及的领域也不够全面，但参与本书编著的全体人员还是以极大的热情和认真的态度，完成了本书的编写。希望通过本书的出版，能为拓展能谱 CT 的临床研究和应用提供借鉴和帮助，以利于今后不断地积累和总结经验，进一步探索和挖掘 CT 能谱成像的潜在价值。然而，限于编写者的认识和经验，书中某些观点和提法不一定全面和完全恰当，可能会存在一些不妥或不当之处，还有待今后加以不断地改进和完善。

本书的编写过程中得到了徐家兴教授、周康荣教授、冯晓源教授等的大力支持和诸多帮助，并给本书作序，在此表示衷心的感谢！

陳龙敏

2012 年 6 月 6 日

上海交通大学医学院医学影像系主任
瑞金医院放射科教授

目 录

第一篇 能谱 CT 的基本原理

第一章 CT 的发展历程	03
第一节 非螺旋 CT 的发展史	04
一、第一代 CT (平移 / 旋转方式)	04
二、第二代 CT (平移 / 旋转方式)	04
三、第三代 CT (旋转 / 旋转方式)	04
四、第四代 CT (固定 / 旋转方式)	05
五、第五代 CT (电子束扫描方式)	06
第二节 多排螺旋 CT 技术	07
一、多排螺旋 CT 的概念	07
二、多排探测器阵列及数据采集系统	08
三、多排螺旋 CT 扫描的重建技术	10
四、多排螺旋 CT 扫描的应用优势	13
第三节 传统多排螺旋 CT 成像的局限性	15
一、辐射剂量	15
二、伪影	15
三、能量信息利用的缺乏	16
第二章 能量 CT 成像的发展	17
第一节 能量 CT 成像的发展史	18
第二节 能量 CT 成像技术	21
一、序列扫描成像技术	21
二、双球管双能量成像技术	22
三、双层探测器技术	23
四、光子计数技术	24
五、单源瞬时 kVp 切换技术	26
第三节 双能减影与能谱成像的区别	28
一、硬化伪影	28
二、能量信息利用的充分性	28
三、物质分离的定量化	29
四、单能量图像的可靠性	30
第三章 单源瞬时 kVp 切换能谱成像的基本原理及硬件基础	33
第一节 单源瞬时 kVp 切换能谱成像基本原理	34
第二节 能谱成像技术的硬件平台	37
一、探测器	37

二、球管技术	38
三、高压发生器瞬时电压切换技术	39
四、数据采样系统	39
五、迭代重建技术	40
第四章 能谱成像的分析平台	45
第一节 物质分离	46
一、物质分离的原理	46
二、物质分离的临床应用	46
第二节 单能量图像	49
一、单能量成像的原理	49
二、单能量图像的临床应用	49
第三节 能谱曲线	51
第四节 有效原子序数	52
一、有效原子序数的原理	52
二、人体组织有效原子序数的测量	53
三、有效原子序数的临床应用	54
第五节 能谱图像分析工具	55
一、最佳对比噪声比	55
二、直方图	55
三、散点图	55
第五章 能谱成像的基础实验及其探讨	59
第一节 能谱成像与常规 CT 图像的射线剂量的比较	60
一、射线剂量与图像质量的对比	60
二、最佳能谱成像扫描模式的探讨	62
三、能谱成像最佳扫描参数的临床数据认证	63
第二节 能谱成像的定量分析	65
一、静止和运动状态下的能谱成像的定量分析	65
二、能谱 CT 的单能量成像与传统螺旋扫描图像的增强效果的探讨	67
三、能谱 CT 的单能量成像与传统螺旋 CT 扫描时的 CT 值与碘浓度的线性关系的探讨	69
第三节 运动干扰中的能谱成像的技术探讨	71
第四节 能谱成像消除硬化伪影的技术探讨	74
一、静止状态下的能谱成像的硬化伪影的定量分析	74
二、运动状态下的能谱成像的硬化伪影的定量分析	76
第五节 能谱成像降低金属伪影的技术探讨	80
第六节 能谱成像在物质分离中的技术探讨	83
一、糖水和盐水鉴别实验	83
二、碘溶液和鱼骨的实验	84
三、能谱成像进行物质分离的基础实验	84
第七节 静态下的冠状动脉及冠状动脉支架能谱成像技术探讨	87
第八节 离体标本实验研究	91
一、能谱 CT 的单能量成像与传统螺旋扫描成像对胆结石检出能力的探讨	91

