

## ◆特邀栏目◆

Eclipse 治疗计划系统 NTO 优化工具在脊柱转移瘤立体定向放疗靶区外剂量跌落研究<sup>\*</sup>黎桂华<sup>1</sup>,朱志鹏<sup>1</sup>,郑莲容<sup>1</sup>,黄继钦<sup>1</sup>,张 新<sup>2</sup>,祖之新<sup>2</sup>

(1. 广西医科大学第二附属医院放射治疗科,广西南宁 530007;2. 瓦里安医疗系统公司临床应用支持部,北京 102600)

**摘要:**为研究 Eclipse 治疗计划系统中正常组织目标(Normal Tissue Objective, NTO)优化工具参数,对脊柱转移瘤立体定向放射治疗计划靶区覆盖剂量和靶区外剂量跌落梯度指数(Gradient Index, GI)的影响,本研究对 10 例脊柱转移瘤立体定向放射治疗患者设计两种类型计划。第 1 种添加 NTO 优化工具但不添加环优化条件,共得到 360 个计划,为参考计划;第 2 种添加环优化条件但不添加 NTO 优化条件,总共 10 个计划,为标准计划。所有计划最后剂量归一为 100%处方剂量覆盖 90%靶区体积。比较两种类型计划的靶区剂量适形度指数(Conformity Index, CI)、靶区外剂量跌落梯度指数、靶区最大剂量( $D_{max}$ )、实际治疗时间和计划临床合格率。结果表明,当 NTO 优化工具参数 Fall-off 为 0.5 或者 1, Priority 为 500、700 和 999 时,计划的 GI 值相似( $P>0.05$ ),但是小于其他 Fall-off 和 Priority 的 GI 值( $P<0.05$ ); Fall-off 和 Priority 对 CI 值大小和实际治疗时间没有影响( $P>0.05$ );随着 Priority 增加,计划靶区体积(Planning Target Volume, PTV)  $D_{max}$  增加( $P<0.05$ )。参考计划的临床合格率最高为 70%。与标准计划相比,最合适 NTO 优化工具参数计划(Priority、Fall-off 分别为 500 和 0.5)的 GI 值更低(3.449 vs 3.655,  $P=0.000$ ,  $Z=-5.534$ ),实际治疗时间没有差异(2.65 min vs 2.32 min,  $P=0.063$ ,  $Z=0.832$ ), PTV  $D_{max}$  偏大(132.1% vs 128.8%,  $P=0.002$ ,  $Z=4.214$ ), CI 偏大(0.911 vs 0.879,  $P=0.151$ ,  $Z=0.984$ )。综上所述,在计划可通过情况下,当 NTO 优化工具中参数 Distance from Target Border 设置为 0.2 cm, Start Dose 设置为 91%处方剂量, End Dose 设置为 49.4%处方剂量, Fall-off 和 Priority 分别设置为 0.5 和 500 时,脊柱转移瘤立体定向放疗计划能够实现较好的靶区剂量适形度、更低的剂量梯度指数以及合适的治疗时间。

**关键词:**脊柱转移瘤;正常组织目标优化工具;梯度指数;立体定向放射治疗;治疗计划系统

中图分类号:R730.55 文献标识码:A 文章编号:1005-9164(2023)03-0597-08

DOI:10.13656/j.cnki.gxkx.20230710.019

收稿日期:2022-04-01

修回日期:2022-06-28

\* 广西壮族自治区卫生厅自筹课题(Z20210289)资助。

【第一作者简介】

黎桂华(1978-),男,工程师,主要从事放射物理研究, E-mail:41556401@qq.com。

【引用本文】

黎桂华,朱志鹏,郑莲容,等.Eclipse 治疗计划系统 NTO 优化工具在脊柱转移瘤立体定向放疗靶区外剂量跌落研究[J].广西科学,2023,30(3):597-604.

LI G H, ZHU Z P, ZHENG L R, et al. Study of NTO Tool with Eclipse System in Dose Fall-off Outside the Target of Stereotactic Body Radiation Therapy for Spine Metastasis [J]. Guangxi Sciences, 2023, 30(3): 597-604.

