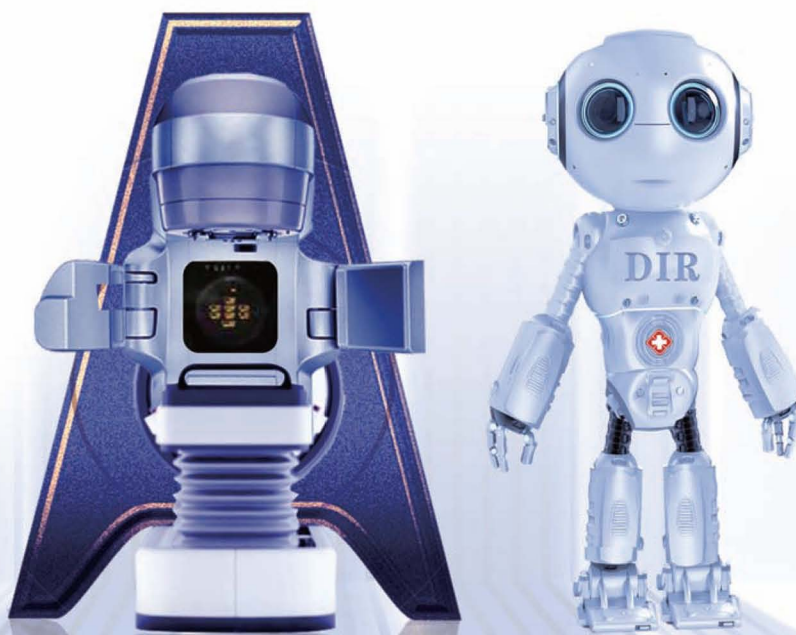





# Digital Intelligent Radiotherapy

# 数字化智能放疗

孙建国 主编

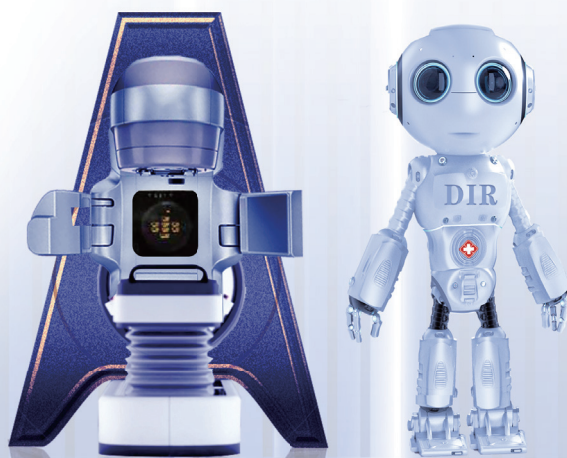


 山东科学技术出版社  
[www.lkj.com.cn](http://www.lkj.com.cn)

国家科学技术学术著作出版基金资助出版

Digital Intelligent Radiotherapy  
**数字化智能放疗**

孙建国 主编



山东科学技术出版社

### 图书在版编目(CIP)数据

数字化智能放疗 / 孙建国主编. -- 济南: 山东科学技术出版社, 2019.12

ISBN 978-7-5331-9999-9

I. ①数… II. ①孙… III. ①肿瘤—放射疗法  
IV. ①R730.55

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第279163号

## 数字化智能放疗

SHUZHUA ZHINENG FANGLIAO

责任编辑: 韩琳 崔丽君

装帧设计: 孙小杰

---

主管单位: 山东出版传媒股份有限公司

出版者: 山东科学技术出版社

地址: 济南市市中区英雄山路189号

邮编: 250002 电话: (0531) 82098088

网址: www.lkj.com.cn

电子邮件: sdkj@sdcbcm.com

发行者: 山东科学技术出版社

地址: 济南市市中区英雄山路189号

邮编: 250002 电话: (0531) 82098071

印刷者: 山东临沂新华印刷物流集团有限责任公司

地址: 山东省临沂市高新技术产业开发区新华路

邮编: 276017 电话: (0539) 2925659

---

规格: 16开(210mm×285mm)

