

调强放疗计划中两种不同剂量算法的比较

王磊, 王晓梅, 陈维平, 姚玉娟, 吴建军, 江大华, 崔晓俊

黄山市人民医院放疗科, 安徽 黄山 245000

【摘要】目的:通过比较Xio治疗计划系统中两种不同剂量算法的结果,以指导临床应用。**方法:**随机选择7例鼻咽癌患者的调强放疗计划,这些计划的剂量算法都是快速迭代。在射野方向、权重等设置条件都不变的前提下,改用快速傅里叶变换卷积算法重新优化治疗计划。比较两种剂量算法得到的剂量直方图参数、计划时间、治疗时间和机器跳数,并行配对 t 检验。**结果:**与快速傅里叶变换卷积算法相比,快速迭代算法PTV_{max}的95%覆盖率降低($t=-4.178, P=0.006$),均匀指数降低($t=-1.374, P=0.219$),适形指数增加($t=0.942, P=0.382$);PTV₁的95%覆盖率降低($t=-4.530, P=0.004$),均匀指数不变($t=-0.079, P=0.940$),适形指数变差($t=-1.679, P=0.144$);PTV₂的95%覆盖率降低($t=-4.130, P=0.006$),均匀指数增加($t=2.264, P=0.064$),适形指数降低($t=-2.819, P=0.030$);右腮腺D₃₀降低($t=-0.539, P=0.609$);左腮腺D₃₀降低($t=-1.236, P=0.263$);脊髓D_{1cm³}降低($t=0.622, P=0.557$);脑干D_{max}降低($t=-1.306, P=0.239$);机器总跳数减少($t=-4.790, P=0.000$);Gamma通过率提高($t=-0.601, P=0.560$)。**结论:**与快速傅里叶变换卷积算法相比,快速迭代算法可显著降低危及器官受照剂量、缩短治疗时间。

【关键词】调强放疗计划;快速迭代算法;快速傅里叶变换卷积算法

【中图分类号】R812

【文献标识码】B

【文章编号】1005-202X(2015)03-0401-03

Two different dose calculation algorithms in intensity-modulated radiotherapy planning

WANG Lei, WANG Xiao-mei, CHEN Wei-ping, YAO Yu-juan, WU Jian-jun, JIANG Da-hua, CUI Xiao-jun

Department of Radiation Oncology, Huangshan City People's Hospital, Huangshan 245000, China

Abstract: Objective The results of two different dose calculation algorithms in Xio treatment planning system were compared to instruct the clinical application. **Methods** Seven NPC patients were randomly selected. For these patients, the treatment plans were calculated by Fastsuperposition. Based on these plans, new plans were calculated by FFT convolution, while keeping all the setting conditions unchanged. Comparison was made between the two plans including the dose distribution, the dose volume histogram, the time of optimizations, the time of treatment and number of monitor unit (MU), but were play by pairing- t test. **Results** Compared with the FFT convolution algorithm, PTV_{max} 95% coverage of Fastsuperposition became lower ($t=-4.178, P=0.006$). HI became worse ($t=-1.374, P=0.219$). CI increased ($t=0.942, P=0.382$); PTV₁ 95% coverage of Fastsuperposition became lower ($t=-4.530, P=0.004$). HI have no difference ($t=-0.079, P=0.940$). CI became worse ($t=-1.679, P=0.144$); PTV₂ 95% coverage of Fastsuperposition became lower ($t=-4.130, P=0.006$), HI increased ($t=2.264, P=0.064$), CI became worse ($t=-2.819, P=0.030$); D₃₀ of the right parotid was reduced ($t=-0.539, P=0.609$); D₃₀ of the left parotid was reduced ($t=-1.236, P=0.263$); D_{1cm³} of spine was reduced ($t=0.622, P=0.557$); D_{max} of brainstem was reduced ($t=-1.306, P=0.239$); the monitor unit of machine was decreased ($t=-4.790, P=0.000$); Gamma passing rate became increased ($t=-0.601, P=0.560$). **Conclusion** In comparison with FFT convolution algorithm, Fastsuperposition algorithm reduce the dose of organs at risk, shorten the time of optimization.

