

## 螺旋断层调强放疗进行全中枢神经系统照射时不同部位靶区外放的临床研究

张伟, 郝福奎, 张彦新, 李谭谭, 李伟, 黄鹏, 胡志辉, 覃仕瑞, 门阔, 罗京伟

国家癌症中心/国家肿瘤临床医学研究中心/中国医学科学院北京协和医学院肿瘤医院放疗科, 北京 100021

**【摘要】目的:**分析使用螺旋断层加速器 TOMO 进行全中枢神经系统放疗的患者的 MVCT 图像,以颅骨、颈椎、胸椎、腰椎和整体靶区( $PTV_{ROI}$ )为感兴趣区分别进行图像配准和摆位误差统计,计算各感兴趣区的靶区外放。**方法:**回顾性分析中国医学科学院肿瘤医院 2016 年~2020 年使用 TOMO 行全中枢神经系统放疗的 16 例患者的 154 套 MVCT 图像,分别以颅骨、颈椎、胸椎、腰椎和  $PTV_{ROI}$  进行配准,统计不同部位靶区的摆位误差数据,得到 5 组包含左右(X)方向、头脚(Y)方向、腹背(Z)方向的摆位误差数据,比较颅骨、颈椎、胸椎、腰椎和  $PTV_{ROI}$  是否有差异,并应用公式  $M=2.5\sigma+0.7\sigma$  分别计算不同部位的临床靶区到计划靶区的外放边界。**结果:**在 X 方向上的两两比较中,颅骨 vs 颈椎,差异有统计学意义( $P=0.023$ ),其余各组比较均无显著性差异;Y 方向上的两两比较均未显示有显著性差异;而在 Z 方向上, $PTV_{ROI}$  vs 颅骨、 $PTV_{ROI}$  vs 胸椎,无显著性差异,其他组两两比较, $PTV_{ROI}$  vs 颈椎( $P<0.001$ )、 $PTV_{ROI}$  vs 腰椎( $P<0.001$ )、颅骨 vs 颈椎( $P=0.007$ )、颅骨 vs 胸椎( $P=0.017$ )、颅骨 vs 腰椎( $P<0.001$ )、颈椎 vs 胸椎( $P<0.001$ )、颈椎 vs 腰椎( $P<0.001$ )、胸椎 vs 腰椎( $P<0.001$ ),差异有统计学意义。**结论:**使用 TOMO 行全中枢神经系统放疗,Y 方向的靶区外放差异较小,X 和 Z 方向的靶区外放边界从头到腰椎呈递增趋势,建议在中枢的不同位置采取不同的 PTV 外放策略。

**【关键词】**全中枢神经系统放疗;螺旋断层调强放疗;摆位误差;靶区外放

**【中图分类号】**R811

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2022)11-1334-05

## Margin expansions of different regions of interest in craniospinal irradiation using helical tomotherapy

ZHANG Wei, HUAN Fukui, ZHANG Yanxin, LI Tantan, LI Wei, HUANG Peng, HU Zhihui, QIN Shirui, MEN Kuo, LUO Jingwei

Department of Radiation Oncology, National Cancer Center/National Clinical Research Center for Cancer/Cancer Hospital, Chinese Academy of Medical Sciences and Peking Union Medical College, Beijing 100021, China