印张: 20.5 字数: 550千 印数: 1~2000

版次: 2019年12月第1版 2019年12月第1次印刷

定价: 280.00元



**孙建国**，毕业于第三军医大学（现陆军军医大学），医学博士。现任全军肿瘤研究所副所长、陆军军医大学第二附属医院肿瘤科副主任、教授、主任医师、博士生导师。曾公派赴美国斯坦福大学访学。致力于恶性肿瘤诊断和治疗的基础和临床研究，擅长肺癌、结直肠癌等实体肿瘤的个体化治疗，尤其是高精度放疗、精准免疫和精准靶向治疗。学术兼职主要包括国际数字医学学会理事、中华医学会数字医学分会副主任委员、中国临床肿瘤学会（CSCO）患者教育专家委员会秘书长、中国临床肿瘤学会（CSCO）免疫治疗专家委员会委员、中国医药教育协会肿瘤放射治疗专业委员会常务委员、全军肿瘤学会放射治疗专业委员会青年委员会副主任委员、西部放射治疗协会胸部肿瘤放射治疗专业委员会常务委员、重庆市中西医结合学会肿瘤免疫治疗专业委员会主任委员、重庆市数字医学学会副理事长、重庆市医学会放射肿瘤治疗学专业委员会副主任委员等。

主持国家重点研发计划、国家自然科学基金、博士后科学基金、重庆市自然科学基金重点项目等省部级课题10项。发表学术论文70余篇，其中SCI收录50余篇。参编中英文学术专著和全国统编教材10部，获国家发明专利2项，荣获军队医疗成果奖二等奖（第1）、重庆市科学技术奖一等奖（第5）和二等奖（第7）各1项，荣立三等功1次，入选重庆市科技创新领军人才。

带领团队在肿瘤放疗及数字医学等交叉学科进行了深入探索，率先制订国产放疗设备集成应用系列专家共识，连年举办数字化智能放疗研讨会，积极推动现代放疗向数字化、自动化和智能化方向发展，在人工智能融入现代放疗的新兴领域开拓进取，做出了重要的贡献，在学术界产生了深远影响。

本书系统、全面地介绍数字化智能放疗这一新兴交叉学科的基本概念、基本理论、基本技术、主要成果、应用现状、应用前景和发展方向，并展望了未来智能放疗的运行模式。本书旨在帮助广大放疗从业人员了解和掌握智能放疗的发展历程、发展前沿、临床应用和未来方向等，希望促进放疗同行的知识更新，推动数字化智能技术的放疗应用转化，实现不同层级医院同质化放疗的理想远景。本书极力涵盖智能放疗的最新成果进展、临床应用现状和未来发展方向。全书共六章，前三章是本书的基础部分，奠定本书的学科背景、理论依据和技术基础。第一章“现代放射治疗”概述现代放疗的特点、现状与不足；第二章“数字化放射治疗”概述数字化技术原理及其在放疗中的应用；第三章“大数据与智能放疗”概述人工智能理论基础和智能放疗概念。后三章是本书的核心部分，体现本书的理论观点、创新思维和学术价值。第四章“狭义智能放疗”详细阐述放疗流程中的各种智能放疗技术；第五章“广义智能放疗”详细阐述基于远程网络的放疗共享技术；第六章“数字化智能放疗未来展望”详细阐述智能放疗的巨大潜力和当前局限，并展望无人智能放疗中心的美好愿景。

本书是第一部详尽阐述数字化智能放疗的专业学术著作，适用于肿瘤放疗医师、物理师和技术人员，也可作为医学影像、计算机技术、人工智能和数字化技术等学科从业人员的参考用书。

