

图像引导放射治疗的应用和展望

谢志原¹, 吴君心²

(1.安溪县医院, 福建 安溪 362400; 2.福建医科大学省立临床医学院
福建省肿瘤医院, 福建 福州 350014)

摘要: 图像引导放射治疗(IGRT)是近年来放射肿瘤学领域最先进的治疗技术。通过新型 IGRT 系统, 将影像获取、治疗计划设计、CT 模拟定位及加速器治疗完美地整合到一套放疗系统之中, 以精确实施放射治疗。文章就该类新技术及其应用作一综述和展望。

关键词: 图像引导放射治疗; 放射治疗剂量; 肿瘤; 摆位误差

中图分类号: R730.55 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-170X(2013)04-0241-04

Application and Prospect of Image-guided Radiotherapy

XIE Zhi-yuan¹, WU Jun-xin²

(1.Anxi County Hospital, Anxi 350014, China; 2.Fujian Cancer Hospital, Fuzhou 350014, China)

Abstract: Image-guided radiotherapy(IGRT) system has been the most advanced treatment technique in radiation oncology in recent years. Through new IGRT, several processes can be perfectly integrated in a set of radiotherapy system for conformal therapy, which include image taking, radiotherapy planning, CT simulation and accelerator treatment. This paper makes a review of the new technique and prospects of IGRT.

Subject words: image-guided radiotherapy; radiation dosage; neoplasms; setup error

近 10 余年来, 各种放射治疗新技术的涌现, 肿瘤的定位、计划、治疗精度也在进一步提高, 肿瘤的放射治疗已进入精确放疗年代。例如三维适形放射治疗(three dimensional conformal radiation therapy, 3DCRT)或调强适形放射治疗(intensity modulated radiation therapy, IMRT) 或立体定向放射治疗技术可以使高剂量区集中分布于照射靶区, 而周边剂量陡降, 减少周边正常组织的受照剂量, 能最大程度消除肿瘤的同时周边正常组织得到充分的保护。但是三维适形或调强放疗只是解决静止靶区的剂量适形问题, 患者接受放疗的过程中, 由于摆位误差及治疗部位的位置和形状会随时发生变化, 从而造成靶区偏离照射野, 可能造成肿瘤欠量或(和)危及器官损伤增加。引起这些变化的原因包括如下^[1,2]: ①分次间

的摆位误差, 人体非刚性结构, 不同部位间存在相对运动能力, 即使应用体位固定装置来固定体位, 也不可能在每次摆位时做到与计划体位完全一致, 存在数毫米甚至更大的摆位误差; 整个放疗过程中病人体重的减轻、肿瘤的退缩同样会带来的摆位误差; ②肿瘤与周围正常器官的移位和变形, 包括分次间靶区移位和分次内靶区运动及变形。分次间靶区移位指邻近泌尿、消化系统的肿瘤, 其位置及形状会随着消化道、膀胱充盈程度不同而发生改变; 分次内靶区运动及变形指靶区随着呼吸运动、心血管搏动、胃肠道蠕动甚至肌肉的收缩而发生移位和变形; ③机器设备的不稳定性造成的误差, 治疗机的光距尺与激光灯的定位误差; 治疗床、模拟机定位床及 CT 床的差别也会带来误差; ④病人身上的体表标志线太宽或不够清晰、体表皮肤松弛也会带来误差, 技术人员的摆位不当, 使病人的治疗体位存在随机误差。因此, 如何保证和控制放射治疗的准确性仍是医生、技

基金项目: 福建省临床重点专科建设项目(2012 年)

通讯作者: 吴君心, 主任医师, 硕士生导师, 博士; 福建医科大学省立临床医学院 福建省肿瘤医院放疗科, 福建省福州市晋安区福马路 420 号(350014); E-mail: junxinwu@126.com。

