

• 临床经验与技术交流 •

鼻咽癌调强放疗计划中脊髓分区限制剂量的研究

龚逸灵, 郭明[△], 林欣茹, 戈伟强, 张建英

201114 上海, 复旦大学附属耳鼻喉科医院 放疗科(龚逸灵、郭明、林欣茹); 200040 上海, 复旦大学附属华东医院 放疗科(戈伟强); 200032 上海, 复旦大学附属中山医院 放疗科(张建英)

[摘要] 目的: 研究鼻咽癌调强放疗计划设计时, 如何在确保肿瘤靶区剂量的同时, 利用分区限制剂量保护脊髓的方法降低脊髓剂量。方法: 选取 100 例不同 T 分期的鼻咽癌患者, 根据离靶区距离远近, 将脊髓分区勾画感兴趣区域, 并分别给出剂量限制优化条件, 设计出满足临床需求的调强放疗计划。结果: 按 T 分期进一步研究, 各分期均值的 95% 置信区间上限分别为 2 473cGy、2 606cGy、2 624cGy 和 2 956cGy, 相应的终身累计剂量余量分别为 3 377cGy、3 244cGy、3 226cGy 和 2 894cGy, 未达或接近脊髓终身累计剂量限制的 1/2。结论: 通过分区限制剂量保护脊髓的方法可以有效降低脊髓最大剂量, 减轻脊髓放射性损伤, 提高患者生活质量, 并为鼻咽癌复发再程放疗留有足够的脊髓余量。

[关键词] 分区限制剂量; 脊髓放射损伤; 复发鼻咽癌; 调强放疗

[中图分类号] R739.62; R730.55 **[文献标志码]** A doi:10.3969/j.issn.1674-0904.2019.10.011

引文格式: Gong YL, Guo M, Lin XR, et al. Limited dose of intensity modulated radiation therapy in spinal cord for nasopharyngeal carcinoma [J]. J Cancer Control Treat, 2019, 32(10):925-929. [龚逸灵, 郭明, 林欣茹, 等. 鼻咽癌调强放疗计划中脊髓分区限制剂量的研究[J]. 肿瘤预防与治疗, 2019, 32(10):925-929.]

Limited Dose of Intensity Modulated Radiation Therapy in Spinal Cord for Nasopharyngeal Carcinoma

Gong Yiling, Guo Ming, Lin Xinru, Ge Weiqiang, Zhang Jianying

Department of Radiotherapy, Eye & ENT Hospital of Fudan University, Shanghai 201114, China (Gong Yiling, Guo Ming, Lin Xinru); Department of Radiotherapy, Huadong Hospital Affiliated to Fudan University, Shanghai 200040, China (Ge Weiqiang); Department of Radiotherapy, Zhongshan Hospital, Shanghai 200032, China (Zhang Jianying)

Corresponding author: Guo Ming, E-mail: gmk2003@126.com

[Abstract] **Objective:** To study the feasibility of an intensity modulated radiation therapy (IMRT) plan when treating nasopharyngeal carcinoma, by limiting dose to protect the spinal cord, while ensuring enough dose in the tumor target area. **Methods:** Totally 100 nasopharyngeal carcinoma patients in different T stages were selected for this study. We partitioned the spinal cord and delineated the areas of interest according to their distances from the target area. Then we imposed dose limit optimization conditions to each area and designed an IMRT plan that meets clinical needs. **Results:** In each stage, the upper limit of 95% confidence interval for the spinal cord were 2,473cGy, 2,606cGy, 2,624cGy and 2,956cGy, and the remain lifetime cumulative dose were 3,377cGy, 3,244cGy, 3,226cGy, 2,894cGy, less than or close to half of the lifetime cumulative dose for spinal cord. **Conclusion:** Partitioning the spinal cord to limit dosage use to protect the spinal cord can effectively reduce the maximum dose used, therefore reduce the radiation damage to the spinal cord. As a result, this improves the life quality of patients and also leaves sufficient spinal cord margin for radiotherapy for recurrent nasopharyngeal carcinoma.