## 名誉主编

张绍祥	陆军军医大学
郎锦义	四川省肿瘤医院·电子科技大学医学院附属肿瘤医院
张红志	中国医学科学院肿瘤医院

## 主 编

孙建国	陆军军医大学第二附属医院
-----	--------------

## 副 主 编

周一兵	陆军军医大学第二附属医院
吴 毅	陆军军医大学
杨镇洲	重庆医科大学附属第二医院
房 斌	重庆大学计算机学院

## 编 者（以姓氏笔画为序）

马 虎	遵义医科大学第二附属医院
王 佩	重庆市中医院
王 翊	重庆大学计算机学院
牛 凯	陆军军医大学第二附属医院
孔 锐	重庆医科大学附属第三医院
古骄阳	陆军军医大学
伍亚军	深圳市旭东数字医学影像技术有限公司
刘 丽	陆军军医大学
孙建国	陆军军医大学第二附属医院
李 列	遵义医科大学附属医院
杨 帆	陆军军医大学第二附属医院
杨 峤	陆军军医大学
杨光荣	陆军军医大学第二附属医院
杨镇洲	重庆医科大学附属第二医院
吴 毅	陆军军医大学
张露萍	陆军军医大学第二附属医院

陈 娜	陆军军医大学
陈光朋	陆军军医大学第二附属医院
陈明镜	陆军军医大学第二附属医院
罗邦雨	陆军军医大学第二附属医院
周一兵	陆军军医大学第二附属医院
周建国	遵义医科大学第二附属医院
郑林鹏	陆军军医大学
房 斌	重庆大学计算机学院
赵先兰	陆军军医大学第二附属医院
赵利荣	陆军军医大学第二附属医院
胡 昕	陆军军医大学
胡 南	陆军特色医学中心
钟良志	陆军军医大学第二附属医院
祝 应	陆军军医大学
钱金栋	陆军军医大学第二附属医院
黄顺平	重庆医科大学附属第二医院
崔天祥	陆军军医大学第二附属医院
崔剑雄	武警四川省总队医院
廖星芸	陆军军医大学

随着计算机信息科学技术突飞猛进的发展，并广泛应用于各行各业，人类社会已经进入数字信息时代，数字医学正是最具时代特征的新兴医学领域。

数字医学是现代医学和数字化信息技术相结合的产物，是应用现代数字化技术解释医学现象、解决医学问题、探讨医学机制、提高生命质量的科学，已经深入渗透到各临床医学学科。

人工智能是计算机信息科学的一个分支。它随着计算机软硬件技术的飞速发展而诞生，是研究、开发、模拟、延伸和扩展人类智能的理论、方法、技术及应用的科学技术。人工智能与医学相结合，发展成为智能医学，是数字医学的高级阶段。智能医疗具有医学学习、记忆和推理功能，近年发展非常迅速，已进入国家发展战略，正被大力推进。

放射治疗是利用放射线治疗肿瘤的局部治疗方法，在CT影像技术和计算机技术发展支持下，放疗技术已由二维放疗发展到三维放疗、四维放疗，放疗定位、放疗计划和放疗实施也更加精准。然而，现阶段放疗在自动化、智能化程度上仍有极大的提升空间。比如，放疗医师对放疗靶区和危及器官逐层勾画，非常耗时费力，如果采取人工智能辅助勾画，则有助于加强放疗轮廓的分割精度，缩短分割时间，提高分割效率，大大节省医师人力资源。数字化智能放疗已经成为现代放疗发展的大趋势，每年都有大发展、大变化。

《数字化智能放疗》正是介绍数字化医疗技术及人工智能技术融入肿瘤放疗领域的专业著作。主编孙建国教授是国家重点研发计划首席专家，致力于现代放疗技术的发展，热衷于推动数字化智能放疗的进步；名誉主编、副主编均为数字医学、放射治疗学、放射物理学、计算机技术、生物医学工程等领域的知名专家；编委们均为新生代学者，代表着现代放疗及相关领域的未来和希望。我真诚地希望并相信，本书能帮助放疗从业者高效地学习数字技术和人工智能在放疗领域的新知识，了解现代放疗发展的新动向，使其成为精通自动化、智能化技术的放疗专业人才，进而成为与时俱进的行业先锋！

