

【文章编号】 0258-5898(2002)03-0260-04

## 四种立体放射治疗技术的比较

姚 原, 吴国华, 吴旭东, 张松方, 施 飞, 林 清  
(上海第二医科大学新华医院肿瘤放疗科, 上海 200092)

**【摘 要】 目的** 对二种不同形状的肿瘤靶区设野计算, 比较四种立体放射治疗技术的剂量适形特点和正常组织受照剂量。 **方法** 患者经过 CT 模拟定位后, 行三维治疗计划勾画和计算。二个靶区, 一个小而规则的肿瘤和一个大而不规则的肿瘤。用四种立体放射治疗技术对二靶区进行计算和比较: 1. 旋转治疗 (ARC): 似传统的直线加速器的旋转治疗, 用 3~4 个弧度; 2. 三维适形技术 (3D): 用 6 个非共面固定野治疗; 3. 调强治疗 (IMRTa): 用 5 个共面固定野和多叶光栅调强治疗; 4. IMRTb: 用 6 个非共面固定野和多叶光栅调强治疗。IMRT 由反向治疗计划系统计算。每个靶区和每种技术都经过剂量容积直方图计算。 **结果** 对小而规则的肿瘤, 四种技术的剂量适形度和正常组织的等剂量分布基本相似, IMRTa 相对更加出色。对大而不规则的肿瘤, 在靶区剂量适形度上 IMRTb 表现最好; 在正常组织的高/低剂量分布上 IMRTa 最好。 **结论** 与 ARC 和 3D 相比, 调强技术能提高靶区剂量的适形度和减少正常组织的高/低受照剂量和范围, 用立体放射治疗大而不规则的肿瘤靶区, 调强技术可以提高治疗率。

【关键词】 肿瘤; 立体放射治疗; 调强治疗

【中图分类号】 R815

【文献标识码】 A

## A Comparison of Four Stereotactic Radiotherapy Techniques

YAO Yuan, WU Guo-hua, WU Xu-dong, et al

(Department of Radiation Oncology, Xinhua Hospital, SSMU, Shanghai 200092, China)

**【Abstract】 Objective** The dose conformity and normal tissue isodose characteristics were compared by four stereotactic techniques of radiotherapy for two tumor target shapes. **Methods** Two test targets were constructed and calculated using a 3D treatment planning system after patients received CT simulation. The targets included a small regular tumor and a large irregular tumor. The stereotactic techniques were compared for each target: 1. Arc: 3-4 arcs as used in traditional linear radiotherapy. 2. Conformal therapy (3D): 6 fixed noncoplanar fields. 3. Intensity modulation radiotherapy (IMRT)a: 5 coplanar beams and a multileaf collimator. 4. IMRTb: noncoplanar beams and a multileaf collimator. IMRT were calculated using inversely-planned system. Dose volume histograms were performed for each target/technique combination. **Results** For the small regular tumor, dose conformity and normal tissue isodose distributions were similar in all four techniques, and IMRTa was more favorable than others. For the large irregular tumor, dose conformity was most favorable in IMRTb, and high/low isodose of normal tissue distribution was more favorable than IMRTa. **Conclusion** The intensity-modulated technique may improve dose conformity and decrease the dose for the normal tissue in a high/low isodose region as compared with the ARC and 3D technique. IMRT delivery may increase the therapeutic efficacy in treating large and irregularly shaped targets that were stereotactically defined.

【Key words】 tumor; stereotactic radiotherapy; intensity modulation

以直线加速器为基础的三维立体放射治疗技术

【作者简介】姚 原(1965-), 男, 江苏无锡人, 主治医师, 学士

(SRT)越来越广泛地应用于肿瘤的治疗。传统的立体放射治疗技术用一个或几个旋转弧度和小的圆形

准直器( $\leq 4\text{cm}$ ),是治疗小体积圆形肿瘤的理想装置。如果肿瘤过大或肿瘤形状不规则,则由于周围正常组织的照射量过大限制了这种技术的应用。如果采用多中心技术来治疗,使照射野内剂量很难做到归一,增加了发生并发症的可能。“ $\gamma$ -刀”技术也被认为是 SRT 的一种,它是应用许多  $\text{Co}^{60}$  源聚焦来实行治疗。但是这种装置有其局限性,它的最大照射野直径只有  $16 \sim 18\text{mm}^{[1]}$ 。

适形治疗(conformal therapy)<sup>[2]</sup>在提高肿瘤靶区的照射剂量的同时减少正常组织的照射剂量,在不增加正常组织放射损伤的基础上增加了肿瘤的控制率,是以三维影像为基础的三维治疗计划和适形治疗后的发展。随着放疗设备的发展,出现了在计算机控制下的动态多叶光栅技术,能够实现调强治疗(IMRT)。IMRT<sup>[2]</sup>为不规则的肿瘤放射治疗提供更加精确的适形和剂量分布。本文通过对几种三维立体放射治疗计划的比较,评价它们的物理和剂量的特性及其临床应用范围。