收稿日期: 2012-04-25; **修回日期:** 2013-02-21

师及物理师共同关注的问题。图像引导放射治疗(image-guided radiotherapy, IGRT)是解决这些棘手问题的一个有效手段。

为了解决放疗中靶区不确定等问题,将直线加速器与影像设备相结合,借助CT、MRI、PET和超声等现代影像技术,每次治疗前或(和)治疗中采集相关的影像学信息来确定治疗靶区和重要器官的结构、位置是否与治疗前计划的靶区一致^[3],测量出线性误差和旋转误差并对其进行纠正,从而引导此次及后继的治疗^[2],这称为IGRT。IGRT旨在治疗前或治疗中采集患者的影像数据,自动追踪靶目标,及时自动调整放疗时的摆位误差及靶区运动所引起的误差,确保将处方剂量准确地给予到特定的治疗区域,从而实现真正的精确放疗。

1 IGRT的研究现状

1.1 电子射野影像系统 (electronic portal imaging device, EPID)

EPID是实时射野成像,是一种二维的验证。在治疗前摆位后,分别在0度角和90度或270度角用射线束照射靶区,利用非晶硅平板探测器,在射线出束方向获取图像,与计划CT的数字重建射线影像(digitally reconstructed radiograph, DRR)相比较,显示照射过程中照射野与靶区间的关系,用来验证靶区的位置、形状及摆位误差,使误差得到及时纠正,可用来每天治疗前的实时纠正,是一种简单的IGRT。

1.2 kV级X线摄片和透视

将kV级X线摄片和透视设备与治疗机结合在一起或安装于治疗室壁上或安装在直线加速器的机臂上,通过骨性标志或基准标志,实时跟踪和监测治疗时肿瘤和正常器官位置和形态,是一种二维验证。kV级X线摄片对骨性标志显示比较清楚,但不能清楚显示射野内软组织结构,对其变化无法检验。

1.3 超声

BAT (B mode acquisition and targeting)系统也称之为超声引导摆位系统。其组成主要有: cart(推车); position-sensing arm (空间位置感应臂); ultrasound probe (超声探头); touch screen (触摸屏); BAT cart (BAT系统操作工作站); BAT PUP (BAT系统计划工作站); probe cradle (探头支架, 针对

cart、gantry、couch有不同的支架类型)。目前主要用于前列腺癌等肿瘤放疗前的靶体积位置验证和指导。

1.4 kV级CT

kV级CT即滑轨CT(CT-on-rail)技术,在治疗室加速器对侧放置一台CT,通过轨道相连,加速器与CT机共用一张治疗床,在治疗前先行CT扫描,然后根据三维重建图像资料来测量纠正摆位误差,几何精度可达1mm,以保证患者获取图像的体位与治疗体位一致。kV级CT扫描快,空间分辨率和图像分辨率高,对软组织显像清楚。但kV级CT不足之处在于不能在治疗时对靶区运动进行实时监测。

1.5 锥形束CT

该系统利用X线容积影像(X-ray volumetric image, XVI)原理,通过机架旋转获取患者治疗前及治疗中关于肿瘤与周围正常组织的三维图像,即锥形束CT(cone beam computed tomography, CBCT),采集到的图像信息与计划CT相比较,确定出肿瘤位置的摆位误差,进一步自动完成放疗误差的纠正,引导此次放疗。CBCT具有体积小、开放式结构、直接安装在加速器上、获得三维图像等特点。根据射线能量不同分kV-CBCT和MV-CBCT两种。kV-CBCT在空间分辨率上较MV-CBCT好,但密度分辨率较低,具有摄片、容积成像等多重功能;而MV-CBCT的X线源与治疗束同源,但图像分辨率及信噪方面及成像质量较差。MV-CBCT除了监测放疗时靶区的位置和形状外,因其旁向散射少的特点,还可以用来作为剂量学监测设备。

2 IGRT的应用

2.1 在线校位

在线校位指在每次治疗前采集相关的影像学信息,通过与计划参考CT比较,确定肿瘤三维方向的摆位误差,进行实时在线纠正,减小放疗中靶区的不确定性。该技术是IGRT最基本的功能,较早就进行研究。庞学利等^[4]应用kV级CBCT研究鼻咽癌调强放疗中的摆位误差,发现应用IGRT可以提高摆位精度高,而且CBCT可以观察放疗中肿瘤的退缩情况。Ghilezan等^[5]用CBCT研究前列腺患者的摆位误差,CBCT的在线纠正能明显减少摆位误差,使其计