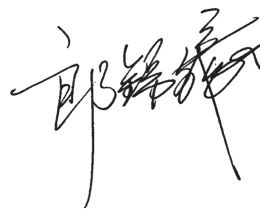
《数字化智能放疗》是我国探讨数字医学、人工智能在放疗学科中运用的开山之作。值此专著出版之际，我谨代表国际数字医学学会及数字医学学科，向主编、名誉主编、副主编和所有编者致以最诚挚的谢意和祝贺，并衷心地祝愿：数字化智能放疗和数字医学学科一样，生机勃勃，充满活力，前途无量！



肿瘤放射治疗是一个多学科协作过程，需要大量人力、物力和时间来完成流水线上的精细工作，最终获得精准放疗计划，并精确实施全疗程放疗。随着放疗技术和放疗设备的不断更新，现代放疗对知识量、信息量和工作效率的需求有了大幅度的提高，正向着数字化、信息化、自动化与智能化方向迅猛发展。

《数字化智能放疗》作为一部走在时代科技前沿的放疗类专著，首次将人工智能技术与恶性肿瘤的放射治疗有机结合。人工智能的概念自提出已有50多年历史，近几年更是得到突飞猛进、日新月异的发展。它深入各个领域与行业，尤其值得一提的是，古老的放疗学科已借着人工智能这股强劲东风，突破了几十年的瓶颈，呈现飞速发展的态势。然而，令人遗憾的是，由于发展过于迅速，人工智能各项技术就像一颗颗散落的珍珠，在放疗领域尚未形成一个完整的体系。这部专著的面世，如同一根丝线，将所有珍珠串成了一条光彩夺目的项链，在数字化智能放疗领域具有引领性价值。

本书介绍了基于人工智能产生的新技术、新材料、新科技和新思维，并将它们有机融入现阶段放疗流程的各个环节；基于现有的科技水平和发展速度，对未来的放疗模式进行了科学合理地展望和预测。回顾放疗百余年的发展历程，每一次进步皆源于对最先进技术成功转化的成功转化。现代放疗也正是因为借助了计算机、数字成像等技术，才实现成为肿瘤治疗“主角”的华丽飞跃。我们完全有理由相信，在不久的将来，一场基于人工智能的放疗技术革命终将来临。本书的出版，势必为推动本次革命做出重要贡献！



自1895年伦琴发现X射线以来，放疗技术在近三十年发生了革命性变化，调强放疗、图像引导放疗、质子放疗、自适应放疗等新技术不断涌现。现代放疗已经进入以精确定位、精确计划和精确治疗为特征的精确放疗时代。

随着数字化信息技术在放疗领域的不断应用，放疗信息化日益融入整个放疗流程，包括放疗登记、放疗定位、靶区勾画、放疗计划、放疗实施、质量控制、放疗随访等。数字化放疗计划系统、放疗网络信息系统也不断更新换代，以适应现代放疗技术的新思维和新概念。随着大数据和人工智能对人类全面发展的全面促进，其在放疗领域也开辟出新的应用空间。中华医学会第十四次全国放射肿瘤治疗学（CSTRO）学术会议将“人工智能和大数据”列入专题内容，探讨人工智能在肿瘤放疗领域的应用和价值。在此背景下，亟须一部反映人工智能和现代放疗新概念和新成果的专业著作引领该领域的发展。《数字化智能放疗》正是由此应运而生的一部集大成的学术专著。

