



中国科学院教材建设专家委员会规划教材

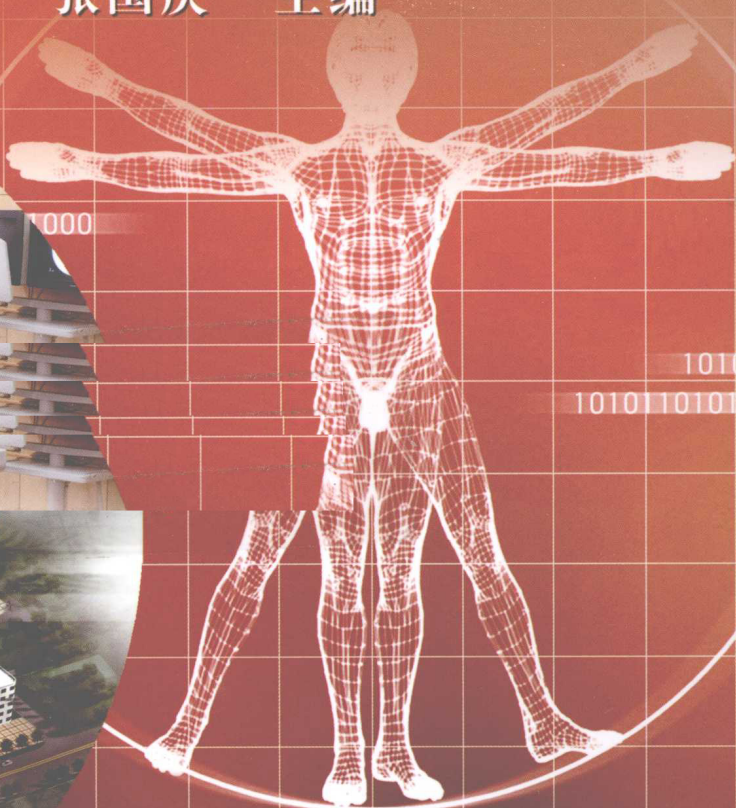
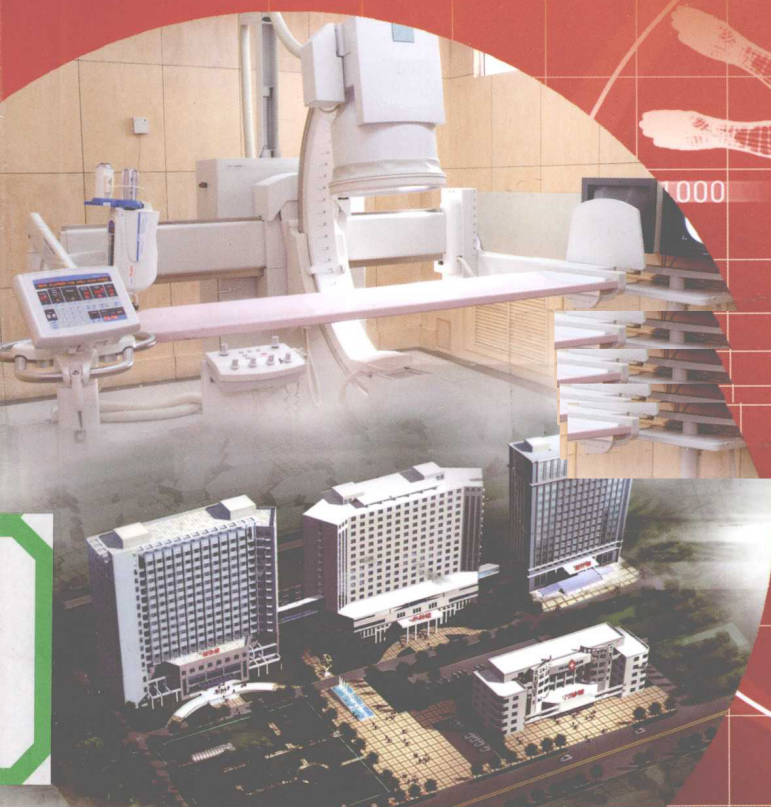
全国高等医药院校规划教材

供临床、预防、基础、口腔、麻醉、影像、药学、检验、  
护理、法医等专业使用

TM  
案例版

# 肿瘤放射治疗学

王若峥 张国庆 主编



 科学出版社  
www.sciencepress.com



中国科学院肿瘤医院 中国医学科学院肿瘤医院  
北京 国家中医药管理局 国家中医药管理局

# 肿瘤放射治疗学

1979年 第1版 第1次印刷



人民卫生出版社

中国科学院教材建设专家委员会规划教材  
全国高等医药院校规划教材

案例版™

供临床、预防、基础、口腔、麻醉、影像、药学、检验、护理、  
法医等专业使用

# 肿瘤放射治疗学

科学出版社

北京

· 版权所有 侵权必究 ·

举报电话:010-64030229;010-64034315;13501151303(打假办)

