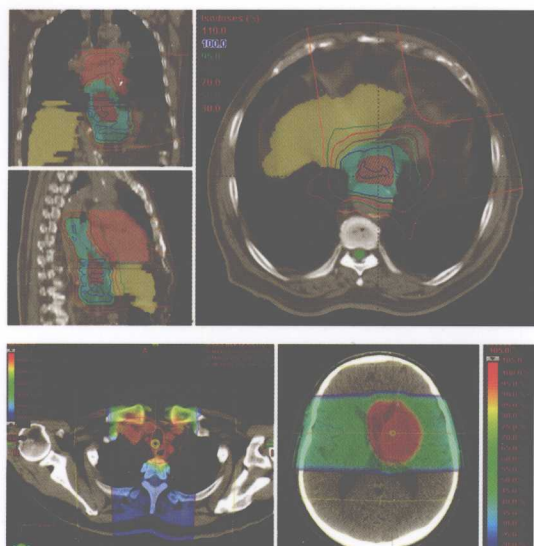


The Atlas of Proton Radiation Oncology

肿瘤质子治疗图谱

主编 穆向魁

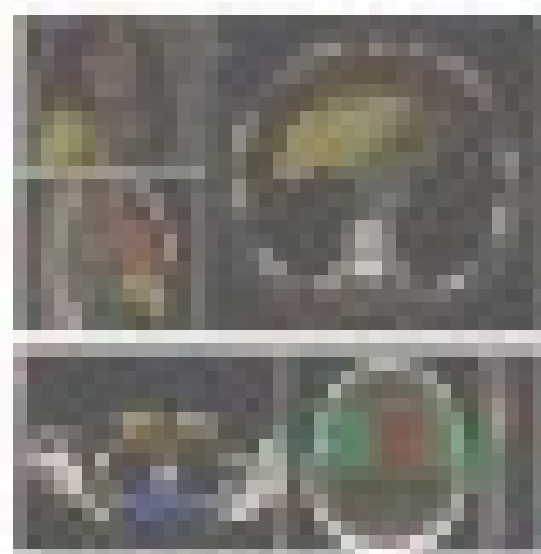


科学技术文献出版社

Practical Proton Radiation Oncology

肿瘤质子治疗图谱

主编 陈士强



中国医药出版社

The Atlas of Proton Radiation Oncology



肿瘤质子治疗图谱

名誉主编 孙启玉
主 编 穆向魁
副主编 李家敏 张建光

科学技术文献出版社

Scientific and Technical Documents Publishing House

北 京

图书在版编目(CIP)数据

肿瘤质子治疗图谱/穆向魁主编. —北京: 科学技术文献出版社, 2009.6

ISBN 978-7-5023-6287-4

I. 肿… II. 穆… III. 肿瘤-质子-放射治疗学-图谱 IV. R730.55-64

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第005486号

出 版 者 科学技术文献出版社
地 址 北京市复兴路15号(中央电视台西侧)/100038
图书编务部电话 (010) 58882938, 58882087 (传真)
图书发行部电话 (010) 58882866 (传真)
邮 购 部 电 话 (010) 58882873
网 址 <http://www.stdph.com>
E-mail: stdph@istic.ac.cn
策 划 编 辑 丁坤善
责 任 编 辑 樊雅莉
责 任 校 对 赵文珍
责 任 出 版 王杰馨
发 行 者 科学技术文献出版社发行 全国各地新华书店经销
印 刷 者 北京时尚印佳彩色印刷有限公司
版 (印) 次 2009年6月第1版第1次印刷
开 本 787×1092 16开
字 数 174千
印 张 8.75
印 数 1~3000册
定 价 58.00元

© 版权所有 违法必究

购买本社图书,凡字迹不清、缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责调换。

主编简介



穆向魁，男，肿瘤放疗学博士，主任医师，淄博万杰医院院长助理。从事肿瘤放射治疗工作多年，具有丰富的临床经验。深入掌握了头部伽玛刀、头部 X- 刀、体部立体定向放射治疗（Elekta 系统和 Novalis 系统）等立体定向放射治疗技术（包括放射物理和肿瘤临床技术）。擅长肺癌、食道癌、肝癌、胰腺癌等胸部和腹部肿瘤的放射治疗、放化疗综合治疗及相应治疗副反应的处理。