划靶区外放平均减小 1mm,靶区均一等效剂量提高 2.1%。Hua 等^[6]的研究结果认为根据 kV 级 CBCT 影像在线纠正前列腺癌放疗的摆位误差,可以将 PTV 缩小至 5mm。在线校位近几年的发展包括如下三方面:①图像采集从胶片发展到 EPID 系统,即时获取摆位误差,提高在线校位的自动化程度,缩短在线校位时间;②射线能量由 MV 级 X 线发展到 kV 级 X 线,或 MV 级与 kV 级 X 线并用;③获取的图像从二维发展到三维,对软组织器官形态变化显示更清晰,可提供 6 个自由度的摆位误差数据,更加准确测量摆位误差。虽然在线校位显著提高放疗的精确度,但由于机械设备的不稳定性、治疗过程中靶区的运动和变形以及图像配准的不确定性使纠正后仍存在误差。

2.2 离线校正^[7]

在勾画靶区、设计治疗计划时,PTV 外放边界是根据研究群体化摆位误差及器官运动所得的数据。但是不同病人之间存在个体化差异,而且在不同放疗单位之间也存在着差别。因此,我们测量病人最初的几次摆位误差数据,来预测整个疗程的摆位误差,然后以此为依据调整 PTV 外放的大小,重新制定计划,按新计划实施治疗,从而提高放疗准确性和精确性。

2.3 自适应性放疗技术

肿瘤患者在接受治疗过程中肿瘤体积逐渐缩小,产生形变,通过 IGRT 实时扫描,可根据靶区形变情况及时调整放疗计划,从而更好地保护正常组织并提升肿瘤剂量^[8]。这几年自适性放疗还扩大到新的层面,如根据病人的实际照射剂量,调整后续照射量^[9];或在疗程中进行疗效评价,根据肿瘤的反应情况,调整处方量^[10]。但另一方面,自适性放疗目前在临床上还未普及,如果根据肿瘤的反应情况来调整处方量,进行自适性放疗,是否会引起亚临床病灶剂量不足,还有待进一步研究。

2.4 实时跟踪技术

虽然理论上四维放疗可以完成对运动靶区的不间断照射,但是在靶区与周围器官运动规律与定位时完全一致的前提下才能完成,这样状态很难实现。首先,人的每次呼吸运动不能完全一致;其次,患者会发生不自主运动,治疗时间越久,不自主运动越厉害。因此,有必要采用实时监测、实时跟踪技术使照

射野与运动的靶区保持相对不变的位置。目前最常用的实时测量方法有 X 线摄影、AC 电磁场、超声等,可以通过①调整 MLC 叶片的位置;②调整电磁场,改变射束方向;③调整治疗机,改变射束方向和位置,来保证照射野始终对准靶区照射。

3 IGRT 的发展方向

剂量引导放疗,射线能量为 MV X 射线的 EPID 系统除了监测放疗时靶区的位置和形外,还可以用来作为剂量监测设备。因此利用 MVCT 准确实时剂量检测,在治疗时对靶区与照射野的形状、剂量进行双重对比纠正。

实时跟踪技术更加完善,不同部位肿瘤跟踪技术个体化和多样化相结合,跟踪设备对人体无创、低辐射或无辐射。

在线调整计划^[11,12],随着计算机技术的进一步提高,算法的改进,运算时间的缩短,计划系统及影像获取系统的高度集成,使医师可以根据肿瘤形状和射野剂量变化情况,在线调整放疗计划。

CBCT 图像更为先进,可以获得肿瘤乏氧区大小和位置、肿瘤生长速率以及正常组织损伤/修复的动力学等变化情况,将在线校正和离线校正相结合,外放的间距进一步缩小,得到更高的治疗增益。

多维图像引导放射治疗,随着放射影像技术的不断发展,尤其是正电子发射断层成像(PET)、单光子发射计算断层成像(SPECT)、MRI/MRS 等,可以反映身体代谢、生理、功能等情况,使我们能获取三维的生物学信息,以此为根据,实施个体化的治疗方案及剂量分布,实现物理适形和生物学适形的相结合,保证放射治疗剂量的准确性,这就是未来放射治疗发展的新趋势,即多维图像引导放疗。

参考文献:

