

# 肿瘤放疗物理和医学物理师\*

包尚联<sup>1,†</sup> 张怀岑<sup>1,2</sup> 黄斐增<sup>1</sup>

(1 北京大学肿瘤物理诊疗技术研究中心 医学物理和工程北京市重点实验室 北京 100871)

(2 江西井冈山医学高等专科学校医学工程系 吉安 343000)

**摘要** 肿瘤放疗物理是医学物理的重要分支,肿瘤放疗装置是医疗设备中技术含量和附加值最高的医疗设备,现在中国每年新发病人已经超过200万,有约70%的肿瘤病人在治疗期间使用放疗手段,随着肿瘤病人的人数和比例逐步升高,中国社会对放疗设备的数量和质量要求不断提高.为了更好地满足社会需要,大力发展中国的肿瘤放疗学科,大力研发肿瘤放疗的新方法和新设备,建立中国的医学物理师制度具有重要意义.文章在综述肿瘤放疗学科发展的基础上,对如何发展中国的肿瘤放疗事业提出了建议.

**关键词** 肿瘤放疗物理,质量控制,医学物理师

## The present and future of medical imaging physics

BAO Shang-Lian<sup>1,†</sup> ZHANG Huai-Ling<sup>1,2</sup> HUANG Fei-Zeng<sup>1</sup>

(1 The Center for Tumor Diagnosis and Therapeutical Physics & Beijing Key lab of Medical Physics and Engineering, Beijing 100871, China)

(2 Jiangxi Jianggangshan Medical College, Jiangxi Ji'an 343000, China)

**Abstract** The physics of medical imaging is one of the main branches of medical physics, which trains medical physicists for the R&D of medical imaging equipment, clinical application of this equipment as well as R&D in medical physics. The development of medical imaging physics is one of the biggest programs aimed at making China a world manufacturer both in hardware and software. However, there is no formal medical physics in China as yet. The scale of education and training, and the level of manufacture of medical imaging equipment are very low compared with developed countries. It is therefore imperative for China to accelerate the rate of development to satisfy her requirements. Amongst other priorities, building up the education and training system in medical physics and setting up a staff of medical physicists in hospitals is the most urgent thing.

**Key words** tumor radiotherapeutical, quality control, medical physicist

### 1 肿瘤放疗物理发展情况概述

目前用于外照射放疗的设备主要是电子直线加速器(LINAC)(使用它的电子束和X射线束)和<sup>60</sup>Co源,这两种放疗设备的市场占有率超过90%.由于<sup>60</sup>Co源的 $\gamma$ 射线能量偏低,在保证杀死癌细胞的同时,正常组织吸收的剂量比例比较高,所以发达国家正在逐步淘汰<sup>60</sup>Co源放疗机.我们国家有很多公司正在大量推广的 $\gamma$ 刀就是一种<sup>60</sup>Co源放疗机,只是源的数量和位置增加之后,在正常组织中的剂量分散了,但是正常组织中的累积剂量仍然比LINAC高,放射性的致癌和损伤效果是按照积分剂量估计

的.从技术发展趋势看,目前的电子直线加速器放疗(即放射线治疗,本文简称放疗)已经从过去的简单少野放疗发展为目前的实形调强放疗(IMRT),其中最为突出的是LINAC和螺旋CT结合形成的断层放疗(tomotherapy)技术<sup>[1-3]</sup>,这种技术用气动的多叶光阑作为动态准直器,改变了过去放疗中方野和圆野的概念,在三维空间形成对肿瘤的适形照射野,是