1994 年开始从事放射治疗专业，进行头部伽玛刀培训；1995 年于广州参加头部 X- 刀培训后治疗头部肿瘤、癫痫病人千余例；1996 年赴美国接受体部立体定向放射治疗技术培训，归国后领导开展治疗工作；1998 年赴德国接受诺力刀培训，归国后领导开展诺力刀治疗工作。2000 年赴瑞典学习 MM50 技术并做肿瘤放射治疗学博士研究生，从事 X- 线、电子线以及质子束调强放射治疗技术的研究工作，于 2005 年 2 月完成学业，获得肿瘤放射治疗学博士学位。2005 年归国后在淄博万杰医院从事质子、X- 线立体定向放射治疗工作。

数次参加国内、国际谈判，赴美国和日本进行质子治疗系统的考察工作。多次参加国内、国际会议；在国内外学术期刊上发表学术论文 24 篇，其中有 16 篇为第一作者。在国外期间，发表学术论文 4 篇（均被 SCI 收录，其中第一作者 3 篇，第二作者 1 篇），博士论文以英文发表。参编学术专著 2 部。

联系方式

山东淄博万杰医院质子治疗中心

电话：0533-4660806

传真：0533-4650830

手机：13468407296

电子邮件：muxiangkui@126.com

编委会

名誉主编 孙启玉

主 编 穆向魁

副主编 李家敏 张建光

编 委 (排名不分先后)

樊跃飞 赵美红 陈继锁 吴福勇

陈 庆 孙永文 孙 磊 郎丰平

序 言 一

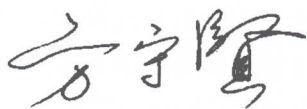
肿瘤是当今威胁我国人民健康的主要因素，也是人类最难对付的疾病之一。随着对肿瘤认识的提高和肿瘤治疗手段的发展，人们不但要求肿瘤得到有效控制，而且希望提高生存质量。如何在保留器官和器官功能的前提下，有效控制肿瘤一直是现代肿瘤治疗技术追求的目标。新技术、新方法、新设备在放射治疗中的广泛采用使上述目标的实现逐步成为可能。

近年来，现代影像技术，尤其是分子水平的影像技术（包括 PET、PET-CT、功能性 MRI 等）的发展，使肿瘤定位的精度大为提高；另外，先进的多维适形治疗等技术方法的采用，可以大幅降低肿瘤周围正常组织及器官受到的照射剂量，使传统的 X 射线对某些肿瘤的治疗疗效有显著提高。但由于 X 射线在人体内的放射剂量随入射深度呈指数衰减，致使肿瘤前后的正常组织及器官还会受到不同程度的损伤，治疗效果还不够理想。质子治疗的出现大大改善了这一情况，这是由于质子束在人体内具有不同的剂量衰减特性。质子束照射时在人体内的剂量分布曲线是先缓慢上升，然后突然变快，迅速增加到称之为博拉格峰的很高的峰值，而且一过峰值即急速直线下降而趋于零值。正是因为这一特性，可以使质子非常精确地将照射的最大剂量沉积在肿瘤上。通常，在肿瘤前的正常细胞只受到 $1/3 \sim 1/2$ 左右的最大剂量值，即受到的伤害程度小，治疗后易恢复，而在肿瘤后部的正常细胞或敏感器官基本上不受辐射，因而不受伤害。因此，可以说质子治疗是一种先进的、新兴的肿瘤治疗技术。它在对活跃肿瘤实施全面、精确、致死性治疗的同时，可以最大限度地避免和降低对肿瘤周围正常组织及敏感器官的照射，避免正常组织的损伤和并发症，使癌症放射治疗的治愈率和有效控制率明显提高。

1946 年美国物理学家 Robert Wilson 最早提出利用质子博拉格峰的特性治疗肿瘤。1954 年美国加州大学 Lawrence Berkeley 实验室 (LBL) 在世界上开创了质子治疗的先例。随后的几十年中，很多进行核物理及粒子物理研究的加速器被兼用来进行质子治疗。1990 年美国 Loma Linda 建成了世界第一台专用于治疗的质子医用设备。此后的 10 多年，专用质子治疗设备的研制和开发犹如雨后春笋，得到了迅速的发展。目前，质子治疗中心已经达 20 余家（包括上述很多的兼用装置），到 1993 年累计治疗病人 1 万余例，而到 2008 年，已达 5 万余例。质子治疗设备生产在世界上已形成相应产业，约有 6 家质子治疗设备供应商，为质子治疗临床应用的迅速开展提供了条件。