**Abstract: Objective** To carry out image registration and setup error analysis with skull, cervical spine, thoracic vertebra, lumbar vertebra and the whole planning target volume (PTV) in MVCT images of patients treated by craniospinal radiotherapy using helical tomotherapy (TOMO) as regions of interest ( $S_{ROI}$ ,  $C_{ROI}$ ,  $T_{ROI}$ ,  $L_{ROI}$ ,  $PTV_{ROI}$ , respectively), and to calculate the margin expansion of each ROI. **Methods** A total of 154 sets of MVCT images of 16 patients who received craniospinal radiotherapy using TOMO in Cancer Hospital, Chinese Academy of Medical Sciences from 2016 to 2020 were analyzed retrospectively. The skull, cervical spine, thoracic spine, lumbar spine and planning target volume were registered separately. The setup errors of different regions were recorded, and 5 groups of setup errors including X (left-right), Y (superior-inferior) and Z (anterior-posterior) directional setup errors were obtained to analyze the difference among  $S_{ROI}$ ,  $C_{ROI}$ ,  $T_{ROI}$ ,  $L_{ROI}$  and  $PTV_{ROI}$ , and the formula  $M=2.5\sigma+0.7\sigma$  was applied to calculate the CTV-PTV margin of each ROI. **Results** The differences in X directional setup errors between any two groups were trivial, except for  $S_{ROI}$  vs  $C_{ROI}$  ( $P=0.023$ ); and the Y directional setup errors in any two groups were close. The comparison of Z directional setup error showed that there were statistically significant differences in  $PTV_{ROI}$  vs  $C_{ROI}$  ( $P<0.001$ ),  $PTV_{ROI}$  vs  $L_{ROI}$  ( $P<0.001$ ),  $S_{ROI}$  vs  $C_{ROI}$  ( $P=0.007$ ),  $S_{ROI}$  vs  $T_{ROI}$  ( $P=0.017$ ),  $S_{ROI}$  vs  $L_{ROI}$  ( $P<0.001$ ),  $C_{ROI}$  vs  $T_{ROI}$  ( $P<0.001$ ),  $C_{ROI}$  vs  $L_{ROI}$  ( $P<0.001$ ),  $T_{ROI}$  vs  $L_{ROI}$  ( $P<0.001$ ), but not in  $PTV_{ROI}$  vs  $S_{ROI}$ ,  $PTV_{ROI}$  vs  $T_{ROI}$ . **Conclusion** In craniospinal irradiation using TOMO, the difference in Y directional PTV margin

**【收稿日期】**2022-05-16

**【基金项目】**国家自然科学基金(11975313)

**【作者简介】**张伟,主要从事图像引导放射治疗研究,E-mail: zhangwei0312@163.com

**【通信作者】**覃仕瑞,E-mail: shiruok@126.com

expansion is insignificant, but the X and Z directional margin expansions show an increasing trend from head to lumbar spine. It is suggested that different PTV margin expansion strategies should be adopted at different craniospinal regions.

**Keywords:** craniospinal irradiation; helical tomotherapy; setup error; target volume margin expansion

前言

全中枢神经系统放疗(Craniospinal Irradiation, CSI)主要用于髓母细胞瘤、生殖细胞瘤、室管膜瘤等经脑脊液播散的恶性肿瘤。靶区长度通常达到60 cm以上,最大长度可达160 cm<sup>[1-2]</sup>,常规加速器只能通过多个照射野衔接解决照射范围不足的问题,容易造成剂量的热点和冷点,而螺旋断层放射治疗系统(Helical Tomotherapy, HT)的照射野范围可达到40 cm×160 cm,避免了超长靶区射野衔接的剂量不确定性<sup>[3-4]</sup>。目前,螺旋断层调强放疗已广泛应用于CSI,颈、胸、腰等靶区距离等中心越来越远,在实际放疗时的摆位误差可能随着治疗床的步进而有所变化。本研究分析实际治疗时不同部位的摆位误差,比较摆位误差的差异,并分别计算靶区外放范围,以期为临床提供参考。

1 材料与方法

1.1 病例选择

回顾性选取2016年11月~2020年1月在中国医学科学院肿瘤医院进行螺旋断层调强放疗的患者,入组标准:①能够接受CSI的患者,签署《放疗知情同意书》;②放疗靶区包括头、颈、胸、腰骶部等;③CBCT扫描长度包括头、颈、胸、腰骶部,且扫描次数3次以上;④在TOMO加速器接受放疗;⑤依从性良好,能够保持体位30 min以上。排除标准:①CBCT扫描未能全部包含头、颈、胸、腰骶部等部位;②因幽闭恐惧等精神因素不能进入TOMO治疗孔内;③因病情进展等原因,不能配合或保持体位。