近年来,有许多研究表明立体定向放疗(Stereotactic Body Radiation Therapy, SBRT)能快速缓解肿瘤脊柱转移病人疼痛,提高肿瘤局部控制率,而且能降低副反应<sup>[1-4]</sup>。相比传统模式下的放疗,SBRT治疗时需要其靶区外剂量迅速跌落,以减少对正常组织的伤害<sup>[5,6]</sup>,RTOG 0813<sup>[5]</sup>和RTOG 0915<sup>[6]</sup>对靶区外剂量跌落梯度指数(Gradient Index, GI)定义如下:50%处方剂量体积与计划靶区体积(Planning Target Volume, PTV)的比例,即剂量梯度指数越小,剂量跌落越迅速,正常组织受损程度越小。对于瓦里安加速器,它的治疗计划系统Eclipse带有正常组织目标(Normal Tissue Objective, NTO)优化工具,可以在靶区周围生成较陡峭的剂量跌落区域。然而很少有文献报道关于Eclipse治疗计划系统中脊柱转移瘤SBRT计划的NTO优化工具参数设置。因此,本文通过设置不同NTO优化工具参数,研究不同参数下靶区剂量和剂量梯度指数的差异,以期为使用NTO优化工具进行脊柱转移瘤SBRT计划设计提供一定的数据参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 病例选择

选取2019年1月至2020年10月广西医科大学第二附属医院收治的10例脊椎转移瘤患者。其中男性4人,女性6人,年龄34-62岁,中位年龄46岁。其中乳腺癌转移2例,鼻咽癌转移3例,肝癌转移2例,肺癌转移3例。脊柱转移瘤位置有9例仅在椎体部位,1例在椎体和同侧椎弓根部位。肿瘤位置分别是胸椎T7、T8、T10各一处,胸椎T6和T11各两处,腰椎T12、L1、L2各一处。靶区体积为33.3-185.0 cc,中位大小为54.3 cc,病例入选的标准参考RTOG 0631报告<sup>[7]</sup>。

### 1.2 CT模拟定位

患者体位固定采用自然仰卧位,使用美国CIVCO生产厂家的Body Pro-Lok装置进行病人摆位固定。使用Philips大孔径CT(型号:Brilliance Big Bore)实施定位扫描,层厚3 mm,注射碘造影剂进行增强扫描,扫描至少包括病灶上下各10 cm内范围。扫描后将CT图像数据通过网络传送到瓦里安Eclipse治疗计划系统工作站上。

### 1.3 靶区及危及器官勾画和剂量限值

肿瘤靶区体积(GTV)定义为影像学或病例提示的肿瘤病灶,参考脊柱增强核磁共振(MRI)进行勾

画。PTV为GTV再向各方向均匀外扩0.3 cm,根据脊髓位置适当调整而形成的。危及器官包括脊髓、马尾、食管、气管、双肺、双肾、胃肠等,至少勾画出脊柱病灶上下各10 cm内范围。PTV处方剂量为40 Gy/5次。根据RTOG 0631报告<sup>[7]</sup>和AAPM 101报告<sup>[8]</sup>,要求至少90%的PTV接受100%处方剂量。正常器官限制剂量分别为脊髓最大剂量 $D_{\max} < 30$  Gy,体积限制剂量 $D_{0.35cc} < 23$  Gy,  $D_{1.2cc} < 14.5$  Gy;马尾 $D_{\max} < 32$  Gy,  $D_{5cc} < 30$  Gy;气管 $D_{\max} < 40$  Gy,  $D_{4cc} < 16.5$  Gy;食管 $D_{\max} < 35$  Gy,  $D_{5cc} < 19.5$  Gy;双肺 $D_{1000cc} < 13.5$  Gy,  $D_{1500cc} < 12.5$  Gy;双肾 $D_{200cc} < 17.5$  Gy;胃 $D_{\max} < 32$  Gy,  $D_{10cc} < 18$  Gy;十二指肠 $D_{\max} < 32$  Gy,  $D_{5cc} < 18$  Gy,  $D_{10cc} < 12.5$  Gy;空场/回肠 $D_{\max} < 35$  Gy,  $D_{5cc} < 19.5$  Gy。

### 1.4 计划设计

本研究设计两种类型计划,一种只使用NTO优化工具但不添加环(Ring),为参考计划;另一种只添加环但不使用NTO优化工具,为标准计划。其中标准计划环的设置如下:Ring1距离靶区0 cm, Ring2距离靶区0.2 cm, Ring3距离靶区1 cm。两种类型计划都采用瓦里安Vitalbeam加速器FFF 6MV X线,剂量率为1 400 MU/min。使用两个共面镜像全弧,准直器角度分别为15°和345°。优化计算网格为1.25 mm,算法为AXB。整个受照体积(即Body)限制条件统一如下:Upper dose的Volume为0, Dose为5 200, Priority为500。两种计划的PTV优化限制条件统一如下:Upper dose的Volume为0, Dose为5 200, Priority为200; Lower dose的Volume为100, Dose为4 100, Priority为250。正常器官优化限制条件根据AAPM 101报告<sup>[8]</sup>进行调整, Priority统一为400。标准计划环的限制条件如下:Ring1的Upper dose的Volume为0, Dose为4 300, Priority为500; Ring2的Upper dose的Volume为0, Dose为3 400, Priority为250; Ring3的Upper dose的Volume为0, Dose为1 950, Priority为500。

