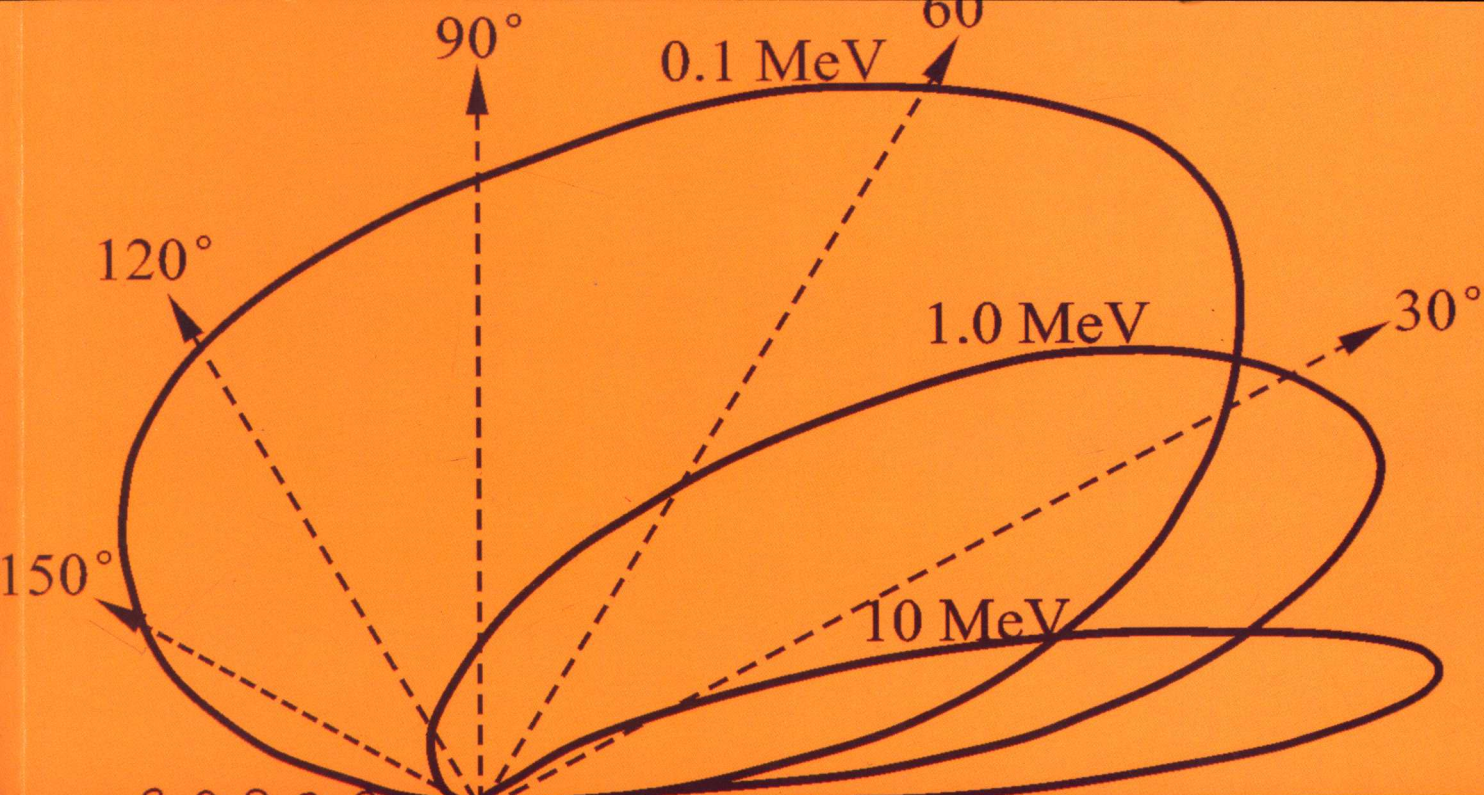




"Copies of this book sold without a Wiley sticker on the cover are unauthorized and illegal"

