



主 编 唐劲天
蔡伟明
曾逸闻
主 审 殷蔚伯

肿瘤质子 放射治疗学

PROTON RADIATION
ONCOLOGY

中国医药科技出版社

肿瘤质子放射治疗学

主编 唐劲天 蔡伟明 曾逊闻
主审 殷蔚伯

中国医药科技出版社

内 容 提 要

《肿瘤质子放射治疗学》一书凝聚了我国医学、物理、工程、防护和环保学界的老中青专家们的心血，涵盖了质子治疗的物理基础、临床治疗、相关技术以及防护与环保等各个方面。这本书介绍了质子射线治疗基础、质子放射治疗的临床应用及质子治疗相关技术三个方面，重点阐述各种病症的临床治疗，填补了国内质子治疗方面的空白，对于从事肿瘤放射治疗的医生、技术人员以及肿瘤患者，本书是一本很有益的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

肿瘤质子放射治疗学/唐劲天, 蔡伟明, 曾逊闻主编.
北京: 中国医药科技出版社, 2004. 4
ISBN 7-5067-2936-9

I. 肿... II. ①唐...②蔡...③曾... III. 肿瘤-放射
治疗学 IV. R730.55

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 026922 号

美术编辑: 陈君杞
责任校对: 张学军
版式设计: 郭小平

出版 中国医药科技出版社
地址 北京市海淀区文慧园北路甲 22 号
邮编 100088
电话 010-62244206
网址 www.mpsky.com.cn
规格 787×1092mm $\frac{1}{16}$
印张 33 $\frac{1}{2}$
字数 758 千字
印数 1—4000
版次 2004 年 5 月第 1 版
印次 2004 年 5 月第 1 次印刷
印刷 三河市富华印刷包装有限公司
经销 全国各地新华书店
书号 ISBN 7-5067-2936-9/R·2456
定价 128.00 元

本社图书如存在印装质量问题, 请与本社联系调换

主
主
编

编 唐劲天 蔡伟明 曾逖闻

审 殷蔚伯

委 (按姓氏笔画为序)

- 马 林 解放军总医院
王时进 北京疾病预防控制中心
王俊杰 北京医科大学附属第三医院
王绿化 中国医学科学院肿瘤医院
冯林春 解放军总医院
冯勤富 中国医学科学院肿瘤医院
李 平 空军总医院
李立伟 空军总医院
李利亚 中日友好医院
李晔雄 中国医学科学院肿瘤医院
刘世杰 中国科学院高能物理所
刘世耀 中国科学院高能物理所
向 青 中日友好医院
朱京丽 中日友好医院
曲宝林 解放军总医院
吴世凯 中国医学科学院肿瘤医院
陈志华 中日友好医院
陈国雄 解放军总医院
麦祖荫 中日友好医院
张福泉 协和医院
宋福祥 北京市环保局
欧广飞 中国医学科学院肿瘤医院
罗正明 四川大学
罗京伟 中国医学科学院肿瘤医院
郁庆长 中国科学院高能物理所
周桂霞 解放军总医院
洛小林 中日友好医院
娄 云 北京疾病预防控制中心

赵东晖	中日友好医院
胡逸民	中国医学科学院肿瘤医院
夏廷毅	空军总医院
唐劲天	中日友好医院
殷蔚伯	中国医学科学院肿瘤医院
黄洪涛	中日友好医院
黄晓东	中国医学科学院肿瘤医院
韩守云	解放军 309 医院
曾逖闻	解放军总医院
蔡伟明	中国医学科学院肿瘤医院

序 1

21 世纪将是生命科学和信息技术突飞猛进的时代。医学作为生命科学的重要组成部分也必将得到巨大的发展。各种新技术、新方法将更广泛、更深入地应用于医学，不断地提高医疗技术水平，改善人民健康，延长人类寿命。

众所周知，恶性肿瘤是当今威胁我国人民健康的、仅次于心脑血管疾病的第二大顽疾。一代又一代的科学工作者为攻克癌症付出了艰辛的努力，取得了许多成果。作为当今治疗肿瘤三大方法之一的放射治疗发展很快。一些新技术、新方法应用于临床，取得了较好的疗效，大大推动了肿瘤治疗水平的提高。

