



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



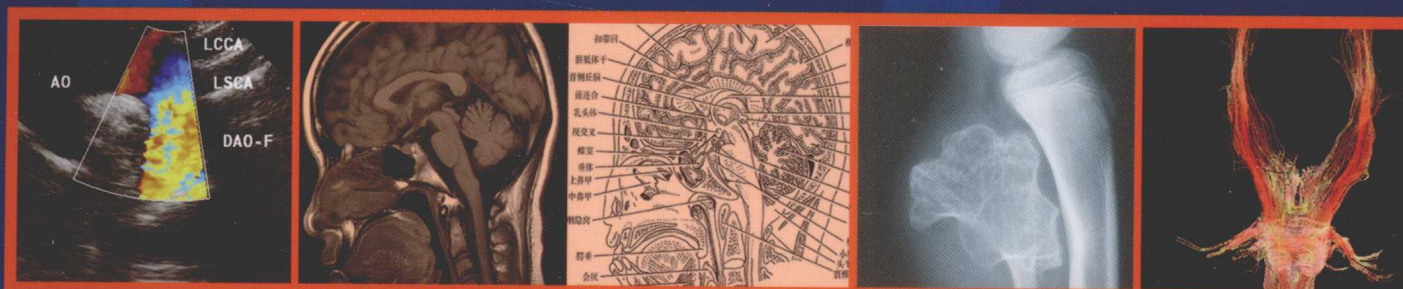
卫生部“十一五”规划教材

全国高等医药教材建设研究会规划教材

全国高等学校教材 | 供医学影像学专业用

# 肿瘤放射治疗学

第2版



主 编 徐向英 曲雅勤  
副主编 李国文 伍 钢



人民卫生出版社  
PEOPLE'S MEDICAL PUBLISHING HOUSE

普通高等教育“十一五”国家级规划教材 ● 卫生部“十一五”规划教材

全国高等医药教材建设研究会规划教材

全国高等学校教材  
供医学影像学专业用

# 肿瘤放射治疗学

第 2 版

主 编 徐向英 曲雅勤

副主编 李国文 伍 钢

主 审 王瑞芝

编 者 (按姓氏笔画排序)

邓小武 (中山大学)

王 平 (天津医科大学)

卢泰祥 (中山大学)

曲雅勤 (吉林大学)

伍 钢 (武汉同济大学)

李国文 (郑州大学)

张云艳 (哈尔滨医科大学)

杨伟志 (中国医学科学院)

胡洪涛 (哈尔滨医科大学)

徐向英 (哈尔滨医科大学)

人民卫生出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

肿瘤放射治疗学/徐向英等主编. —2 版. —北京: 人民卫生出版社, 2010. 8

ISBN 978 - 7 - 117 - 13089 - 9

I. ①肿… II. ①徐… III. ①肿瘤 - 放射治疗学 - 医学院校 - 教材 IV. ①R730.55

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 103323 号

门户网: <a href="http://www.pmph.com">www.pmph.com</a>	出版物查询、网上书店
卫人网: <a href="http://www.ipmph.com">www.ipmph.com</a>	护士、医师、药师、中医师、卫生资格考试培训

版权所有, 侵权必究!

本书本印次封底贴有防伪标。请注意识别。

## 肿瘤放射治疗学 第 2 版

主 编: 徐向英 曲雅勤

出版发行: 人民卫生出版社 (中继线 010 - 59780011)

地 址: 北京市朝阳区潘家园南里 19 号

邮 编: 100021

E - mail: [pmph@pmph.com](mailto:pmph@pmph.com)

购书热线: 010 - 67605754 010 - 65264830

010 - 59787586 010 - 59787592

印 刷: 北京市顺义兴华印刷厂

经 销: 新华书店

开 本: 889 × 1194 1/16 印张: 19.5 插页: 2

字 数: 622 千字

版 次: 2005 年 8 月第 1 版 2010 年 8 月第 2 版第 4 次印刷

标准书号: ISBN 978 - 7 - 117 - 13089 - 9/R · 13090

定 价: 40.00 元

打击盗版举报电话: 010-59787491 E-mail: [WQ@pmph.com](mailto:WQ@pmph.com)

(凡属印装质量问题请与本社销售中心联系退换)