## 内 容 简 介

肿瘤放射治疗是肿瘤治疗的三大手段之一,目前放疗技术不断改进,放疗设备不断更新。本书根据临床教学的需要,重点介绍了肿瘤放射治疗专业的基础知识、常见肿瘤的特点和放射治疗原则,并利用案例教学对学生进行启发式教学。本书内容分为肿瘤放射治疗学绪论、肿瘤放射治疗学的物理基础、临床放射生物学、临床肿瘤放射治疗学四篇,前三篇介绍放射治疗的基础知识与原则,第四篇为常见肿瘤的诊断及放射治疗的原则并配以临床案例。

本书内容丰富,实用性强,适用于高等医药院校临床等多个专业本科生使用,也可作为放射治疗专业研究生和住院医师的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

肿瘤放射治疗学:案例版 / 王若峥,张国庆主编. —北京:科学出版社, 2010. 5

(中国科学院教材建设专家委员会规划教材·全国高等医药院校规划教材)

ISBN 978-7-03-027433-5

I. 肿… II. ①王… ②张… III. 肿瘤—放射治疗学—医学院校—教材 IV. R730.55

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 080942 号

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>

骏志印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2010年5月第一版 开本:787×1092 1/16

2010年5月第一次印刷 印张:21 插页:8

印数:1—4000 字数:512 000

定价:39.80元

(如有印装质量问题,我社负责调换)



# 序 一

放射治疗是恶性肿瘤治疗的三大手段之一,约 60%~80%的恶性肿瘤在治疗的不同阶段需要放射治疗参与,因此需要一批精通医学知识和放疗知识的高素质人才。但目前肿瘤放射治疗教材种类较少,与医学院校教学大纲、课时数匹配的教材缺乏。新疆医科大学附属肿瘤医院从培养人才的战略高度出发,因地制宜,着手编写特色教材,值得欣慰。于是,我欣然接受了邀请,参与案例版规划教材《肿瘤放射治疗学》的编写。

新疆医科大学非常重视教学与教材建设工作。在肿瘤医院放疗学专家和全国放疗界同仁的协作努力下,《肿瘤放射治疗学》教材终于成稿。本书系统地阐述了放射物理、放射生物和临床放射治疗学的基本理论,重点突出,并结合临床特点,以案例的形式对常见肿瘤进行讲解,理论联系实际,帮助学生理解掌握肿瘤放疗的基本知识,同时作为一本不可多得的参考书,供广大医务工作者参考。希望本教材能为促进新疆医疗卫生事业的发展,尤其是肿瘤放射治疗学的发展与进步提供帮助,同时也希望本书能带给全国的放疗界同仁们一些有益的启示。

山东省肿瘤医院

于金明

2009年10月于济南

## 序 二

放射治疗作为肿瘤治疗的三大手段之一,在肿瘤的临床治疗中发挥着不可替代的重要作用。近年来,随着影像学、放射物理学、放射生物学的不断发展,肿瘤放射治疗专业得到了突飞猛进的发展,主要体现在放疗设备的不断更新和放疗技术的不断改进。立体定向放疗、三维适形放疗、三维适形调强放疗、图像引导下调强放疗等精确放疗已广泛应用于临床实践,并且取得了良好的临床疗效,为提高患者的生存率及生存质量发挥了重大的作用。

新疆医科大学附属肿瘤医院重视学科建设,医、教、研全面发展。由王若峥教授等一批长期从事临床及教学一线工作的专家、学者,悉心撰写了《肿瘤放射治疗学》案例版教材,系统阐述了肿瘤放射物理学、放射生物学与放射治疗学的基本理论知识,并利用案例的形式,对临床常见肿瘤的诊断、规范治疗的模式与放射治疗进行了详细地分析、讲解,循序渐进地引导学生掌握肿瘤放疗学知识。该书集实用性、指导性、规范性于一体,有助于医学生的规范化培训,同时也可指导年轻放疗医师的临床工作,是国内难得的教材之一。

愿本教材能为促进新疆乃至全国同行们的放疗事业的发展发挥其作用。

中国医学科学院附属肿瘤医院

徐国镇

2009年10月于北京

# 前 言

多年来,各类医学专业教材不断推陈出新,而肿瘤放射治疗教材种类偏少,与新疆医科大学教学大纲、课时数匹配的教材缺乏。随着放疗设备的不断推陈出新、放疗技术的日新月异,以往自编的教材,已不能满足临床教学的需要。为此在新疆医科大学附属肿瘤医院的组织下,因地制宜,我们编写了《肿瘤放射治疗学》案例版一书。其目的是在以往教材的基础上,重点介绍肿瘤放射治疗专业的基础知识、常见肿瘤的特点和放射治疗原则,并利用案例这一新颖的教学形式对医学生进行启发性教学和规范化培训。