## 材料与方法

二个头面部肿瘤患者用热塑面膜做头架固定,在 CT 模拟机(Picker 公司 PQS)上用  $3\text{mm}$  层厚扫描,然后在 ACQSim 图形工作站上,勾画出肿瘤靶区,再通过网络传输到 CADPLAN (Version 6.1) 治疗计划系统进行计算。一个比较规则的小肿瘤靶区(A 肿瘤靶区)为不能手术的脑部肿瘤患者,肿瘤的最大直径为  $2.9\text{cm}$ ,体积为  $6.7\text{cm}^3$ 。另一个不规则的肿瘤靶区(B 肿瘤靶区)为鼻咽癌局部复发的患者,肿瘤的最大直径为  $6.2\text{cm}$ ,体积为  $24.2\text{cm}^3$ 。然后对二靶区分别做以下几种立体放射治疗技术的计划(非实际的临床治疗计划)。

**旋转治疗(ARC)** 采用三个以上的旋转弧度,均匀分成 3 个角度以上,弧度为  $100^\circ \sim 180^\circ$ 。

**三维适形技术(3D)** 设六个非共面固定野,治疗床分别采用  $0^\circ$  和  $90^\circ$  的角度,每个平面采用三个不同角度的非对穿照射野,用  $1\text{cm}$  宽的多叶光栅(MLC)做适形治疗。

**调强治疗(IMRT)** a 设五个共面固定野,  $360^\circ$  均匀分成五个角度,避免对穿野。b 设六个非共面固定野,治疗床分别采用  $0^\circ$  和  $90^\circ$  的角度,每个平面采用三个不同角度的非对穿照射野。这二种调强治疗

方法都采用 CADPLAN 的三维反向治疗计划系统(Heilos),进行自动计算来确定肿瘤的实际边界。每个照射野均采用 MLC 的平滑移动组成  $100 \sim 300$  个片段(Segment),以实现调强治疗。

用以上四种方法分别对二种不同形状的肿瘤靶区做治疗计划,然后对这四种治疗方法进行治疗参数的比较。

**参数比较** 处方剂量为  $10\text{Gy}$ ,需覆盖  $100\%$  的肿瘤区(GTV)。最高剂量不能出现在 GTV 以外的区域。为了便于比较,在 GTV 外不设任何需要保护的器官,以便能最大限度地优化 GTV 内的剂量分布。然后比较各种治疗方案的以下数据:1. 靶区剂量的均匀度;靶区的最高剂量与最低剂量之比;平均剂量;中位剂量;标准差。并用校正  $t$  检验的方法分别比较二种治疗方法间的均数差别。由于 TPS 的计算点(calculation grid)是  $0.125\text{cm} \times 0.125\text{cm} \times 0.125\text{cm}$ ,因此得到数据样本数 A 肿瘤区内为 3430, B 肿瘤区内为 12300。2. 肿瘤周围正常组织受照面积的比较:  $100\%$  处方剂量体积/靶区体积;  $30\%$  处方剂量体积/靶区体积;  $10\%$  处方剂量体积/靶区体积。并用  $\chi^2$  检验进行比较,是否有统计学意义。

## 结 果

**A 肿瘤靶区的治疗计划比较** 从表 1、2 所示: 1. 靶区剂量均匀性, IMRT(a) 最佳, IMRT(b) 和 ARC 次之, 3D 较差。每二种治疗数据分别比较, 都有显著性差异( $P < 0.001$ )。2.  $100\%$  等剂量曲线与肿瘤靶区的适形性显示, 四种治疗技术的 DVH 曲线差别很小, IMRT 的  $100\%$  剂量曲线容积比较小。对正常组织的低剂量受照体积来说, IMRT(a) 最佳, 但与其他三种技术差别不大。比较每二种治疗数据的各等剂量曲线所占体积与靶区体积之比, 发现均无显著性差异( $P > 0.05$ )。

**B 肿瘤靶区的治疗计划比较** 从表 3、4 所示: 1. 靶区剂量均匀性, IMRT(a) 最佳, ARC 和 IMRT(b) 次之, 3D 较差。每二种治疗数据分别比较, 都有显著性差异( $P < 0.001$ )。2.  $100\%$  等剂量曲线与肿瘤靶区的适形性, IMRT(b) 最佳, IMRT(a) 3D 次之, ARC 最差。对正常组织的低剂量受照体积而言, IMRT(a) 最佳,  $10\%$  的受照体积比 3D 减少一半。比较每二种治疗数据的各等剂量曲线所占体积与靶区