### 1.5 NTO优化工具参数设置

Eclipse治疗计划系统的NTO优化工具有5个参数。(1) Priority: NTO优化工具在计划优化时的权重大小,可以设置为0-1 000。(2) Distance from Target Border ( $r_{\text{start}}$ ): 系统开始计算剂量跌落区域距离靶区的距离长度(cm)。(3) Start Dose ( $F_0$ ): PTV的最小Upper值,如该靶区无Upper值,则将最大Lower值的105%被认为开始剂量100%。

(4) End Dose ( $F_{\infty}$ ): NTO 最远端剂量值, NTO 优化工具不会对小于此数值的剂量进行剂量罚分。

(5) Fall-off ( $k$ ): 决定 NTO 曲线形状的陡度, 其值越大意味着靶区外剂量越陡峭, 其计算公式为(其中  $r$  为剂量跌落距离)

$$F(r) = \begin{cases} F_0 e^{-k(r-r_{\text{start}})} + F_{\infty} (1 - e^{-k(r-r_{\text{start}})}), & r \geq r_{\text{start}} \\ F_0, & r < r_{\text{start}} \end{cases}$$

本研究对所有参考计划的 Distance from Target Border、Start Dose 和 End Dose 3 个参数进行相同设置, 原因如下。①所有参考计划的 PTV 优化条件是相同的。②参数 Distance from Target Border 设置越小意味着开始计算剂量跌落区域离靶区越小。为保证靶区剂量覆盖, 本研究 Distance from Target Border 统一设置为 0.2 cm。③参数 Distance from Target Border 和 Start Dose 是相互关系, Distance from Target Border 设置越小意味着 Start Dose 需要设置越高。AAPM 101 报告<sup>[8]</sup>中认为 SBRT 计划靶区与脊髓方向之间的剂量梯度可以设置为 1 mm 下降 12% 处方剂量。考虑到靶区外其他方向的剂量梯度, 本研究采用 1 mm 下降 5% 处方剂量, 即 1 mm 下降 200 cGy 的原则, 参数 Start Dose 统一设置为 91% 处方剂量。④本研究剂量跌落指数针对的是靶区外 50% 处方剂量体积大小, 所以参数 End Dose 统一设置为 49.4% 处方剂量, 意味着 NTO 优化工具不会对小于 1 976 cGy 区域进行罚分。参数 Priority 代表了 NTO 优化工具在计划优化时的权重大小, 参数 Fall-off 决定了剂量跌落速度, 因此本研究参数 Priority 设置为 100、200、300、500、700、999, 参数 Fall-off 设置为 0.01、0.10、0.20、0.30、0.50、1.00。每个病人得到 36 个计划, 共得到 360 个计划。

### 1.6 放疗评估指标

所有计划最后剂量归一为 100% 处方剂量覆盖 90% PTV, 放疗计划评估基于 Eclipse 治疗计划系统生成的剂量体积直方图(DVH)。基于本次研究病例的肿瘤位置, 本研究评估参数为靶区剂量适形度指数(Conformity Index, CI), 其表达式为

$$CI = \frac{V_{t,\text{ref}}}{V_t} \times \frac{V_{t,\text{ref}}}{V_{\text{ref}}}$$

式中:  $V_{t,\text{ref}}$  为处方剂量线包绕的靶区体积,  $V_t$  为靶区体积,  $V_{\text{ref}}$  为处方剂量线包绕的所有区域体积。GI

表达式为

$$GI = \frac{V_{50\%,\text{ptv}}}{V_{\text{ptv}}}$$

式中:  $V_{50\%,\text{ptv}}$  为 50% 处方剂量线包绕的所有区域体积,  $V_{\text{ptv}}$  为 PTV 体积。其他评价指标分别为 PTV  $D_{\text{max}}(\%)$ 、机器跳数(MU)、实际治疗时间(加速器出射线时间, 不包括摆位时间)。根据 RTOG 0631 报告<sup>[7]</sup>, 超过靶区 1 cm 区域剂量不能大于 105% 处方剂量, 靶区外 105% 处方剂量体积不能大于 3 cc, 靶区外区域剂量不能大于 110% 处方剂量。根据上述规定以及结合正常组织剂量限制, 本研究所有计划如果超过上述规定或者正常组织限制剂量则被认为不合格计划, 临床合格率(%) =  $\frac{\text{合格计划}}{\text{总计划}} \times 100\%$ 。

### 1.7 计划验证

对每个计划在 Eclipse TPS 中创建 Portal dose 验证计划, 在 Eclipse TPS 的 Portal dosimetry 工具中将电子射野影响装置(Electronic Portal Imaging Device, EPID)测量的图像与 TPS 计算的预测剂量图像进行比对分析。根据 TG218 报告<sup>[9]</sup>和其他报告<sup>[10]</sup>,  $\gamma$  指数采用更严格的 2%/2 mm 标准, 当  $\gamma < 1$  的点数  $> 90\%$  表示计划验证通过。