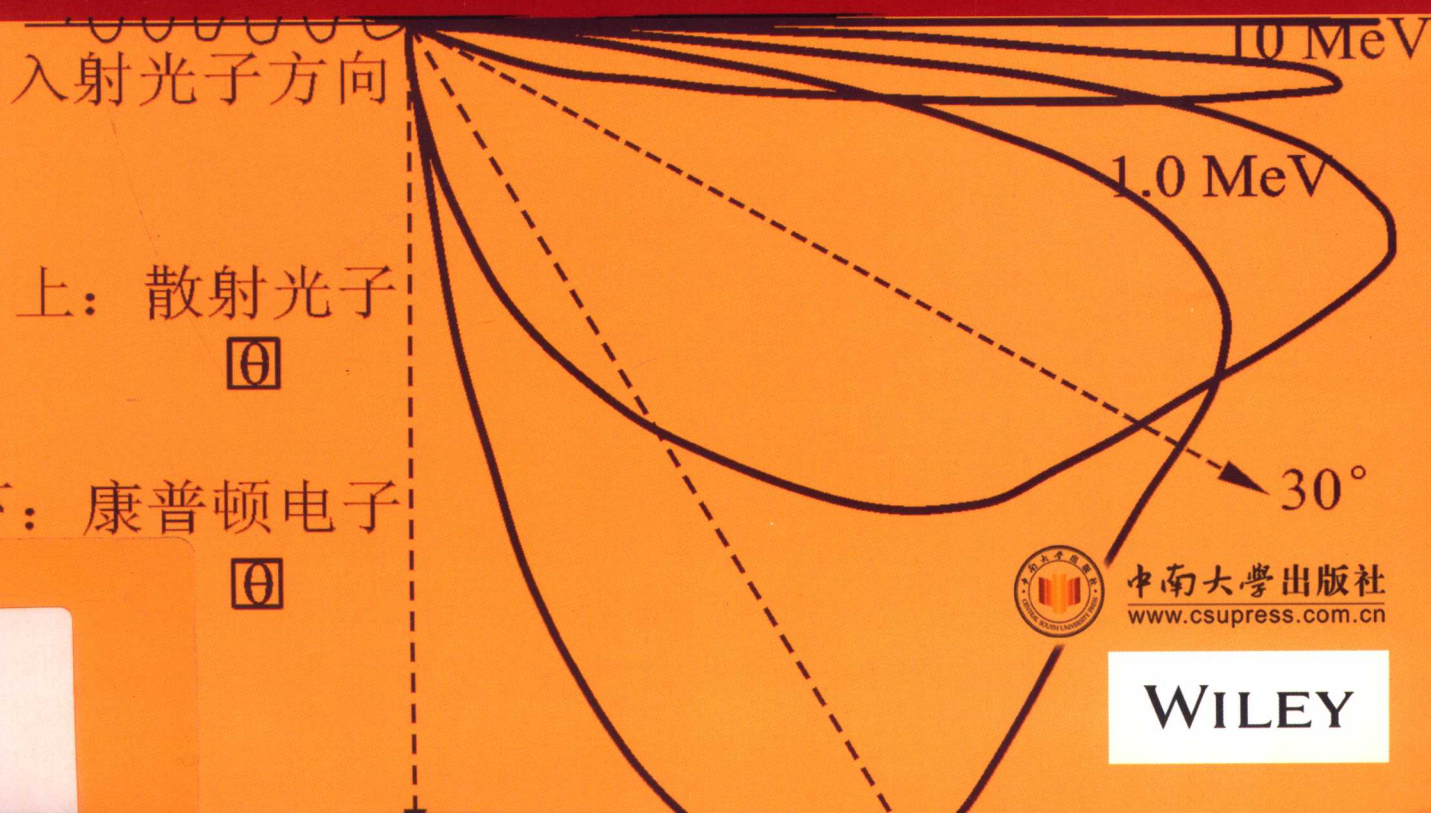
医学成像物理

(第四版)

MEDICAL IMAGING PHYSICS (FOURTH EDITION)

[美] William R. Hendee & E. Russell Ritenour 著

邓振生 范秋红 译



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

WILEY

医学成像物理 第四版

MEDICAL IMAGING PHYSICS FOURTH EDITION

[美] William R. Hendee & E. Russell Ritenour 著

邓振生 范秋红 译



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

图书在版编目(CIP)数据

医学成像物理/(美)耐特罗著;邓振生,范秋红译.

—长沙:中南大学出版社,2014.11

书名原文:Medical Imaging Physics

ISBN 978-7-5487-1145-2

I. 医... II. ①耐... ②邓... ③范... III. 影像诊断-医用物理学 IV. R445

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第172385号

医学成像物理
(Medical Imaging Physics)

第四版

(美)耐特罗 著 邓振生 范秋红 译

☐责任编辑 彭亚非

☐责任印制 易红卫

☐出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-88876770

传真:0731-88710482

☐印 装 长沙利君漾印刷厂

☐开 本 889 × 1194 1/16 ☐印张 24.75 ☐字数 847 千字

☐版 次 2014 年 11 月第 1 版 ☐2014 年 11 月第 1 次印刷

☐书 号 ISBN 978-7-5487-1145-2

☐定 价 70.00 元

图书出现印装问题,请与经销商调换



医学成像物理

(Medical Imaging Physics)

第四版

(Fourth Edition)