1.2 体位固定及CT模拟定位

所有患者均取仰卧位,双手置于体侧,使用全碳素纤维头颈肩架(CIVCO, 美国)摆位辅助装置,根据患者颈部曲度选择合适的头枕,头颈肩热塑膜(科莱瑞迪, 广州)固定。自由平静呼吸状态下接受CT模拟定位扫描(Philips Brilliance Big Bore, 荷兰;或者Siemens SOMATOM Definition AS 40, 德国),扫描层厚和层距均为3 mm,扫描范围从颅顶到骶骨末端。

1.3 靶区勾画和计划设计

将CT模拟定位机采集的影像通过MOSAIQ网络系统(Elekta, 瑞典)传输至Tomotherapy计划系统(Ver2.1.2, Accuray, 美国)医生工作站进行靶区勾画,

由物理师制定治疗计划,经临床医生批准审核后,再次通过MOSAIQ网络系统传输到螺旋断层调强放疗加速器(Tomotherapy, TOMO, 美国),剂量验证通过后即可实施治疗。

1.4 图像引导和摆位误差记录

对患者进行摆位固定后图像扫描,参考国家癌症中心发布的《放射治疗质量控制基本指南》的要求<sup>[5]</sup>,治疗前进行兆伏级锥形束CT(Megavoltage Cone Beam CT, MV-CBCT)位置验证,采用第1周连续3~5次,随后每周1次的扫描策略或者每日行MV-CBCT扫描。扫描条件选取机器预设Coarse扫描模式,扫描层厚为3 mm,扫描范围为全中枢神经系统,扫描完成后进行自动配准并人工调整确认,记录各方向上的摆位误差数据。回顾图像时,由同一治疗师分别以颅骨(S<sub>ROI</sub>)、颈椎(C<sub>ROI</sub>)、胸椎(T<sub>ROI</sub>)、腰椎(L<sub>ROI</sub>)和整体靶区(PTV<sub>ROI</sub>)进行自动配准和手动调整(图1),配准参数选择为Bone Technique, Super fine resolution, Translations,分别记录不同部位靶区的摆位误差数据。

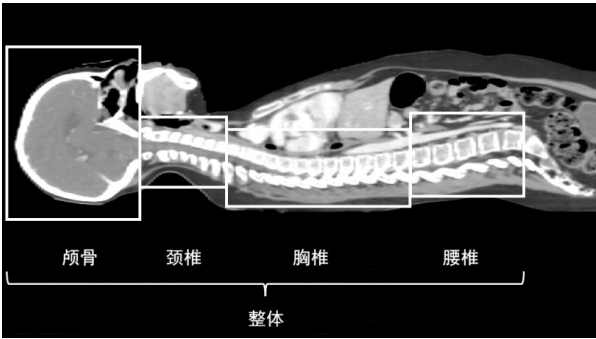


图1 各感兴趣区域和配准范围

Figure 1 Registration clipbox of each region of interest (ROI)

1.5 摆位误差统计和计划靶区(Planning Target Volume, PTV)外扩边界计算

由于TOMO加速器床板在治疗过程中步进并下沉,经首次治疗会系统记录并纠正沉降这一机制,在统计数据时剔除首次治疗的摆位误差数据后,分析并比较不同部位3个方向(左右方向X,头脚方向Y,腹背方向Z)的摆位误差。根据Van Herk等<sup>[6-7]</sup>的研究计算公式 $M=2.5\Sigma+0.7\sigma$ 分别计算出相应靶区配准所得患者的临床靶区(Clinical Target Volume, CTV)

扩至 PTV 时各方向的外放边界,保证患者 90% 的 CTV 能够达到 95% 以上的处方剂量,其中, $\Sigma$ 为系统摆位误差(个体患者误差平均值的标准差); $\sigma$ 为随机摆位误差(个体患者误差标准差的均方根)。

1.6 统计学方法

应用 IBM SPSS Statistics 22.0 软件分析 X、Y 和 Z 方向摆位误差的差异,组间比较采用秩和检验, $P<0.05$  为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 临床特征