\* 国家自然科学基金(批准号:10275003,10175004)、北京市自然科学基金重点基金(批准号:30111002)资助项目

2003-10-23 收到初稿,2004-01-01 修回

† 通讯联系人. E-mail: bao@pku.edu.cn

在真正三维空间实现放疗. 由于把照射的源皮距缩短到 85cm, 同样 6MeV 的 LINAC, 提高了放疗的剂量率, 缩短了放疗时间. 这种放疗设备包括放疗的精确剂量计算, 利用图像配准技术, 实现了对病人的自动定位和摆位, 放疗过程中实现了对剂量实时监督, 治疗后的三维剂量重建并和治疗计划比较. 利用这种放疗技术的主要目标是治愈肿瘤病人, 而且在人体任何部位肿瘤都可以实现最佳的治疗野和最好的剂量分布. 而  $\gamma$  刀把过去的<sup>60</sup>Co 源放疗从简单钴炮发展到今天大家比较熟悉的头部和体部  $\gamma$  刀. 除了通过体外照射的放疗外, 还有把固体放射源植入 (包括短时植入和永久植入) 体内的放疗, 腔管内放置定时照射的放射源的放疗, 以及用短寿命的放射性溶液注射进人体, 让放射性自动浓集在病灶处的放疗等. 总结上述情况, 对肿瘤病人的放疗有外照射放疗、后装放疗以及放射性同位素放疗等, 构成了放疗领域多姿多彩的各种放疗设备. 外照射放疗除了电子直线加速器外, 还有质子放疗机, 重离子放疗机以及各种中子治疗机 (包括硼中子俘获放疗机), 这些非光子类的外照射放疗也已经开始在临床使用或者试用, 但是所占的市场份额还很低.

## 2 医学物理师和医学物理学科

放疗是肿瘤治疗中最为复杂的过程, 因为要使用世界上最先进的设备对病人进行放射性照射, 对设备的质量控制、定位准确性以及治疗结果的检查和验证的要求非常严格. 随着高新技术产品在医院的应用越来越广泛, 世界各国都已经在医院里建立了医学物理师制度. 所以实施放疗, 除了生产厂家提供合格的放疗机外, 还必须由医学物理师用专用的软件制订放疗计划, 并监督放疗计划的执行<sup>[4-7]</sup>. 发达国家的做法是由放疗科的医生指定靶区, 定靶区剂量以及敏感组织的限制剂量, 剂量师勾画靶区, 物理师制订放疗计划, 技术员或者护士负责对病人进行定位并在医生和物理师的监督下对病人实施治疗, 从而形成医生和物理师共同对病人负责的体制. 在中国, 有放疗科的医院已经有 600 家以上, 但是医院内还没有医学物理师岗位, 也没有建立相应的医学物理师制度, 由此造成的医疗事故不断.

在发达国家, 例如美国, 聘用的医学物理师大多具有博士学位, 而且在岗位培训合格后才能上岗, 其制度已经十分完善. 他们的主要职责是针对每个病人的具体情况按照医生确定的治疗方案, 具体制定治疗计划. 在实施治疗的过程中, 要把放疗设备设置

在最佳工作状态, 为病人治疗提供最佳服务. 有不少医学物理师还参加研究工作, 进一步完善和开发这些设备的功能. 世界上大多数国家同意把医学物理师的岗位设定在具有医学物理专业硕士毕业的水平上, 而且在硕士学位培养阶段必须同时包括基础课程和动手能力方面的训练和考试.

医学物理师是靠医学物理专业培养的, 放疗是医疗机构内最需要医学物理师的地方, 此外还有放射科和核医学科以及辐射防护等科室. 医学物理学科的任务就是培养具有物理、信息和医学跨学科知识的人才, 除了培养医学物理师以外, 还培养医学物理学科自身需要的教学和科研人才, 以及从事以医学影像和放疗设备为代表的高档医疗设备的研发工作人员.

我国的学科目录上还没有医学物理学科, 更没有规划医学物理学科的培养目标. 但是, 世界上发达国家在上个世纪 50 年代就已经办了医学物理专业, 现在已经有单独的系, 甚至单独的学院. 从学科发展的内容来看, 凡是物理学在医学上的应用都可以包括在医学物理的学科范围内, 但是世界上医学物理专业主要内容是医学影像物理、放疗物理和健康物理.