质子治疗用的加速器及其相应的装备汇集了多种学科的尖端技术,例如核物理、加速器物理、真空、高频、自控、计算机硬件与软件、精密机械等,不但难度极大,而且投资十分昂贵,是一个复杂的系统工程。它的运行操作难度大,不但需要一批多专业的技术人才,还需有很多专业治疗人才(如医生、物理师、剂量师、放疗师和专职护士)和高水平的现代管理人才。所以,很久以来,除了美、日、德等少数发达国家外,很多国家对质子治疗都望而却步。我国自1994年以来,有很多单位相继对质子治疗装置的引进及研制进行过尝试,但是由于上述及其他种种原因,一直没有取得实质性的进展。直到2001年底,山东淄博万杰医院从IBA公司引进一台质子治疗装备,打破了这一僵局,并再度引发了医疗界及核技术界对引进及研制质子治疗装备的强烈兴趣,可谓是“一石激起千层浪”。这台装置于2004年12月安装完成并投入使用,至今已经治疗了约800例肿瘤病人,开创了中国肿瘤质子治疗的先河,并使我国能通过实践把肿瘤治疗推向国际先进水平。万杰质子治疗中心在开展工作的短短的两年后,就成功地主办了第46届国际质子、粒子治疗会议(PTCOG 46),表明我国的质子治疗技术得到了国际同行的广泛认可。

本书就是在这种背景下,由万杰质子治疗中心年轻的肿瘤放射治疗医生、物理师等编写而成。本书内容涉及了质子治疗临床应用的各个方面,系统综述了国外质子治疗的临床经验,并总结了该中心多年来的实际工作经验,是我国第一本关于质子肿瘤治疗实践总结方面的专著。我相信本书的出版将进一步推动我国质子肿瘤治疗的发展。在此我谨向本书的作者表示衷心的感谢!



中国科学院院士

序 言 二

由于计算机技术和影像技术的迅速发展,先进的肿瘤放射治疗技术不断更新。20 世纪后期,我们先后拥有了适形放射治疗(3DCRT)、立体定向放射外科(SRS)和立体定向放射治疗(SRT)、调强放射治疗(IMRT)等精确放射治疗技术。近年来,图像引导下放疗(IGRT)和生物影像引导的放疗(BGRT)等概念相继提出并实现,将精确放射治疗推向了更高的层次。

虽然上述先进的治疗技术可以对肿瘤实施精确的照射,但是肿瘤治疗的局部失败和靶区周围敏感组织并发症的发生仍然是目前存在的主要难题。质子治疗技术的应用,使得在提高或不降低肿瘤照射剂量的同时,降低或避免了肿瘤周围正常组织的照射,可望使肿瘤治疗的疗效进一步提高。

大量的临床资料证明,质子治疗对多种肿瘤的疗效是肯定的,如眼底肿瘤、颅底肿瘤、前列腺癌、肝癌、肺癌等。但是,如何结合其他治疗手段,如手术、化疗、分子靶向治疗;如何将时间剂量分割方式,甚至单次治疗应用到质子治疗中;如何与传统 X 线治疗技术或重离子治疗技术结合尚有待于进一步地研究。

山东淄博万杰质子治疗中心的建成和投入使用,使我国的肿瘤治疗又增加了一项具有世界先进水平的放射治疗技术。该中心自 2004 年末投入临床使用至今,共治疗了近 800 例肿瘤病人,积累了大量的临床资料。本书正是万杰质子治疗中心的初步工作总结。我希望万杰质子治疗中心能够在更多方面进行深入的理论和实践研究,为我国的肿瘤放射治疗事业做出更大贡献。