Key words: intensity modulated radiotherapy; fastsuperposition algorithm; FFT convolution algorithm

前言

鼻咽癌是我国南方常见的恶性肿瘤,放射治疗是鼻咽癌的主要手段。随着放疗技术的不断发展,

【收稿日期】2015-01-15

【作者简介】王磊(1985-),男,物理师,E-mail: 15212465292@126.com。

三维适形放射治疗(3D Conformal Radiation Therapy, 3DCRT)和调强放射治疗(Intensity Modulated Radiotherapy, IMRT)技术越来越多的在临床中应用。与3DCRT相比, IMRT不但能改善靶区内的剂量均匀性和适形度, 而且还可以减少周围危及器官受照剂量, 增加肿瘤控制率, 降低危及器官的并发症, 改善患者的生存质量^[1]。快速傅里叶变换(FFT)卷积和迭代算法是Xio放射治疗计划系统中4种算法中的两个算法。为此, 笔者选取7例鼻咽癌患者的调强放疗计划, 比较两种算法靶区剂量分布和危及器官接受剂量的差异, 并对两种算法进行剂量验证。

1 材料与方法

1.1 患者选择

随机选取我科室接受调强放射治疗的7例鼻咽癌患者。其中男4例, 女3例, 年龄43岁~69岁(中位数58岁), 采用静态调强放疗。

1.2 治疗计划设计

用头架、U形热塑头膜固定患者, 贴好定位标记, 平静呼吸下行3.2 mm层厚CT扫描, 将CT定位图像传至Xio4.62治疗计划系统。由临床医生勾画GTV_{nx}、GTV_{nd}、CTV₁、CTV₂, 计划靶区(Planning Target Volume, PTV)在CTV₁、CTV₂的基础上外放3 mm形成。勾画危及器官包括脊髓、腮腺、脑干、视神经和视交叉等。所有计划在Xio4.62计划系统中进行设计, 采用6 MV X线均分9野, PTV_{nx}总量70 Gy/30 F, PTV₁总量60 Gy/30 F, PTV₂总量56 Gy/30 F, 要求处方剂量至少覆盖95% PTV, 主要危及器官接受剂量: 脊髓1 cm³体积接受剂量($D_{1\text{ cm}^3}$)≤40 Gy, 腮腺 D_{50} ≤30 Gy, 脑干 D_{max} ≤54 Gy。计划优化完成后, 首先用迭代算法进行计算, 生成剂量体积直方图(Dose Volume Histogram, DVH)。然后再用卷积算法对该计划重新计算, 得出卷积算法的计划及相应的DVH图。

1.3 治疗计划比较

PTV评价95%覆盖率、110%覆盖率、最大剂量点(D_{max}), 均匀性指数(Homogeneity Index, HI)和适行指数(Conformal Index, CI), $HI=D_5/D_{95}$, HI越接近1均匀性越好。CI= $V_{\text{PTV}}/V_{\text{PTV}}$, 其中 V_{PTV} 为参考等剂量线包绕的区域体积, V_{PTV} 为靶体积, CI越接近1适行度越好^[2]; 主要危及器官评价腮腺30%体积接受的剂量(D_{30})、脊髓 D_{max} 、脑干 D_{max} 。比较两种算法得到治疗计划的机器跳数, 比较同一计划不同算法的Gamma(3 mm, 3%)通过率。