William R. Hendee(威廉·亨迪)博士

马奎特大学

资深副院长、副校长

生物医学科学研究生院院长

威斯康辛医学院放射科教授、副主席

放射肿瘤学、放射物理学、生物伦理学教授

生物医学工程教授

E. Russell Ritenour(拉塞尔·莱特诺)博士

明尼苏达大学

医学院放射物理学教授、主任

生物物理科学、医学物理学及研究生院研究生课程主管

本书用无酸纸印刷。

版权所有：纽约 Wiley-Liss 有限公司，2002。

同时在加拿大出版发行。

免责声明

本书中陈述的关于药物选择、放射剂量、技术参数、设备和装置运用的标准均与本书出版时的推荐规范及实践一致，本书作者、编辑、出版商对书中包含的材料所出现的错误及疏忽不负任何法律责任，也不作任何担保。鉴于研究的不断进行，设备的修改、政府规章制度的改变，与药物治疗、药物反应以及设备与装置的使用有关的信息源源不断，建议读者复习并评估在说明书中或用法说明中为每种药品、每台设备或装置在用法或剂量的使用说明或指示的改变信息以及附加的警告和预防措施的信息。

除非在 1976 年的美国版权法 107 和 108 部分的允许下，否则，在既没有出版商的事先书面同意，又没有向美国版权税计算中心（马萨诸塞州丹佛斯罗斯伍德街 222 号，邮编：01923，电话：(978) 750 - 8400，传真：(978) 750 - 4470）按每册支付适当的复制费用以得到批准的情况下，不得以用任何形式、任何手段（包括电子的、机械的、复印的、录制的和扫描的等手段）复制本书的任何内容。获取出版商同意的请求，应提交申请至纽约第三大道 605 号 John Wiley & Sons 有限公司权限部门，NJ07030，(201) 748 - 6011，传真：(201) 748 - 6008。

订货与客服信息，请致电 1 - 800 - CALL - WILEY。

美国国会图书馆出版物编目资料（CIP）数据可用。

ISBN 0 - 471 - 38226 - 4

英文原版美国印刷

MEDICAL IMAGING PHYSICS

Fourth Edition

MEDICAL IMAGING PHYSICS

Fourth Edition

William R. Hendee, Ph.D.

Senior Associate Dean and Vice President
Dean of the Graduate School of Biomedical Sciences
Professor and Vice Chair of Radiology
Professor of Radiation Oncology, Biophysics, Bioethics
Medical College of Wisconsin
Professor of Biomedical Engineering
Marquette University

E. Russell Ritenour, Ph.D.

Professor and Chief of Radiology Physics, Medical School
Director of Graduate Studies in Biophysical Sciences and Medical
Physics, Graduate School
University of Minnesota

 **WILEY-LISS**

A JOHN WILEY & SONS, INC., PUBLICATION

This book is printed on acid-free paper. (∞)

Copyright © 2002 by Wiley-Liss, Inc., New York. All rights reserved.

Published simultaneously in Canada.

DISCLAIMER

While the authors, editors, and publisher believe that drug selection and dosage and the specification and usage of equipment and devices, as set forth in this book, are in accord with current recommendations and practice at the time of publication, they accept no legal responsibility for any errors or omissions and make no warranty, express or implied, with respect to material contained herein. In view of ongoing research, equipment modifications, changes in governmental regulations, and the constant flow of information relating to drug therapy, drug reactions, and the use of equipment and devices, the reader is urged to review and evaluate the information provided in the package insert or instructions for each drug, piece of equipment, or device for, among other things, any changes in the instructions or indication of dosage or usage and for added warnings and precautions.

No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, scanning or otherwise, except as permitted under Sections 107 or 108 of the 1976 United States Copyright Act, without either the prior written permission of the Publisher, or authorization through payment of the appropriate per-copy fee to the Copyright Clearance Center, 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, (978) 750-8400, fax (978) 750-4470. Requests to the Publisher for permission should be addressed to the Permissions Department, John Wiley & Sons, Inc., 111 River Street, Hoboken, NJ 07030, (201) 748-6011, fax (201) 748-6008.

For ordering and customer service information please call 1-800-CALL-WILEY.

Library of Congress Cataloging-in-Publication Data is available.

ISBN 0-471-38226-4

Printed in the United States of America.