质子治疗是放射治疗的一种新兴技术，其优点是可以方便而精确地调节剂量分布，使高剂量集中于肿瘤部位。质子治疗的设备和技术相当复杂。自 1954 年美国加利福尼亚大学 Berkeley 实验室进行世界上第一例质子治疗以来，经过几代人的艰辛努力，这一技术才逐渐发展成熟，应用范围日益拓宽。近年来质子治疗获得重大进展。全球的质子治疗中心已达二十余所，主要分布于欧美和日本，累计治疗各种患者 3 万余例，其疗效已被充分肯定，深受广大患者的欢迎。质子治疗已经进入一个新的更大发展的时期。

早在 20 世纪 80 年代，我国科学家就开始关心质子治疗的发展。改革开放以来，随着我国国民经济和科学技术的迅速发展，在我国建立质子治疗中心的时机逐渐成熟。1995 年国家攀登计划项目“核医学与放射治疗中先进技术的基础研究”启动，中国科学院高能物理研究所等一些单位的物理学、医学和工程技术专家合作开展了质子治疗技术的基础研究，获得了可喜的科研成果，发表了一批论文著作，论证了在中国发展质子治疗的必要性和可行性，探讨了我国发展质子治疗的战略。我们也向发达国家派遣了研究人员进行学习，储备了技术与人才。

在多方努力下，最近北京质子治疗中心工程已正式在卫生部中日友好医院内破土动工，预计 2005 年落成开诊。这是一件令人鼓舞的喜事。质子治疗中心的建成将改变我国这一领域空白的状况，为广大患者战胜肿瘤提供一个新的有效选择途径，也为我国有关科学研究提供新的舞台。

《肿瘤质子放射治疗学》一书就是在这样一种背景之下编辑出版的，它凝聚了我国医学、物理、工程、防护和环保学界的老中青专家们的心血。全书

共40余万字，涵盖了质子治疗的物理基础、临床治疗、相关技术以及防护与环保等各个方面。我国目前已出版的由郁庆长、罗正明主编的专著《质子治疗技术基础》主要研究质子治疗的设备和技术。这本书则重点阐述各种病症的临床治疗。对于从事放射治疗的医生、技术人员以及肿瘤患者本书是一本很有益的参考书。我相信本书的出版必将进一步推动我国现代医学的发展。在此我谨向本书作者以及支持本书出版的各单位表示衷心的感谢。

由于质子治疗目前在我国尚无经验可借鉴，本书主要是依据国外资料编辑而成。随着北京质子医疗中心的建立，我期望在不远的将来，由于广大医务人员和科研人员的努力探索和实践，本书再版的时候，其内容定将更为丰富多彩，许多适应于中国国情的治疗方法和经验，将会呈现在大家面前。

中国科学院院士 唐孝威

2003年8月

序 2

肿瘤的放射治疗近年来得到快速发展，无论从治疗设备、基础研究和临床治疗的技术和方法上都有了相当大的改进，在时间剂量上有了超分割治疗、加速分割治疗、低分割治疗。如国内对食管癌的疗程加速分割技术，明显提高了疗效，在技术上有了适形治疗、调强放射治疗，降低了正常组织的损伤，但同时在此种方法上正常组织的低照射剂量是否会引起致癌作用还有待长期观察。虽然有了上述各种技术加上影像学的作用，使得照射范围更加精确，但局部失败和正常组织损伤仍是个存在的难题。质子治疗设备的应用，使局部疗效有了进一步提高，如眼部疾病、颅底肿瘤和颅咽管肿瘤有显著疗效，对其他一些肿瘤，如前列腺癌取得了相当好的疗效，但在不少肿瘤中，调强治疗和质子治疗有重大区别，还有待更多临床资料的积累。质子治疗对多种肿瘤的更合理的时间剂量也还需要更多的临床研究，质子治疗和光子治疗的综合利用也有待进一步研究，总之质子治疗的优越性已经肯定，应在临床有计划的全面的进行。