共入组 16 名 CSI 病例,其中男性 10 名,女性 6 名,平均年龄 25.5 岁(5~60 岁)。KPS 评分 60~90 分。平均体质量指数(Body Mass Index, BMI) 19.7 kg/m<sup>2</sup> (14.7~26.9 kg/m<sup>2</sup>)。所有病例均经病理确诊,其中,髓母细胞瘤 6 例、中枢转移癌 4 例、右脑室脉丛癌 2

例、髓上皮瘤 1 例、神经内分泌瘤 1 例、不成熟畸胎瘤 1 例、松果体母细胞瘤 1 例。平均 PTV 长度 75.2 cm (60.8~86.3 cm)。

2.2 摆位误差分布

按照 PTV、颅骨、颈椎、胸椎和腰椎分别配准之后,左右(X)方向平移误差超过 3 mm 的比例分别为 11.69%、12.34%、18.83%、35.71%、48.70%,超过 5 mm 的比例分别为 0.65%、1.95%、3.25%、16.23%、29.87%;头脚(Y)方向平移误差超过 3 mm 的比例分别为 16.88%、12.99%、13.64%、20.78%、19.48%,超过 5 mm 的比例分别为 3.25%、1.95%、2.60%、3.25%、3.25%;腹背(Z)方向平移误差超过 3 mm 的比例分别为 5.84%、12.99%、24.03%、12.99%、38.96%,超过 5 mm 的比例分别为 2.60%、1.95%、8.44%、1.30%、21.43%。平移误差具体分布箱型图见图 2。

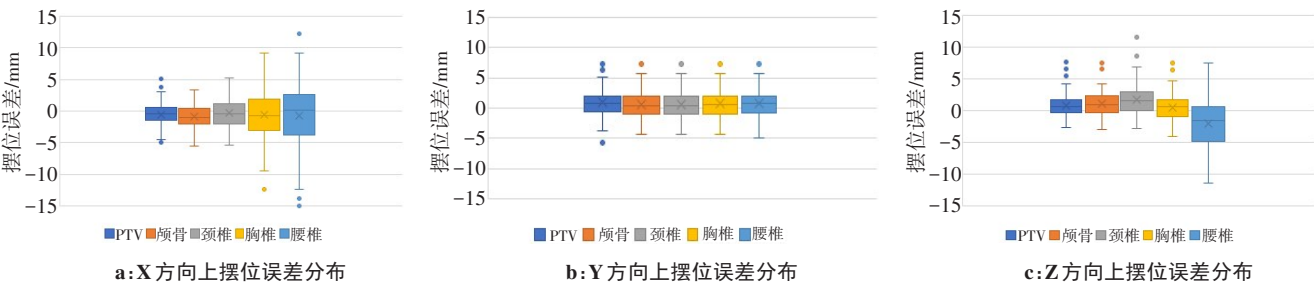


图2 PTV<sub>ROI</sub>、颅骨、颈椎、胸椎、腰椎分别配准后 X、Y、Z 方向上误差分布箱型图  
Figure 2 Box-plot of three-dimensiaonal setup errors of PTV<sub>ROI</sub>, skull, cervical spine, thoracic vertebra, lumbar vertebra

2.3 摆位误差和靶区外放

根据摆位误差,按照公式  $M=2.5\Sigma+0.7\sigma$  分别计算出以不同感兴趣区域配准所得患者的 CTV 扩至 PTV 时各方向的外放边界,如表 1 所示。

2.4 不同部位靶区的摆位误差比较

分别比较各方向上不同部位靶区所得摆位误差,采用秩和检验,结果显示,在左右(X)方向上的两两比较中,颅骨和颈椎相比,差异有统计学意义( $P=0.023$ ),其余各组比较均无显著性差异;头脚(Y)方向上的两两比较,差异均无统计学意义;而在腹背(Z)方向上的两两比较,PTV<sub>ROI</sub> 和颅骨、PTV<sub>ROI</sub> 和胸椎无显著性差异,除此以外的其他组两两比较,差异有统计学意义。见表 2。