14 13 12 11

绪 言

编写和重新编写一部几个版本的像《医学成像物理》这样的教材存在两方面的挑战。第一是要保持信息的新鲜和相关。在医学成像中，这是一项特殊的挑战，因为这一领域的发展是相当迅速的。在1992年，短短的10年前，我们出版了这本书的第三版。然而，在那本书中有很多没有提到的话题，如光电二极管或者直接转换数字化X-线成像、数字化乳腺摄影、数字化荧光透视检查术、功率多普勒超声检查术、功能磁共振成像、弹性成像或者螺旋CT扫描等。这些内容仅仅是任何一本成像物理学书籍中必须涵盖的成像方法的部分清单。在一个动态和迅速变化的领域中，涉及的是医学成像的更让人愉快的方面之一。但是它对试图提供一本跟得上该领域发展的教材的作者寄予了厚望。

第二种挑战的难度不亚于第一种。这一挑战是如何使该书与当前人们不断改变的学习方法，以及学生们的受教育经历和对教学方法的期望等趋势保持一致。自本书问世以来，经过30年的时间，这些已经发生了显著变化。为了达到最佳效果，如今的信息必须以各种方式包装，包括其涵盖的部分，插图、亮点、侧边栏、例子和问题等。此外，必须用一种促进学习并帮助学生评估他们学习进度的方式表达。使信息正确和完整只是成功了一半，另一半是利用一种形式以帮助学生吸收和运用这样的信息。后者的挑战不仅反映当今的学习环境，而且反映了任何学习医学成像的学生必须吸收海量信息。

认识到这些挑战，两年前作者决定以一种新方法和全新的格式将《医学成像物理》改编为第四版。这一决定导致本书的整体重新编写。我们希望这个新的版本能够使得成像物理的研究更高效、更有影响和更轻松。这当然会使得编写该书时更有趣。

如今的医学成像牵涉到医生、物理学家、工程师和技术专家的共同努力。他们一起合作所能够提供给病人的医疗服务水平，是其中任何一个团体都无法独立完成的。但是要一起工作，他们必须都具备坚实的医学成像物理基础。本书的目的就是提供这样的基础。希望我们已经以令学习充实和愉快的方式完成了这项工作。

William R. Hendee 博士

E. Russell Ritenour 博士

第一版绪言

这本书是根据在科罗拉多大学医学院的医学放射物理学讲座的录音带编辑和整理得到的。出席讲座的有放射科的住院医师、放射技师以及医学物理和放射生物学开始研究生学习的学生。这本书面向的是类似的读者。

本书中讨论了医学放射物理学中许多较新的进展。然而，在放射学中，革新是时常发生的，读者应该通过阅读当前文献来补充本书。每章末尾的参考文献可以用作辅助信息来源的向导。

理解本书的数学先决条件是很少的。在少数公式的推导中引入微积分的几节中，提供了符号和过程的描述，希望即使推导是模糊的，该方程的使用也是明了的。

问题解答是理解普通物理学特别是医学放射物理学的最有效的方式。在每一章的结尾都带有问题，在本书的后面附有答案。鼓励学生们探索、讨论和解答这些问题。同时带有答案的例题在本书中随处可见。

致谢

几乎没有教科书是在没有同事、同学和朋友的鼓励帮助下撰写成的。我要对所有以多种方式作出贡献帮助完成这本书的相关人员表示感谢。原讲座由医学博士 Carlos Garciga 记录，由 Marilyn Seckler 女士和 Carolyn McCain 女士打字。本书的部分以未完成的形式由以下人员审阅：医学博士 Martin Bischoff，理学学士 Winston Boone，医学博士 Donald Brown，医学博士 Frank Brunstetter，医学博士 Duncan Burdick，Lawrence Coleman 博士，Walter Croft 博士，医学博士 Marvin Daves，医学博士 Neal Goodman，理学学士 Albert Hazle，Donald Herbert 博士，医学博士 F·Bing Johnson，外科硕士 Gordon Kenney，Jack Krohmer 博士，理学学士 John Pettgrew，公共卫生学硕士 Robert Siek，医学博士 John Taubman，理学学士 Richard Trow 和 Marvin Williams 博士。我很感激这些评审者提供的意见。Edward Chaney 博士评审了全部手稿而且给予了很多有用的建议。理学学士 Robert Cadigan 协助校对和解决许多问题。Geoffrey Ibbott，Kenneth Crusha，Lyle Lindsey R·T·和 Charles Ahrens R·T·，帮助获取了本书中收录的很多实验数据。

Josephine Ibbott 女士为本书绘制了大部分线条图，我很感谢她的勤奋和合作。Suzan Ibbott 女士和 Billie Wheeler 先生帮助我们绘制了一些插图，Lynn Wischart 女士打字输入附录。芝加哥 John Crerar 图书馆的 David Kuhner 先生查找了很多早期著作的参考文献。各仪器公司的代表也用许多方式给予了帮助。我感谢年鉴医学出版商的鼓励和耐心以及医学博士 Marvin Daves 的理解与支持。