# 全国高等学校医学影像学专业规划教材

## 第三轮修订说明

随着医学影像学的飞速发展,对医学影像学高等教育教学内容和体系的改革提出了更高的要求,为了满足学科发展和教学需要,我们在进行多次调查研究、分析论证的基础上,并经全国高等医药教材建设研究会和卫生部教材办公室审议同意,决定从2009年开始启动医学影像学专业规划教材第三轮的修订工作。此次修订仍以《中国医学教育改革和发展纲要》为指导思想,强调三基(基础理论、基本知识和基本技能)、五性(思想性、科学性、先进性、启发性和适用性)原则,紧扣医学影像学专业培养目标,密切结合专业发展特点,按照医学影像学教学改革的要求,重新修订了原有的9种教材,同时新增《医学超声影像学》教材。本套教材共10种,各自成册又互成系统。修订后的教材将满足培养医学影像学专业高级人才的要求。

## 第三轮教材目录

- |                    |     |     |     |
|--------------------|-----|-----|-----|
| 1. 人体断面与影像解剖学(第3版) | 主 编 | 王振宇 | 徐文坚 |
|                    | 副主编 | 段菊如 | 付升旗 |
| 2. 医学影像物理学(第3版)    | 主 编 | 吉 强 | 洪 洋 |
|                    | 副主编 | 周志尊 | 甘 平 |
| 3. 医学电子学基础(第3版)    | 主 编 | 陈仲本 |     |
|                    | 副主编 | 鲁 雯 | 柴 英 |
| 4. 医学影像设备学(第3版)    | 主 编 | 徐 跃 | 梁碧玲 |
|                    | 副主编 | 赵 强 | 李 彪 |
| 5. 医学影像检查技术学(第3版)  | 主 编 | 张云亭 | 于兹喜 |
|                    | 副主编 | 郑可国 | 余建明 |
| 6. 医学影像诊断学(第3版)    | 主 编 | 白人驹 | 张雪林 |
|                    | 副主编 | 孟俊非 | 李健丁 |
|                    |     | 徐 克 | 龚洪翰 |
| 7. 介入放射学(第3版)      | 主 编 | 郭启勇 |     |
|                    | 副主编 | 申宝忠 | 滕皋军 |
| 8. 影像核医学(第2版)      | 主 编 | 黄 钢 |     |
|                    | 副主编 | 左书耀 | 陈 跃 |
| 9. 肿瘤放射治疗学(第2版)    | 主 编 | 徐向英 | 曲雅勤 |
|                    | 副主编 | 李国文 | 伍 钢 |
| 10. 医学超声影像学        | 主 编 | 姜玉新 | 王志刚 |
|                    | 副主编 | 胡 兵 | 周晓东 |

# 前 言

《肿瘤放射治疗学》一书是为了贯彻全国医学院校各专业均使用全国规划教材的指示精神,在卫生部教材办公室的组织下,由哈尔滨医科大学著名的放射肿瘤学家王瑞芝教授出任主编,并于2005年首次出版发行。

近年来,肿瘤放射治疗学的发展十分迅速,无论是相关理论方面,还是放射治疗技术等方面均有诸多新进展,因此很有必要进行补充和完善,以便学习肿瘤放射治疗学的学生以及临床医生们能够更新和掌握肿瘤放射治疗的相关知识,跟上学科发展的步伐。

《肿瘤放射治疗学》的再版修订是由哈尔滨医科大学附属肿瘤医院、吉林大学第一医院、郑州大学第一附属医院、华中科技大学协和医院、中山大学附属肿瘤医院、中国医学科学院肿瘤医院、天津医科大学肿瘤医院等院校10名专家教授共同参与编写。这些专家虽长期从事医学影像专业的教学工作,有着丰富的肿瘤放射治疗教学和临床实践经验,但仍深感任务的艰巨和责任的重大。在较广泛收集对第1版教材反馈意见的基础上,第2版仍本着坚持三基(基础理论、基本知识、基本技能)、五性(思想性、科学性、先进性、启发性、适用性)、三特定(特定的对象、特定的要求、特定的限制)的原则,保持了原版的绪论、肿瘤放射治疗学的物理学基础、肿瘤放射治疗学的生物学基础和临床放射治疗学四部分的编写框架,并按照教学大纲的要求,力求做到结构严谨,条理清楚,重点突出,概念明晰,详略适度,实用性强,并多有创新之处。经过近半年的鼎力合作,顺利地完成了本教材第2版的编写工作。尽管我们做出了很大努力,但不当之处仍在所难免,恳请同道与读者在使用过程中,对所发现的错误和疏漏之处不吝赐教,以便再版时加以修正。

衷心感谢著名的放射肿瘤学家王瑞芝教授为本教材的出版所奠定的良好基础,并对再版工作给予的关心与指导。感谢各位编者们的通力合作。感谢各参编院校及教研室给予的大力支持。哈尔滨医科大学附属肿瘤医院放射治疗科刘珊珊、许庆勇、卢姗和徐建宇等医生、放射物理科云惟康物理师及张世琳、王香雪等同学为本书作了大量细致的整理、校稿工作,在此一并表示诚挚的谢意。

