

两种放疗计划系统用于鼻咽癌螺旋断层调强放疗计划的剂量学比较

Dosimetric comparison of helical tomotherapy plans for nasopharyngeal carcinoma with two radiotherapy planning systems

Su Cansen, Sun Wenzhao, Huang Xiaoyan

引用本文:

苏灿森, 孙文钊, 黄晓延. 两种放疗计划系统用于鼻咽癌螺旋断层调强放疗计划的剂量学比较[J]. 国际放射医学核医学杂志, 2023, 47(8): 468–476. DOI: 10.3760/cma.j.cn121381-202206001-00333

Su Cansen, Sun Wenzhao, Huang Xiaoyan. Dosimetric comparison of helical tomotherapy plans for nasopharyngeal carcinoma with two radiotherapy planning systems[J]. *International Journal of Radiation Medicine and Nuclear Medicine*, 2023, 47(8): 468–476. DOI: 10.3760/cma.j.cn121381-202206001-00333

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202206001-00333>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

宫颈癌术后容积旋转调强放疗与5野调强放疗计划的剂量学比较

Dosimetric comparison between volumetric modulated arc radiotherapy and five fields intensity-modulated radiation therapy for postoperative cervical carcinoma

国际放射医学核医学杂志. 2018, 42(1): 41–46 <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2018.01.008>

顺铂单周与三周方案同期联合调强放射治疗局部晚期鼻咽癌的不良反应用与疗效的比较

Comparison of toxicities and treatment outcome of weekly and triweekly cisplatin concurrent with intensity-modulated radiotherapy for locally advanced nasopharyngeal carcinoma

国际放射医学核医学杂志. 2018, 42(5): 397–402 <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2018.05.002>

PTW 729电离室矩阵不同验证方法用于宫颈癌术后调强放疗计划验证结果分析

Analysis about the IMRT plan verification results obtained from different verification methods with PTW 729 ionization chamber matrix for postoperative cervical cancer patients

国际放射医学核医学杂志. 2021, 45(10): 631–635 <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202104016-00110>

宫颈癌术后调强放疗中骨髓抑制与骨髓照射剂量体积的关系

The relationship between bone marrow suppression and dose volume of bone marrow irradiation for the postoperative cervical cancer patients received intensity modulated radiotherapy

国际放射医学核医学杂志. 2020, 44(3): 143–150 <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-201811039-00002>

3种不同放疗技术在左侧乳腺癌保乳术后全乳腺放疗中的剂量学比较

Dosimetric comparison of three different radiotherapy techniques in whole breast radiotherapy after breast-conserving surgery for left breast cancer

国际放射医学核医学杂志. 2020, 44(9): 569–574 <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-201912030-00078>

乳腺癌改良根治术后放疗两种固定方式在锁骨上下区摆位误差的比较

Comparison of the setup errors of two mask systems for immobilizing supra/infraclavicular nodal region of breast cancer patients received postmastectomy radiotherapy

国际放射医学核医学杂志. 2021, 45(6): 348-356 <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202005050-00068>

·临床研究·

两种放疗计划系统用于鼻咽癌螺旋断层调强放疗计划的剂量学比较

苏灿森^{1,2} 孙文钊¹ 黄晓延¹

¹中山大学肿瘤防治中心, 华南恶性肿瘤防治全国重点实验室, 广东省鼻咽癌诊治研究重点实验室, 广东省食管癌研究所, 广州 510060; ²东莞松山湖东华医院放疗科, 东莞 523120