### 1.8 统计学方法

采用 SPSS 19.0 软件对结果进行统计学处理, 采用 Wilcoxon 检验法评价各指标的差异性, 检验水准  $\alpha = 0.05$ ,  $P < 0.05$  表述差异有统计学意义。

## 2 结果与分析

### 2.1 剂量跌落梯度指数

图 1 显示剂量跌落梯度指数平均值, 其值为 3.429 - 4.219。从图中看出随着 Priority 和 Fall-off 的增大, GI 平均值呈下降趋势。当 Fall-off 为 0.5 或者 1 时, Priority 为 500、700 和 999 的 GI 值趋于相似 ( $P > 0.05$ ), 但小于其他 Priority 和 Fall-off 参数的 GI 值 ( $P < 0.05$ )。标准计划 GI 平均值为 3.655。

### 2.2 适形度指数

图 2 显示靶区剂量适形度指数平均值, 其值为 0.860 - 0.914。从图 2 可以看出 CI 值大小与 Fall-off、Priority 没有对应的下降或者上升趋势, 这意味着 Fall-off 和 Priority 并不影响靶区 CI 值。标准计划 CI 平均值为 0.879。

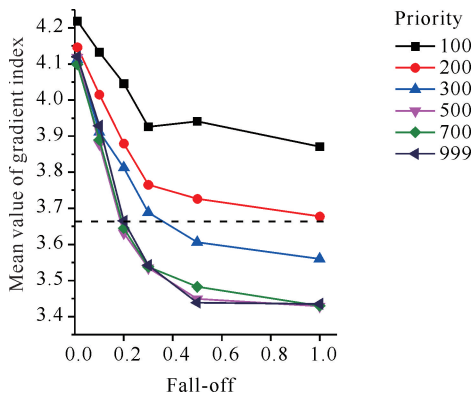


图1 不同 Fall-off 和 Priority 的剂量跌落梯度指数平均值(虚线代表标准计划的剂量跌落梯度指数)

Fig. 1 Mean value of dose drop gradient index from different Fall-off and Priority value (The dotted line represents the dose drop gradient index of the standard plan)

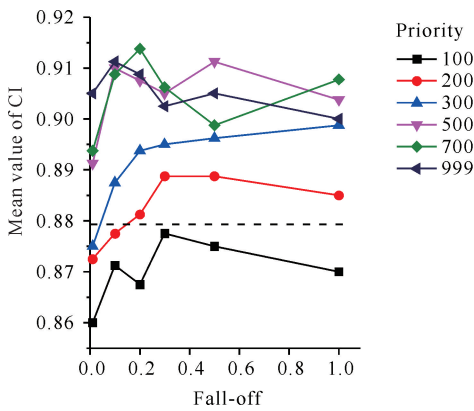


图2 不同 Fall-off 和 Priority 的适形度指数平均值(虚线代表使用标准计划的适形度指数)

Fig. 2 Mean value of conformity index from different Fall-off and Priority (The dotted line represents the conformity index using the standard plan)

### 2.3 机器跳数

图3显示机器跳数平均值,其值为2 626.85 - 3 209.54。其实际治疗时间(指加速器出射线时间,不包括摆位时间)为2.12 - 2.88 min。实际治疗时间并没有明显差异( $P > 0.05$ ),表明 Fall-off 和 Priority 对实际治疗时间没有影响。标准计划机器跳数平均值为2 781.2,实际治疗时间平均值为2.32 min。

### 2.4 PTV $D_{max}$

图4显示 PTV  $D_{max}$  平均值,其值为123.43% - 145.04%。从图中看出随着 Priority 增加,PTV  $D_{max}$  增加( $P < 0.05$ )。标准计划 PTV  $D_{max}$  平均值为128.8%。

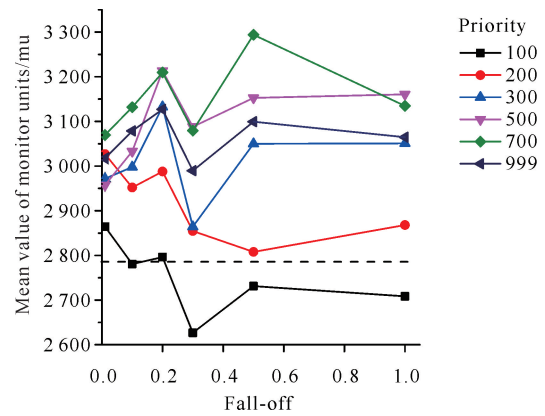


图3 不同 Fall-off 和 Priority 的机器跳数平均值(虚线代表使用标准计划的机器跳数)