编写过程中我们本着先进性、科学性、启发性、实用性的原则,力求结构严谨、思路清晰、概念准确、规范化使用医学术语。本书分为肿瘤放射治疗学绪论、肿瘤放射治疗学的物理基础、临床放射生物学、临床肿瘤放射治疗学四篇。前三篇介绍放射治疗的基本知识与原则,第四篇利用本院资源优势,引入案例编写模式,根据临床症状、体征或现有的辅助检查,提出与诊断、鉴别诊断、治疗、预后等相关问题,启发学生思维,逐步给出解答,引出重点理论知识,使学生循序渐进地掌握常见肿瘤的诊断及放射治疗的原则。同时书中附有复习思考题,以加深理解,掌握知识点。

本书适用范围较广,可供临床、预防、基础、口腔、麻醉、影像、药学、检验、护理、法医等专业本科生使用,也可供放射治疗专业研究生、住院医师参考。

本书得到了我的博士后导师、中华放射肿瘤学会主任委员、山东省医学科学院副院长、山东省肿瘤医院院长于金明教授的鼎力支持,并在百忙之中审阅书稿、撰写绪论和部分章节;国内著名院校放射治疗知名专家、学者祝淑钗、李宝生、陈明、程玉峰、吴君心、白永瑞、魏丽春、谭榜宪八位教授参与本书的撰写,并在编写过程中提出了宝贵的意见;中华放射肿瘤学杂志主编、中国医学科学院附属肿瘤医院放射治疗科头颈首席诊治专家徐国镇教授欣然作序,在此一并表示衷心的感谢。同时也感谢我科的老前辈许素玲教授在教材编写过程中给予的鼓励与支持。

由于时间仓促,书中难免存在错误瑕疵,欢迎广大读者批评指正,以利再版时改进。

新疆医科大学附属肿瘤医院

王若崢

2009年10月于乌鲁木齐



第2章 电离辐射的细胞效应 .....	(64)	效应 .....	(69)
第一节 细胞存活 .....	(64)	第三节 正常组织器官的放射	
第二节 存活曲线参数的生物学		反应与损伤 .....	(70)
学意义 .....	(64)	第5章 分次放射治疗的生物学	
第三节 细胞周期时相与放射		基础 .....	(76)
敏感性 .....	(66)	第一节 分次放疗的生物学因素 ..	(76)
第3章 肿瘤的放射生物学概念 .....	(68)	第二节 时间、剂量、分次的研究 ..	(78)
第一节 肿瘤组织的生物学特点 ..	(68)	第三节 肿瘤放射治疗中生物剂	
第二节 肿瘤的增殖动力学 .....	(68)	量等效换算的数学模型 ..	(79)
第4章 放射线对正常组织及器官		第6章 热疗 .....	(82)
的影响 .....	(69)	第一节 热疗的方法 .....	(82)
第一节 早反应组织和晚反应		第二节 热疗的生物学基础 .....	(82)
组织 .....	(69)	第三节 热疗的生理机制 .....	(82)
第二节 正常组织器官的体积		第四节 热疗合并放疗或化疗 .....	(83)
<b>第四篇 临床肿瘤放射治疗学</b>			
第1章 临床肿瘤放射治疗学总论 ..	(85)	第4章 胸部肿瘤 .....	(163)
第一节 放射治疗的适应证和禁		第一节 肺癌 .....	(163)
忌证 .....	(85)	第二节 食管癌 .....	(180)
第二节 肿瘤组织的放射敏感性和		第三节 纵隔肿瘤 .....	(200)
放射治疗的种类 .....	(86)	第5章 消化系统肿瘤 .....	(210)
第三节 放射治疗的原则 .....	(87)	第一节 原发性肝癌 .....	(210)
第四节 对亚临床病灶和放射抗		第二节 直肠癌 .....	(220)
拒的认识 .....	(89)	第6章 泌尿生殖系统肿瘤 .....	(229)
第五节 影响放射治疗的疗效		第一节 前列腺癌 .....	(229)
的因素 .....	(89)	第二节 睾丸精原细胞瘤 .....	(238)
第六节 综合治疗中的放射治疗 ..	(90)	第7章 淋巴系统肿瘤 .....	(246)
第七节 放射治疗的常见反应、		第一节 霍奇金淋巴瘤 .....	(246)
并发症及处理对策 .....	(92)	第二节 非霍奇金淋巴瘤 .....	(256)
第三节 放疗治疗反应及并发症		第三节 放射治疗反应及并发症	
的预防和处理 .....	(265)	第8章 乳腺癌 .....	(269)
第2章 颅内肿瘤 .....	(103)	第9章 软组织肿瘤 .....	(285)
第一节 星形细胞瘤 .....	(103)	第10章 皮肤癌 .....	(294)
第二节 髓母细胞瘤 .....	(109)	第11章 宫颈癌 .....	(299)
第三节 颅内转移性恶性肿瘤 ..	(113)	第12章 骨转移瘤 .....	(317)
第3章 头颈部肿瘤 .....	(119)		
第一节 鼻咽癌 .....	(119)		
第二节 喉癌 .....	(139)		
第三节 上颌窦癌 .....	(154)		
参考文献 .....	(323)		
彩图			