我深深地感谢 Carolyn Yandle 女士多次打字输入本书的每一章，并且感谢她用许多其他方式在完成本书中的奉献。

最后，我尤其想感谢我以前的老师们如此无私的奉献。我特别要感谢医学博士 Fred Bonte 和 Jack Krohmer 博士在我的研究生学习阶段的指导。同时，我对 Elda E. Anderson 博士和 William Zebrun 博士深表感谢。我将不会忘记他们在我早年的研究生学习期间对我的鼓励。

William R. Hendee

译者前言

对于人类观察者来说,人体内部的结构和功能一般来说是看不见的。但是,人们却可以借助不同的成像技术来产生图像,以供医务人员诊断疾病、制定治疗方案、检测治疗效果。医学图像是一个通向人体的窗口,通过这样的窗口,人们可以窥视人体内部的结构和功能及其在疾病和损伤状态下的变化。但是,没有一个图像窗口可以揭示人体内部的一切;不同的成像方法和模式揭示不同的人体内部特征。

任何医学成像方法和模式的有效利用和图像的解释都要求对图像形成过程的物理原理的理解。随着崭新的成像方法和数字图像处理技术的引入,医学成像已经变成一门技术复杂的学科。这个学科为医生们提出了一个难题:因为,今天尽管图像产生起来非常复杂,但同时,图像一旦产生,解释和误解起来也比较容易。如何确保一幅图像揭示的是病人体内的异常而不是该图像在形成或处理过程中产生的异常?故对诊断图像的彻底理解需要图像产生的基础的科学(主要是物理学)的知识。从X-线被发现以来,放射学和物理学就紧密地纠缠在一起了。今天,对于任何一个想使医学成像这门科学和艺术更完美的医生们而言,具备适当的物理学、仪器仪表和成像技术等方面的知识是至关重要的。

由 John Wiley & Sons, Inc. 出版的《医学成像物理》第四版 *Medical Imaging Physics* (4th Edition) 是一本适用对象为放射科住院医师,医学物理、生物医学工程以及成像科学专业新研究生,放射摄影师,开业放射学家,开业放射摄影师和开业医学物理师等的教科书,其特点是在保持数学公式最少的条件下对难以理解的概念提供了清晰的描述,并为诊断成像中利用的物理学原理、设备和过程提供了必要的工具以及对技术的潜能和局限性进行了评价。

翻译这样一本教科书存在的主要挑战有:

1. 篇幅长,达 500 余页;
2. 涵盖面大。该教材涵盖了现代医学成像模式中图像形成的所有方面,从放射摄影术(含数字X-线成像技术)、荧光检查术(含数字荧光检查术)和CT(含螺旋扫描)到MRI(含fMRI)、超声(含多普勒超声)和核医学成像(含ECT);
3. 版面特殊。该书在撰写过程中,为了使读者的阅读更愉快及有助于读者更深层次地理解,在每页开辟了一栏的空间来插入与正文所阐述的内容相关的小插曲或者其他领域的例子,以辅助说明基本原理。如果按原书的方式排版,不仅工作量大,而且会使得译著的篇幅过长。

参加本书初稿翻译工作的有中南大学生物医学工程研究所的硕士研究生庄彩云、王伟、朱健铭、吴娟、李文彪、钟靖、王夏芳、柳叶青、王娟、阴晓娟、曹扬、孟雪、骆娜琴、陈晓俐、徐敏、代涛、何庆人、金星亮、吴丹

雷英俊、钟玲、谌利、王弟亚、时贺、徐平、曾超、关宇波、马春燕、徐金顺、杨晓利、戴仲岩、杨帆、盛惠娟和范秋红。没有上述同学的积极参与与共同努力，要完成本书的翻译是有困难的。这里，向他们表示衷心的感谢！此外，范秋红同学除了参与初稿的翻译工作外，还承担了向国外出版社购买该书的版权、支付版权费、与中南大学出版社日常事务往来联系、特别是后期核对校样并辅助修改等大量而繁杂的工作，没有她的坚持与努力，要完成本译著的出版是不可能的。

感谢中南大学出版社的彭亚非编辑和刘辉主任为本书的出版所作的努力，特别感谢彭编辑为本书翻译中的一些不足之处提供的宝贵建议。

感谢中南大学原信息物理工程学院的院长柳建新教授、书记戴前伟教授、副院长朱建军教授等院领导，没有他们的大力支持，本译著是不可能完成的。

医学成像是一门多学科交叉的学科。本医学成像物理不仅涉及声、光、电、磁、核辐射物理和运动学等基础物理学，而且涉及到数学、化学、放射生物学、放射防护学、计算机与图像网络、信息科学等学科，尽管译著者在翻译过程中在采用各学科约定俗成的专业术语方面尽过努力，但因为该书的专业涵盖面太大，且本人专业水平有限，所以要将该书涉及到的所有专业术语都翻译准确是有难度的。对于译著中存在的专业术语不规范，理解上与原著存在偏差甚至谬误之处，恳请本译著的读者随时指教，以便再版时更正。