通信作者: 孙文钊, Email: sunwzh@sysucc.org.cn

【摘要】目的 比较 Ray Station 7 (V6.99) 和螺旋断层放射治疗 (TOMO) (Hi-Art@V5.1.3) 2 种放疗计划系统设计鼻咽癌螺旋断层调强放疗计划的剂量学差异。**方法** 回顾性分析 2018 年 5 至 12 月于中山大学肿瘤防治中心完成 TOMO 治疗计划的 15 例鼻咽癌患者的临床资料, 其中男性 11 例、女性 4 例, 年龄 (44.0±17.7) 岁, 按照与 TOMO 治疗计划系统相同的计划设置参数和临床剂量学的要求, 在 Ray Station 7 治疗计划系统中设计 TOMO 计划。比较 2 种治疗计划系统设计的计划质量, 分析 100%、95% 处方剂量覆盖靶区的体积占靶区总体积的百分比 (V_{100} 、 V_{95}), 覆盖靶区 1%、98%、99% 体积的剂量 ($D_{1\%}$ 、 $D_{98\%}$ 、 $D_{99\%}$), 均匀性指数 (HI) 和适形指数 (CI), 重要危及器官的剂量学指标, 计划优化时间和计划执行时间。符合正态分布的计量资料的组间比较采用配对样本 t 检验的双侧检验。**结果** Ray Station 7 和 TOMO 计划的鼻咽癌原发病灶的计划靶区 (PTV_{nx}) 的 V_{100} [(97.5±2.1)% 对 (94.9±3.9)%], 原发病灶侵犯区域的计划靶区 (PTV1) 的 V_{100} [(98.5±1.4)% 对 (99.1±0.9)%]、 V_{95} [(99.3±0.7)% 对 100.0%], 以原发病灶侵犯区域的临床靶区 (CTV1) 和双侧淋巴结病灶的大体肿瘤靶区 (GTV_{nd}) 外扩+GTV_{nd} 所在淋巴引流区+需要预防性放疗的阴性淋巴引流区的计划靶区 (PTV2) 的 V_{100} [(98.6±1.1)% 对 (98.9±0.9)%]、 V_{95} [(99.1±0.9)% 对 (99.8±0.2)%]、CI [(74.8±5.7)% 对 (79.2±8.3)%], 基于脊髓外扩形成的计划危及器官靶区 (PRV-SC) 中包绕 1 ml 体积的等剂量线对应的剂量 ($D_{1\text{ ml}}$) [(3 750.0±250.0) cGy 对 (3 443.6±309.3) cGy]、40 和 30 Gy 对应的等剂量线包绕的体积占 PRV-SC 的百分比 [$V_{40\text{ Gy}}$ [(0.7±0.7)% 对 (0.1±0.1)%]、 $V_{30\text{ Gy}}$ [(52.3±29.1)% 对 (44.6±22.9)%]、平均剂量 (D_{mean}) [(2 705.5±535.5) cGy 对 (2 619.4±413.9) cGy], 右侧颞叶的 D_{mean} [(1 639.5±594.5) cGy 对 (2 150.3±735.6) cGy] 的差异均有统计学意义 ($t=-4.96-6.71$, 均 $P<0.05$)。PTV_{nx} 的 V_{95} [(99.7±0.3)% 对 (99.8±0.2)%]、 $D_{1\%}$ [(7 008.5±746.5) cGy 对 (6 996.0±767.0) cGy]、 $D_{98\%}$ [(6 628.0±577.0) cGy 对 (6 548.8±577.3) cGy]、HI [(6.2±2.7)% 对 (6.3±2.6)%]、CI [(59.8±26.1)% 对 (64.0±24.3)%], 双侧淋巴结病灶的计划靶区 (PTV_{nd}) 的 V_{100} [(98.5±1.5)% 对 (98.1±1.9)%]、(98.7±1.2)% 对 (96.6±3.4)%]、 V_{95} [(99.7±0.3)% 对 100.0%]、100% 对 100%]、 $D_{99\%}$ [(6 511.0±500.9) cGy 对 (6 487.1±483.5) cGy]、(6 496.0±484.0) cGy 对 (6 493.3±466.9) cGy]、 $D_{1\%}$ [(6 824.0±571.0) cGy 对 (6 815.7±562.6) cGy]、(6 851.0±583.0) cGy 对 (6 807.0±587.5) cGy] 的差异均无统计学意义 ($t=-1.51-0.90$, 均 $P>0.05$)。危及器官 PRV-SC 中 50 Gy 对应的等剂量线包绕的体积占 PRV-SC 的百分比 ($V_{50\text{ Gy}}$) [(0.03±0.03)% 对 0], 基于脑干外扩形成的计划危及器官靶区 (PRV-BS) 的 D_{mean} [(2 511.0±792.0) cGy 对 (2 397.0±310.6) cGy]、 $D_{1\%}$ [(4 880.0±1 600.0) cGy 对 (5 254.6±755.1) cGy]、60 Gy 对应的等剂量线包绕的体积占 PRV-BS 体积的百分比 ($V_{60\text{ Gy}}$) [(1.6±1.6)% 对 (3.6±3.6)%]、双侧腮腺 D_{mean} [(3 986.5±836.5) cGy 对 (3 953.1±425.6) cGy]、(4 223.0±708.0) cGy 对 (4 205.1±800.2) cGy]、左侧颞叶 D_{mean} [(1 891.5±845.5) cGy 对 (2 077.1±573.0) cGy]、双侧颞叶中 60 Gy 对应的等剂量线包绕的体积占颞叶体积的百分比 ($V_{60\text{ Gy}}$) [(6.7±6.7)% 对 (6.5±6.5)%]、(4.0±4.0)% 对 (5.8±5.8)%] 的差异均无统计学意义 ($t=-1.29-1.96$, 均 $P>0.05$)。Ray Station 7 和 TOMO 治疗计划系统的剂量均在临床要求范围内。Ray Station 7 治疗计划系统用于鼻咽癌的计划优化时间短于 TOMO 治疗计划系统 [(3.00±0.58) min 对 (120.00±17.00) min], 且差异有统计学意义 ($t=$