体积之比,发现 IMRT(a)和 3D 比较有显著性差异 ( $P < 0.05$ ),其余均无显著性差异 ( $P > 0.05$ )。

表 1 A 肿瘤靶区内剂量均匀度比较(Gy)

Tab 1 Dose homogeneity in the A tumor target volume(Gy)

	3D	ARC	IMRT(a)	IMRT(b)
Max/min dose	11.3	11.1	10.9	11.4
Mean dose	11.1	10.7	10.3	10.6
Median dose	11.1	10.7	10.3	10.7
S.Dev	0.015	0.021	0.011	0.025

表 2 A 肿瘤照射野内等剂量曲线所占体积/靶区体积

Tab 2 The volume of isodose distribution curve/the volume of A tumor target

	3D	ARC	IMRT(a)	IMRT(b)
100%	2.48	1.98	1.49	1.49
30%	40.3	23.9	30.8	24.9
10%	134	111.9	101.9	124.3

表 3 B 肿瘤靶区内剂量均匀度比较(Gy)

Tab 3 Dose homogeneity in the B tumor target volume(Gy)

	3D	ARC	IMRT(a)	IMRT(b)
Max/min	10.8	11.2	10.6	11.1
Mean dose	10.5	10.9	10.3	10.6
Median dose	10.6	10.9	10.4	10.6
S.Dev	0.013	0.016	0.01	0.013

表 4 B 肿瘤照射野内等剂量曲线所占体积/靶区体积

Tab 4 The volume of isodose distribution curve/the volume of B tumor target

	3D	ARC	IMRT(a)	IMRT(b)
100%	2.33	5.48	3.15	1.78
30%	18.37	37.71	21.94	16.45
10%	71.3	89.1	34.96	57.59

## 讨 论

本文比较各种 SRT 治疗的优劣,帮助医师选择一种更有效、更经济和更适合患者实际情况的治疗方法。

目前认为在治疗某些不规则体积大的肿瘤时,应用 IMRT 与其他 SRT 相比具有明显的优势<sup>[2,3]</sup>。因为 IMRT 能减少正常组织的受照剂量,并可在正常组织中提供一条陡直下降的剂量曲线。IMRT 对所有形状的靶区都有良好的适形性,因为 IMRT 具有自动优化功能,可以修正射线的形状及改善靶区内部剂量的均匀性<sup>[4]</sup>。与现有的 SRT 相比较,IMRT 在治疗不规则肿瘤能形成凹陷的剂量曲线,具有良好的适形性;在治疗比较规则的肿瘤时,可以提高

靶区内的剂量均匀性<sup>[5]</sup>。但是 Meeks 等<sup>[6]</sup>、Peacock 公司的 IMRT 系统与多中心 ARC 技术在治疗小肿瘤(24mm)靶区进行比较时,发现二者在适形性和均匀性上没有明显区别。Hunt<sup>[7]</sup>等人研究了 IMRT 从设五野逐步增加到设十九野的剂量分布情况后认为,增加 IMRT 的照射野数,能够明显降低正常组织的受照剂量和改善靶区剂量的适形性。

在非共面的 SRT 治疗时,虽然可用重建的三维 CT 图像得到三维剂量曲线,但是使用 CT 图像只扫描了病变局部,还需要考虑到没有被 CT 所扫描但受到照射的正常机体组织,并且需尽量避免贯穿整个躯体的射线。比较而言,使用共面的 IMRT 技术可以避免以上的弊端。从表 2、4 可以看到在治疗小体积肿瘤时,共面 IMRT 的治疗中接受 10% 剂量的机体受照体积与靶体积之比与其他技术相差不大。在治疗大而不规则肿瘤时,共面 IMRT 的治疗中接受 10% 剂量的机体受照体积与靶体积之比明显小于其他非共面的治疗。

本组比较结果显示:1.3D 技术在肿瘤靶区的剂量均匀性方面较差,低剂量受照体积较大。但是在肿瘤靶区的适形性上不比 IMRT 差,而且对技术设备的要求较低,治疗费用也低。因此适用于绝大部分肿瘤的常规分割治疗。2.ARC 技术在体积小较规则的肿瘤治疗上,无论在肿瘤剂量的均匀性、适形性和正常组织的受照体积上与 IMRT 相差不大,而且对技术设备的要求低,费用相对较低,因此是一种理想的治疗方法。但是不适用于体积大不规则肿瘤的治疗。3.共面的 IMRT 技术在肿瘤靶区剂量的均匀性、适形性和正常组织低剂量受照体积上都是最好的。只是在不规则大的肿瘤靶区的适形度上稍逊于非共面的 IMRT 技术,其对技术设备的要求高,费用相对较高。4.非共面的 IMRT 技术在肿瘤靶区剂量的适形性及图形的美观性上是最佳的。但是由于其正常组织的低剂量受照体积较大,而且共面 IMRT 的治疗计划已经相当完美。因此一般不应用非共面的 IMRT 技术。

## 【参考文献】

- [1] Robert MC, Stanley HB, Quwen W, et al. A comparison of three stereotactic radiotherapy techniques: arc vs. noncoplanar fixed fields vs. intensity modulation[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 1998, 42:431-436.