Fig. 3 Mean value of monitor units from different Fall-off and Priority (The dotted line represents the monitor unit using the standard plan)

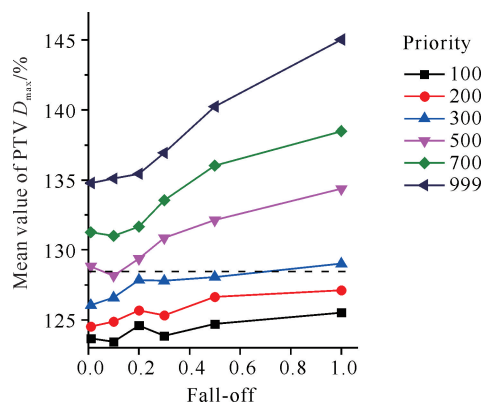


图4 不同 Fall-off 和 Priority 的 PTV  $D_{max}$  平均值(虚线代表使用标准计划的 PTV  $D_{max}$ )

Fig. 4 Mean value of PTV  $D_{max}$  from different Fall-off and Priority (The dotted line represents the PTV  $D_{max}$  using the standard plan)

### 2.5 50%处方剂量分布

图5(a)显示一例 Priority、Fall-off 分别为500和0.5的参考计划的50%处方剂量分布图,图5(b)为一例标准计划的50%处方剂量分布图。从图5可以看出,参考计划的50%处方剂量体积小于标准计划,意味着参考计划靶区外剂量跌落更陡峭。

### 2.6 计划临床合格率及剂量验证通过率

表1显示所有参考计划临床合格率,从表中可以看出所有参考计划最高合格率为70%。所有参考计划剂量验证通过率都大于90%,这表示所有参考计划剂量验证都通过。所有标准计划临床合格率为100%,剂量验证通过率为100%。



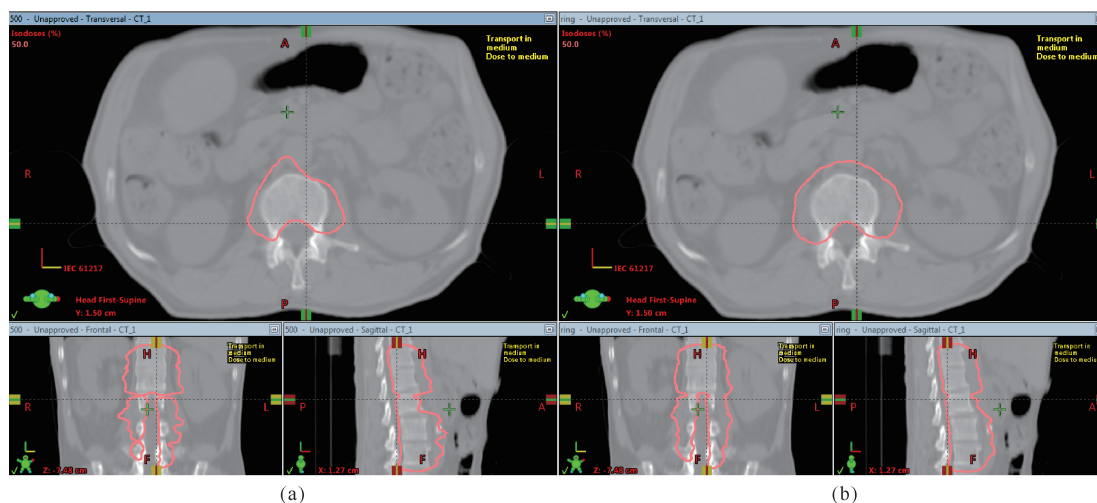


图5 参考计划和标准计划的50%处方剂量分布图

Fig. 5 50% prescription dose distributions of reference plan and standard plan

表1 不同 Fall-off 和 Priority 的参考计划临床合格率

Table 1 Clinical passing rate of reference plan from different Fall-off and Priority

Fall-off	临床合格率/% Clinical passing rate/%					
	Priori-ty = 100	Priori-ty = 200	Priori-ty = 300	Priori-ty = 500	Priori-ty = 700	Priori-ty = 999
0.01	20	30	40	70	60	70
0.10	30	30	70	70	70	70
0.20	20	30	50	50	60	50
0.30	20	40	30	50	70	50
0.50	30	40	50	70	40	30
1.00	0	50	40	30	30	30