关于版面问题，如果将正文和与正文相关的轶闻按原版教材的排版方式排版，则不仅排版十分费时，而且会使得译著篇幅过长。经与原著出版商协商，最后决定将附着在页边栏中的小插曲和其他领域的例子作为附录统一移到每章的末尾。这样做可能对阅读造成了一些不便，但实属无奈之举，敬请谅解。

本译著受原信息物理工程学院基金资助，谨表谢意！

邓振生
2014 年 7 月

致谢

教学中最大的乐趣之一就是能够一直有机会与以前的学生一起对共同感兴趣的项目进行研究。本书就是这种机会的一个好例子。Russ Ritenour 在美国科罗拉多大学进行医学物理学博士后学习的时候，我正好是该机构放射科的主席。在结束 NIH 的博士后研究之后，他留在了该系。我们一起发表了几篇文章。为了寻求新的机会，我们先后离开了科罗拉多州。当 10 年前编写第三版医学成像物理时，我意识到我需要一个合作者共同分担这份工作量。Russ 就是我想要的那个人。我很高兴他能同意成为共同作者。他也同样愿意共同编写这本书的第四版。未来的版本将由他担当医学成像物理的主要作者来体现他的思想。

我们对其他人对我们这个项目的支持同样表示感谢。特别是 Terri Komar 女士和 Mary Beth Drapp 女士，两人一直在推动第四版的完成。Terri 在她搬到北卡罗来纳州之前作为我的执行助理与我一起工作了将近 10 年。她在这个位置上是非常出色的，直到在 Mary Beth Drapp 接任。能够在我进行出版工作的时候得到两位如此杰出的主管人员的努力，这是我一直很幸运的地方。应该感谢我们的编辑，John Wiley 出版社的 Luna Han 女士不张扬的但是坚定地坚持我们根据自己的情况制定的截止日期。我同样很感谢 Wisconsin 医科大学的放射科主席医学博士 Jim Youker，在这几年中的友谊和启发以及在我们合作中对各种学术冒险的热情。

最重要的，我要感谢我的妻子 Jeannie。她对我在学习中的写作习惯的忍耐，包括最不安全地栖息在钢琴上和餐桌上的成堆的书籍和论文，其忍耐是深不可测的。我肯定是非常欣赏这种忍耐力的。

William R. Hendee 博士

我很高兴能再次为本文的新版贡献力量，并为能再次和 Bill Hendee 合作而感到特别高兴。因为在 1992 年上一个版本出版之后，在放射学中，这么多的事物已经改变和演化了，所以有很多工作要做。但是，对我来说，那样的改变是一个很有趣的部分。

这是一个有趣的项目也是因为另一个原因。Bill 和我都喜欢用趣闻轶事来教学。我指的是历史的小短文，通过在其他领域的实例来说明放射学原理，而且，在我所说的例子中，有很多可怕的笑话。我们觉得这些笑话对于一本教科书而言太不正式了，我们又加入了一些小插曲和其他领域的例子，以期能使阅读更愉快，并提供一个有助于更深层次理解的更广泛的框架。至少，它可能使你在阅读时保持清醒。

我要感谢太多的人，只是限于版面有限不能一一致谢。但我要特别感谢 Pam Hansen，因为他能如此有耐心地处理如此多而复杂的电子草稿。同时，我要感谢我在明尼苏达大学的两个同事，Richard Geise 和 Bruce Haselquist，他们有源源不断的信息资源，并且在我出错的时候能毫不犹豫地告诉我。感谢磁共振研究中心的 Rolph Gruetter，他根据一些新的 MR 资料对这个版本的审阅和评论提供了很大的帮助。最后，我要感谢 William M. Thompson 博士，他最近从这里的放射学主席卸任。他是一位将被永久怀念的不知疲倦的学习的支持者。

再一次，感谢我的妻子 Julie 和我们的孩子们，Jason 和 Karis，在重大项目上给了我各方面的支持。在这次研究中，他们还提供了一些医学图像，虽然我不能说是哪些。

E. Russell Ritenour 博士

目 录

1. 医学中的成像技术 1

- 目的 1
- 引言 1
 - 医学成像的发展 2
 - 成像技术的渐进式发展 3
 - 分子医学 3
 - 历史上的诊断方法 4
 - 医学成像的简要历史 4
 - 计算机断层成像术(CT)的引入 5
- 结论 5
- 参考文献 6