- [1] Rietzel E, Pan T, Chen GT, et al. Four-dimensional computed tomography: image formation and clinical protocol [J]. Med Phys, 2005, 32(4): 874-889.
- [2] Dai JR, Hu YM. The approaches of image-guided radiotherapy [J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2006, 15(2): 132-135. [戴建荣, 胡逸民. 图像引导放疗的实现方式 [J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2006, 15(2): 132-135.]
- [3] Mackie TR, Kapatoes J, Ruchala K, et al. Image guidance for

- precise conformal radiotherapy [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2003, 56(1): 89-105.
- [4] Pang XL, Xiao H, Li JJ, et al. Role of KV-X CBCT on the geometrical accuracy of IMRT of nasopharyngeal carcinoma [J]. Chongqing Medicine, 2007, 36 (20): 2055-2056. [庞学利, 肖红, 李建军等. KV-X 线 CBCT 用于鼻咽癌调强放疗精度保证的探讨[J]. 重庆医学, 2007, 36(20): 2055-2056.]
- [5] Ghilezan M, Yan D, Liang J, et al. Online image-guided intensity-modulated radiotherapy for prostate cancer: how much improvement can we expect? A theoretical assessment of clinical benefits and potential dose escalation by improving precision and accuracy of radiation delivery [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2004, 60(5): 1602-1610.
- [6] Hua C, Lovelock DM, Mageras GS, et al. Development of a semi-automatic alignment tool for accelerated localization of the prostate [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2003, 55(3): 811-824.
- [7] Yan D, Lckman D, Brabbins D, et al. An off-line strategy for constructing a patient-specific planning target volume in adaptive treatment process for prostate cancer [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2000, 48(1): 289-302.
- [8] Birkner M, Yan D, Alber M, et al. Adapting inverse planning to patient and organ geometrical variation algorithm and implementation [J]. Med Phys, 2003, 30 (10): 2822-2831.
- [9] Renaud J, Yartsev S, Dar AR, et al. Adaptive radiation therapy for localized mesothelioma with mediastinal metastasis using helical tomotherapy [J]. Med Dosim, 2009, 34(3): 233-242.
- [10] Martinez AA, Yan D, Lockman D, et al. Improvement in dose escalation using the process of adaptive radiotherapy combined with three-dimensional conformal or intensity-modulated beams for prostate cancer [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2001, 50(5): 1126-1234.
- [11] Ahonhay E, Chen G, Peng C, et al. An on-line adaptive planning strategy for interfraction image guidance [A]. Proceedings of the 49th annual ASTRO meeting [C]. USA: ASTRO, 2007.
- [12] Valeria L, Biance S, Simona M, et al. A study of the effect of setup errors and organ motion on prostate cancer with IMRT [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2006, 65(2): 587.

图像引导放射治疗研究专题 特邀组稿专家简介



潘建基, 医学博士, 主任医师、教授, 博士生/硕士生导师。现任福建省肿瘤医院副院长, 中国抗癌协会鼻咽癌专业委员会主任委员, 中国抗癌协会肿瘤放射治疗专业委员会常委, 中华医学会放射肿瘤治疗学分会副主任委员, 中国医师

协会肿瘤医师分会常委, 福建省抗癌协会副理事长, 福建省医学会放射肿瘤治疗学分会主任委员, 福建省抗癌协会放射肿瘤学专业委员会名誉主任委员, 福建省肿瘤放射治疗质控中心主任, 《中华放射肿瘤学杂志》副主编、《肿瘤学杂志》、《中国肿瘤临床》、《癌症》等杂志编委。



吴君心, 医学博士、主任医师, 硕士生导师。现任福建省肿瘤医院放疗科主任, 福建省抗癌协会放射肿瘤学专业委员会主任委员, 中国抗癌协会肿瘤放射治疗专业委员会委员、神经肿瘤专业委员会委员, 中华医学会

放射肿瘤学分会青年委员会副主任委员, 福建省医学会肿瘤放射治疗分会副主任委员, 福建省抗癌协会淋巴瘤专业委员会副主任委员、胃肠专业委员会常委, 《中华放射肿瘤学杂志》和《中国神经肿瘤杂志》编委。