数字化智能放疗是将数字医学、人工智能、计算机信息技术及通信技术深度融合并应用于现代放疗的学科，在数字化的基础上实现快速化、精准化、同质化的智能放疗及智能管理。本书将智能放疗分为狭义智能放疗和广义智能放疗，前者主要包括自动放疗靶区勾画、自动放疗计划设计及放疗流程智能管理，旨在提高放疗医师、物理师及技师的工作效率；后者以“互联网+”放疗云平台、区块链、边缘计算、物联网、5G技术等远程网络平台为依托，实现跨地域的远程放疗指导、多中心协同、远程自适应放疗、远程放疗质控等放疗共享服务。

随着智能放疗的理念愈加深刻，智能放疗技术逐渐完善，智能放疗实践将越来越普遍，在不远的将来，理想的智能放疗一定会实现。本书的面世，是探讨智能放疗科学定义的重要开端，是启动智能放疗系统研究的重要标志，是智能放疗从技术理论向临床应用转化的重要指导，必将推动和促进现代放疗实践的快速发展，同时促使放疗从业人员深入思考：如何在智能放疗时代主动适应与自我提升，达到最佳的人机结合状态，使智能放疗绽放出夺目光芒！



放射治疗历经120余年发展，以调强放疗为代表的现代放疗技术，使放射治疗真正进入精准放疗时代。然而，现代放疗技术具有先进性，也具有复杂性、多样性、多模态和多学科融合的特点。

当前，放疗人才和放疗设备严重不足，区域发展不平衡，各层级医院放疗水平参差不齐，分级诊疗推进缓慢，各放疗单位同质化程度低，放疗服务质量与管理模式面临严峻挑战。随着数字化技术、信息技术、大数据技术和人工智能技术的发展，一系列高性能、低成本、快通信、高通量的新一代信息技术、数字技术、网络技术应运而生，迅速转化到放疗临床实践中，驱使现代放疗向数字化、自动化、智能化的方向迈进。这既是时代的呼唤，更是国家的战略。

数字化智能放疗是一项未来辉煌而征程漫漫的开创性事业，需要攻克的难题很多，召唤肿瘤放疗人去积极开拓。陆军军医大学孙建国教授团队精心撰写的《数字化智能放疗》一书，正是放疗人在这条探索道路上迈出的坚实一步。

《数字化智能放疗》详细介绍了现代放疗的现状与不足，将数字化智能放疗分为狭义智能放疗和广义智能放疗：前者主要讲述数字化、大数据、人工智能技术，融入放疗轮廓勾画、放疗计划设计、放疗流程实施、影像组学、虚拟放疗等单放疗中心管理的智能化；后者主要讲述基于“互联网+”放疗云平台、区块链、边缘计算、物联网、5G技术等远程网络技术，构建放疗共享平台支撑下的远程放疗服务、多中心放疗协同、远程自适应放疗、远程放疗质控等多放疗中心管理的智能化。

本书还前瞻性地展望了数字化智能放疗的远景，创造性地提出了4D/5D打印、量子技术、纳米/石墨烯新材料在未来智能放疗中的应用，开拓性地提出了智能放疗针对传统放疗难题的探索策略，并大胆创设无人放疗中心的愿景。

《数字化智能放疗》是一部集现代放疗技术、当代智能技术和未来科技创新于一体的放疗新思维专著，既是对广大放疗工作者的头脑洗礼，也是现代放疗现实矛盾的解决方案，更是对未来放疗突破发展的导航指引！希望广大放疗同仁能从这本宏大著作中获得启迪，发掘奋斗方向，加强实践探索，把肿瘤放疗推向新的高度，更好地造福广大肿瘤患者！



随着数字成像技术、计算机技术和信息技术的重大突破，尤其是AlphaGo的震撼登场，日新月异的大数据和人工智能技术使各行各业实现了巨大飞跃，也给现代放疗带来了前所未有的发展契机。在此时代背景下，如何利用人工智能引导现代放疗的发展方向，是当前放疗界关注的焦点、热点和难点。