于金明

中华医学会放射肿瘤治疗学分会主任委员

序 言 三

质子治疗是一种成熟的、最先进的放射治疗装备和技术，越来越引起各国学者的极大兴趣。和传统射线（高能电子线和高能光子）相比较，质子治疗的优势为：第一，优越的物理剂量分布。当质子射线进入人体时，高剂量区集中在射束的尾端，形成博拉格峰（Bragg Peak）。通过调节质子射束能量，可以使高剂量的峰区集中在需要治疗的肿瘤靶区内，而周围正常器官和组织受到的剂量很低，因此可以明显降低正常组织损伤，而且有利于进行剂量爬坡试验，以提高肿瘤局部控制率。第二，治疗计划设计和实施过程简便。由于质子射束特征的博拉格峰，质子治疗只需用少数几个射束（通常为1~3个射束）即可满足临床治疗要求，因此可以方便地选择避开通过危及器官的射束方向；即使有时质子射束必须通过危及器官到达靶区，也可以使危及器官内受照射剂量低于靶区内接受的照射剂量。第三，质子治疗明显降低了肿瘤周围正常组织内总的积分剂量，所以也可降低正常组织因为受到低剂量照射而诱发第二个肿瘤的几率，这对长期存活的肿瘤病人和儿童肿瘤病人来说，显得尤为重要。第四，由于质子的相对生物效应（RBE）和传统射线相似，为1.1，传统射线已经发展成熟的各种技术和经验均可方便地应用于质子治疗，包括目前所应用的三维适形（3DCRT）、调强放射治疗（IMRT）、图像引导放射治疗（IGRT）以及其他的精确放射治疗等各项技术。除此以外，用最近发展的质子独特的主动射束扫描技术来进行质子调强技术治疗，可以进一步提高剂量分布的适形度，可更安全地实现剂量爬坡试验，进一步促进质子治疗技术的广泛应用。

质子放射治疗已经有50多年的历史了。从1954年美国加州大学首先用实验室设备加速的质子射线治疗了第一例病人之后，有多个国家用实验室的装置来治疗病人，积累了一定的临床治疗经验。1990年美国加州罗马林达大学医学中心（Loma Linda University Medical Center, LLUMC）启用了医院专用的质子装备来治疗病人，正式宣告质子治疗进入临床医学领域。目前全世界已有12个国家共26个质子治疗中心开展质子治疗，至今已治疗5万多例病人，治疗的病种包括全身各部位恶性肿瘤及少数部位的良性疾病，取得良好的效果。此外，尚有多个国家正在建立或计划建立质子治疗中心。我国山东淄博万杰医院质子治疗中心引进了比利时的医用质子治疗装置，并于2004年末开始应用于临床，至今已治疗了近800例病人，初步取得了较好的临床效果。

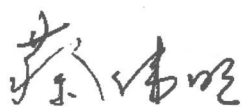
1986年，世界各国成立了国际粒子治疗协作组（Particle Therapy Co-

operative Group, PTCOG), 每年举办 2 次会议, 进行全球范围内的经验交流, 使质子治疗在设备、治疗技术、临床经验方面取得了很大的进展。最近一次会议是于 2007 年 5 月在我国山东淄博万杰质子治疗中心召开的 PTCOG 46 届会议, 决定将粒子治疗协作组改名为粒子治疗协会, 并在瑞士注册为合法组织; 决定将每年 2 次会议改为每年 1 次会议, 并在 PTCOG 46 次会议和其后的每次会议前举办国际性的“粒子治疗学习班”, 对各国有关技术人员和医生进行粒子治疗基本知识培训, 这次会议使我国的质子治疗和研究步入了国际行列。

本书为我国有关质子治疗的第三本专著。第一本为 1999 年出版, 由郁庆长和罗正明教授主编的《质子治疗技术基础》, 主要讲述了质子治疗的设备和技术, 是 1995 年国家科委启动的国家攀登计划项目“核医学和放射治疗中先进技术的基础研究”中质子治疗项目研究成果的全面总结; 第二本为 2004 年出版, 由唐劲天、蔡伟明和曾述闻教授主编的《肿瘤质子放射治疗学》, 重点阐述了国外质子治疗各种病症的临床经验。本书为我国第三本有关质子的专著, 主要基于我国山东淄博万杰质子治疗中心的临床资料, 侧重于质子治疗在全身各部位良、恶性肿瘤治疗计划的制定、剂量分布等内容, 希望为国内放射治疗医生和有关的研究人员提供一个具体的、形象化的参考。从本书提供的相关图像中可明确地看出质子治疗全身各部位肿瘤物理剂量分布的优越性。