[Key words] Dose limits for subregions; Radiation damage to the spinal cord; Recurrent nasopharyngeal carcinoma; Intensity modulated radiotherapy

鼻咽癌是中国南方以及东南亚地区的一种常见

头颈部恶性肿瘤,因解剖位置、病理分化程度及生物学行为特殊,通过手术手段根治困难。但其病理类型多为低分化鳞癌,对放射治疗较为敏感,故放射治

[收稿日期] 2018-11-02 **[修回日期]** 2019-08-13

[通讯作者] [△]郭明, E-mail: gmk2003@126.com

疗为鼻咽癌的主要治疗手段。鼻咽癌肿瘤靶区大且不规则,易向周围组织浸润,脑干与上段颈脊髓等重要器官也易受到射线的影响,导致放射性损伤^[1-5]。随着调强放疗(intensity modulated radiation therapy, IMRT)技术的广泛应用,鼻咽癌的局控率和生存率有了明显提升,但鼻咽癌放射性损伤的发生率随患者生存期延长而上升,并且还随着照射剂量的增加而增加。在 IMRT 时代,鼻咽癌的局部复发率为 10%~15%,除边缘清晰的小病灶复发可行手术切除,再程的调强放疗仍然是复发鼻咽癌的主要治疗手段,而危及器官的剂量限制与保护也显得尤为重要^[6-7]。脊髓为放射敏感组织,上颈段脊髓与靶区相邻较近,放射性损伤一旦出现,治疗方法有限且预后较差,研究表明放射性脊髓损伤与剂量相关,脊髓剂量增加,损伤的风险会增大^[8-9]。本文研究在保证靶区剂量及不影响其它正常组织耐受剂量的同时,通过限制脊髓最大剂量不高于 5 850cGy 的一半,进一步降低脊髓最大剂量,为复发鼻咽癌再程放疗留有更多的脊髓余量,降低放射性损伤的发生概率。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选取 2016 年至 2018 年在本院首次放疗的鼻咽癌患者 100 例,低分化鳞癌占 13%、未分化非角化性癌占 67%、其它病理类型占 20%。采用 2010 年第七版头颈部肿瘤分期美国癌症联合会标准分期,其中 T1 期 25 例, T2 期 25 例, T3 期 25 例, T4 期 25 例。

1.2 定位及处方

调强放疗患者采用仰卧位,利用热可塑面膜固定头颈肩部。由美国 GE 公司 HiSpeed 型 CT 模拟定位机进行 CT 扫描,并传输至荷兰飞利浦公司 Pinnacle 9.8 治疗计划系统。所有病例均按照《2010 鼻咽癌调强放疗靶区及剂量设计指引专家共识》的建议下勾画大体肿瘤靶区(gross tumor volume, GTV;包括 GTVnx 和 GTVnd)、临床靶区(clinical target volume, CTV)、计划靶区(planning target volume, PTV)以及正常组织,并在原有脊髓的勾画基础上,将脊髓按颈椎进行分段勾画,分别命名为 SPC1(第一颈椎脊髓)、SPC2(第二颈椎脊髓)、SPC3(第三颈椎脊髓)、SPC4(第四颈椎直至照射野结束层面的脊髓段)、SPC_all(第一颈椎直至照射野结束层面的脊髓段)。参考《2010 鼻咽癌 IMRT 靶区及剂量设计指引专家共识》,结合临床需求给予放疗处方:GTV1

剂量在 6 600cGy~7 100cGy(212~225cGy/次,5 次/周),GTV2 剂量 6 300cGy~7 000cGy(190~220cGy/次,5 次/周),CTV1(原发灶附近 CTV)剂量 5 700~6 200cGy(190~200cGy/次,5 次/周),CTV2(上颈 CTV)5 400~5 580cGy(180cGy/次,5 次/周)^[10-11]。

1.3 计划设计

采用美国瓦瑞安 Trilogy 型 120 叶多叶准直器(multi-leaf collimator, MLC)直线加速器 6MV 射线治疗,设置共面 9 野等夹角布野,机架角度分别为 200°、240°、280°、320°、0°、40°、80°、120°、160°,MLC 运动方式为 step and shot,采用直接子野优化方式进行计划优化。