# 第一篇

## 肿瘤放射治疗学绪论

### 第一节 概 述

肿瘤放射治疗学是指应用放射性核素所产生的 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 射线,或X射线治疗机和各类加速器所产生的不同能量的X射线以及各类加速器所产生的电子束、质子束、中子束、负 $\pi$ 介子束以及其他重粒子束等治疗恶性肿瘤的一门临床学科,又称之为放射肿瘤学(radiation oncology)。它建立在放射物理学、临床放射生物学、临床放射肿瘤学基础之上。放射物理学(radiation physics)主要研究各种放射源的性能、特点、剂量和防护。放射生物学(radiation biology)主要研究机体正常组织和肿瘤组织对射线的反应及如何人为地改变这些反应的量和质。临床放射肿瘤学研究肿瘤的生物学特点、转移规律、诊断要点、放疗原则、放疗原理和方法等。

文献资料表明约60%~70%恶性肿瘤患者接受过放射治疗。放疗具有适应证广,效果确切等优点,治疗疗效日益提高,是治疗肿瘤的主要手段之一。1992年世界卫生组织报告,45%的恶性肿瘤可治愈,其中手术、放疗和化疗的贡献率分别为22%、18%和5%。放射治疗除用于恶性肿瘤外,还用于一些良性肿瘤(如瘢痕瘤、侵袭性纤维瘤病、内翻乳头状瘤、垂体肿瘤等)的治疗。因此,放射治疗在现代肿瘤治疗中的地位与作用举足轻重。

**放射治疗的优点:**①许多肿瘤患者通过放疗得到治愈,获得长期生存,如早期鼻咽癌、恶性淋巴瘤和皮肤癌等;②部分肿瘤患者的放疗疗效与手术疗效相当,如早期宫颈癌、声带癌、皮肤癌、舌癌、前列腺癌等,而患者治疗后说话、发音、咀嚼、进食和排便等功能完好,外观也保存完好,早期乳腺癌通过小手术大放疗,不仅存活时间同根治术,而且乳腺外观保存基本完好,为世界各国女性乳腺癌患者所接受;③有些肿瘤患者不能进行手术或手术切除困难,但经过术前放疗,多数患者肿瘤缩小、术中肿瘤播散机会减少、切除率提高、术后生存率提高,如头颈部中晚期癌、中晚期食管癌、直肠癌等;④对术后残存、切端阳性、广泛淋巴结转移、局部外侵等患者,术后放疗,既能消灭残存病灶,又提高局部控制率和存活率,如肺癌、食管癌、直肠癌、乳腺癌、软组织肉瘤、头颈部癌和脑瘤等;⑤部分体质差,或有合并症不能耐受手术的肿瘤患者,或不愿手术者,单纯放疗也能取得较好的疗效;⑥对于那些病期较晚或癌瘤引起的骨痛、呼吸困难、颅内压增高、上腔静脉压迫和癌性出血等,放疗往往能减轻症状,提高生活质量,并达到延长生命的目的。

**放射治疗的缺点:**①放射治疗设备比较昂贵,治疗费用较高;②放疗过程是一个工作团队密切协作的过程,对各部分工作人员素质要求高,需要有合格的放射治疗医师、放射治疗物理师、放射治疗工程师和熟练的放射治疗技术人员;③放射治疗周期长,一般需1~2个月;④放



疗是把“双刃剑”，如果适应证掌握不好，会出现较多的放射并发症，甚至引起部分功能丧失；⑤同手术一样，放疗也属于局部治疗，对大多数中晚期肿瘤患者，单用放疗效果多不够理想。

## 第二节 肿瘤放射治疗学发展简史

### 一、放射物理学的形成与发展

放射线应用于科学研究和医学领域已经有 100 多年的历史，1895 年，伦琴发现了 X 线，1898 年，居里夫妇发现了镭，它的生物学效应很快就得到认识。1902 年，放射治疗治愈了第一例皮肤癌的患者。1920 年，研制出深部 X 线机。1922 年，在巴黎召开的国际肿瘤大会上 Courtard 及 Hautant 报告了放射线治愈晚期喉癌的病例，且无严重的并发症，肯定了放射治疗的疗效。

1903 年，Alexander Graham Bell 建议物理学家将细小的镭颗粒密封入细玻璃管内，然后插入肿瘤内部治疗。这一建议开创了组织间插植和腔内治疗的先河，宫颈癌是首先治疗的肿瘤，取得了出人意料的疗效，这一技术至今仍在使用。20 世纪 70 年代至 80 年代，放射物理学、剂量学、计算机技术以及影像技术的发展，极大地提高了近距离治疗的精度，改善了正常组织的防护和剂量分布。后装技术的进一步发展及<sup>192</sup>Ir(铱-192)源的使用，明显地减少了操作人员的受剂量，也方便了患者的护理。