(下转第 273 页)

成教学用图。如应用多媒体课件演示激素生化一章中自分泌、旁分泌及内分泌作用机制,使教学效果大大提高。

**交流** 由于多媒体技术在我室的应用刚刚起步,教师根据自己的方法制作多媒体课件,各有千秋。因此学习其他教师制作的多媒体课件即可以开阔眼界,又可以改善自己的课件。除了与本室教师交流,相互学习外,还利用校际交流的机会同外校的教师相互交流。笔者在应用多媒体进行教学时,不断接受学生的反馈意见,对反映较差的多媒体删除重新制作,不断完善制作的课件。笔者除了利用课间休息时间与学生交流,还将自己的 E-mail 地址告诉学生,欢迎他们有问题随时来信询问,并在网上及时给予答复。如有位同学对胆色素循环的内容搞不

清,来信咨询,笔者在回信的同时附上动态的插图,学生在家亦如同在课堂上能看到胆色素的肠肝循环的动态过程,从而使学习更有学习的兴趣和热情。

在生物化学教学中应用多媒体,教师本身在多媒体的制作中对授课内容有了更深刻地理解,而且在制作多媒体和借助网络为教学提供资源的过程中,教师能不断更新自己的知识。本室教师准备联手制作一些含有相关章节插图的多媒体课件并交流,以真正达到资源共享的目的。

目前国外有许多生化的网页,国内四军大制作的生化的网页也为我们提供了许多资料。笔者很想制作适合二医大自身的生化网页,但这是一项很大的工程,若能得到学校和其他教师的支持、帮助和参与,相信二医大会有自己的教学网站。

【收稿日期】2001-04-24

(上接第 262 页)

- [2] Andrea P, Mark C, Frank L, et al. Comparison of intensity-modulated radiotherapy with conventional conformal radiotherapy for complex-shaped tumors[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2000, 48: 1371-1380.
- [3] Ling CC, Burman C, Chui CC, et al. Conformal radiation treatment of prostate cancer using inversely-planned intensity-modulated photon beams with dynamic multileaf collimation[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 1996, 35:721-730.
- [4] Mohan R, Wu Q, Wang X, et al. Intensity modulation optimization, lateral transport of radiation and margins[J]. *Med Phys*, 1993, 20:1231-1239.

- [5] Hunt MA, Hsiung CY, Spirou SV, et al. Evaluation of concave dose distributions created using an inverse planning system[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2000, 48(Suppl 3):133.
- [6] Mueks SL, Dattu JM, Bova FJ, et al. Potential clinical efficacy of intensity modulated conformal therapy[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 1998, 40:483-495.
- [7] Notting CM, Rowbottom C, Grogrove UP, et al. Evaluation of intensity modulated radiotherapy for tumors of the pelvis and head and neck and therapy optimization and clinical implementation[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2000, 48(Suppl 3):139.

【收稿日期】2001-10-10

(上接第 267 页)

# 【参考文献】

- [1] Sittle C, Sittle A, Guntinas LO, et al. Bell's palsy: a 10-year experience with antiphlogistic-rheologic infusion therapy[J]. *Am J Otolaryngol*, 2000, 21:425-432.
- [2] Furuta Y, Ohtani F, Kawabata H, et al. High prevalence of varicella-zoster virus reactivation in herpes simplex virus-seronegative patients with acute peripheral facial palsy[J]. *Clin Infect Dis*, 2000, 30:529-533.
- [3] Strub J, Magistro MK, Delaville J, et al. Facial palsy in cerebral venous thrombosis: transcranial stimulation and pathophysiological considerations[J]. *Stroke*, 2000, 31:1766-1769.
- [4] Cohen Y, Lavi O, Granovsky GS, et al. Bell palsy complicating preg-

- nancy: a review[J]. *Obstet Gynecol Surv*, 2000, 55:184-188.
- [5] Ito K, Shin M, Natsuzaki M, et al. Risk factors for neurological complications after acoustic neuroma radiosurgery: refinement from further experience[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2000, 48:75-80.
- [6] Schaller P, Arnoux A, Laeng R, et al. EBV infection as etiology of otomastoiditis with peripheral facial paralysis in the child[J]. 2000, 116:875-895.
- [7] 沈健.穴位注射硝酸-叶莼碱治疗顽固性面瘫 25 例[J]. *上海针灸杂志*, 1996, 15(3):47.
- [8] 何子龙.穴位注射治疗面瘫[J]. *针灸临床杂志*, 1996, 12(12):52-53.

【收稿日期】2001-11-15