编 者

2010年2月

# 目 录

## 第一篇 绪 论

第一章 放射肿瘤学的历史 .....	2
第二章 放射治疗在肿瘤治疗中的地位 .....	5

## 第二篇 肿瘤放射治疗学的物理学基础

第一章 放射物理基础 .....	8
第一节 放射物理的基本知识 .....	8
一、物质结构 .....	8
二、放射性核衰变 .....	9
三、剂量学中的基本辐射量 .....	10
第二节 射线与物质的相互作用 .....	11
一、电子与物质的相互作用 .....	11
二、X( $\gamma$ )射线与物质的作用 .....	11
第三节 射线源的种类及照射方式 .....	13
一、临床应用的放射性核素 .....	13
二、常规远距离照射 .....	14
三、近距离照射 .....	14
四、重粒子治疗 .....	15
第二章 放射治疗设备 .....	16
第一节 X射线的产生和X射线深部治疗机 .....	16
一、X射线管球及X射线的产生 .....	16
二、X射线能谱 .....	16
第二节 远距离 $^{60}\text{Co}$ 治疗机 .....	17
一、 $^{60}\text{Co}$ 放射源 .....	17
二、 $^{60}\text{Co}$ 治疗机的基本构造 .....	17
三、 $^{60}\text{Co}$ 治疗机半影 .....	17
四、 $^{60}\text{Co}$ 治疗机的临床应用特点 .....	18
第三节 医用电子直线加速器 .....	18
一、医用电子直线加速器的工作原理 .....	18
二、医用电子直线加速器的基本结构 .....	19
三、医用电子直线加速器临床应用特点 .....	20
第四节 模拟定位机 .....	20
一、常规X射线模拟定位机 .....	20

二、CT 模拟定位机 .....	20
第五节 近距离后装治疗机 .....	21
<b>第三章 X(<math>\gamma</math>) 射线剂量学 .....</b>	<b>22</b>
第一节 X( $\gamma$ ) 射线剂量学有关的名词 .....	22
第二节 X( $\gamma$ ) 射线的深度剂量分布 .....	22
一、百分深度剂量 .....	22
二、组织空气比 .....	24
三、散射空气比 .....	25
四、组织模体比和组织最大剂量比 .....	25
五、射野输出因子和模体散射因子 .....	26
六、散射最大剂量比 .....	26
第三节 X 射线束的修整 .....	26
一、挡块技术 .....	26
二、多叶准直器 .....	27
三、楔形板 .....	28
四、体表轮廓及组织非均匀性校正 .....	30
第四节 处方剂量的计算 .....	31
一、加速器剂量计算实例 .....	32
二、 $^{60}\text{Co}$ 治疗机剂量计算实例 .....	32
<b>第四章 电子线治疗剂量学 .....</b>	<b>34</b>
第一节 电子线的能量表述 .....	34
一、最大概率能量 .....	34
二、平均能量 .....	35
三、深度能量 .....	35
第二节 电子线的剂量分布特征 .....	35
一、百分深度剂量曲线 .....	35
二、影响电子线深度剂量分布的因素 .....	36
第三节 电子线的特殊照射技术 .....	36
一、旋转照射技术 .....	36
二、全身照射技术 .....	37
三、电子线术中照射技术 .....	38
<b>第五章 近距离治疗剂量学 .....</b>	<b>39</b>
第一节 近距离放射治疗源的物理量与周围的剂量分布 .....	39
一、 $\gamma$ 射线辐射源的强度 .....	39
二、 $\beta$ 射线源的物理量 .....	40
三、近距离治疗放射源周围剂量分布 .....	40
第二节 近距离治疗的剂量体系 .....	42
一、传统腔内放射治疗剂量学体系 .....	42
二、组织间治疗剂量学 .....	43
<b>第六章 放射治疗计划设计 .....</b>	<b>45</b>