分区限制剂量保护脊髓的方法:参考《IMRT 计划优化参数中听觉器官分区限制剂量研究》,为了尽量降低脊髓剂量,将脊髓分区并加以剂量限制。脊髓外扩 5mm 生成计划脊髓,再用计划脊髓分别减去 PTV 外放 7mm 和 10mm 的区域,分别命名为 PSP 2500 和 PSP 1500,并给予优化条件 PSP 2500 小于 2 500cGy, PSP 1500 小于 1 500cGy,在靶区剂量与危及器官剂量达到临床要求之后,我们另外将脊髓与 2 500cGy 的等剂量曲线相交的部分选取出来,定义为 sp 2500,给予优化条件,sp 2500 小于 2 500cGy,再次进行优化。

1.4 计划评估

参照《2010 鼻咽癌 IMRT 靶区及剂量设计指引专家共识》结合临床,医生对调强计划的剂量分布和剂量体积直方图评估靶区剂量和各危器官受照剂量,要求大体肿瘤计划靶区(plan gross tumor volume, PGTV)、临床计划靶区(planning clinical target volume, PCTV) < 95% 处方剂量的体积小于 1%,且 ≥ 110% 处方剂量的体积小于 10%^[10]。调强射野范围内脊髓段层面所包含的危及器官主要关注下颌骨最大剂量、腮腺平均剂量、口腔平均剂量和喉平均剂量。

1.5 统计方法

采用 SPSS 19.0 对各颈椎段脊髓最大剂量进行数据分析和样本检验, $P < 0.05$ 时认为差异有统计学意义, $P < 0.01$ 时认为差异显著。

2 结果

2.1 100 例患者各颈椎脊髓最大剂量均值

SPC1、SPC2、SPC3、SPC4 及 SP_all 的最大剂量均值分别为(2 522 ± 361.9) cGy、(2 242 ± 365.4)

cGy、(2 009 ± 274. 6) cGy、(1 895 ± 223. 8) cGy、(2 532 ± 358. 7) cGy; 中位值分别为 2 447cGy、2 152cGy、1 927cGy、1 832cGy、2 447cGy; 均值的 95% 置信区间上限分别为 2 597cGy、2 313cGy、2 064cGy、1 937cGy、2 605cGy。参考香港尤德夫人

东方医院, 脊髓保护采用终身累计剂量限制, 本研究的各颈椎脊髓最大剂量均值、中位值、95% 可信区间上限均未达到脊髓终身累计剂量限制的一半。与 SPC1 和 SPC2 比较, SPC3 和 SPC4 脊髓最大剂量均值标准差较小, 离散程度较小(表 1)。

表 1 100 例患者各颈椎脊髓最大剂量均值

Table 1. Mean Maximum Dose Applied to Cervical Spinal Cords of 100 Patients

Variable	N	Mean (cGy)	Standard deviation (cGy)	Standard error of mean (cGy)	Median (cGy)	95% confidence interval	
						Lower	Upper
SPC1 Ddmax	100	2,522	361.9	36.4	2,447	2,456	2,597
SPC2 Ddmax	100	2,242	365.4	36.6	2,152	2,171	2,313
SPC3 Ddmax	100	2,009	274.6	27.0	1,927	1,960	2,064
SPC4 Ddmax	100	1,895	223.8	22.5	1,832	1,853	1,937
SPC_all Ddmax	100	2,532	358.7	36.1	2,447	2,465	2,605

2.2 各颈椎脊髓最大剂量比较

相邻颈椎脊髓最大剂量差异分别为 280. 4cGy、232. 7 cGy 和 114. 1 cGy; 差异百分比分别为 11. 1%、

10. 4% 和 5. 7%; P 值均小于 0. 01, 差异有统计学意义(表 2)。由第一颈椎起, 各颈椎脊髓最大剂量依次递减。

表 2 各颈椎脊髓最大剂量比较

Table 2. Maximum Dose Applied to Each Cervical Spinal Cord

Spinal cord	Mean (cGy)	Percentage difference	Standard error of mean (cGy)	P
SPC1 Ddmax-SPC2 Ddmax	280.4	11.1%	24.7	<0.001
SPC2 Ddmax-SPC3 Ddmax	232.7	10.4%	23.8	<0.001
SPC3 Ddmax-SPC4 Ddmax	114.1	5.7%	17.1	<0.001