本书作者阅读并总结了大量近年来国际上已发表的有关质子治疗研究的文献和历届 PTCOG 大会交流材料, 并在每一章节后列出了大量关于质子治疗临床和物理研究的文献, 为感兴趣的读者提供了较全面的参考资料。在第一章概述中, 作者全面而扼要地介绍了质子治疗的基本原理、质子治疗的各种照射技术和优势以及质子治疗的动态和进展, 并尽可能客观地对目前放射治疗界存在的、对质子治疗尚有争议的一些问题, 如 IMRT 是否可代替质子治疗、重离子和质子治疗的比较、质子治疗的性价比等问题, 提出自己的看法。

目前, 国内外大部分医疗机构使用的是传统放射治疗装置, 有很多优秀的医师、物理师及其他有关的技术人员, 在使用传统放射治疗设备和技术治疗病人方面做出了大量的、卓越的成绩。由于质子治疗的临床应用在我国刚刚起步, 水平和经验有限, 在放射治疗技术设计方面需要进一步完善, 本书在这一方面提供了较为丰富的资料, 定会对我国的质子治疗起到很好地推动作用。



原中国医学科学院肿瘤医院教授, 博士生导师

致 谢

首先，感谢万杰集团董事长——孙启玉先生！孙先生以其远见卓识的智慧和敢为人先的豪气，带领我们引进了当今全球最先进的医用质子治疗系统（PTS），使我国成为继美国、日本之后第3个拥有该治疗系统的国家，我们得以有机会实际操作和使用质子治疗系统，本书的出版也得益于此。

其次，感谢肿瘤治疗界的前辈和老师！特别感谢中国医学科学院肿瘤医院蔡伟明教授和我的博士后导师——中华医学会放射肿瘤治疗学分会主任委员于金明院长，是他们在临床实践和本书的编写过程中不断给予我启发、激励和鞭策；中国医学科学院肿瘤医院余子豪教授，每次见面后都会提出犀利明晰的问题，使我对本书的写作更加严谨。在他们的支持、引导和鼓励下，我们才得以顺利完成本书的写作，本书的出版也凝聚了他们的心血和汗水。

最后，感谢万杰医院质子治疗中心的全体同事！在李家敏院长领导下，他们以完美的的工作，使质子治疗中心运行良好，我们才有可能在短时间内积累这些病例。我院江启安主任和刘素文主任提供了宝贵的病例资料。质子治疗物理计划中心的田盈盈、毕斌等物理师为本书制作了大量的剂量分布图。在此，对他们的帮助表示衷心的感谢！

由于我们采用质子治疗的临床实践时间尚短，加之水平和经验有限，本书内容难免有不妥或错误之处，欢迎广大读者批评指正。

穆向魁

目 录

第一章	质子放射治疗概述	1
一、	发展历史 /1	
二、	放射治疗与肿瘤治疗 /3	
三、	质子治疗剂量学上的优势 /4	
四、	治疗设备 /8	
五、	适应证 /14	
六、	质子治疗程序 /15	
七、	质子治疗照射技术 /17	
八、	质子治疗的研究和发展方向 /25	
九、	质子治疗国际组织 /26	
第二章	头颈部肿瘤	28
一、	鼻咽癌 /28	
二、	脊索瘤 /33	
第三章	胸部肿瘤	37
一、	食管癌 /37	
二、	非小细胞肺癌 /45	
三、	胸腺瘤 (癌) /52	
第四章	腹部肿瘤	55
一、	肝癌 /55	
二、	腹膜后肿瘤 /63	
三、	胰腺癌 /68	
第五章	盆腔肿瘤	74
一、	前列腺癌 /74	
二、	直肠癌 /78	
三、	宫颈癌 /83	