第一节 临床治疗计划设计的基本原则 .....	45
第二节 射线种类的选择 .....	45
第三节 靶区体积定义与计划描述 .....	45
一、体积定义 .....	45
二、生物靶区 .....	46
三、治疗计划的描述 .....	47
第四节 计划设计与评估 .....	47
一、照射野设计的基本原理 .....	47
二、计划设计的步骤与过程 .....	48
三、计划的评估 .....	49
第五节 治疗计划的确认 .....	51
一、运行测试 .....	52
二、射野验证 .....	52
<b>第七章 特殊治疗技术</b> .....	<b>53</b>
第一节 三维适形放射治疗与调强适形放射治疗 .....	53
一、三维适形放射治疗 .....	53
二、调强适形放射治疗 .....	55
第二节 立体定向放射手术与立体定向放射治疗技术 .....	56
一、立体定向放射治疗的剂量学特点 .....	57
二、立体定向放射治疗的实现方式与设备 .....	57
第三节 全身照射技术 .....	59
一、全身照射的治疗模式 .....	59
二、全身照射技术 .....	59
三、全身照射的处方剂量点与剂量学处理 .....	60
四、全身照射的质量保证 .....	60
五、全骨髓照射 .....	60
<b>第八章 放射治疗的物理质量保证与质量控制</b> .....	<b>61</b>
第一节 放射治疗质量保证与质量控制的定义 .....	61
第二节 放射治疗的发展过程与建立的规范 .....	61
一、放射治疗 QA/QC 的历史与规范化 .....	61
二、放射治疗 QA/QC 的新挑战 .....	62
第三节 放射治疗质量保证与质量控制的内容 .....	62
一、放射治疗过程的误差 .....	62
二、QA 的组织与实施 .....	62
三、放射治疗设备 QA/QC .....	63
<b>第九章 放射治疗的辐射防护与安全</b> .....	<b>65</b>
第一节 辐射的生物效应 .....	65
一、躯干效应和遗传效应 .....	65
二、确定性效应与随机效应 .....	65
第二节 辐射照射类型 .....	66
第三节 辐射防护中使用的量和单位 .....	66



一、当量剂量 .....	66
二、有效剂量 .....	67
第四节 辐射防护的基本要求 .....	67
一、实践的正当性 .....	67
二、防护与安全的最优化 .....	67
三、剂量限制值和潜在照射危险限制 .....	68
第五节 辐射防护的基本方法 .....	68
一、外照射防护的基本方法 .....	68
二、内照射防护的基本方法 .....	68
<b>第三篇 肿瘤放射治疗学的生物学基础</b>	
<b>第一章 电离辐射对生物体的作用 .....</b>	<b>72</b>
第一节 辐射生物效应的时标尺 .....	72
第二节 电离辐射的直接作用和间接作用 .....	73
<b>第二章 电离辐射的细胞效应 .....</b>	<b>75</b>
第一节 辐射诱导的 DNA 损伤及修复 .....	75
第二节 辐射所致的细胞死亡 .....	77
一、细胞死亡的概念 .....	77
二、细胞死亡的机制 .....	77
第三节 细胞放射存活曲线 .....	78
一、细胞放射存活曲线的概念 .....	78
二、离体细胞存活曲线的实验方法 .....	79
三、细胞存活曲线的形状 .....	80
第四节 细胞周期时相与放射敏感性 .....	81
一、细胞周期的基本概念 .....	81
二、细胞周期时相及放射敏感性 .....	82
<b>第三章 肿瘤的放射生物学概念 .....</b>	<b>83</b>
肿瘤的增殖动力学 .....	83
一、肿瘤的细胞动力学层次 .....	83
二、肿瘤的生长速度 .....	83
<b>第四章 正常组织及器官的放射反应 .....</b>	<b>86</b>
第一节 正常组织的结构组分 .....	86
一、正常组织细胞的分化层次 .....	86
二、早反应组织和晚反应组织 .....	86
第二节 早期和晚期放射反应的发生机制 .....	87
一、早期放射反应的发生机制 .....	87
二、晚期放射反应的发生机制 .....	88
第三节 正常组织的体积效应 .....	89
<b>第五章 分次放射治疗的生物学基础 .....</b>	<b>90</b>
第一节 分次放射治疗的生物学原理 .....	90

一、细胞放射损伤的修复 .....	90
二、周期内细胞的再分布 .....	92
三、氧效应及乏氧细胞的再氧合 .....	92
四、再群体化 .....	94
第二节 临床放射治疗中非常规分割治疗研究 .....	95
一、超分割放射治疗 .....	95
二、加速治疗 .....	95
三、连续加速超分割放射治疗 .....	96
第三节 肿瘤放射治疗中生物剂量等效换算的数学模型 .....	96
一、生物剂量的概念 .....	96
二、放射治疗中的生物剂量等效换算模型 .....	97