1951 年，加拿大生产了世界上第一台远距离钴-60 治疗机，使放射治疗后的肿瘤患者的生存质量发生了根本性的改观，从而奠定了现代放射肿瘤学的基础和地位。20 世纪 60 年代出现了医用电子直线加速器。

1951 年，瑞典神经外科医生 Leksell 提出了立体定向放射外科(stereotactic radiosurgery, SRS)的概念，1968 年他和他的助手 Larsson 等研制成功了世界首台颅脑 γ 刀，1983 年 Columbo 等将改造的医用直线加速器引入到立体定向放射外科领域内，发明了颅脑 X 刀，1996 年瑞典 Karolinska 医院研制成功了世界首台体部 X 刀。从此立体定向放射外科治疗技术便逐步引入了放射治疗的概念，由此创立了立体定向放射治疗(stereotactic radiation therapy, SRT)的新技术体系。

20 世纪 50 年代初期，日本 Takahashi 提出了适形(conformal)放射治疗的概念，并在 1965 年提出用多叶准直器的方法实现适形放射治疗，即当时所谓的“原体照射”。20 世纪 70 年代，瑞典学者 Brahme 进一步提出了适形调强放射治疗(intensity modulated radiation therapy, IMRT)的概念。20 世纪 90 年代 3D-CRT 和 IMRT 技术在国内得到推广和应用。

1964 年 Tobias 等在美国加州大学 Lawrence Berkeley 实验室进行了世界上第一例质子射线的治疗试验。1967 年英国 Hammersmith 医院和美国 M. D. Anderson 医院使用快中子进行了肿瘤的临床治疗。至 20 世纪 80 年代末，由于 CT、模拟定位机、TPS 等放射治疗设施相继投入使用和不断更新，形成了放射治疗的完整体系，标志着放射治疗剂量的计算进入了三维计划的时代，极大地提高了常规放射治疗剂量计算的精确性。

总之，放射物理学随着放射治疗设备、影像设备和计算机技术的发展而发展，并在临床工作中得以广泛应用，使放射治疗逐步进入到了精确放射治疗的年代。

在我国，新中国成立后，放射治疗发展迅速，特别是改革开放以来放射治疗飞速发展。

据统计 2006 年全国拥有放射治疗的医院 952 家,从事放射治疗的专业医务人员达 18 992 人,其中医师 5247 人,电子直线加速器 918 台,钴-60 远距离治疗机 472 台,基本上满足了临床治疗患者的需要。

新疆的放射治疗也取得了长足的进步。截至 2007 年 9 月 30 日全疆共有放疗单位 17 个,人员共 398 位,其中放射肿瘤科医师 142 位(包括住院医师 70 位),技术员 58 位,护士 172 位,物理师 17 位,电子直线加速器 20 台,钴-60 远距离治疗机 2 台。与西北其他四省区及全国平均水平比较表明,人均放疗设备拥有数在西北五省区中名列第一,每百万人口加速器拥有数量高于全国 0.73 的平均水平,每百万人口加速器和钴-60 治疗机拥有数量接近全国 1.10 的平均水平。

## 二、放射生物学的形成与发展

临床放射生物学与放射物理学的发展并驾齐驱。

1906 年, Bergonie 和 Tribondeau 发表了有关放射敏感性的著名法则“B-T 定律”。1930 年,英国 Paterson 和 Parker 建立了曼彻斯特系统,描述了组织间插植的剂量分布规律,推动了近距离放射治疗的发展。1932 年,由 Coutard 奠定的每日照射 1 次、每周照射 5 天的分割照射的方法学基础,至今仍被认为是外照射剂量分割的经典模式。1953 年,英国著名的 Gray 研究所发现了放射中氧效应的问题,阐明了乏氧环境的存在具有增加细胞放射抗拒能力的作用。1956 年, Puck 和 Marcus 绘制出了历史上第一条离体的细胞存活率曲线,并在此基础上发现了细胞杀灭比例与放射线剂量之间的函数关系细胞生存曲线,该研究方法已成为现代放射生物学研究的标准模式,并对放射生物学科的发展产生了深远的影响。1965 年, Ellis 提出 NSD 概念。1973 年, Orton 提出简便可行的 TDF 体系,把“部分耐受剂量”的概念引入到 NSD 的体系中,使之更加具体和切实可行。

20 世纪 70 年代, Withers 系统地提出了放射治疗中需要考虑的生物因素,建立了放射生物学所谓的“4R”概念,即放射损伤的再修复(repair)、肿瘤细胞的再增殖(repopulation)、乏氧细胞的再氧化(reoxygenation)和细胞周期的再分布(redistribution),“4R”理论至今仍是指导临床放射生物学研究的基础。同时,以英国 Gray 研究所 Fowler 等为代表的放射生物学家们提出了著名的 L-Q 模式,这一理论直接推动了非常规分割放射治疗技术的开展。20 世纪 80 年代, Steel 提出第 5 个“R”,即放射敏感性(radiosensitivity)的概念,认识到了细胞内在的放射敏感性现象,为放疗的个体化打下了基础。20 世纪 80 年代末以来,人们的兴趣主要集中在放射生物效应的基因控制以及基因表达与放射敏感性的关系等问题上,显然这与近年来分子生物学的发展是分不开的。