2. 物质结构 8

- 目的 8
- 原子 8
 - 原子结构 8
 - 电子的量子力学描述 9
 - 电子结合能和能级 9
 - 电子跃迁, 特征发射和俄歇发射 10
 - 荧光产率 11
- 固体 11
- 超导电性 12
- 原子核 12
 - 原子核能级 12
 - 核力和稳定性 13
 - 原子核结合能 13
- 原子核的裂变与聚变 14
- 核自旋和核磁矩 14
- 原子核的命名法 15
- 问题 15
- 总结 16
- 参考文献 16

3. 放射性衰变 21

- 目的 21
- 核稳定性和核衰变 21
- α 衰变 21
- 衰变图解 22
- β 衰变 22

- 核稳定性 22
- 负电子衰变 22
- 正电子衰变和电子俘获 23
- 同质异能跃迁 24
- 放射性衰变数学表达 24
- 衰变方程式和半衰期 25
- 瞬时平衡 27
 - 长期平衡 27
 - 天然放射现象和衰变系 28
- 人造放射性核素 28
- 用中子轰击制造核素的数学问题 29
- 有关放射性核素的信息 29
- 问题 29
- 总结 30
- 参考文献 30

4. 辐射的相互作用 35

- 目的 35
- 相互作用的特征 35
- 直接电离辐射 35
- 电子相互作用 36
 - 电子散射 36
 - 原子核引起的弹性散射 37
 - 原子核引起的非弹性散射 37
 - 带电重粒子之间的相互作用 37
- 间接电离辐射 38
- 中子相互作用 38
- X 辐射和 γ 辐射的衰减 38
 - X-线束和 γ -线束的衰减 38
 - 过滤 41
 - 能量吸收和能量传递 41
 - 相干散射: 电离辐射 42
 - 光电吸收 42
 - 康普顿(非相干)散射 43
 - 对电子的产生 44
- 非电离辐射 45
 - 电磁辐射 45
 - 紫外线 46
 - 可见光 47
 - 红外线 47
 - 雷达 47
 - AM (Amplitude Modulation, 调幅) 和 FM (Frequency Modulation, 调频) 广播和电视 47
 - 非电离电磁辐射的相互作用 47
 - 可见光的散射 47
- 问题 48

总结 48
参考文献 48

5. X-线的产生 54

目的 54
引言 54
通用X-线管 54
电子源 54
管电压和电压波形 55
灯丝电流和管电流之间的关系 56
发射光谱 56
滤过 57
 管电压 57
 管电流和时间 57
 靶材料 58
管真空 59
封装和球管封套 59
特殊用途的X-线管 60
 栅控X-线管 61
 场发射X-线管 61
 钨靶X-线管 61
X-线管的额定功率 61
 最大管电压、灯丝电流和灯丝电压 61
 最大能量 61
问题 64
总结 64
参考文献 65

6. 辐射量与辐射质 69

目的 69
强度 69
传统单位与系统国际单位 71
辐射曝光量 71
 每单位曝光的能量与光子注量(积分通量) 72
辐射剂量单位 73
 戈瑞 73
 西弗特 73
 相对生物效应剂量(RBE) 74
剂量当量 74
 有效剂量当量 75
 当量剂量 75
 有效剂量 75
辐射剂量测量 76
 量热计剂量测定法 76
 照相剂量测定法 76

化学剂量测定法 77
闪烁剂量测定法 77
热致发光(热释光)剂量测定法 78
其他固态辐射剂量器 78
电离测量 78
自由空气电离室 79
指形电离室 80
电容器电离室 81
辐射的质 81
半价层(HVL) 81
穿越X-线束的质的变化 82
X-线束的光谱分布 82
问题 82
总结 83
参考文献 84

7. X-线和 γ -线在人体内的相互作用 88

目的 88
引言 88
F因子 88
组织中X-线和 γ -线的衰减 89
骨骼外软组织接收到的剂量 90
高电压放射摄影术 90
低电压放射摄影术 91
造影剂 91
问题 92
总结 92
参考文献 92

8. 用于定量测量的辐射探测器 94

目的 94
电离室 94
 脉冲型电离室 94
 电流型电离室 95
 电离室的应用 96
正比计数器 96
盖革-缪勒电子管 97
固体闪烁探测器 98
 闪烁探测的原理 98
 闪烁晶体 98
 安装闪烁晶体 99
 光电倍增管 99
NaI(Tl)探测器的能量依赖性 99
液体闪烁探测器 99
半导体辐射探测器 100