2.3 100 例患者的上颈段脊髓最大剂量按 T 分期分析

参考香港尤德夫人东方医院, 脊髓保护采用终

身累计剂量限制, 本研究的各 T 分期鼻咽癌的第一颈椎脊髓最大剂量均值、均值的 95% 置信区间上限均未达到脊髓终身累计剂量限制的一半(表 3)。

表 3 不同 T 分期的上颈段脊髓最大剂量的均值比较及脊髓终身累计剂量限制余量

Table 3. Mean Maximum Dose Applied to the Cervical Upper Spinal Cord in Different T Stages and Remain Lifetime Cumulative Dose of the Spinal Cord

T stage	N	Mean maximum dose for the upper spinal cord (cGy)	Standard deviation (cGy)	95% confidence interval		Remain lifetime cumulative dose for spinal cord (cGy)
				Lower	Upper	
T1	25	2,387	217.5	2,302	2,473	3,377
T2	25	2,498	274.6	2,390	2,606	3,244
T3	25	2,506	271.1	2,405	2,624	3,226
T4	25	2,738	516.3	2,562	2,956	2,894

2.4 100 例患者脊髓层面的危及器官剂量

其中腮腺的平均剂量均值为(3042. 5 ± 583. 6)

cGy, 喉平均剂量均值为(2 960. 9 ± 532. 8) cGy, 口腔平均剂量均值为(2 986. 5 ± 297) cGy(表 4)。

表 4 100 例患者危及器官受照情况

Table 4. Exposure of 100 Patients' Organ at Risk

Variable	N	Mean (cGy)	Standard deviation (cGy)	Standard error of mean (cGy)	Median (cGy)	95% confidence interval	
						Lower	Upper
Mean dose in parotid gland	100	3,042.5	583.6	42.5	2,923.3	2,967.2	3,130.8
Mean dose in larynx	100	2,960.9	532.8	52.6	2,999.3	2,852.3	3,065.8
Mean dose in oral cavity	100	2,986.5	297.0	29.6	2,948.7	2,927.3	3,043.9

3 讨论

本研究结果显示, 上颈段脊髓各分期 95% 置信

区间上限分别为 2 473cGy、2 606cGy、2 624cGy 和 2 956cGy; 参考《复发鼻咽癌治疗专家共识》中限制最为严格的香港尤德夫人医院给出脊髓终身最大耐

受剂量 5 850cGy, 相应的终身累计剂量余量分别为 3 377cGy、3 244cGy、3 226cGy、2 894cGy。《复发鼻咽癌治疗专家共识》指出复发鼻咽癌中 50% ~ 72% 为野内复发, 边缘复发和野外复发较少; 文献报道鼻咽癌再程放疗剂量为 60 ~ 70Gy 与大于 70Gy 的局部区域控制率无明显差别^[12-17]。基于上述两点, 当再程放疗靶区范围和处方剂量不大于首程放疗时, 采用本研究的方法设计的鼻咽癌首程放疗调强计划和再程放疗调强计划的脊髓总剂量可以低于脊髓终身限制剂量 5 850cGy, 从而降低脊髓放射损伤发生率, 有效保护脊髓。并且在再程放疗时, 根据首程放疗脊髓剂量的余量, 可根据临床需求适当提高肿瘤靶区剂量。在复发鼻咽癌放疗中, 采用本研究方法可以有效保护脊髓。