第六章 中枢神经系统肿瘤 87

- 一、胶质瘤 /87
- 二、脑膜瘤 /92
- 三、听神经瘤 /101
- 四、垂体瘤 /104

第七章 儿童肿瘤 109

- 一、儿童肿瘤与放射治疗 /109
- 二、质子治疗文献回顾 /109

第八章 其他肿瘤 115

- 一、乳腺癌 /115
- 二、恶性淋巴瘤 /121

第一章

质子放射治疗概述

一、发展历史

1946年 Wilson 首先提出质子医学应用设想, 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 1 例质子治疗。此后瑞典 Uppsala 大学 (1957 年), 美国哈佛回旋加速器实验室 (HCL, 1961 年), 前苏联 (Dubna, 莫斯科, Gachina 研究所, 1968—1975 年) 相继开展了质子治疗的临床研究。美国麻省总医院 (MGH) 和哈佛回旋加速器实验室 (HCL) (1975 年) 联手用质子治疗眼球脉络膜黑色素瘤、颅底软骨瘤、脊索瘤、前列腺癌。日本国立放射医学研究所在 1979 年也开始进行肿瘤质子治疗。20 世纪 80 年代后期, 日本筑波大学质子医学研究中心 (PMRC) 在肝癌、食管癌、肺癌等内脏器官肿瘤上做了大量临床研究工作。此后, 又有瑞士、瑞典、英格兰科学家们加入这一研究行列。以上所述质子治疗都是利用高能物理实验室装置, 体积庞大, 费用昂贵, 而且临床应用的时间和范围很局限。1991 年美国 Loma Linda 大学医学中心 (LLUMC) 首先启用了专为医院设计的质子治疗装置, 此装置体积小, 费用也明显减低, 可以治疗全身各部位肿瘤, 正式宣告质子治疗进入临床医学领域。根据国际粒子治疗协会 (PTCOG) 2008 年 10 月公布的材料, 目前已有美国、日本、瑞典、中国等 12 个国家, 26 个质子治疗中心正在运行, 已治疗患者 55 093 余例 (表 1-1); 3 个重离子治疗中心正在运行, 已治疗了 4 450 例病人; 而且尚有 22 个质子、重离子治疗中心正在筹建。

我国肿瘤学界非常重视质子治疗技术发展, 20 世纪 90 年代初期开始, 我国陆续派医师、物理研究人员到美国、欧洲、日本等国学习质子治疗的临床、基础和物理等技术或攻读博士学位及从事博士后研究。1995 年原国家科委启动了国家攀登计划“核医学与放疗中先进技术的基础研究”, 明确了中国发展先进放疗技术基础研究的战略, 论证了在中国发展质子治疗技术的必要性和可行性。为进一步促进该技术的发展, 1999 年中国科学院高能物理研究所质子治疗技术研究组邀请部分专家撰写了《质子治疗技术基础》一书, 着重介绍了质子治疗技术的有关基本原理、治疗装置、剂量计算方法和相关技术。2004 年北京质子医疗中心 (筹备处) 组织肿瘤

表 1-1 目前世界上运行的质子、重离子治疗中心 (PTCOG2008)

中心名称及地理位置	国家	粒子 类型	能量 MeV	射束方向	运行 时间	治疗 病人	日 期
ITEP, Moscow	俄罗斯	p	250	Horiz.	1969	4024	Dec-07
St. Petersburg	俄罗斯	p	1000	Horiz.	1975	1327	Dec-07
PSI, Villigen	瑞士	p	72	Horiz.	1984	4875	Dec-07
Dubna	俄罗斯	p	200	Horiz.	1999	402	Dec-07
Uppsala	瑞典	p	200	Horiz.	1989	738	Dec-06
Clatterbridge	英格兰	p	62	Horiz.	1989	1701	Dec-07
Loma Linda	CA., 美国	p	250	gantry, horiz.	1990	11414	Nov-06
Nice	法国	p	65	Horiz.	1991	3129	Sep-06
Orsay	法国	p	200	Horiz.	1991	3766	Dec-06
Ithemba Labs	南非	p	200	Horiz.	1993	500	Dec-07
MPRI(2)	IN., 美国	p	200	Horiz.	1993	220	Sep-06
UCSF	CA., 美国	p	60	Horiz.	1994	920	Mar-07
HIMAC, Chiba	日本	ion	800/u	horiz., vert.	1994	2867	Aug-06
TRIUMF, Vancouver	加拿大	p	72	Horiz.	1995	130	Dec-07
PSI, Villigen	瑞士	p	250	gantry	1996	320	Dec-07
G.S.I. Darmstadt	德国	ion	430/u	Horiz.	1997	316	July-06
HMI, Berlin	德国	p	72	Horiz.	1998	1014	Dec-07
NCC, Kashiwa	日本	p	235	gantry	1998	462	Nov-06
HIBMC, Hyogo	日本	p	230	gantry	2001	1658	Dec-07
HIBMC, Hyogo	日本	ion	320	horiz., vert.	2002	271	Dec-07
PMRC(2), Tsukuba	日本	p	250	gantry	2001	1188	Dec-07
NPTC, MGH Boston	美国	p	235	gantry, horiz.	2001	2710	Oct-07
INFN-LNS, Catania	意大利	p	60	Horiz.	2002	151	Dec-07
Shizuoka	日本	p	235	gantry, horiz.	2003	410	Nov-06
Wakasa WERC, Tsuruga	日本	p	200	horiz., vert.	2002	33	Aug-06
WPTC, Zibo	中国	p	230	gantry, horiz.	2004	537	Dec-07
MD Anderson Cancer Center	Houston, TX. 美国	p	250	gantry, horiz.	2006	114	Dec-06
FPTI, Jacksonville	FL. 美国	p	230	gantry, horiz.	2006	15	Dec-06
总计				29 (26 Proton)		45212	