谷铎之

2004年1月

前 言

1946年 Wilson 提出质子束的医学应用的观点, 1954年 Tobias 等人在美国加州大学 Lawrence Berkeley 实验室 (LBL) 进行了世界上第一例质子射线治疗, 目前全球已拥有 20 余个质子医学中心, 累计治疗各类患者 3 万余例, 质子治疗经过了一个从研制开发到实践应用, 直到近年来大力进行市场开发的曲折的发展历程。经过几代科学工作者的不懈努力, 目前质子治疗无论从硬件设备、治疗计划系统, 以及临床应用和技术上都已趋于成熟, 并且越来越受到广大医务工作者和患者的欢迎和认可。

目前, 全球二十余所质子医学中心均分布在欧美和日本等发达国家。随着我国经济和科学技术的日益进步, 人民生活水平的不断提高, 在国内开展质子治疗的条件已经成熟, 北京质子医疗中心的筹建就是一个良好的开端。

为了借鉴国外的质子治疗经验, 同时也为了使广大医务工作者了解质子治疗的相关知识, 编辑出版一部质子治疗方面的专业书籍十分必要。为此, 在中国医药科技出版社的大力支持下, 我们组织北京各大医院和科研单位的专家, 编辑出版了《肿瘤质子放射治疗学》一书。全书共 40 余万字, 分 21 章, 详细阐述了质子治疗的基础知识、系统设备、治疗计划、安全防护, 以及临床适应证和应用等。书中插入了大量具有说服力的图片, 并与传统放疗进行了对比, 读者能借此真切体会到质子治疗的优点。

质子治疗不仅在肿瘤治疗方面有优势, 而且对某些良性病的治疗也有其独到之处, 因此其适应证远不止本书中所述之内容。相信通过广大医务和科研工作者的努力探索和实践, 质子治疗的适应证将会被进一步拓宽, 同时, 我们的治疗水平和学术地位也会不断提高。

由于质子治疗在我国无现成经验可借鉴, 编辑此书主要参考国外文献, 时间也比较仓促, 因此书中难免有不妥和错误之处, 欢迎广大读者批评指正。

本书在编写过程中, 中日友好临床医学研究所北京科兆医学技术开发公司担负了艰巨的编辑工作, 同时长安信息集团也给予了支持和帮助, 在此, 对各方的大力支持表示由衷的感谢。

殷蔚伯

2003年9月于北京

目 录

第一部分 质子射线治疗基础

第一章 肿瘤质子放射治疗的历史与未来	3
第一节 放射肿瘤学发展的历史	3
一、前言	3
二、放射治疗的早期阶段	3
三、低能 X 线治疗高速发展时代	5
四、高能射线时代	6
五、近距离治疗技术的发展	7
六、放射治疗技术的进步	7
七、逐渐开启的粒子治疗序幕	8
八、放射肿瘤学会	9
九、结束语	9
第二节 质子放射治疗发展历史与现状	10
一、质子治疗的初期阶段	10
二、质子治疗的快速发展阶段	10
三、质子治疗在中国的现状	12
第三节 放射肿瘤学进展与展望	13
一、临床方面的进展	13
二、放射生物学方面的进展	17
三、物理及设备方面的进步	18
四、展望	19
第二章 质子放射治疗的物理学基础	24
第一节 质子束的剂量学特点	24
第二节 质子束能量调节和束流展宽技术	26
一、定射程调能器	27
二、束流展宽技术	28
第三节 两类束流调节器的比较	31

第三章 质子射线的生物学基础	34
第一节 辐射与物质的相互作用	34
一、物理阶段	34
二、物理-化学阶段	42
第二节 辐射引起的化学变化	42
一、化学阶段	42
二、放射增敏作用	43
第三节 电离辐射的细胞效应	45
一、辐射对 DNA 和染色体的损伤及损伤的修复	45
二、辐射对细胞的作用	51
第四节 电离辐射对正常组织的损伤	56
一、从细胞效应到组织损伤	57
二、正常组织的结构层次和反应模式	57
三、早期反应和晚期反应	59
四、放疗中组织的耐受性	59
第五节 质子治疗放射生物学	62
一、质子分割治疗放射生物学	62
二、单次大剂量分割放射生物学	69
三、生物效应剂量和分割照射治疗	72
四、质子和放射外科治疗的剂量-体积关系	76
第四章 质子治疗装置	80
第一节 质子治疗装置的组成和发展	80
第二节 质子治疗装置的临床指标	82
第三节 质子治疗加速器	84
一、回旋加速器	84
二、同步加速器	85
三、直线加速器	86
四、专用质子治疗加速器举例	87
五、三类质子治疗加速器的比较	92
第四节 束流运输系统	93
一、束流运输	93
二、转动机架	94
第五节 束流配送系统	96
一、射程调节与调制	96
二、束流扩展与准直	97
三、固定调制束流配送系统	100
四、可变调制束流配送系统	101
第五章 北京质子医疗中心的质子治疗系统和装置	105