### 3 讨论

晚期肿瘤患者常伴有远处转移,而脊柱是恶性肿瘤发生骨转移的最常见部位。骨转移往往导致骨相关事件(Skeletal Related Events, SRE)的发生<sup>[11]</sup>,如严重疼痛、骨折、脊髓受压引起瘫痪等,明显降低患者的生活质量。近年来,许多研究发现立体定向放射治疗可以快速缓解脊柱肿瘤患者的疼痛,并且能提高其局部控制率,降低毒性反应<sup>[12]</sup>。对于立体定向放射治疗,靶区外剂量跌落分布是一个很重要的问题。Lim 等<sup>[13]</sup>对肺部 SBRT 技术研究发现,考虑到肺功能作用,较大范围的靶区外低剂量区域可能造成明显的副作用。Reynolds 等<sup>[14]</sup>研究显示,脑部立体定向放疗计划的 GI 值大小与发生脑部不良反应率直接相关。对于脊柱转移瘤 SBRT 计划,由于靶区与脊髓距离很近,在保证相应的靶区适形度和剂量覆盖

下,更陡峭的剂量梯度(更小的 GI 值)意味着给予脊髓更好的保护。

本研究发现以下结果。①Priority 设置大于等于 500 时, Fall-off 参数值大于等于 0.5 的计划 GI 值相似( $P > 0.05$ ),但小于其他 Priority 和 Fall-off 参数的 GI 值( $P < 0.05$ )。②所有计划的 CI 值和实际治疗时间没有显著性差异( $P > 0.05$ )。③随着 Priority 增加, PTV  $D_{max}$  增加( $P < 0.05$ )。④参考计划合格率最高为 70%,所有参考计划剂量验证通过。因此, Fall-off、Priority 分别设置为 0.5 和 500 最合适,在这种设置下计划的靶区能够实现较好的适形度、更低的剂量梯度指数、较高的计划合格率以及合适的治疗时间。相比标准计划,设置最适 NTO 优化工具参数的参考计划的 GI 值更低(3.449 vs 3.655,  $P = 0.000$ ,  $Z = -5.334$ ),实际治疗时间无显著差异(2.65 min vs 2.32 min,  $P = 0.068$ ,  $Z = 0.832$ ), PTV  $D_{max}$  偏大(132.1% vs 128.8%,  $P = 0.002$ ,  $Z = 4.214$ ), CI 偏大(0.911 vs 0.879,  $P = 0.151$ ,  $Z = 0.984$ ),这表明设置最适 NTO 优化工具参数的参考计划优于设置环计划。标准计划的临床合格率为 100%,大于最适合 NTO 参数计划,这可能是由于标准计划限制了靶区外 110% 处方剂量。

Bell 等<sup>[15]</sup>报道了使用 NTO 优化工具参数设计肺部 SBRT 计划,发现当 Priority 和 Fall-off 两个参数分别设置为 500 和 0.15 时,计划是最合适的。该研究的靶区体积为 5-15.1 cc,并且其靶区距离危及器官较远,所以研究者在设计计划时并没有增加限制危及器官条件,仅仅添加权重分别为 50 和 100 的靶区 Upper dose 和 Lower dose 优化条件。另外,该研

究中靶区 Upper dose 条件设置为处方剂量的 140%, NTO 优化工具中 Distance from Target Border、Start Dose 和 End Dose 参数分别设置为 0.1 cm、100% 和 10%, 这种设置意味着 NTO 优化工具从离靶区 0.1 cm 处开始罚分剂量跌落, 开始罚分剂量为 140% 处方剂量, 停止罚分剂量为 14% 处方剂量。由于本研究的肿瘤位置紧挨着危及器官如脊髓, 在优化计划时必须首先考虑危及器官剂量限制; 而且, 本研究 NTO 优化工具从离靶区 0.2 cm 处开始罚分剂量跌落, 开始罚分剂量为 91% 处方剂量, 停止罚分剂量为 49.4% 处方剂量。这些情况的不同可能导致本研究与 Bell 等<sup>[15]</sup>的研究结果不一样。

本研究为在脊柱转移瘤 SBRT 计划使用 Eclipse 治疗计划系统提供一种相对省时而高效的方法。然而本研究还存在一定的不足, 仍需深入研究。第一, 根据 RTOG 0631<sup>[7]</sup>报告和 Kim 等<sup>[16]</sup>对椎体转移瘤形状定义, 椎体转移瘤位置包括仅椎体/棘突部位、同侧椎弓根和椎体/棘突、双侧椎弓根和椎体/棘突等 3 种部位。本研究的脊柱转移瘤位置有 9 例仅在椎体部位, 1 例包括椎体和同侧椎弓根, 但没有包含双侧椎弓根和椎体/棘突靶区。第二, 为方便研究, 本研究 NTO 优化工具中 Distance from Target Border、Start Dose、End Dose 3 个参数是根据经验以及习惯设置的, 没有进行其他设置研究。第三, 笔者发现不合格参考计划是由于靶区外产生了大于 110% 处方剂量。笔者对一例不合格计划重新优化, 通过限制靶区外最大剂量, 最终计划合格, 这意味着结合环的使用能够提高参考计划合格率。第四, 本研究设置减少靶区外 50% 处方剂量区域的环距离靶区 1 cm, 权重为 500, 在不影响计划合格率、靶区覆盖率和适形度的情况下, 改变环的距离以及优化权重, GI 值是否小于本研究最优 NTO 优化工具参数计划所得出的值, 有待进一步研究。