二、能谱 CT 成像在鉴别胸腔渗出液与漏出液性质中的价值探讨	94
第六章 CT 能谱成像的临床应用与潜在价值	97
第一节 能谱 CT 多参数诊断	98
一、单能量 CT 值及能谱曲线	98
二、基物质图像及浓度	99
三、有效原子序数	101
四、能谱 CT 多参数综合应用	102
第二节 能谱 CT 血管成像	104
一、优化 CNR	104
二、去除伪影	104
三、斑块和栓塞成分分析	105
第三节 能谱 CT 医源性金属植入物术后成像	107
一、骨科固定物及假体	107
二、放射性粒子	107
第四节 能谱 CT 定位诊断	109
第五节 能谱 CT 鉴别诊断	110
一、同病异影	110
二、异病同影	110
三、追根溯源	112
第六节 能谱 CT 肿瘤综合诊断	113
一、肿瘤的病理组织类型和分级	113
二、肿瘤 T 分期	114
三、肿瘤相关淋巴结分析	114
四、肿瘤转移灶的鉴别	116

第二篇 能谱 CT 的临床应用

第一章 头颈部	121
第一节 颅脑	122
一、扫描技术	122
二、分析方法	122
三、正常颅脑能谱 CT 及能谱 CTA	122
四、颅内动脉瘤弹簧圈栓塞治疗后的评估	124
第二节 颈动脉	126
一、扫描技术	126
二、分析方法	126
三、颈动脉斑块	127
第三节 甲状腺	130
一、扫描技术	130
二、分析方法	130

三、临床背景	130
四、正常甲状腺影像学表现	131
五、甲状腺结节	131
六、桥本甲状腺炎	137
第二章 胸部	143
第一节 肺癌	144
一、扫描技术	144
二、分析方法	144
三、临床背景	144
四、影像表现	148
第二节 肺动脉栓塞	156
一、扫描技术	156
二、分析方法	156
三、临床背景	156
四、正常肺动脉和肺栓塞的诊断与评估	156
第三节 食管癌	159
一、扫描技术	159
二、分析方法	159
三、临床背景	159
四、能谱 CT 诊断	160
第四节 心脏	163
一、非心电门控心肌能谱成像	163
二、心电门控冠脉能谱成像	166
第三章 腹部	169
第一节 肝脏	170
一、扫描技术	170
二、分析方法	170
三、正常肝脏表现	170
四、肝脏血管瘤	171
五、局灶性结节增生	177
六、肝细胞肝癌	180
七、胆管细胞癌	191
八、转移性肝癌	197
九、肝硬化	200
十、门静脉 CTA	200
十一、门静脉栓塞	202
十二、脂肪肝	203
第二节 胰腺	206
一、扫描技术	206
二、分析方法	206
三、正常胰腺	207

四、胰腺癌	208
五、胰腺囊性肿瘤	214
六、胰腺神经内分泌肿瘤	219
七、胰腺实性假乳头状瘤	222
八、胰腺炎	223
第三节 胃	230
一、扫描技术	230
二、分析方法	230
三、正常胃壁	230
四、早期胃癌及其癌前病变	231
五、进展期胃癌	232
六、胃间质瘤	236
第四节 小肠与结肠	240
一、扫描技术	240
二、分析方法	240
三、正常小肠	240
四、小肠肿瘤	242
五、小肠克罗恩病	249
六、结肠癌	255
第五节 肾脏	257
一、扫描技术	257
二、分析方法	257
三、正常表现	257
四、肾脏囊性病变	258
五、肾癌	261
六、肾脏血管平滑肌脂肪瘤	265
七、肾结石	267
第六节 肾上腺	269
一、扫描技术	269
二、分析方法	269
三、正常肾上腺	271
四、肾上腺增生	271
五、肾上腺腺瘤	273
六、肾上腺嗜铬细胞瘤	275
七、肾上腺皮质癌	277
八、肾上腺髓样脂肪瘤	279
第七节 腹膜后病变	281
一、扫描技术	281
二、分析方法	281
三、临床背景	281
四、神经源性肿瘤	281