综上所述,放射生物学发展的历史表明:它一方面随着放射治疗新技术的出现不断开拓出其新的研究领域和研究层次;另一方面它更加贴近临床并企图解释或解决临床肿瘤放疗中所面临的一系列问题,为改善肿瘤放射治疗的疗效提供了有力工具。

## 第三节 放射治疗的基础

### 从事肿瘤放射治疗的临床医师必须具备以下知识

1. 一般临床知识 肿瘤患者还常常伴有其他疾病,因此放疗医师必须具有一般的临床

知识,并能够处理放射治疗前、中、后的临床问题。

**2. 临床肿瘤学** 临床肿瘤学(clinical oncology)是研究肿瘤的发生、发展和预防的学科,主要探讨各种有效的肿瘤治疗手段,通过规范的综合治疗,提高肿瘤的治愈率。作为放射治疗医师应了解肿瘤流行病学、病因、发病机制、肿瘤病理学以及肿瘤分子生物学等,特别应熟悉临床肿瘤学的知识,如诊断方法、临床分期、综合治疗原则等,制定合理的治疗方案,安排有序,因人而异。

**3. 临床放射物理学** 放射物理学是研究放射治疗设备的结构、性能,各种射线的特点及其应用,治疗计划设计、剂量计算、质量保证和质量控制的学科。它是肿瘤放射治疗学的重要支柱,目的是指导临床如何选择放射线的种类,如何得到最合理的照射剂量的分布,如何保证放射治疗计划的顺利执行等。

**4. 肿瘤放射生物学** 放射生物学是肿瘤放射治疗学的基础学科之一,主要研究放射线与生物组织细胞的相互作用、放射线对肿瘤组织细胞和正常组织细胞照射后所发生的细胞生物学效应及其机制,探讨如何提高肿瘤放射治疗后的疗效和降低正常组织细胞放射性损伤等方面的问题。从而为临床治疗提供治疗策略和治疗方案,如放射增敏剂的应用与研究、高LET(linear energy transfer,线性能量传递)放射治疗、加速分割、超分割、大分割放射治疗等。

**5. 放射治疗学** 放射治疗医师应通过对肿瘤放射治疗学的有关知识的学习,系统地掌握临床常见肿瘤放射治疗的适应证和禁忌证、放射治疗原则、射野、剂量等,对肿瘤放射治疗前的预处理和放射治疗的不良反应也应有全面的了解,此外还应了解肿瘤急症治疗的相关知识,选择最为适当的治疗方案。

**6. 医学影像学** 医学影像学是放射治疗学的基础,尤其是当今国际上应用的大多数的放射治疗设备,均采用CT图像引导的三维适形和调强放射治疗技术,故影像学信息在肿瘤放射治疗计划设计中占有极其重要的地位。如X线、B超、CT、MRI、PET、放射性核素扫描等影像学资料,既是肿瘤放射治疗计划设计的基础,也是对肿瘤治疗效果评价的重要手段和标准,故放射治疗医师应熟练地掌握好医学影像学 and 断面解剖学的基本知识。

**7. 医学心理学** 随着医学模式的转变,社会心理因素在肿瘤的疾病、治疗及预后过程的作用被越来越多的人所认识。作为放射治疗的临床医师必须了解医学心理学的基本观点,包括心理生理统一的观点、社会与人和谐的观点、对各种心理刺激的认知和评价的观点及主动适应与调节的观点等。

**8. 医学伦理学** 主要研究医学职业道德和医学中的伦理问题,包括医学伦理关系、医学道德规范体系等,处理好医患关系、医医关系、医社关系。

## 复习思考题

1. 什么是放射治疗学?
2. 简述放射治疗的优缺点。

(王若峰)

# 第二篇

## 肿瘤放射治疗学的物理基础

### 第 1 章 放射源和放射治疗设备

#### 第一节 放射源和放射治疗的基本形式

##### (一) 临床放射治疗中使用的放射源有三类

(1) 放射治疗常用的各种放射性核素:包括可释放出  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  射线的<sup>60</sup>Co、<sup>192</sup>Ir、<sup>226</sup>Ra 等。放射性核素通过自发衰变释放出各种射线转化为其他核素,不同放射性核素衰变形式、衰变速度各不相同。

(2) 常压 X 线治疗机和各类医用加速器:临床常用的医用加速器主要有能产生高能 X 射线和高能电子线的电子直线加速器。加速器产生的高能 X 射线与常压 X 线相比具有皮肤剂量低、深部剂量高、骨吸收剂量少、全身剂量低的优点,且半影区较小,常用于治疗深部肿瘤。加速器产生的电子线则主要用于表浅部位肿瘤的放射治疗。