## 第四篇 临床放射治疗学

第一章 总论 .....	102
第一节 放射治疗的适应证与禁忌证 .....	102
一、放射治疗的适应证 .....	102
二、放射治疗的禁忌证 .....	103
第二节 放射治疗方式 .....	103
一、单纯放射治疗 .....	103
二、根治性放射治疗 .....	104
三、姑息性放射治疗 .....	104
四、术前放射治疗 .....	104
五、术中放射治疗 .....	104
六、术后放射治疗 .....	105
第三节 放射治疗技术 .....	105
一、远距离放射治疗 .....	105
二、近距离放射治疗 .....	106
三、放射性核素治疗 .....	107
第四节 放射治疗实施过程中的临床问题 .....	107
一、选择适应证、确定放射治疗原则 .....	107
二、外照射靶区的确定方法 .....	108
三、治疗计划设计中需要注意的问题 .....	109
四、随访 .....	110
第五节 放射反应与放射损伤 .....	110
一、放射反应 .....	111
二、放射损伤 .....	112
第六节 加温治疗 .....	114
一、加温治疗在肿瘤治疗中的作用 .....	114
二、加温治疗在临床上的应用 .....	115
第七节 放射治疗与化学治疗的并用 .....	116
一、放射治疗与化学治疗并用的目的 .....	116
二、放、化综合治疗的理论基础 .....	116
三、常用的化学治疗药物 .....	117
四、放、化综合治疗的临床应用 .....	118

第八节 放射治疗与分子靶向治疗 .....	118
一、放射治疗敏感性与基因的关系 .....	118
二、放射治疗与分子靶向治疗 .....	119
第九节 放射治疗与放射增敏剂 .....	120
<b>第二章 头颈部肿瘤 .....</b>	<b>121</b>
第一节 鼻咽癌 .....	122
第二节 口咽癌 .....	135
第三节 下咽癌 .....	139
第四节 鼻腔与鼻窦恶性肿瘤 .....	143
第五节 喉癌 .....	150
第六节 原发灶不明的颈淋巴结转移癌 .....	155
<b>第三章 胸部肿瘤 .....</b>	<b>157</b>
第一节 食管癌 .....	157
第二节 原发性支气管肺癌 .....	165
第三节 纵隔肿瘤 .....	176
一、概述 .....	176
二、胸腺瘤 .....	178
<b>第四章 消化道肿瘤 .....</b>	<b>181</b>
第一节 直肠癌 .....	181
第二节 原发性肝癌 .....	186
第三节 胰腺癌 .....	190
第四节 胃癌 .....	193
<b>第五章 泌尿及男性生殖系统肿瘤 .....</b>	<b>198</b>
第一节 膀胱癌 .....	198
第二节 肾癌 .....	202
第三节 前列腺癌 .....	204
第四节 睾丸恶性肿瘤 .....	209
<b>第六章 女性生殖系统肿瘤 .....</b>	<b>214</b>
第一节 宫颈癌 .....	214
第二节 子宫内膜癌 .....	223
第三节 卵巢恶性肿瘤 .....	227
第四节 外阴癌 .....	230
第五节 阴道癌 .....	232
<b>第七章 淋巴系统肿瘤 .....</b>	<b>234</b>
第一节 霍奇金淋巴瘤 .....	234
第二节 非霍奇金淋巴瘤 .....	242
第三节 几种结外淋巴瘤 .....	245
一、鼻腔 NK/T 细胞淋巴瘤 .....	245

二、韦氏环淋巴瘤·····	245
三、原发胃淋巴瘤·····	247
<b>第八章 乳腺癌</b> ·····	<b>249</b>
<b>第九章 中枢神经系统肿瘤</b> ·····	<b>262</b>
第一节 概述·····	262
第二节 星形细胞瘤·····	269
第三节 髓母细胞瘤·····	271
第四节 颅咽管瘤·····	273
第五节 脑膜瘤·····	275
第六节 颅内生殖细胞瘤·····	276
第七节 垂体瘤·····	277
第八节 脑转移瘤·····	279
<b>第十章 骨与软组织肿瘤</b> ·····	<b>281</b>
第一节 尤文肉瘤·····	281
第二节 骨转移瘤·····	283
第三节 软组织肉瘤·····	285
<b>第十一章 良性病的放射治疗</b> ·····	<b>288</b>
一、概述·····	288
二、临床常见良性病的放射治疗·····	289
<b>参考文献</b> ·····	<b>292</b>
<b>中英文名词索引</b> ·····	<b>294</b>
<b>英中文名词索引</b> ·····	<b>296</b>

# 第一篇

## 绪 论

放射肿瘤学是使用放射线治疗肿瘤的一门特殊的医学学科。其基础是放射物理学、放射生物学,还涉及肿瘤学、病理学、医学影像学以及其他临床医学,是一门涉及知识面非常广泛的学科。放射治疗是使用放射线及设备治疗恶性肿瘤(偶有良性病)的一种临床治疗手段,是肿瘤治疗的三大手段之一,无论是单独应用还是与其他治疗手段联合应用,在恶性肿瘤的治疗中均占有重要的地位。