《数字化智能放疗》首先阐述现代放疗的特点，着重介绍现代放疗技术的复杂性、放疗数据的多样性、影像计划的多模态及综合治疗的多学科融合，突出现代放疗在指南规范、技术选择、智能勾画、自动计划、精细设计、动态照射、在线影像引导、剂量验证、精准质控、预后预测、工作效率等方面存在的困难与不足，引出现代放疗向数字化、信息化、自动化与智能化发展的迫切要求。

鉴于此，本书简要介绍数字化技术和人工智能技术的原理机制、研究方法和发展进度，简要阐述二者在医疗领域的应用，重点阐述其在现代放疗中的应用和重要进展。基于放疗大数据和智能放疗的应用范围，将数字化智能放疗分为狭义智能放疗和广义智能放疗，前者主要是基于自动靶区勾画和智能放疗计划等核心技术的局域单中心智能放疗技术，后者是基于互联网、物联网、区块链、边缘计算、放疗共享等网络技术的远程多中心智能放疗技术。

本书更展望了4D/5D打印新科技、纳米/石墨烯新材料、量子通信新技术等在智能放疗领域的应用前景，设计了针对传统放疗难题和辐射致癌防护的智能探索，更设想了无人放疗中心的未来远景。无人放疗中心是一个远大的理想，是基于物联网的集无人化、智能化、人性化为一体的智慧放疗中心，可望简化就医流程、缩短等待时间、提高工作效率、实现远程控制下的同质化放疗，是肿瘤放疗领域的天下大同的美好愿景。

本书以孙建国教授牵头的国家重点研发计划为契机，充分融合数字化人体数据集、放疗轮廓自动勾画、三维影像重建和人工智能等在现代放疗的研究成果，是我国关于数字化智能放疗的第一部专著，是一部瞄准学术前沿、可读性强、知识面广、信息量大、涉及面宽、体系严密、设想超前的好书。书中所论述的智能放疗技术，完全有望在不远的将来全面展开，并引导未来放疗中心建设。本书的出版，对于增强我国智能放疗技术的国际竞争力、促进我国智能放疗进入国际先进行列，具有重要的参考价值！



人类社会正处在数字化技术、信息技术不断创新的快速发展阶段。大数据、人工智能、云计算、互联网等新兴科技在各行各业深入运用、飞速发展，带来巨大的社会效益和经济效益，现代文明正从信息化、数字化时代迈向智能化时代。

数字化技术和智能化技术与医学相结合，将医学研究推动到一个前所未有的高度，数字化医疗已经拉开大幕，并逐渐拓展着其深度与广度。以数字化、智能化、可视化为代表的高新技术，依托于应用计算机、电子通信、互联网等行业的最新成果，开发出智能诊断技术、智能检测技术、智能影像技术等新兴前沿交叉学科，使临床诊疗更加精准、微创（无创）、个性化、可视化和远程化。

放射治疗是肿瘤治疗的重要手段，现代放疗技术虽已总体处于高精尖阶段，但仍存在诸多不足，如放疗从业人员少、放疗技术不完善、影像技术自身局限、放疗流程自动化程度低、缺乏中国版放疗指南及个体化放疗标准等，亟须将数字化技术、智能化技术融合到现代放疗技术中，促进数字化智能放疗向自动化、智能化发展。

数字化智能放疗是数字化医疗的一个分支，基于放疗设备数字化、影像设备数字化、诊断医学数字化、放疗信息存储数字化及全流程管理数字化网络的发展而来，其狭义内涵包括基于大数据、人工智能等实现的放疗轮廓自动勾画、放疗计划自动设计、放疗流程智能实施、放疗质控同质高效、可视化虚拟/增强现实和数字孪生等技术。互联网、物联网、5G技术、区块链、边缘计算等远程网络技术、通信传输技术的快速进步，极大地推进了放疗云平台、放疗共享的发展，将智能放疗延伸到广义的范畴，有望实现远程放疗服务、远程多中心协作及远程自适应放疗，有利于推动区域间放疗资源的均衡发展。