本研究中, SPC1、SPC2、SPC3、SPC4 及 SPC_all 的最大剂量均值分别为 (2 522 ± 361.9) cGy、(2 242 ± 365.4) cGy、(2 009 ± 274.6) cGy、(1 895 ± 223.8) cGy、(2 532 ± 358.7) cGy。根据《2010 鼻咽癌调强放疗靶区及剂量设计指引专家共识》, 当分割剂量为 2Gy 时, 脊髓照射的总剂量为 50Gy、60Gy 和 69Gy 时, 脊髓病的发生率分别为 0.2%、6.0% 和 50.0%^[7], 脊髓受照射的总剂量越高, 放射性脑脊髓病的发生率越高^[18-21]。本研究中, 鼻咽癌首程放疗脊髓最大剂量均值低于相关的文献报道脊髓最大剂量 3 432 ~ 4 526cGy^[22-29], 有效地降低了脊髓受照剂量, 减少放射性脊髓病的发病率。

本研究根据脊髓与靶区的距离远近, 分成不同脊髓区域, 并分别给予剂量限制, 符合剂量学特性, 从而使治疗计划系统优化有效达到目标参数要求, 有效地控制各段脊髓最大剂量, 颈段脊髓从上往下各脊髓段的脊髓最大剂量的均值、中位值以及均值的 95% 置信区间的上限是递减的。并且在本研究收集的 100 例病例中, 88% 的病例脊髓最大剂量均值落在了第一脊髓段, 12% 病例的脊髓最大剂量均值落在第二脊髓段, 因此我们着重关注紧邻原发灶的第一和第二颈椎段内的脊髓受照剂量。

按 T 分期研究, 从 T1 到 T4 分期, 上颈段脊髓最大剂量均值、中位值和均值的 95% 置信区间上限依次递增, T1、T2、T3 期脊髓的余量较首次放疗的脊髓剂量多, 均大于脊髓终身累计剂量 5 850cGy 的一半; T4 分期内有一例脊髓靠近靶区, 因此脊髓的余量略低于脊髓终身累计剂量的一半。T1、T2、T3 分期间第一颈椎脊髓最大剂量均值差异不大, 且不具有统计学意义。这可能与本研究采用的分区限制剂

量保护脊髓的方法, 并未根据脊髓与肿瘤靶区 (GTVnx 和 GTVnd) 及 CTV 与 PTV 的位置关系和处方剂量进行量化研究, 也未能建立各 T 分期影响脊髓最大剂量的特征因素及相应脊髓剂量关联, 所以不能体现出各 T 分期脊髓剂量的差异, 有待后续继续研究。同时由于 GTVnd (颈部转移淋巴结) 病灶位置、临床因素等原因, 不确定因素较多, 故本文并未对 N 分期差异保护脊髓进行研究分析, 也有待后续研究。

鼻咽癌的放疗可选技术有调强放射治疗、容积调强放疗和螺旋断层调强放射治疗系统等。在满足靶区剂量的同时, 给予不同的优化条件会得到不同的结果。从相关的文献报道, 可知在直线加速器上 IMRT 和容积旋转调强放疗计划中脊髓最大剂量大致为 3 432 ~ 4 526cGy^[22-29], 本文采用 IMRT 技术, 较文献报道的脊髓剂量更低。同时文献报道螺旋断层放疗计划中的脊髓最大剂量均值大致为 2 868.9 ~ 3 716.0cGy^[30-33], 本研究脊髓最大剂量为 (2 532 ± 358.7) cGy, 已与报道中螺旋断层放疗计划的接近, 改进空间可能有限, 待后续进一步研究。

本研究中, 脊髓所在层面的腮腺平均剂量的均值为 (3 042.5 ± 583.6) cGy、喉平均剂量均值为 (2 960.9 ± 532.8) cGy、口腔平均剂量均值为 (2 986.5 ± 297) cGy, 与相关文献报道的腮腺平均剂量为 2 608 ~ 3 401cGy、喉平均剂量为 2 665 ~ 3 985cGy、口腔平均剂量为 2 654 ~ 4 170cGy^[25-26, 29-30, 34], 剂量相似。