# 第一章

## 放射肿瘤学的历史

(徐向英)

自从 1895 年 12 月伦琴发现了 X 射线,从此开创了放射线在医学领域中应用的历史,至今已有 100 余年。

1896 年,法国 Becquerel 发现了能产生放射线的铀。

1897 年,维也纳的利奥波克医生首次将 X 线应用于临床治疗中。

1898 年,居里夫妇成功分离出镭,并首次提出了“放射性”的概念。

1899 ~ 1902 年,开始试验性的使用 X 线来治疗皮肤癌患者,并获得了良好的疗效。

1901 年,Danlos 尝试将含镭盐的小棒插进肿瘤内进行治疗,开创了近距离放射治疗的历史。

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,然后放置肿瘤旁进行治疗,从此诞生了近距离腔内放射治疗技术。宫颈癌是首先治疗的疾病,这一技术至今临床上仍在使用。

1903 年,Bergonie 和 Tribondeau 发表了有关放射敏感性的著名法则“B-T 定律”,阐明了放射敏感性与有丝分裂活动相关。

1913 年,美国制造出库利奇热阴极管,获得了可控的 X 线输出。

1914 年,Stevenson 和 Joly 将镭的硫酸盐放入不锈钢制成的镭针内,直接插入肿瘤内治疗,从此开创了近距离组织间插植放射治疗。

1915 年,伦琴协会倡导放射防护。

1920 年,巴黎的镭研究所研制出了可长期使用且无广泛损伤的用于口腔癌放射治疗的镭针。

1922 年,美国 Coulidg 发明的首台 200KV 级深部 X 线治疗机诞生。

1922 年,Coutard 和 Hautant 报告了应用 X 线治疗进展期喉癌取得成功,且未发生严重的并发症,从而奠定了放射治疗在肿瘤学中的地位。

1912 ~ 1940 年,先后有研究提出了辐射效应对氧的依赖性,并探讨了氧用于肿瘤治疗的可能性。

1920 ~ 1930 年,有关实验论证了分次放射治疗的优势,并且 Coutard 于 1934 年提出了延长治疗时间的分次治疗方案,成为目前放射治疗的基础。

1928 年,Coutard 报道了分次放射治疗癌症的优越性。

1933 年,Crabtree 和 Gramer 提出:氧可影响肿瘤的放射敏感性,推测氧在放射治疗中具有重要的意义。

1934 年,著名的以<sup>226</sup>Ra 直线源设计的平面插植剂量学系统,即曼彻斯特(Manchester)系统诞生。

1940 年,Lea 和 Catchside 建议用线性二次公式表达生物的辐射效应;Zirke 提出了线性能量传递的概念。

1943 年,美国 Kerst 将电子感应加速器应用于放射治疗中。

1944年,瑞典 Veksler 研制开发了电子回旋加速器。

1946年,英国 Fry 研制的 MV 级 X 线医用直线加速器问世。

1949年, Patt 发现半胱氨酸是一种放射防护剂。

1950年,发现了其他可利用的放射性核素,例如<sup>137</sup>Cs 代替了镭管、<sup>192</sup>Ir 丝代替了镭针。

1951年,第一台<sup>60</sup>Co 远距离治疗机在加拿大问世,从此开始了现代外照射治疗,改变了过去 X 线治疗机只能治疗比较表浅肿瘤的状况,进一步扩大了放射治疗适应证,治疗效果也明显提高。

1951年,瑞典的 Lars Leksell 首先提出了立体定向放射手术(stereotactic radiosurgery, SRS)的概念。

1952年, Gray 发表了关于氧效应的测定结果,提出了氧增强比。

1952年,英国 Hammer Smith 医院安装了第一台 8MV 固定型射频微波直线加速器,并于 1953 年治疗了第一位患者。

1954年,<sup>192</sup>Ir 被应用于近距离放射治疗。

1956年, Puck 发表了第一条哺乳动物的体外培养细胞的放射存活曲线。

1959年,日本 Takahashi 首先提出了原体照射的概念,开创了用多叶准直器实现适形放射治疗的技术,即 3D-CRT,实现了照射野的形状与病变相一致。

1959年, Elkind 证实了细胞亚致死性损伤的修复。Hewitt 和 Wilson 在离体细胞培养技术的基础上,发现了细胞死亡与放射剂量之间的关系,提出了细胞存活曲线的概念,为放射生物学的研究提供了有力的方法。