在未来，数字化智能放疗有望实现从开始建立放疗档案，直至放疗结束及定期随访的自动化，达到患者信息自动识别、辅助设备自动识别、治疗体位和治疗部位自动识别、治疗信息自动核查、放疗质控自动执行等全流程智能化，从而确保整个放疗流程准确无误、安全稳定、高效有序。

《数字化智能放疗》全书共六章，详细论述了数字化智能放疗的时代呼应、发展壮大和未来展望，深入浅出地介绍了智能放疗对解决传统放疗难题的推动，侧重阐述了智能放疗技术的临床实践和应用潜力。第一章“现代放射治疗”介绍现代放射治疗的医学地位、技术特点、同质化发展，以及自身局限与不足，构成本书推行放疗智能化的时代化基础。第二章“数字化放射治疗”介绍数字化技术手段、数字化医疗技术，以及数字化技术在放射治疗的广泛应用，是数字化智能放疗的数字化基础。第三章“大数据与智能放疗”介绍大数据、人工智能的基础理论、核心技术和医学应用，并科学地定义了数字化智能放疗的狭义和广义内涵。第四章“狭义智能放疗”介绍局

域性的智能放疗技术，包括放疗大数据、放疗轮廓智能勾画、放疗计划智能设计、放疗流程智能管理，以及影像组学、虚拟/增强现实及数字孪生技术在智能放疗中的发展应用。第五章“广义智能放疗”介绍广域性的智能放疗技术，包括“互联网+”与放疗云平台、区块链和边缘计算、物联网和5G技术等远程网络或通信技术，以及基于远程网络的放疗共享、放疗服务和放疗协作。第六章“数字化智能放疗未来展望”介绍新兴科技浪潮的新技术，包括4D/5D打印、纳米与石墨烯、量子技术，对智能放疗的推动潜力，探索智能放疗对传统放疗难题、辐射致癌防护的解决方案，论述智能放疗的现状与不足，展望未来无人智能放疗中心的创建设想。

数字化智能放疗是多学科交叉融合的前沿学科，尚处于起步阶段，其发展与日俱进，新技术、新方法、新理论层出不穷。我们真诚地希望，借本书的出版，促进放疗同行对领域知识的融会贯通，推动新兴技术在智能放疗的临床转化，实现远程网络对放疗共享的理想远景。本书是第一部论述数字化智能放疗的专业著作，虽然我们极力涵盖智能放疗的最新进展和未来方向，但当前时代正处于数字化、智能化技术发展的快速上升期，作者囿于知识的局限性和未来的未知性，恐有不妥与疏漏，恳请广大读者批评指正！本书引用了相关领域的大量科研成果、理论概念及原理思想，在此，谨向原作者表示深切感谢！

本书依托于本人主持的国家重点研发计划（2016YFC0106400），获国家科学技术学术著作出版基金（2019-H-043）和国家自然科学基金（61876026，61672120）资助，并有幸得到邓小武教授悉心严谨的指导与审阅！本书编撰历时2年，在出版之际，衷心感谢无私奉献大量时间、精力和智慧的名誉主编张绍祥教授、郎锦义教授、张红志教授，副主编周一兵教授、吴毅教授、杨镇洲教授、房斌教授，以及35名参编学者！感谢为本书作序的名师大家，感谢所有给予关怀与支持的领导、同事、同行和朋友们！最后，深深感谢至亲家人在成书全程给予的默默支持！You are my love！