#### 4 结论

综上所述, 当 NTO 优化工具中参数 Distance from Target Border 设置为 0.2 cm, Start Dose 设置为 91% 处方剂量, End Dose 设置为 49.4% 处方剂量, Fall-off 和 Priority 分别设置为 0.5 和 500 时, 脊柱转移瘤立体定向放疗计划能够实现较好的靶区适形度、更低的剂量梯度指数、合适的治疗时间以及较高的合格率。

#### 声明

本研究无任何利益冲突。

#### 参考文献

- [1] BALAGAMWALA E H, ANGELOV L, KOYFMAN S A, et al. Single-fraction stereotactic body radiotherapy for spinal metastases from renal cell carcinoma [J]. *Journal of Neurosurgery: Spine*, 2012, 17(6): 556-564. DOI:10.3171/2012.8.SPINE12303.
- [2] CHAO S T, KOYFMAN S A, WOODY N, et al. Recursive partitioning analysis index is predictive for overall survival in patients undergoing spine stereotactic body radiation therapy for spinal metastases [J]. *International Journal of Radiation Oncology • Biology • Physics*, 2012, 82(5): 1738-1743. DOI: 10.1016/j.ijrobp.2011.02.019.
- [3] KATSOULAKIS E, JACKSON A, COX B, et al. A detailed dosimetric analysis of spinal cord tolerance in high-dose spine radiosurgery [J]. *International Journal of Radiation Oncology • Biology • Physics*, 2017, 99(3): 598-607. DOI:10.1016/j.ijrobp.2017.05.053.
- [4] KOYFMAN S A, DJEMIL T, BURDICK M J, et al. Marginal recurrence requiring salvage radiotherapy after stereotactic body radiotherapy for spinal metastases [J]. *International Journal of Radiation Oncology • Biology • Physics*, 2012, 83(1): 297-302. DOI: 10.1016/j.ijrobp.2011.05.067.
- [5] BEZJAK A, PAULUS R, GASPAR L E, et al. Efficacy and toxicity analysis of NRG Oncology/RTOG 0813 trial of Stereotactic Body Radiation Therapy (SBRT) for centrally located non-small cell lung cancer (NSLLC) [J]. *International Journal of Radiation Oncology • Biology • Physics*, 2016, 96(2): S8. DOI: 10.1016/j.ijrobp.2016.06.035.
- [6] VIDETIC G, PAULUS R, SINGH A, et al. Long-term follow-up on NRG Oncology RTOG 0915 (NCCTG N0927): a randomized phase 2 study comparing 2 stereotactic body radiation therapy schedules for medically inoperable patients with stage I peripheral non-small cell lung cancer [J]. *International Journal of Radiation Oncology • Biology • Physics*, 2019, 103(5): 1077-1084. DOI:10.1016/j.ijrobp.2018.11.051.
- [7] RYU S, PUGH S L, GERSZTEN P C, et al. RTOG 0631 phase 2/3 study of image guided stereotactic radiosurgery for localized (1-3) spine metastases: phase 2 results [J]. *Practical Radiation Oncology*, 2014, 4(2): 76-81. DOI:10.1016/j.prro.2013.05.001.