(3) 能产生重粒子束的加速器:放射治疗重粒子束主要指快中子、质子、负  $\pi$  介子及氮、碳、氧等离子,其质量数较大。

##### (二) 放射治疗有两种基本形式

(1) 从人体外部距人体表面一定距离照射人体某一部位,叫体外远距离照射,简称外照射。

(2) 将密封的放射源直接放入被治疗的组织内或人体的天然腔管内进行照射,叫组织间放疗或腔内放疗,又称近距离治疗。

#### 第二节 常用的放射治疗设备

##### 一、X 线治疗机

###### (一) 原理

高速运动电子受靶物质的阻滞会通过碰撞和辐射两种形式损失其能量,前者主要产生

大量的热,后者以特征辐射和韧致辐射的形式释放出 X 线。

X 线球管是 X 线治疗机(图 2-1-1)的核心部件。它是一真空球形容器,真空度为  $1.3 \times 10^{-5} \sim 1.3 \times 10^{-6}$  Pa。真空的目的是为了避免电子在打击靶前损失能量和防止高温灯丝在空气中的氧化。真空破坏则 X 线管破坏。为保持其真空度应恒温恒湿保存,另外还要注意“训管”,它往往可以使低微漏气的球管得到挽救。球管里面包括阳极靶——由小钨靶连接散热铜棒组成。钨的原子序数大,熔点高,产生 X 线效率高。铜散热快,可及时把靶上的热传走。靶间加有几百千伏的高压作为电子的加速电场,此电压由自耦变压器调节,代表 X 线的峰值能量。阴极灯丝——钨丝:钨丝发射电子能力很强,在加很小的灯丝电流时便可放出大量电子。调节灯丝电流可改变管电流 mA。X 线机的管电流由阳极通向阴极的电流组成,代表 X 线的强度。

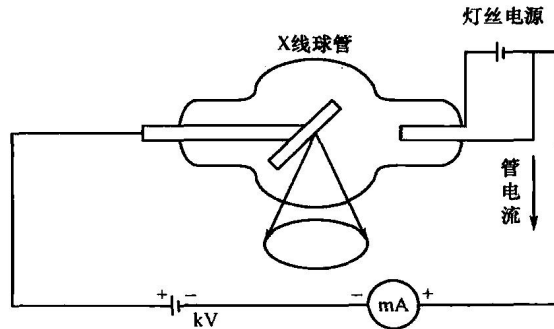


图 2-1-1 X 线治疗机原理图

## (二) X 线的分类

X 线治疗机产生的临床治疗 X 线,根据能量高低分为:

- 临界 X 线: 6~10 kV
- 接触 X 线: 10~60 kV
- 浅层 X 线: 60~160 kV
- 深部 X 线: 180~400 kV
- 高压 X 线: 400 kV~1MV

## (三) X 线质的改进(滤过板的作用)

X 线机中产生的 X 线包含由韧致辐射产生的从零到峰值的一系列能量,其中低能部分对治疗毫无用处而且会产生高的皮肤剂量,因此临床应用的 X 线需要对其进行改造。适当选择滤过板可以使低能部分比高能部分吸收的多从而使改进后的 X 线比原来的 X 线的平均能量高,即半价层高。使用滤过板时应注意以下几点:

- (1) 滤过材料的选择:40 kV 以下的用铝,140 kV 以上的用铜或铜铝合金或两者复合滤过。
- (2) 同一管电压的 X 线,所用滤过板不同,所得 X 线半价层也不同。
- (3) 使用复合滤过板时,沿射线方向,应先放原子序数大的,后放原子序数小的(图 2-1-2)。目的是为了在滤掉射线低能部分的同时也滤掉滤过板本身产生的特征谱线低能部分。
- (4) 滤过越多,谱线分布对治疗越好,但射线强度会大大降低。

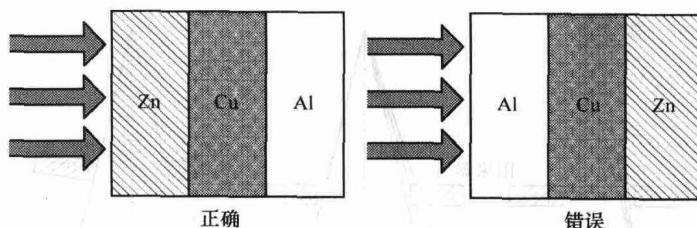


图 2-1-2 复合滤板的正确布置

#### (四) X线治疗机的应用

X线治疗机具有机械设计和操作维护简单、价格低等优点,在临床应用上适合治疗表浅部位的肿瘤和转移淋巴结等。由于其深度剂量低、能量低、易于散射、剂量分而差等缺点,现在逐渐被高能治疗机所替代。

## 二、钴-60 治疗机

### (一) 原理

钴-60 治疗机是临床上比较成功地将放射性核素引入体外远距离照射的典型应用,自1951年加拿大首次应用于放射治疗以来已有几十年的历史,现已广泛应用于放射治疗。主要是利用 $^{60}\text{Co}$ 核衰变过程中产生的能量为1.17和1.33 MeV的 $\gamma$ 射线,因其产生概率相当,平均能量为1.25 MeV。