-52.31, $P < 0.01$), 二者的计划执行时间相当 [(611.0±94.2) s 对 (612.2±94.3) s], 且差异无统计学意义 ($t = -0.03$, $P > 0.05$)。结论 2种放疗计划系统设计的鼻咽癌螺旋断层调强放疗计划在剂量学上存在微小差异, 均能满足临床要求。Ray Station 7治疗计划系统设计的鼻咽癌螺旋断层调强放疗计划可以明显节约优化时间。

【关键词】 鼻咽癌; 放射疗法, 调强适形; 螺旋断层放射治疗; Ray Station

基金项目: 广东省食管癌研究所科技计划青年项目(Q202008)

DOI: [10.3760/cma.j.cn121381-202206001-00333](https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202206001-00333)

Dosimetric comparison of helical tomotherapy plans for nasopharyngeal carcinoma with two radiotherapy planning systems

Su Cansen^{1,2}, Sun Wenzhao¹, Huang Xiaoyan¹

¹Sun Yat-sen University Cancer Center, State Key Laboratory of Oncology in South China, Guangdong Key Laboratory of Nasopharyngeal Carcinoma Diagnosis and Therapy, Guangdong Esophageal Cancer Institute, Guangzhou 510060, China; ²Department of Radiotherapy, Dongguan Song Shan Lake Tungwah Hospital, Dongguan 523120, China