1.4 剂量验证

剂量测量系统为IBA公司的IMRT MatriXX点矩阵系统; 分析处理软件为Omnipro I'mRT, 模体为IBA等效固体水(红色)。将MatriXX二维电离室点矩阵置于等效固体水之间, 下面垫5 cm等效固体水, 上面加4.7 cm等效固体水(MatriXX二维电离室点矩阵自身带有0.3 cm建成厚度), 置于CT平板床, 对好中心, 对模体进行扫描, 层厚为3.2 mm, 扫描结果传至TPS, 重建模体。测量前首先对点矩阵进行预热30 min, 再进行200 cGy的预照射, 确保电离室具有稳定的剂量响应; 摆位要求应如建立模体时一样, 下垫5 cm等效固体水, 上加4.7 cm等效固体水, 对准激光灯, 照射野居中。然后进行绝对剂量标定^[3]。将所有调强治疗计划创建为QA计划, 所有机架角度归零, 在西门子加速器下执行两种算法的验证, 用Omnipro I'mRT软件行Gamma(3 mm, 3%)分析。

1.5 统计方法

采用SPSS17.0软件对两种算法结果和验证计划比较行配对 t 检验, $P<0.05$ 为差异有统计意义。

2 结果

2.1 两种算法的治疗计划比较

与快速迭代算法相比, FFT卷积算法等剂量线包绕的PTV更好, 剂量梯度大, 但危及器官受量要高一些, 见表1。

2.2 跳数及Gamma分析比较结果

快速迭代算法比FFT卷积算法的MU要少的多, 更少的治疗时间, Gamma通过率高出2%(表2)。

3 讨论

鼻咽癌调强计划的剂量计算是否准确在于不同算法对射束穿过高密度骨组织的处理能力和处理方式^[4]。FFT卷积和多重网格迭代算法使用类似的物理方法来计算剂量。主要的区别是描写核心程序和储存剂量的方式不同: FFT卷积核都表示在直角坐标系中, 它应用的整个空间保持不变。迭代内核在极坐标表示, 允许更改本地电子密度的变化情况^[5]。

研究发现虽然FFT卷积算法等剂量线包绕的PTV更好, 剂量梯度大, 但危及器官受量要高一些。平均跳数多出30 MU, Gamma通过率降低了2%。这是由于射线穿过骨组织时发生侧向电子失

表 1 7 例鼻咽癌患者调强放疗计划靶区和危及器官受量的两种算法比较 (Gy, $\bar{x}\pm s$)Tab.1 Comparison of target and OAR between two algorithms for intensity-modulated radiotherapy planning of seven NPC patients (Gy, Mean \pm SD)

Target and OAR	Fastsuperposition algorithm	FFT convolution algorithm	<i>t</i>	<i>P</i>
PTV _m (Gy)	77.92 \pm 4.29	78.79 \pm 4.76	-4.178	0.006
HI	1.08 \pm 0.03	1.09 \pm 0.04	-1.374	0.219
CI	1.00 \pm 0.02	0.99 \pm 0.04	0.942	0.382
PTV _i (Gy)	77.92 \pm 4.29	78.83 \pm 4.80	-4.530	0.004
HI	1.20 \pm 0.03	1.20 \pm 0.03	-0.079	0.940
CI	0.98 \pm 0.04	0.99 \pm 0.03	-1.679	0.144
PTV ₂ (Gy)	71.88 \pm 8.69	72.51 \pm 8.72	-4.130	0.006
HI	1.19 \pm 0.07	1.16 \pm 0.05	2.264	0.064
CI	0.97 \pm 0.05	0.99 \pm 0.02	-2.819	0.030
Spine D _{icm} ³ (Gy)	38.11 \pm 1.76	37.92 \pm 1.88	0.622	0.557
Brainstem D _{max} (Gy)	54.46 \pm 6.96	54.84 \pm 7.34	-1.306	0.239
Parotid-R (Gy)	31.31 \pm 3.23	31.40 \pm 3.24	-0.539	0.609
Parotid-L (Gy)	32.29 \pm 5.47	32.61 \pm 5.71	-1.236	0.263