第一节	IBA 质子治疗系统的基本工作原理	105
第二节	质子治疗系统的分系统和设备	107
一、	质子加速器	107
二、	质子能量选择系统	112
三、	束流输运系统	114
四、	旋转机架	115
五、	治疗头	118
六、	患者精确定位和准直系统	120
七、	治疗计划系统	121
八、	专用补偿器与准直器加工制造系统	122
九、	治疗控制系统	122
十、	治疗安全系统	124
十一、	辐射屏蔽与安全保护	125
第三节	质子治疗系统的系统结构和工作原理	126
第四节	IBA 质子治疗系统的治疗性能参数	128
一、	IBA 散射和摆动扫描型标准治疗头的治疗性能参数	128
二、	IBA 治疗头的治疗参数量程切换	128
第六章	质子治疗的剂量与治疗计划	133
第一节	放射治疗质子剂量学	133
一、	束流剂量监测	133
二、	剂量分布(照射野验证)	136
三、	剂量定标	137
四、	治疗质量保证计划	140
第二节	高能质子束的剂量算法	142
一、	质子与物质相互作用	142
二、	宽束质子的能量沉积	144
三、	高能质子小角多次散射理论及其笔束解	145
四、	Monte Carlo 方法	148
第三节	质子治疗计划设计	152
一、	质子束剂量分布特点	152
二、	有效源皮距离	154
三、	处方剂量的计算	155
四、	组织补偿器的设计	156
五、	组织不均匀性对剂量分布影响的处理	159
六、	质子束剂量计算的笔型束模型	162
七、	质子束治疗的布野方法	163
八、	质子束治疗的 QA (QC)	164

第二部分 质子放射治疗的临床应用

第七章 消化道肿瘤	167
第一节 原发性肝癌	167
一、概述	167
二、病理和分类	168
三、临床表现和分期	169
四、诊断	171
五、手术和内科治疗	174
六、放射治疗和质子治疗	176
七、展望	182
第二节 胃癌	183
一、病理	184
二、治疗	184
三、质子治疗	186
第三节 食管癌	187
一、概述	187
二、治疗原则	189
三、综合治疗	190
四、放射治疗	193
五、质子治疗	197
第四节 直肠癌	201
一、概述	201
二、诊断与临床分期	203
三、治疗原则	203
四、放射治疗	204
五、质子治疗	205
第八章 中枢神经系统疾病	208
第一节 胶质瘤	208
一、概述	208
二、诊断和临床分期	210
三、临床分期	212
四、胶质瘤的综合治疗原则	212
五、放射治疗	213
第二节 垂体腺瘤	217
一、概述	217
二、治疗原则	220

三、质子治疗	223
第三节 脑膜瘤	225
一、概述	225
二、治疗原则	226
三、质子放射治疗	227
四、综合治疗	230
第四节 脑动静脉畸形	232
一、概述	232
二、治疗原则	235
三、质子放射治疗	235
四、综合治疗	236
第九章 非小细胞肺癌	241
第一节 概述	241
一、流行病学	241
二、病因	241
三、诊断和临床分期	241
第二节 治疗原则	246
一、I、II期非小细胞肺癌	246
二、III期非小细胞肺癌	246
三、IV期非小细胞肺癌	247
第三节 放射治疗	247
一、根治性放疗	247
二、超分割放疗和加速分割放疗	248
三、放射治疗和手术综合治疗	249
四、三维适形放疗	250
五、质子治疗非小细胞肺癌	250
七、肺癌放射治疗并发症	254
第十章 鼻咽癌	257
第一节 概述	257
一、流行病学	257
二、病因	258
三、局部解剖学和局部侵犯途径	258
四、淋巴引流	258
五、临床症状	258
六、诊断	259
七、临床分期	260
第二节 治疗原则	261
第三节 放射治疗	262