半导体探测器的响应	100
半导体探测器的特征	101
半导体探测器的应用	101
问题	101
总结	102
参考文献	102

9. 核数据的累积和分析 107

目的	107
引言	107
计数系统	107
前置放大器	107
放大器	107
脉冲高度分析器	108
多道分析器	109
定标器和计时器	110
高压电源	110
放射性测量中的确定性误差	110
本底计数率	110
分辨时间	110
探测器效率	111
部分发射	111
探测器几何形状	111
散射	111
空气和窗口吸收	112
自吸收	112
γ 线光谱测定法	112
脉冲高度谱	113
光峰	113
康普顿谷、边缘和坪台	113
X-线逃逸峰	113
特征 X-线峰	114
反向散射峰	114
湮灭峰	114
湮灭逃逸峰	114
符合峰	114
韧致辐射	114
光峰计数	115
用于临床研究的放射性药物	115
问题	116
总结	117
参考文献	117

10. 计算机和图像网络 122

目的	122
----	-----

历史	122
数据的机器表示法	123
数字和基数	123
数值和逻辑运算	123
位、字节、字	124
字母和符号的存储	124
图像存储：像素	124
模拟/数字和数字/模拟转换器	126
计算机系统硬件	126
输入和输出	127
中央处理器	127
特殊处理器	127
速度：兆赫兹、每秒百万条指令、每秒百万浮点运算	128
存储器	129
软件	129
网络	129
网络组件和结构	129
接口	131
传输媒介	131
数据压缩	131
显示台和标准	132
问题	132
总结	133
参考文献	133

11. 概率和统计 139

目的	139
引言	139
误差性质	139
概率分布	140
泊松分布	140
正态分布	140
信号与噪声	141
描述概率分布的方法	142
平均数、中位数、众数	142
平均数	142
中位数	142
众数	142
标准偏差	142
误差传播	143
描述精度的其它方法	145
分数标准偏差	145
均值标准偏差	145
选定的统计检验	146
学生 t 检验	146

- 卡方(χ^2)检验 146
- 总结 148
- 问题 148
- 参考文献 148

12. 核成像仪器 151

- 目的 151
- 引言 151
- 积聚和排泄速率的测量 151
 - 甲状腺摄取 151
 - 稀释研究 152
 - 时间-活度(动态)研究 153
- 单晶体闪烁相机 153
- 闪烁相机的工作原理 154
 - 准直器 154
 - 替代准直器的编码孔径 155
 - 闪烁晶体 155
 - 光导 155
 - 光电倍增管(Photomultiplier Tube, PM 管) 156
 - 光电倍增管前置放大器 156
 - 位置编码矩阵 156
 - 求和放大器 156
 - 偏转放大器 156
 - 脉冲求和(加法)电路 157
 - 阴极射线管(CRT) 157
 - 处理、显示及记录 157
 - 闪烁相机的分辨时间特征 158
- 多晶体闪烁相机 158
- 固态照相机 158
- 直线扫描仪 159
- 发射型 CT 159
 - 纵向截面 SPECT 159
 - 横截面 SPECT 159
 - PET 160
- 问题 161
- 总结 162
- 参考文献 162

13. 放射摄影术 166

- 目的 166
- X-线胶片 166
 - 摄影过程 166
 - 光学密度和胶片伽马值 167
 - 胶片感光速度 168
 - 胶片互易性 168

- 固有光学密度和胶片灰雾 168
- 处理 X-线胶片 168
- 胶片分辨率 169
- 增感屏 169
 - 结构和特性 169
- 放射摄影栅格 171
 - 栅格的结构 171
 - 栅格的类型 171
 - 描述放射摄影栅格 172
 - 移动栅格 173
 - 栅格截止 173
 - 空隙 173
 - 移动狭缝放射摄影术 173
- 放大放射摄影术 174
- 数字放射摄影术 174
 - 离散数字探测器 174
 - 存储荧光体 174
 - 胶片扫描 175
 - 用于放射摄影术的大面积数字图像接收器 176
- 问题 176
- 总结 177
- 参考文献 177

14. 荧光透视检查术 183

- 目的 183
- 荧光透视检查术与图像增强 183
 - X-线影像增强器管 183
 - 影像增强器的增益与转换效率 184
 - 影像增强器的分辨率与图像失真 185
 - 影像增强器的大小 185
 - 双重和三重射野增强器 185
- 荧光检查图像的电视显示 186
 - 电视摄像机 186
 - 荧光图像的电视扫描 186
- 数字荧光检查术 188
 - 数字减影血管造影术 189
- 自动亮度控制 189
 - 亮度传感器 189
 - 自动亮度控制所控制的技术变量 189
 - 峰值千伏电压的可变性 189
 - 电流的可变性 189
 - 峰值千伏电压-电流的可变性 189
 - 脉冲宽度的可变性 190
 - 组合电路 190
- 荧光电影摄制术 190
 - 光学点片图像 191