Corresponding author: Sun Wenzhao, Email: sunwzh@sysucc.org.cn

【Abstract】 **Objective** To evaluate the dosimetric difference of helical tomotherapy plans for nasopharyngeal carcinoma via Ray Station 7 (V6.99) and Tomotherapy (TOMO) (Hi-Art@V5.1.3) treatment planning systems. **Methods** This retrospective analysis involved 15 patients of nasopharyngeal carcinoma who completed the TOMO plan in Sun Yat-sen University Cancer Center from May 2018 to December 2018. Among them, 11 cases were males and 4 cases were females, aged (44.0±17.7) years. Using the same prescription dose requirements and dose constraints in TOMO, the plan was designed on the Ray Station 7 treatment planning system. The dosimetric indexes for plan comparison included the 100% and 95% prescription dose coverage of the target volume (V_{100} , V_{95}), dose covering 1%, 98%, 99% of the volume of the target volume ($D_{1\%}$, $D_{98\%}$, $D_{99\%}$), homogeneity index (HI), conformity index (CI), key dosimetric indexes for organs at risk, planning optimization time and delivery time of treatment plan. Data from the two groups that fit a normal distribution were compared by paired *t*-test. **Results** The V_{100} of planning target volume of the primary lesion of nasopharyngeal carcinoma (PTV_{nx}) ((97.5±2.1)% vs. (94.9±3.9)%); V_{100} , V_{95} of planning target volume of the primary lesion invasion (PTV_1) ((98.5±1.4)% vs. (99.1±0.9)%), (99.3±0.7)% vs. 100.0%); V_{100} , V_{95} , CI of planning target volume of primary lesion invasion clinical target volume (CTV_1) and expanded gross tumor volume of bilateral lymph node lesions (GTV_{nd}) and the lymphatic drainage area where GTV_{nd} is located and the negative lymphatic drainage area that needs preventive radiotherapy (PTV_2) ((98.6±1.1)% vs. (98.9±0.9)%), (99.1±0.9)% vs. (99.8±0.2)%), (74.8±5.7)% vs. (79.2±8.3)%); the dose corresponding to the isodose line surrounding the volume of 1 ml in planning organ at risk volume of spinal cord (PRV-SC) (D_{1ml}), the relative volume of the volume surrounded by the isodose line corresponding to 40 and 30 Gy in PRV-SC and the volume of PRV-SC (V_{40Gy} , V_{30Gy}), the mean dose (D_{mean}) of planning organ at risk target volume of the spinal cord ((3 750.0±250.0) cGy vs. (3 443.6±309.3) cGy, (0.7±0.7)% vs. (0.1±0.1)%), (52.3±29.1)% vs. (44.6±22.9)%), (2 705.5±535.5) cGy vs. (2 619.4±413.9) cGy); and D_{mean} of the right temporal lobe ((1 639.5±594.5) cGy vs. (2 150.3±735.6) cGy) showed statistically significant differences between Ray Station 7 and TOMO plans ($t = -4.96$ – -6.71 , all $P < 0.05$). The V_{95} , $D_{1\%}$, $D_{98\%}$, HI, CI of PTV_{nx} ((99.7±0.3)% vs. (99.8±0.2)%), (7 008.5±746.5) cGy vs. (6 996.0±767.0) cGy, (6 628.0±577.0) cGy vs. (6 548.8±577.3) cGy, (6.2±2.7)% vs. (6.3±2.6)%), (59.8±26.1)% vs. (64.0±24.3)%); V_{100} , V_{95} , $D_{99\%}$ and $D_{1\%}$ of planning target volume for bilateral lymph node lesion (PTV_{nd}) ((98.5±1.5)% vs. (98.1±1.9)% and (98.7±1.2)% vs. (96.6±3.4)%), (99.7±0.3)% vs. 100.0% and 100.0% vs. 100.0%), (6 511.0±500.9) cGy vs. (6 487.1±483.5) cGy and (6 496.0±484.0) cGy vs. (6 493.3±466.6) cGy, (6 824.0±571.0) cGy vs. (6 815.7±562.6) cGy and (6 815.0±583.0) cGy vs. (6 807.0±587.5) cGy) of the two groups of plans showed that