表 2 7 例鼻咽癌患者调强放疗计划 MU 和 Gamma 通过率两种算法比较 ($\bar{x}\pm s$)Tab.2 Comparison of MU and Gamma passing rate between two algorithms for intensity-modulated radiotherapy planning of seven NPC patients (Mean \pm SD)

	Fastsuperposition algorithm	FFT Convolution algorithm	<i>t</i>	<i>P</i>
MU	640.79 \pm 79.19	670.82 \pm 79.29	-4.790	0.000
Gamma(%)	98.52 \pm 0.23	96.52 \pm 0.35	-0.601	0.560

衡,同时调强放疗计划产生大量小面积小野会使侧向电子失衡问题更加严重,从而使射野内剂量降低、射野外剂量增加、射野半影增加、从而影响高剂量区覆盖靶区程度^[6]。

FFT 卷积算法比多重迭代算法快得多,但它不能准确计算射线在组织不均匀性的剂量。快速迭代算法在剂量沉积和相互作用之间比标准方法运用更少的追踪射线来提高计算速度^[7]。FFT 算法在非均匀组织中只考虑沿射线方向上不均匀组织厚度因子,未考虑计算点周围散射线影响。而迭代算法是三维数学模型,它不但考虑计算点所在平面内不均匀组织厚度因子,还考虑所在平面及相邻层面不均匀组织散射对该点剂量影响,并考虑电子侧向失衡问题。因此从理论上讲,迭代算法在计算非均匀组织及其交界面剂量时精度比 FFT 卷积算法要高^[8]。

总之,鼻咽癌调强放疗计划中 FFT 卷积算法高估了靶区剂量,低估了危及器官的剂量,因此推荐使用对不均匀组织处理能力更强的快速迭代算法。

致谢:感谢医科达公司马传坤工程师给予技术支持!

【参考文献】

- [1] 胡逸民. 肿瘤放射物理学[M]. 北京:原子能出版社, 1999: 538-543.
Hu YM. Radiation oncology physics[M]. Beijing: Atomic Energy Press, 1999: 538-543.
- [2] 廖雄飞, Jack Y, Yie C, 等. 调强放疗计划多目标优化算法比较研究[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2013, 22: 305-308.
Liao XF, Jack Y, Yie C, et al. Study on multicriteria optimization of intensity-modulated radiotherapy planning comparing with direct machine parameter optimization [J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2013, 22: 305-308.
- [3] 王 磊, 王晓梅, 姚玉娟, 等. 调强放疗小野小跳数 TPS 计算值与实际测量值间差异的研究[J]. 安徽医学, 2014, 35: 556-558.
Wang L, Wang XM, Yao YJ, et al. Study of the different between the calculation of TPS and the measure of small segment and small monitor unit in IMRT [J]. Anhui Medical Journal, 2014, 35: 556-558.
- [4] 张玉海, 李月敏, 夏火生, 等. 肺癌调强放疗计划 AAA 算法与 PBC 算法比较研究[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2013, 22: 250-252.
Zhang YH, Li YM, Xia HS, et al. Comparison of pencil beam convolution and anisotropic analytical algorithm for intensity-modulated radiotherapy planning of lung cancer[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2013, 22: 250-252.
- [5] Xio IMRT training guide, Elekta CMS software, Stockholm, Sweden: Elekta. Available from: <http://www.cms-stl.com/support/xio.shtml> [EB/OL].
- [6] Christopher MB, Katrina W, John C. Clinical implications of the anisotropic analytical algorithm for IMRT treatment planning and verification[J]. Radiother Oncol, 2008, 86: 276-284.
- [7] Xio IMRT Dose Calculation- FFT Convolution and Multigrad Superposition[C]. 2012. 3-8.
- [8] Carlaprile P, Venencia CD, Besa P. Comparison between measured and calculated dynamic wedge dose distributions using the anisotropic analytic algorithm and pencil-beam convolution [J]. Appl Clin Med Phys, 2006, 8: 47-54.