国内的有识之士, 已经在很早就开始呼吁建立中国的医学物理学科和医学物理师制度. 例如, 北京大学于 1994 年在核技术及应用学科内设立了医学物理研究方向, 已经建立了医学物理专业人才培养的完整的研究生课程体系, 覆盖了世界医学物理发展的主流方向, 培养了一批硕士和博士生, 可以作为我国医学物理专业人才培养的一种模式. 今年, 清华大学在工程物理系下面也建立了医学物理和工程二级学科, 社会对医学物理专业的重视程度在增加. 为此我们建议:

(1) 卫生部通过行政法规对医院配备医学物理师的问题形成规范, 规范内容包括医学物理师的岗位职责和相应的权利. 建议首先在放疗科、放射科和核医学科内设立相应的医学物理师岗位, 经过若干年实施之后, 通过国家立法在全国推广;

(2) 在国务院的学科目录上正式设定医学物理学科, 并形成医学物理学科人才培养的规范. 为了加快配备物理师的速度, 建议从目前基础比较好的单位开始, 建立专业培训的课程体系和考试要求. 同时组织在职培训和相近专业毕业学生的岗前培训, 解决当前物理师人才奇缺的问题;

(3) 建立我国研发高档医疗设备的基地, 重视对具有我国自主知识产权的高档医疗设备软硬件研

发的整体投入水平,建立“公平、公正”的评审制度,改变高档医疗设备被跨国公司垄断的局面。

虽然我国在这方面的问题还没有解决,但是国内的很多专家已经在医院的相当于物理师的岗位上(例如中国医学科学院肿瘤医院,北京大学肿瘤医院和广州中山医科大学肿瘤医院等)兢兢业业地工作了几十年,我国的一些大学已经建立了医学物理专业的雏形,国内建立医学物理师制度和医学物理专业的条件已经成熟。

### 3 放疗设备及其关键技术

前面已经介绍了目前世界上正在使用的放疗设备,主要是 LINAC、 $^{60}\text{Co}$  放疗机(含  $\gamma$  刀)、后装放疗机,以及短寿命放射性同位素放疗技术等。其中 X 射线,  $\gamma$  射线和电子、质子放疗属于低能量转移(LET)的放疗模式,即每个粒子通过和人体组织相互作用转移给人体组织的能量密度比较低,是当前放疗模式的主流;而中子[包括硼中子俘获放疗(BNCT)]和重离子放疗是高能转移(HET)的放疗模式。LET 放疗机对那些弥散程度高的肿瘤,例如神经胶质瘤是无能为力的,而 HET 放疗的价格比较高,技术更为复杂。最近国内已经把 235MeV 的质子加速器引进放疗领域。质子放疗也是 LET 放疗,但是属于实形调强放疗的范围。

对肿瘤的物理治疗,除了放疗外,还有射频和超声波聚焦放疗等,在国内也已经开展起来,这些治疗装置的治疗原理主要是根据物质波和肿瘤细胞以及正常细胞在热效应上的差别,属于热疗的范畴。目前这方面问题是无法测量靶区和周围组织的温度场,对什么样的病灶使用多大剂量还没有足够的科学数据。

从放疗机发展的技术路线看,我国是发展  $\gamma$  刀技术最快的国家,是超声治疗仪首先被批准在临床上使用的国家。也就是说,我国在放疗上采用新技术的问题在医疗界并不保守。但是在我国,肿瘤物理治疗方面的资源不足,在病人急于求治的市场需求下,不要忽略临床实施上的科学性和市场准入的严格性,以免造成对病人不必要的损害。