一、照射区域·····	262
二、照射源·····	262
三、放射治疗计划设计·····	262
四、放射治疗疗效·····	263
五、放射治疗反应和重要器官的放疗并发症·····	263
第四节 鼻咽癌的质子治疗·····	264
第五节 综合治疗·····	270
一、外科治疗·····	270
二、化学药物治疗·····	270
第十一章 眼部疾病 ·····	272
第一节 黑色素瘤·····	272
一、病因·····	272
二、临床分类·····	272
三、临床表现·····	272
四、诊断·····	273
五、分期·····	274
六、病理分级·····	274
七、TNM组合分期·····	274
八、治疗·····	275
九、放射治疗·····	275
十、质子治疗·····	276
第二节 良性肿瘤和良性病·····	281
一、脉络膜血管瘤·····	281
二、老年性黄斑变性·····	282
第十二章 头颈部肿瘤 ·····	289
第一节 颅底肉瘤·····	289
一、颅底的局部解剖特点·····	289
二、颅底肉瘤的流行病学特点·····	289
三、颅底肉瘤的手术治疗和常规放射治疗·····	290
四、颅底肉瘤的质子放射治疗·····	291
五、小结·····	293
第二节 颅底脊索瘤·····	294
一、概述·····	294
二、临床表现·····	295
三、诊断·····	295
四、治疗原则·····	296
五、放射治疗技术·····	296
六、疗效·····	297

七、预后因素·····	298
八、治疗并发症·····	299
第三节 嗅母细胞瘤·····	300
一、概述·····	300
二、解剖学·····	300
三、病理学特点·····	300
四、临床表现·····	301
五、分期·····	302
六、诊断·····	302
七、治疗·····	303
八、预后·····	305
九、并发症·····	306
第十三章 泌尿系统肿瘤 ·····	309
第一节 肾癌和膀胱癌·····	309
一、解剖学·····	309
二、病理·····	309
三、诊断·····	310
四、临床分期·····	311
五、治疗原则·····	312
六、常规射线的放射治疗·····	313
七、质子放射治疗·····	314
八、其他治疗·····	315
第二节 前列腺癌·····	316
一、流行病学与病因·····	316
二、解剖学及淋巴引流·····	317
三、病理和转移途径·····	317
四、诊断和分期·····	318
五、随诊·····	320
六、放射治疗·····	320
七、质子治疗·····	327
八、前列腺癌根治术·····	330
九、内分泌治疗和化疗·····	330
第十四章 宫颈癌 ·····	334
第一节 概述·····	334
一、病因与机制·····	334
二、宫颈癌的自然发展与转归·····	334
三、子宫颈癌的转移特点·····	335
四、子宫颈癌的病理形态·····	335

第二节 子宫颈癌的临床诊断	336
一、临床症状	336
二、临床检查	336
三、辅助检查	337
四、宫颈癌的临床分期	337
第三节 综合治疗子宫颈癌	338
一、手术治疗	338
二、手术与放疗相结合	339
三、放、化疗结合	339
四、热疗和放疗结合	339
五、热疗和化疗结合	339
第四节 放射治疗子宫颈癌	340
一、体外放疗	340
二、腔内放疗	340
第五节 质子治疗子宫颈癌	340
一、质子治疗子宫颈癌的方法	341
二、质子治疗子宫颈癌疗效	342
三、质子治疗子宫颈癌的特点	343
第十五章 儿童肿瘤	346
一、前言	346
二、放疗对儿童患者的长期后遗症	346
三、临床应用研究	347
第十六章 皮肤恶性肿瘤	350
第一节 皮肤癌	350
一、概述	350
二、病理分类	350
三、临床表现及分期	351
四、诊断和鉴别诊断	352
五、治疗原则	352
六、综合治疗	353
七、质子放射治疗	354
第二节 皮肤恶性黑色素瘤	355
一、概述	355
二、病理学	355
三、临床表现	356
四、诊断和鉴别诊断	358
五、治疗原则	359
六、综合治疗	359