2019年11月22日

## 第一章 现代放射治疗 / 1

- 放射治疗的医学地位和临床应用 / 1
- 现代放射治疗的特点 / 17
- 现代放射治疗的同质化 / 35
- 现代放射治疗的不足 / 46

## 第二章 数字化放射治疗 / 57

- 数字化技术概述 / 57
- 数字化医疗 / 62
- 数字化放射治疗 / 73

## 第三章 大数据与智能放疗 / 89

- 大数据 / 89
- 人工智能 / 93
- 人工智能与医学应用 / 134
- 智能放疗的内涵 / 150

## 第四章 狭义智能放疗 / 157

- 放疗大数据 / 157
- 放疗轮廓的智能勾画 / 164
- 放疗计划的智能设计 / 171
- 智能放疗的流程实施 / 176
- 影像组学与智能放疗 / 181
- VR、AR、MR 与智能放疗 / 184
- 数字孪生与智能放疗 / 191

## 第五章 广义智能放疗 / 201

“互联网+”与放疗云平台 / 202

区块链和边缘计算 / 207

物联网与智能放疗 / 215

5G 技术与智能放疗 / 221

放疗共享与智能放疗 / 224

国内智能放疗公司 / 231

## 第六章 数字化智能放疗未来展望 / 251

4D、5D 打印与放疗应用 / 251

纳米、石墨烯与放疗应用 / 258

量子技术与放疗应用 / 267

传统放疗难题的智能探索 / 274

辐射致癌的智能防护 / 288

数字化智能放疗的现状与不足 / 292

数字化智能放疗的未来 / 297

# 现代放射治疗

## 放射治疗的医学地位和临床应用

### ■ 放射治疗的地位

手术、放射治疗（放疗）和化学治疗（化疗）是恶性肿瘤的三大主要治疗手段。放疗通过放射线杀伤或杀灭肿瘤细胞，已经成为肿瘤综合治疗的重要组成部分，60%~70%的肿瘤患者在治疗过程中需要接受放疗。肿瘤治愈的重要条件在于对原发肿瘤进行局部控制，而放疗作为局部治疗手段，是某些肿瘤的主要治疗方式，可达到治愈的目的，特别是头颈部肿瘤。放疗相较手术具有明显的优势，放疗在治愈肿瘤的同时能够保留原有容貌与解剖结构，从而最大程度保留原有的生理功能。针对不可手术、手术后存有或者疑有肿瘤残留的患者，接受放疗是提高肿瘤局部控制率的重要手段。

2005年，世界卫生组织（WHO）发布的报告指出，55%的恶性肿瘤可以治愈，其中通过手术治愈者占27%，放疗占22%，化疗占6%。《2018年全球癌症统计数据》显示，2018年全球新增癌症病例1810万，癌症死亡病例960万。21世纪以来，随着计算机技术的广泛应用和医学影像学的迅猛发展，新的放疗技术不断涌现，肿瘤放射治疗进入精准治疗时代，在肿瘤综合治疗中的作用和地位更加显著。

### ■ 放射治疗的历史

#### 起步阶段

放疗设备经历了120余年的发展过程。1895年，德国科学家伦琴发现了X线。1896年，法国科学家贝克勒尔发现了铀的放射性。1898年，法国物理学家居里夫妇成功分离出放射性核素镭，并首次提出“放射性”这一概念。这3项重要发现为放射治疗学的发展铺平了道路，该时期是放射治疗的起步阶段。1899年，在瑞典斯德哥尔摩，临床上首次利用电离辐射治疗皮肤癌。1905年，居里夫人与其他科学家合作将镭密封在铂金制成的管内，之后放置在肿瘤旁进行治疗，开发出近距离敷贴治疗和腔内放射治疗的新技术。1906年，人们发现放射性损伤的存在。1913年，科学家成功研制了X线管，实现了对射线的质和量的控制。

#### 千伏级X线治疗设备阶段

由于天然放射源存在能量低、放射性不易控制等缺点，只能用于表浅病灶的放射治疗，对深部肿瘤无效，故研究人员转向人工射线装置和放射治疗设备的研发。由于加在X线管的电压与X线能量成正比，因此，常用X线管电压表示X线