3 讨论

本研究对进行 CSI 的原发脑肿瘤患者不同部位的靶区分别计算 PTV 外放边界,结果显示,在左右方向和腹背方向上,从头部依次到颈椎、胸椎和腰椎所需的 PTV 外放边界逐渐增大,采用统一的外放边界

表 1 16 例全中枢神经系统放疗患者的摆位误差和靶区外放边界  
Table 1 Setup errors and target volume margin expansions in 16 patients receiving craniospinal irradiation

感兴趣区域	方向	$\Sigma$ /mm	$\sigma$ /mm	外放边界/mm
PTV <sub>ROI</sub>	X	1.3	1.3	4.0
	Y	1.5	1.5	4.9
	Z	0.9	1.2	3.0
颅骨	X	1.4	1.2	4.4
	Y	1.6	1.4	4.9
	Z	1.2	1.4	4.0
颈椎	X	1.7	1.6	5.3
	Y	1.6	1.4	5.0
	Z	1.4	1.8	4.7
胸椎	X	2.7	2.4	8.3
	Y	1.6	1.7	5.2
	Z	1.3	1.6	4.2
腰椎	X	3.1	3.8	10.3
	Y	1.6	1.7	5.1
	Z	2.8	2.1	8.4

表 2 各感兴趣区域摆位误差的  $P$  值比较  
Table 2  $P$  value obtained in the comparison of  
the setup errors between different ROI

指标	X	Y	Z
颅骨 vs PTV <sub>ROI</sub>	0.057	0.239	0.237
颈椎 vs PTV <sub>ROI</sub>	0.485	0.154	0.000*
胸椎 vs PTV <sub>ROI</sub>	0.899	0.311	0.203
腰椎 vs PTV <sub>ROI</sub>	0.382	0.498	0.000*
颅骨 vs 颈椎	0.023*	0.795	0.007*
颅骨 vs 胸椎	0.410	0.909	0.017*
颅骨 vs 腰椎	0.099	0.673	0.000 *
颈椎 vs 胸椎	0.390	0.730	0.000 *
颈椎 vs 腰椎	0.891	0.499	0.000 *
胸椎 vs 腰椎	0.704	0.748	0.000*

\*表示  $P<0.05$

不能满足临床要求,尤其是腰骶部变化较大,靶区外放的大小在左右和腹背方向能达到整体靶区的两倍以上,统一的靶区外放策略必将导致靶区和危及器官剂量的不确定性。

传统的全中枢放疗采用俯卧位,治疗时间长,舒适度低,体位重复性差<sup>[8-9]</sup>,尽管采用了半野照射和非共面照射等技术<sup>[10-11]</sup>,拼接野技术仍然极易造成衔接区域剂量投照不确定<sup>[12-14]</sup>。而使用 TOMO 进行单中心全中枢放疗,患者采用的体位为仰卧位,舒适性、重复性和精确性均有所提高<sup>[15-16]</sup>。但全中枢神经系统过长的靶区可能导致不同部位的摆位误差存在差异,使用 TOMO 进行全中枢放疗 PTV 外放策略目前临床上仍未达到一致结论<sup>[17]</sup>。Al-Wassia 等<sup>[18]</sup>对于 TOMO 的 CSI 在每日行 MVCT 的情况下推荐了统一的外放边界为 3 mm。Novak 等<sup>[19]</sup>的研究推荐在脑部位置执行 5~7 mm 的 PTV 外放,在脊髓位置执行 10 mm 的 PTV 外放。对于全中枢照射的长靶区,结合 TOMO 在升降床方向存在沉降的特点,考虑靶区各段的误差差异是必要的<sup>[20]</sup>。

本研究分析了 CSI 患者的整体摆位误差数据,以及不同部位靶区分别配准的摆位误差数据。左右方向和腹背方向的摆位误差从头部到腰椎呈“喇叭筒”样增大,头脚方向的摆位误差保持稳定。左右方向和腹背方向的摆位误差逐渐增大是由旋转误差导致的,有文献报道 1° 的旋转误差在距离等中心 15 cm 处可导致 2.6 mm 的位置偏差,而 2° 的旋转误差则可导致 5.2 mm 的位置偏差<sup>[21]</sup>。同一次分次内不同部位的靶区采用不同的配准标志分别配准,头脚方向的摆位误差的算术平均值、系统误差和随机误差的数值近