国内也已经有一些公司和放疗科医生开始注意对良性病变的放疗。例如用  $^{137}\text{Cs}$  放射源经直肠对前列腺增生的放疗等,这方面的生物学机制,以及合适的剂量范围等还都需要经过研究才能确定。用射线的治疗总体来说是“利”大于“弊”,这是放疗之所以能够成为肿瘤三大治疗手段的原因。放射性照射,尤其具有治疗能力的放射性照射具有致癌的危险,这

也是不争的事实。所以,准确使用射线携带能量和时空信息的特点,为病人治疗取得最大利益是医学物理师的主要责任。

放疗设备是我国医疗器械行业中技术含量和附加值最高的一类医疗设备。为了制订放疗计划,放疗科和医学影像科室之间医学信息的联网已是当务之急,这样可以节省经费,提高医学信息的使用效率。最近 10 多年的发展已经证明,是医学影像技术的进步促进了放疗技术的发展和质量的提高,放疗已经离不开医学影像技术<sup>[8-10]</sup>。放疗的目的是在杀死肿瘤细胞的同时,最大限度地保护正常组织。因此,在具体实施过程中,要造成病灶部位的致死剂量,敏感组织的最小剂量,而作为一个信息源,医学影像可以提供这方面的信息。

放疗领域的关键技术可归纳如下:

(1) 研究和用于放疗的物质波源,即加速器的离子源和各种物质波源,包括热源。研究开发物质波源产生的新原理和关键技术,目的是在提高波源产生物质波的效率同时,改善物质波束流品质,满足临床需要。

(2) 对物质波和人体组织发生相互作用的规律建模,通过模型参数的最佳化,改善治疗效果,为放疗目标的实现提供最佳的选择,这方面对那些新的热疗模式需要做更多的工作。

(3) 对射线在人体内造成的剂量进行计算,其中包括靶区剂量和敏感组织处的剂量,现在的剂量计算要求是三维剂量场的分布计算。剂量学的研究包括剂量的解析计算、Monte Carlo 计算和实验测量。实验测量中需要用到测量剂量的各种标准探测器、标准模型。

(4) 完善对病人定位的各种技术,包括对病人摆位的自动化和精确化。

(5) 防止病人放疗时身体运动的无创伤固定技术,解决放疗时体内脏器运动造成的放疗定位误差,解决放疗实施中的精度问题。

(6) 自动控制放射源的旋转和病床的运动,并和实时剂量检测技术结合,达到放疗靶区剂量的总误差不超过 5% 的技术要求。

(7) 研究用于放疗的医学影像技术,改进制订放疗计划用的影像质量,增加病人的功能信息,包括对头部肿瘤放疗时的脑认知模块分布信息,实现影像格式的标准化,并和放疗机控制系统的格式兼容,例如实现 DICOM-RT 的放疗计划并实施自动化。

(8) 放疗时的影像监督技术,放疗剂量的实时

显示和治疗后的剂量场分布的验证工作.

(9) 放疗束流的准直技术,包括动态多叶光阑技术 动态楔形块技术,以及针对这些技术的剂量计算方法

(10) 针对具体肿瘤把放疗和其他治疗技术(例如外科手术)相结合的一揽子技术,包括放疗计划、剂量计算方法和影像监督技术.

(11) 根据癌细胞和正常细胞之间的差别和功能成像的数据,建立放疗的生物学模型.

以上列举的放疗过程、放疗设备和放疗影像技术有关的科学和技术问题,涵盖了非常广泛的成像模式、放疗模式和一个规模很大的产业群.这个事业的发展,依赖于跨学科人才的培养,因此设立我国医学物理专业及其医学物理师制度已成当务之急.