综上所述, 鼻咽癌治疗以放疗为主要治疗手段, 首次放疗或再程放疗中, 因射线照射引起的放射性脊髓病, 使患者的生活质量受到影响。通过脊髓分区限制剂量的方法, 在保证靶区剂量的前提下, 在首次放疗和再程放疗中将脊髓的最大剂量限制的足够低, 同时不会增加脊髓层面其他危及器官的剂量, 降低了放射性脊髓病的发生率, 使患者接受治疗之后的生活质量得到改善。

作者声明: 本文全部作者对于研究和撰写的论文出现的不端行为承担相应责任; 并承诺论文中涉及的原始图片、数据资料等已按照有关规定保存, 可接受核查。

学术不端: 本文在初审、返修及出版前均通过中国知网 (CNKI) 科技期刊学术不端文献检测系统的学术不端检测。

同行评议: 经同行专家双盲外审, 达到刊发要求。

利益冲突:所有作者均声明不存在利益冲突。

文章版权:本文出版前已与全体作者签署了论文授权书等协议。

[参考文献]

- [1] 李永红,刘文明. 同步推量调强放疗治疗鼻咽癌的近期疗效、毒副作用和中期预后分析[J]. 现代中西医结合杂志,2018,(27):3047-3050.
- [2] 翟安军. 初治鼻咽癌患者调强放疗与传统常规放疗的效果[J]. 临床合理用药杂志,2018,(5):145-146.
- [3] 张静秋,黄叶才,兰美,等. 年轻成年鼻咽癌调强放疗临床疗效及预后分析[J]. 肿瘤预防与治疗,2018,(2):117-122.
- [4] 罗燕容,蔡博宁,马林. 局部晚期鼻咽癌化疗进展[J]. 医学研究杂志,2018,(3):12-16.
- [5] 张晓丽,戴晓波. 鼻咽癌的放化综合治疗进展[J]. 重庆医学,2007(19):1974-1976.
- [6] 赵海鹰,李思维. 复发鼻咽癌综合治疗及其进展[J]. 实用医学杂志,2018,(5):691-693,697.
- [7] 中国抗癌协会鼻咽癌专业委员会,林少俊,陈晓钟,等. 复发鼻咽癌治疗专家共识[J]. 中华放射肿瘤学杂志,2018,(1):16-22.
- [8] 韩冰,葛利本,郭洪斌,等. 40 例鼻咽癌常规放疗后放射性脑脊髓损伤的诊断与治疗[J]. 中国实验诊断学,2015,(11):1921-1923.
- [9] 许鹏飞,郭灵,徐永腾,等. 鼻咽癌放疗后放射性颈髓损伤的临床研究[J]. 中华神经医学杂志,2014,(11):1147-1153.
- [10] 中国鼻咽癌临床分期工作委员会. 2010 鼻咽癌调强放疗靶区及剂量设计指引专家共识[J]. 中华放射肿瘤学杂志,2011,(4):267-269.
- [11] 郭明,王胜资,吴朝霞,等. IMRT 计划优化参数中听觉器官分区限制剂量研究[J]. 中华放射肿瘤学杂志,2015,(4):438-441,442.
- [12] 中国抗癌协会鼻咽癌专业委员会,林少俊,陈晓钟,等. 复发鼻咽癌治疗专家共识[J]. 中华放射肿瘤学杂志,2018,(1):16-22.
- [13] Li JX, Huang SM, Jiang XH, et al. Local failure patterns for patients with nasopharyngeal carcinoma after intensity-modulated radiotherapy [J]. Radiat Oncol, 2014, 9 : 87.
- [14] Kong F, Ying H, Du C, et al. Patterns of local-regional failure after primary intensity modulated radiotherapy for nasopharyngeal carcinoma [J]. Radiat Oncol, 2014, 9 : 60.
- [15] Lee AW, Foo W, Law SC, et al. Reirradiation for recurrent nasopharyngeal carcinoma: factors affecting the therapeutic ratio and ways for improvement [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 1997, 38 (1):43-52.
- [16] Tian YM, Zhao C, Guo Y, et al. Effect of total dose and fraction size on survival of patients with locally recurrent nasopharyngeal carcinoma treated with intensity-modulated radiotherapy: a phase 2, single-center, randomized controlled trial [J]. Cancer, 2014, 120 (22):3502-3509.