1960年以来,美国、比利时等国家陆续开始研制的粒子(中子、质子和重离子)加速器问世。Mendelsohn 提出了肿瘤生长比的概念。

1961年, Hvnschkes 设计了使用塑料管和<sup>192</sup>Ir 丝后装方法插植人体任何部位的局部肿块进行放射治疗的新方法,尤其是乳腺癌的插植放射治疗。遥控后装开始应用于近距离放射治疗。

1963年,首次观察到细胞周期中的放射敏感性变化。

1964年, Pietguin 和 Dutreix 确定并命名了使用<sup>192</sup>Ir 微型线源的组织间治疗剂量学系统,即“巴黎系统”。

1966年, Tolmach 描述了潜在致死性损伤的修复。

1967年,瑞典 Leksell 研发的第一代立体定向放射外科治疗系统( $\gamma$ 刀)问世。

1968年,美国利用直线加速器实现了非共面多弧度等中心旋转治疗,即用多个小照射野从三维方向照射病变,现在亦称为 X 刀(X-knife)。

1968年,美国成功地制造了加速管可直立安装于机头内的驻波型电子直线加速器。从此,放射治疗进入了超高压射线治疗的新阶段。Casaertt 首次发表了组织放射性敏感性的分类。

1969年,首次观察到了动物肿瘤细胞的加速再群体化。

20世纪60~70年代,开展了肿瘤细胞动力学方面的放射生物学相关研究,建立了4个“R”的概念。

1972年,提出了再氧合的概念。

1973年,提出了受照射后正常组织增殖的时间过程。英国的放射学家 Fowler 建立了著名的 L-Q 数学模型,为不同分割方式的放射治疗提供了理论依据,推动了非常规放射治疗技术的开展。

1974年,首次实施中子治疗的临床试验。

1975年,重离子治疗首位患者。

1976年,CT 开始应用于临床放射治疗中,与治疗计划系统相连接共同构成了一个快速、精确的放射治疗计划与优化系统,放射治疗进入了一个崭新的历史时期。

1977年,美国 Bjarngard 等提出了调强适形放射治疗(intensity modulated radiation therapy, IMRT)的概念。IMRT 不仅要求照射野的形状与病变完全一致,还要求病变内各点的剂量分布均匀,是在 3D-CRT 基础上的又一发展。

1977~1978年,我国成立了医用直线加速器的研发基地。

1980~1990年间,首次提出了早反应、晚反应组织存活曲线的不同。我国自行研制开发出了国产  $\gamma$

刀系统。

1982年,首次提出生物效应剂量(biological effective dose, BED)的概念。

1985年,活检标本测定患者肿瘤的潜在倍增时间。

1986年,研制出了微型多功能后装机,它是一台由计算机控制的高剂量率(micro-electron HDR)后装治疗机。进入21世纪,又开发了三维治疗计划系统,使高剂量区的剂量分布更均匀,个体化的治疗更精确和安全。

1991年,首次提出了 $SF_2$ 与肿瘤的控制关系。

2000年以来,随着放射物理学、剂量学、计算机技术以及医学影像技术的发展,通过多种影像学手段,对肿瘤及正常器官由于呼吸和蠕动运动、日常摆位误差及靶区收缩等造成放射治疗剂量分布的变化和对治疗计划的影响等进行实时的监测和修正,并在呼吸周期中的特定时相同步进行高剂量的放射治疗,减少肿瘤漏照的精确的放射治疗技术,即图像引导放射治疗(image-guided radiation therapy, IGRT)作为一种四维的放射治疗技术逐渐被人们所认识。

2004年,美国 Mactie 领导研发出螺旋断层放射治疗系统(tomotherapy)和可以实施多角度的螺旋调强适形放射治疗技术(helical intensity modulated radiation therapy)。

2008年后,在IGRT的基础上又研发出了快速回转调强放射治疗技术(Rapid-Arc)、容积弧形调强放射治疗技术(volumetric modulated arc therapy, VMAT)。这几种新型的放射治疗技术不但可对肿瘤进行精确定位,还可大幅缩短放射治疗时间,更重要的是减少了治疗时的各种误差,降低正常组织并发症的概率,开创了调强放射治疗计划、治疗实施和验证为一体的精确放射治疗新时代。

随之,在将剂量计划、重建和验证等剂量计算方法引入放射治疗的过程中,又出现了剂量引导放射治疗(dose guided radiation therapy, DGRT)的概念。根据剂量计算的结果,进一步对剂量进行修订并将结果引入到放射治疗的过程中,形成了摆位、计划、治疗、验证的全程动态调节系统,称之为自适应放射治疗(adaptive radiation therapy, ART)。