### (二) 钴-60 治疗机的一般结构

由五部分组成:

- (1) 一个密封的放射源。源的密封设计可防止放射源在运动过程中对接触物质的放射性污染,同时不锈钢外壳可滤掉 $^{60}\text{Co}$ 衰变中产生的 $\beta$ 射线。
- (2) 一个源容器及防护机头。根据国际放射防护标准,要求距源1m处泄漏剂量当量率不超过0.025 MSv/h或强度不超过原射线的1/1000。
- (3) 具有开关的遮线器装置。
- (4) 具有定向限束的准直器。
- (5) 支持机头的机械系统及其附属电子设备。

### (三) 半影问题

半影是指射野边缘剂量迅速变化的区域,用 $P_{90\% \sim 10\%}$ 或 $P_{80\% \sim 20\%}$ 表示,有下列三种原因造成半影(图2-1-3)。

(1) 几何半影:相对于X线靶,钴-60治疗机所用的钴源通常是由多枚 $1\text{mm} \times 1\text{mm}$ 的圆柱形颗粒源封装在不锈钢容器内形成的具有一定尺寸的集源,这决定了处于不同尺寸位置的点源经准直器后在体表辐照区域的不同,从而造成射野边缘剂量的变化,几何半影是钴-60治疗机特有的。

(2) 穿射半影:由于次级准直器内表面不能保证在任何射野大小情况下都能与射线束



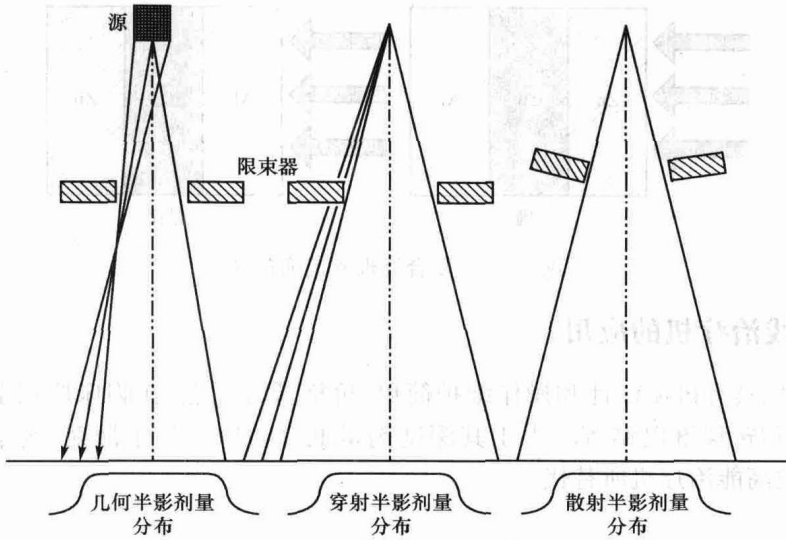


图 2-1-3 三类半影产生及剂量分布

边缘平面保持平行,造成边缘射线的穿射,在野内表现为边缘剂量的变化。临床应用中常采用在准直器下附加消半影装置和准直器的聚焦型设计的方法来消除穿射半影。

(3) 散射半影:是射线束在到达模体内过程中在射线均整装置、电离室及准直器和模体内产生的散射线在射野中心和边缘的剂量贡献不同造成的,是无法消除的。

#### (四) $^{60}\text{Co}$ 源更换问题

$^{60}\text{Co}$  源半衰期为 5.27 年,因不断衰变,放射性强度减弱,需要更换新  $^{60}\text{Co}$  源。换钴源是一项细致、慎重的工作,需在专业技术人员指导下进行。新钴源应尽量选择与旧钴源的规格相近,特别是源的直径大小。

#### (五) 钴-60 治疗机的临床应用

钴-60 治疗机释放的平均能量为 1.25 MeV 的  $\gamma$  射线在组织中具有较强的穿透能力和明显的剂量建成效应,即表面剂量较低,具有一定的剂量深度,最大剂量点位于皮下 5 mm 处。该剂量学特点使得在临床上在给予深部靶组织足够高剂量的同时皮肤免受高剂量照射。同时该能量的  $\gamma$  射线和组织主要发生康普顿效应,其作用截面不依赖于组织材料的原子序数,从而使不同组织能够获得相同的吸收剂量,照射软组织时避免骨的损伤。钴-60 治疗机具有结构简单、易获得高强度放射源、制造和运行费用低、工作稳定等特点,已成为放射治疗中一种常用而重要的设备。

### 三、医用电子直线加速器

#### (一) 原理

电子直线加速器是采用微波电场把电子沿直线加速管加速到高能装置,分行波电子直线加速器和驻波电子直线加速器,可产生高能 X 线和高能电子线。