似,差异均未达到统计学差异( $P>0.05$ ),说明操作者在进行不同感兴趣区配准时有良好的标准一致性。以整体配准的摆位误差计算所得 PTV 外放边界介于以头部配准和以颈椎配准的计算结果之间,且外放边界从头至腰椎呈渐大的趋势。在腹背方向上,除了 PTV<sub>ROI</sub> 和颅骨、PTV<sub>ROI</sub> 和胸椎比较无显著性差异,其他按各区域配准的摆位误差对比组两两比对都具有显著性差异,说明 TOMO 床步进过程中的沉降对 CSI 的误差大小有影响,其中对腰椎的影响更明显。

综上所述,使用 TOMO 以头颈肩固定架为固定方式进行 CSI 时,不同的治疗区域(头、颈、胸、腰骶部)应采用不同的靶区外放策略,同一区域在患者的左右和腹背方向也应采取不同的靶区外放策略,头脚方向的靶区外放是一致的。

【参考文献】

[1] 程晓龙, 陈祥, 刘吉平, 等. 全脑全脊髓螺旋断层放疗体位固定技术的优化及应用研究[J]. 实用肿瘤杂志, 2019, 34(4): 348-352.  
Cheng XL, Chen X, Liu JP, et al. Optimization of position fixing in craniospinal irradiation with helical tomotherapy [J]. Journal of Practical Oncology, 2019, 34(4): 348-352.

[2] 徐英杰, 胡志辉, 黄鹏, 等. TomoDirect 技术在全脑全脊髓放疗中的应用[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2015, 35(6): 445-448.  
Xu YJ, Hu ZH, Huang P, et al. Application of TomoDirect for craniospinal irradiation[J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 2015, 35(6): 445-448.

[3] 杨美玲. 全中枢放射治疗的进展[J]. 医学综述, 2014, 20(2): 276-279.  
Yang ML. Progress in the treatment of caraniospinal radiotherapy[J]. Medical Recapitulate, 2014, 20(2): 276-279.

[4] 文婷, 李志强, 张晋建, 等. 改进全脑全脊髓螺旋断层放射治疗计划的研究[J]. 中国医学物理学杂志, 2012, 29(6): 3737-3741.  
Wen T, Li ZQ, Zhang JJ, et al. Craniospinal irradiation using improved helical tomotherapy: evaluation of clinical feasibility [J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2012, 29(6): 3737-3741.

[5] 国家肿瘤诊疗质控中心放疗质控专家委员会. 放射治疗质量控制基本指南[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2018, 27(4): 335-342.  
Committee of Quality Control in Radiotherapy, National Cancer Diagnosis and Treatment Quality Control Center. Basic guidelines of quality control for radiotherapy [J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2018, 27(4): 335-342.

[6] Van Herk M. Errors and margins in radiotherapy[J]. Semin Rasiat Oncol, 2004, 14(1): 52-64.

[7] Van Herk M, Remeijer P, Rasch C, et al. The probability of correct target dosage: dose-population histograms for deriving treatment margins in radiotherapy[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2000, 47(4): 1121-1135.

[8] 吴雷. 全脑全脊髓放疗的体位固定技术[J]. 临床军医杂志, 2007, 35(3): 476-477.  
Wu L. Fixation technique for craniospinal irradiation [J]. Clinical Journal of Medical Officer, 2007, 35(3): 476-477.

[9] 李珠明, 崔玉琴. 全脑全脊髓照射仰卧位 CT 模拟定位技术[J]. 中国医学物理学杂志, 2006, 23(1): 16-17.  
Li ZM, Cui YQ. Location technology of radiotherapy for all of the brain and spine with supine position by CT simulation [J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2006, 23(1): 16-17.