- [8] BENEDICT S H, YENICE K M, FOLLOWILL D, et al. Stereotactic body radiation therapy; the report of AAPM Task Group 101 [J]. *Medical Physics*, 2010, 37 (8): 4078-4100. DOI:10.1118/1.3438081.
- [9] MIFTEN M, OLCH A, MIHAILIDIS D, et al. Tolerance limits and methodologies for IMRT measurement-based verification QA: recommendation of AAPM Task Group No. 218 [J]. *Medical Physics*, 2018, 45 (4): e53 - e83. DOI:10.1002/mp.12810.
- [10] PARK J L, PARK J M, KIM J, et al. Gamma-index method sensitivity for gauging plan delivery accuracy of volumetric modulated arc therapy [J]. *Physica Medica*, 2015, 31 (8): 1118-1122. DOI:10.1016/j.ejmp.2015.08.005.
- [11] BARTELS R H M A, VAN DER LINDEN Y M, VAN DER GRAAF W T A. Spinal extradural metastasis: review of current treatment options [J]. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*, 2008, 58 (4): 245-259. DOI:10.3322/CA.2007.0016.
- [12] SPRATT D E, BEELER W H, DE MORAES F Y, et al. An integrated multidisciplinary algorithm for the management of spinal metastases; an International Spine Oncology Consortium report [J]. *The Lancet Oncology*, 2017, 18 (12): e720 - e730. DOI: org/10.1016/S1470-2045(17)30612-5.
- [13] LIM D H, YI B Y, MIRMIRAN A, et al. Optimal beam arrangement for stereotactic body radiation therapy delivery in lung tumors [J]. *Acta Oncologica*, 2010, 49(2):219-224. DOI:10.3109/02841860903302897.
- [14] REYNOLDS T A, JENSEN A R, BELLAIRS E E, et al. Dose gradient index for stereotactic radiosurgery/radiation therapy [J]. *International Journal of Radiation Oncology • Biology • Physics*, 2020, 106(3):604-611. DOI:10.1016/j.ijrobp.2019.11.408.
- [15] BELL J P, PATEL P, HIGGINS K, et al. Fine-tuning the normal tissue objective in eclipse for lung stereotactic body radiation therapy [J]. *Medical Dosimetry*, 2017, 43(4):344-350. DOI:10.1016/j.meddos.2017.11.004.
- [16] KIM J, KIM M, WOO J, et al. Stereotactic body radiation therapy for metastatic spine tumors: helical tomotherapy achieved high conformity for multiple lesions [J]. *International Journal of Radiation Oncology • Biology • Physics*, 2012, 84 (3): S810. DOI:10.1016/j.ijrobp.2012.07.2167.

## Study of NTO Tool with Eclipse System in Dose Fall-off Outside the Target of Stereotactic Body Radiation Therapy for Spine Metastasis

LI Guihua<sup>1</sup>, ZHU Zhipeng<sup>1</sup>, ZHENG Lianrong<sup>1</sup>, HUANG Jiqin<sup>1</sup>, ZHANG Xin<sup>2</sup>, ZU Zhixin<sup>2</sup>

(1. Department of Radiation Oncology, The Second Affiliated Hospital of Guangxi Medical University, Nanning, Guangxi, 530007, China; 2. Clinical Application Department of Varian Medical Systems, Inc., Beijing, 102600, China)

**Abstract:** In order to study the effects of Normal Tissue Objective (NTO) optimization tool parameters in Eclipse treatment planning system on target coverage dose and dose drop Gradient Index (GI) outside target volume in Stereotactic Body Radiotherapy Therapy (SBRT) for spinal metastases, two types of plans were designed for 10 patients with spinal metastases treated with SBRT. The first one adds NTO optimization tool but does not add loop optimization conditions, and a total of 360 plans are obtained, which are reference plans. The second one adds loop optimization conditions but does not add NTO optimization conditions. There are 10 plans in total, which are standard plans. The final dose of all plans is normalized to 100% prescription dose covering 90% of the target volume. The target dose Conformity Index (CI), the dose drop GI, the maximum

dose ( $D_{\max}$ ), the actual treatment time and the planned clinical qualification rate of the two types of plans were compared. The results show that when the NTO optimization tool parameter Fall-off is 0.5 or 1, the Priority is 500, 700 and 999, the GI value of the plan is similar ( $P > 0.05$ ), but smaller than other Fall-off and Priority GI values ( $P < 0.05$ ). Fall-off and Priority have no effect on CI value and actual treatment time ( $P > 0.05$ ). With the increase of Priority, the Planning Target Volume (PTV)  $D_{\max}$  increases ( $P < 0.05$ ). The highest clinical qualified rate of the reference plan was 70%. Compared with the standard plan, the GI value of the most suitable NTO optimization tool parameter plan (Priority and Fall-off were 500 and 0.5, respectively) was lower (3.449 vs 3.655,  $P = 0.000$ ,  $Z = -5.534$ ), the actual treatment time was not different (2.65 min vs 2.32 min,  $P = 0.063$ ,  $Z = 0.832$ ), and the PTV  $D_{\max}$  was larger (132.1% vs 128.8%,  $P = 0.002$ ,  $Z = 4.214$ ). CI was larger (0.911 vs 0.879,  $P = 0.151$ ,  $Z = 0.984$ ). In summary, if the plan can be passed, when the NTO optimization tool parameter Distance from Target Border is set to 0.2 cm, Start Dose is set to 91% of the prescription dose, End Dose is set to 49.4% of the prescription dose, Fall-off and Priority are set to 0.5 and 500 respectively, the stereotactic radiotherapy plan for spinal metastases can achieve better target dose conformity, lower dose gradient index and appropriate treatment time.

**Key words:** spine metastasis; normal tissue objective optimization tools; gradient index; stereotactic body radiation therapy; treatment planning system

责任编辑:米慧芝



微信公众号投稿更便捷

联系电话:0771-2503923

邮箱:gxxk@gxas.cn

投稿系统网址:<http://gxxk.ijournal.cn/gxxk/ch>