近几年来,功能影像(functional imaging)技术的飞速发展将放射治疗引入了一个新的、生物引导的阶段。首先,靶区从以往解剖学的概念上升为生物靶区(biological targeting volume, BTV)这一生物学概念,其特点是更加关注肿瘤的生物学效应,更好地了解靶区内包括肿瘤细胞、正常组织在内的敏感性差异,并以此为依据进行个体化治疗方案的确定,同时配合先进的放射治疗手段,以期达到提高靶区剂量、减少正常组织损伤、提高局部控制率的目的。

放射肿瘤学的历史就是放射物理学、放射生物学和放射治疗技术发展的历史,随着肿瘤治疗理念的更新及相关新理论、新技术的不断出现,放射肿瘤学将继续不断的完善和发展,在肿瘤的治疗中继续发挥其巨大的作用。



## 第二章

# 放射治疗在肿瘤治疗中的地位

(徐向英)

恶性肿瘤的发病率和病死率无论是在国内、国外均呈明显的上升趋势,癌症已成为城市居民死亡的首要原因。恶性肿瘤患者中约 70% 在其治疗的不同阶段需要接受放射治疗。WHO 曾于 1998 年公布:有 45% 的恶性肿瘤可以治愈,其中外科治疗占 22%,放射治疗占 18%,化学治疗占 5%。因此,放射治疗在恶性肿瘤的治疗中占有极其重要的地位,对某些癌症,如鼻咽癌、早期喉癌、早期乳腺癌和早期宫颈癌等均能收到其他疗法达不到的、或是和手术效果相近似的、既保存功能又提高生存率的效果。无论在中、晚期恶性肿瘤的根治性放射治疗还是姑息性放射治疗中,放射治疗更是发挥了其不良反应轻微、局部疗效显著等特点,对提高肿瘤的局部控制率和远期生存率、改善患者的生存质量等均具有重要作用。

目前,恶性肿瘤治疗的三大手段仍是手术、放射治疗和化学治疗。这三种治疗方法各有其特点,根据患者的具体状况、恶性肿瘤的生物学特点、临床分期,将以上三大治疗手段合理地结合、并用于临床治疗恶性肿瘤,产生了任何一种单独疗法所达不到的治疗效果。这种综合治疗方法已被国内、外广泛的应用于恶性肿瘤的临床治疗中。

下面简要介绍放射治疗在恶性肿瘤的综合治疗中所发挥的作用。

### (一) 放射治疗与手术

1. 术前放射治疗 术前放射治疗可以缩小肿瘤、降低肿瘤的期别,达到缩小手术的切除范围、减少术中的肿瘤种植和播散等,以期提高手术切除率,还能够保存正常组织和器官的功能,在头颈部、腹部及盆腔等部位肿瘤的治疗中均发挥了积极的作用。例如,下咽癌的患者采用术前放射治疗,既可提高生存率又能提高喉功能的保留率;宫颈癌患者行术前放射治疗可使治愈率提高至 90% 以上;胃癌患者行术前放射治疗可使手术切除率提高 5.3% ~ 14%,5 年生存率提高 7% ~ 14%;直肠癌患者行术前放射治疗可使 5 年生存率达到 64.8%,比单纯手术提高 17% 左右。

2. 术中放射治疗 对手术不能切除或切除不彻底者,术中应用适宜能量的电子束给予单次大剂量的照射,可以最大限度地减少肿瘤周围正常组织的受照剂量,并取得了较好的疗效,常用于胰腺癌、胃癌等的治疗。Ⅲ期胃癌患者单纯手术的 5 年生存率为 51.4%,行术中放射治疗则可提高到 64.5%;胰腺癌患者完全切除加术中放射治疗的 3 年生存率达 25%。

3. 术后放射治疗 对手术切除不彻底、淋巴结有转移或淋巴引流区需预防治疗的患者,采用术后放射治疗可有效地提高肿瘤的局部控制率,降低局部复发率,从而提高生存率。例如,对术后肺门或纵隔淋巴结有残存的肺癌患者,不做术后放射治疗的 5 年生存率为 0,实施术后放射治疗的 5 年生存率可达 19.5%;Ⅲ、Ⅳ级脑星形细胞瘤患者如仅行单纯手术,则 2 年内 100% 的病例死亡,而接受术后放射治疗的 5 年生存率:Ⅲ级为 26%,Ⅳ级为 6.9%;乳腺癌患者在行根治性手术后,根据腋窝淋巴结转移情况,酌情接受胸壁和(或)锁骨上、下区的放射治疗,可有效地控制局部肿瘤、预防复发和转移;直肠癌患者接受术后放射治疗,复发率可从 35% ~ 50% 降到 10% ~ 20%;Ⅰ期睾丸精原细胞瘤患者经手术加放射治疗,5 年