[10] 杨波, 杨伟强, 孔旭东, 等. 全脑全脊髓转床半野照射技术的临床应用[J]. 中国医学物理学杂志, 2012, 29(6): 3752-3754.  
Yang B, Yang WQ, Kong XD, et al. The clinical application of the technique as rotating couch and half beam for craniospinal irradiation [J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2012, 29(6): 3752-3754.

[11] 杨金磊, 吴丹, 卜明伟, 等. 全中枢照射技术新探索[J]. 中国医学物

- 理学杂志, 2012, 29(3): 3354-3357.
- Yang JL, Wu D, Bu MW, et al. Novel exploration of craniospinal radiotherapy technique [J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2012, 29(3): 3354-3357.
- [12] 刘志杰, 朱小东, 杨海明, 等. 不同全脑全脊髓放疗方式的剂量学比较及摆位误差对靶区的影响[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2014, 34(7): 526-529.
- Liu ZJ, Zhu XD, Yang HM, et al. The dosimetric comparison of different craniospinal irradiation plans and impact of setup error on target dose distribution [J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 2014, 34(7): 526-529.
- [13] 杨玉刚, 齐洪志, 许林, 等. 适形与调强野衔接技术在儿童全中枢神经系统放疗中的应用价值[J]. 中国医学物理学杂志, 2016, 33(7): 678-682.
- Yang YG, Qi HZ, Xu L, et al. Application value of conformal and intensity modulated field convergence technique for craniospinal irradiation of children [J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2016, 33(7): 678-682.
- [14] 单冬勇, 曹科, 宾石珍, 等. 鼻腔NK/T细胞淋巴瘤行全脑全脊髓照射的放疗计划设计[J]. 中国医学物理学杂志, 2016, 33(2): 177-180.
- Shan DY, Cao K, Bin SZ, et al. Design of intensity-modulated radiotherapy plan for multi-target, multi-center and multi-stage [J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2016, 33(2): 177-180.
- [15] 曲宝林, 徐寿平, 戴相昆, 等. 全中枢神经系统螺旋断层放射治疗初探[J]. 军医进修学院学报, 2008, 29(2): 137-139.
- Qu BL, Xu SP, Dai XK, et al. Research of helical tomotherapy for craniospinal radiation [J]. Academic Journal of PLA Postgraduate Medical School, 2008, 29(2): 137-139.
- [16] Klaus H, Florian S, Gregor H, et al. Craniospinal irradiation using helical tomotherapy for central nervous system tumors [J]. J Radiat Res, 2017, 58(2): 238-246.
- [17] Tejpal G, Maheshkumar U, Zubin M, et al. Assessment of three-dimensional set-up errors using megavoltage computed tomography (MVCT) during image-guided intensity-modulated radiation therapy (IMRT) for craniospinal irradiation (CSI) on helical tomotherapy (HT) [J]. Technol Cancer Res Treat, 2015, 14(1): 29-36.
- [18] Al-Wassia R, Bahig H, Poon E, et al. Daily setup uncertainty analysis for craniospinal irradiation using helical tomotherapy [J]. Pract Radiat Oncol, 2013, 3(4): 349-355.
- [19] Novak J, Li R, Amini A, et al. Setup accuracy in craniospinal irradiation: implications for planning treatment volume margins [J]. Int J Radiat Oncol, 2019, 105(1S): E695.
- [20] 孙显松, 周兵, 张宇, 等. 螺旋断层调强放射治疗床沉降规律的测量和计算公式的拟合[J]. 中国医学装备, 2019, 16(6): 37-41.
- Sun XS, Zhou B, Zhang Y, et al. The measurement of decline rule of tomo therapy couch and fitting of the calculation formula [J]. China Medical Equipment, 2019, 16(6): 37-41.
- [21] 张彦新, 戴建荣, 易俊林, 等. 应用EPID分析头颈部肿瘤调强放疗的摆位误差[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2008, 17(1): 39-42.
- Zhang YX, Dai JR, Yi JL, et al. Analyzing setup error with electron portal images device for head and neck tumors treated with intensity modulated radiation therapy [J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2008, 17(1): 39-42.

(编辑: 薛泽玲)