- [17] Chan OS, Sze HC, Lee MC, et al. Reirradiation with intensity-modulated radiotherapy for locally recurrent T3 to T4 nasopharyngeal carcinoma [J]. Head Neck, 2017, 39(3):533-540.
- [18] Kirkpatrick JP, Van Der Kogel AJ, Schultheiss TE. Radiation dose-volume effects in the spinal cord[J]. 2010,76(3 S):S42-S49.
- [19] Peng G, Wang T, Yang KY, et al. A prospective, randomized study comparing outcomes and toxicities of intensity-modulated radiotherapy vs. conventional two-dimensional radiotherapy for the treatment of nasopharyngeal carcinoma[J]. 2012,104(3):286-293.
- [20] Baumann M, Budach V, Appold S. Radiation tolerance of the human spinal cord[J]. Strahlenther Onkol, 1994, 170(3):131-139.
- [21] Fein DA, Marcus RB Jr, Parsons JT. Lhermitte's sign: Incidence and treatment variables influencing risk after irradiation of the cervical spinal cord[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 1993, 27(5):1029-1033.
- [22] 商海焦,陈利,王学涛,等. 鼻咽癌 CDR-VMAT 与 ss-IMRT 剂量学比较评估[J]. 中国医学物理学杂志,2014,(1):4612-4616.
- [23] 马燕,郑坚,邓小武,等. 鼻咽癌 VMAT 两种 TP S 设置参数选择比较[J]. 中华放射肿瘤学杂志,2015,24(5):564-568.
- [24] 陈亚正,廖雄飞,黎杰,等. 鼻咽癌螺旋断层放疗与固定野动态调强放疗的剂量学比较研究? [J]. 肿瘤预防与治疗,2015,(3):122-126.
- [25] 杨静,杨双燕. 鼻咽癌螺旋断层放疗与调强放疗的剂量学比较[J]. 医学理论与实践,2016,29(15):1999-2001.
- [26] 李奇欣,岳麒,柏朋刚,等. 鼻咽癌三种调强放疗计划剂量学对比研究[J]. 中华放射医学与防护杂志,2014,34(8):613-616.
- [27] Lu SH, Cheng JL, Kuo SH, et al. Volumetric modulated arc therapy for nasopharyngeal carcinoma: A dosimetric comparison with TomoTherapy and step-and-shoot IMRT [J]. Radiother Oncol, 2012, 104(3):324-330.
- [28] 李明,吴志军,曹顾飞,等. 基于 XVI 系统探讨鼻咽癌 PTV 外放范围及对放疗剂量的影响[J]. 中华生物医学工程杂志,2015,21(2):141-144.
- [29] 唐正中,吴爱东,钱立庭,等. 鼻咽癌静态 IMRT 与 VMAT 同步加量放疗剂量学比较[J]. 安徽医科大学学报,2014,(8):1164-1167.
- [30] 陈亚正,廖雄飞,黎杰,等. 鼻咽癌螺旋断层放疗与固定野动态调强放疗的剂量学比较研究? [J]. 肿瘤预防与治疗,2015,28(3):122-126.
- [31] 杨静,白雪,苏锋,等. 调强放疗治疗与快速拉弧照射技术在鼻咽癌放疗治疗中的剂量学研究[J]. 浙江医学,2015,37(20):1674-1676.
- [32] 杨凤姣,张九堂,于小平. GTV 分区勾画对椎前间隙受侵局部晚期鼻咽癌调强放疗计划的影响[J]. 中国医师杂志,2016,18(3):394-397.
- [33] 程志垚,李定杰,吴慧,等. MdacAutoPlan 软件在鼻咽癌调强放疗计划设计的应用分析[J]. 中华放射医学与防护杂志,2018,38(4):285-290.
- [34] 徐林,周冠群,胡江,等. 鼻咽癌调强放疗中对危及器官勾画及计划优化改进的剂量学探讨[J]. 中山大学学报(医学科学版),2015,36(5):745-752.