参 考 文 献

[ 1 ] 胡逸民. 肿瘤放射物理学. 北京:原子能出版社,1999[ Hu Y M. Physics of Tumor Radiotherapy. Beijing:Atomic Energy Press,1999( in Chinese ) ]

[ 2 ] 包尚联,方光银. 断层放疗技术. 见 唐孝威主编. 核医学合放射治疗技术. 北京:北京医科大学出版社,2001. 150—168

[ Bao S L, Fang G Y. In :Tang X W ed. Nuclear Medicine and Radiotherapy. Beijing :Beijing Medical University Press , 2001. 150—168( in Chinese ) ]

[ 3 ] 包尚联. 世界医疗器械,2000,6(2):57[ Bao S L. World Medical Instruments,2000,6(2):57( in Chinese ) ]

[ 4 ] 缪斌和. 北京大学物理学院博士论文,2002[ Miao B H. Doctor Thesis of Technical Physics Department of Peking University,2002( in Chinese ) ]

[ 5 ] 包尚联. 世界医疗器械,2002,8(3):66[ Bao S L. World Medical Instruments,2002,8(3):66( in Chinese ) ]

[ 6 ] 包尚联. 世界医疗器械,2001,7(6):24[ Bao S L. World Medical Instruments,2001,7(6):24( in Chinese ) ]

[ 7 ] 顾本广主编. 医用加速器. 北京:科学出版社,2003[ Gu B G ed. Accelerator in Medicine. Beijing:Science Press,2003( in Chinese ) ]

[ 8 ] 田捷,包尚联,周明全编著. 医学影像处理与分析——原理与方法. 北京:电子工业出版社,2003[ Tian J, Bao S L, Zhou M J. Medical Image Processing and Analysis——Principles and Methods. Beijing:Publishing House of Electronics Industry,2003( in Chinese ) ]

[ 9 ] 缪斌和,邓元木,黄斐增等. 中国医学物理学杂志,2000,17(1):14[ Miao B H, Deng Y B, Huang F Z et al. Chinese Journal of Medical Physics,2000,17(1):14( in Chinese ) ]

[ 10 ] 包尚联编著. 现代医学影像物理学. 北京:北京大学医学出版社,2003年[ Bao S L ed. Modern Medical Imaging Physics. Beijing:Medical Press of Peking University,2003( in Chinese ) ]

**BSOE** 北京晨辉日升光电技术有限公司  
 BEIJING SUNRISE OPTOELECTRONICS CO., LTD.  
 ——专业激光及光电产品代理商

德国 Radiant Dyes 公司

连续可调谐环型腔激光器

调谐范围: 570-610nm (R6G, 可选其它染料), 700-970nm (Ti:Sa);  
线宽: 1MHz; 频率漂移: 100MHz/小时; 扫描范围: 30GHz;  
模式: TEM<sub>00</sub>.

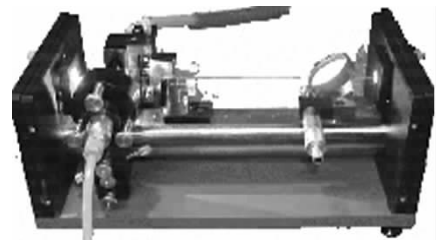
驻波染料激光器

调谐范围 560-650nm (可选其它染料), 线宽: <200GHz (单双折射滤光片), <40GHz (多双折射滤光片)。

荷兰 Avantes 公司

AvaSpec 系列微小型光纤光谱仪

波长范围 200nm-1100nm-2200nm, 分辨率 0.04-20nm, 还有多种光源、光纤探头及附件, 是高性价比的在线检测和科学分析用微小型光谱仪。可应用于颜色测量、吸收率测量、发光测量、LED 测量、薄膜厚度测量、镀膜过程监控、氧含量测量、宝石成分检测、喇曼光谱、无损血液成分分析、颜色混合及匹配等领域。



欲了解我公司产品详细信息,请参阅我公司网站:[www.bjlaser.com](http://www.bjlaser.com)

公司地址: 中国北京市朝阳区望京新城 A5 区 422 楼 806 室 邮编: 100102  
 电话: 010-84718152 传真: 010-64740680 电子邮件: [zzw512@vip.sina.com](mailto:zzw512@vip.sina.com)