医学、高能物理、医学工程、环境保护、辐射防护等领域的专家编写了《肿瘤质子治疗学》一书，旨在使国内放射肿瘤学界学者，全面了解质子治疗发展历史、有关物理学和生物学基础、治疗装置及临床治疗结果。国内有数个单位正在积极地考虑筹备建立质子治疗装置。1989年兰州近代物理所建立了兰州重离子研究装置，1995年开始重离子治疗肿瘤的研究工作。中国从1996年开始有几个肿瘤治疗中心，包括山东淄博万杰医院、上海复旦大学附属肿瘤医院和北京中日友好医院，开始了质子治疗设备的引进工作；到2004年末，山东淄博万杰医院引进的比利时IBA (Ion Beam Application) 公司的质子治疗设备开始投入使用。全套设备由质子加速器、能量选择系统、束流输运系统、束流配送系统、剂量监测系统、患者定位系统和控制系统构成。占地面积5 000多平方米。可以提供70 ~ 230 MeV的质子束，可以用于治疗体内任何部位的肿瘤（图1-5）。至今已治疗近800例肿瘤患者，早期效果令人满意。

二、放射治疗与肿瘤治疗

在1895年伦琴发现X射线后不久，放射线就用于肿瘤治疗，到目前已经有100多年的历史了。当肿瘤在其早期阶段或者比较局限的时候，手术和放射治疗等局部治疗为主要治疗手段；当肿瘤局部扩散或远处转移时，不适于手术治疗，化疗和放射治疗可以提供相对好的治疗效果。

随着对肿瘤认识的提高和肿瘤治疗手段的发展，人们不但要求肿瘤得到有效控制，而且要求生存质量要高。美国临床肿瘤协会(ASCO)2006年会上，将提高肿瘤病人生存质量、保留病人器官功能作为一个很重要的议题讨论。本着这样的治疗目标，放射治疗在肿瘤治疗中的地位在不断变化：一方面是地位提高了，例如，几十年前手术治疗在头颈部肿瘤治疗中起主导地位，目前放化疗结合在保留器官功能方面起到了重要作用；早期乳腺癌局部肿瘤切除加放射治疗保留乳腺等。另一方面是地位降低了，如在霍奇金病的治疗中，化疗成为了主要的治疗手段，放疗只是针对治疗前有肿瘤侵犯的区域，照射范围也由斗篷野照射缩小到累及野照射。

目前，肿瘤的治疗多综合使用手术、放疗和化疗中的两种或三种手段。据WHO统计，全部肿瘤病人中有45%是可治愈的，由放射治疗治愈的病人占18%。在55%治疗失败的病人中，18%是由于局部肿瘤失控造成的。

理论上说，放射治疗作为一种局部治疗手段，可以通过提高肿瘤照射剂量来提高局部肿瘤控制率(TCP)，进而提高总体5年生存率。肿瘤剂量效应曲线是一个“S”形曲线，曲线最陡处的斜率可以用 γ_{50} 来表示。对于人类肿瘤来说， γ_{50} 约为2~3。这就是说，对于常规治疗手段获得TCP为40%的肿瘤，当肿瘤照射剂量提高5%~10%时，TCP将提高10%~30%，即TCP提高到50%~70%。

然而由于肿瘤周围正常组织的限制，肿瘤的治疗剂量无法有效提高，因为肿瘤