the difference was not statistically significant ($t=-1.51-0.90$, all $P>0.05$). The relative volume of the volume surrounded by the isodose line corresponding to 50 Gy in PRV-SC and the volume of PRV-SC ($V_{50\text{ Gy}}$) ($(0.03\pm 0.03)\%$ vs. 0); D_{mean} of planning organ at risk target volume of brainstem (PRV-BS) ($(2\ 511.0\pm 792.0)$ cGy vs. $(2\ 397.0\pm 310.6)$ cGy); $D_{1\%}$ and relative volume of the volume surrounded by the isodose line corresponding to 60 Gy in PRV-BS and the volume of PRV-BS ($V_{60\text{ Gy}}$) ($(4\ 880.0\pm 1\ 600.0)$ cGy vs. $(5\ 254.6\pm 755.1)$ cGy, $(1.6\pm 1.6)\%$ vs. $(3.6\pm 3.6)\%$); D_{mean} of the bilateral parotid ($(3\ 986.5\pm 836.5)$ cGy vs. $(3\ 953.1\pm 425.6)$ cGy and $(4\ 223.0\pm 708.0)$ cGy vs. $(4\ 205.1\pm 800.2)$ cGy); D_{mean} of the left temporal lobe ($(1\ 891.5\pm 845.5)$ cGy vs. $(2\ 077.1\pm 573.0)$ cGy); $V_{60\text{ Gy}}$ of the bilateral temporal lobe ($(6.7\pm 6.7)\%$ vs. $(6.5\pm 6.5)\%$ and $(4.0\pm 4.0)\%$ vs. $(5.8\pm 5.8)\%$) of the two groups of plans showed that the differences were not statistically significant ($t=-1.29-1.96$, all $P>0.05$). The dosages of two treatment planning systems were within the clinical requirements range. The planning optimization time of Ray Station 7 treatment planning systems for nasopharyngeal carcinoma was significantly faster than that of TOMO treatment planning systems ((3.00 ± 0.58) min vs. (120.00 ± 17.00) min), the difference was statistically significant ($t=-52.31$, $P<0.01$), but their delivery times were similar to each other ((611.0 ± 94.2) s vs. (612.2 ± 94.3) s), the difference was not statistically significant ($t=-0.03$, $P>0.05$). **Conclusion** Statistical analysis of the quality of helical tomotherapy plans for nasopharyngeal carcinoma designed by the two treatment planning systems showed that the differences were not significant, and both can meet clinical dosimetry requirements. Designing a nasopharyngeal carcinoma plan with the Ray Station 7 treatment planning system can significantly save the optimization time.

【 Key words 】 Nasopharyngeal carcinoma; Radiotherapy, intensity-modulated; Helical tomotherapy; Ray Station

Fund program: Science and Technology Program Youth Project of Guangdong Esophageal Cancer Institute (Q202008)

DOI: [10.3760/cma.j.cn121381-202206001-00333](https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202206001-00333)

鼻咽癌是我国，尤其是广东、广西地区高发的头颈部恶性肿瘤之一。由于鼻咽癌解剖学及生物学的特殊性，放疗或以放疗为主的综合治疗被公认为其有效的根治性治疗手段^[1]。近年来，放疗技术不断发展进步，调强适形放射治疗(intensity-modulated radiation therapy, IMRT)技术具有强大的剂量调制能力，可在提高靶区剂量的同时降低靶区周围重要危及器官不必要的照射剂量，从而减轻鼻咽癌患者放疗早期和晚期的不良反应，改善患者的生活质量^[2-3]，提高肿瘤的局部复发控制率和患者的总生存率^[4]。IMRT已逐渐成为鼻咽癌患者放疗的常规手段^[5]。螺旋断层放射治疗(tomotherapy, TOMO)技术是IMRT的方式之一，其具有比常规加速器更强的调制能力。陈欣等^[6]比较了12例局部晚期鼻咽癌患者的TOMO计划、IMRT计划和容积弧形调强放射治疗(VMAT)计划，发现TOMO计划在局部晚期鼻咽癌患者的治疗中对复杂靶区的调制能力更强。崔珍等^[7]比较了140例局部晚期鼻咽癌患者的TOMO计划与常规直线加速器的IMRT计划，

发现在局部晚期鼻咽癌患者的IMRT中，TOMO较常规直线加速器放疗剂量的均匀性更好、剂量梯度更大，可以更好地保护正常器官。目前，放疗计划系统Ray Station 7(V6.99, 瑞典Ray Search公司)中添加了多个模块，其中之一是用于设计螺旋断层调强计划的模块。本研究对比分析Ray Station 7(V6.99)和目前临床上常用的TOMO(Hi-Art@5.1.3, 美国安科瑞公司)2种治疗计划系统对复杂病种鼻咽癌设计放疗优化治疗计划的剂量，评估Ray Station 7治疗计划系统的螺旋断层调强计划设计模块在临床应用中的可行性，为鼻咽癌患者选择更优的螺旋断层调强计划提供参考的依据。

1 资料与方法

1.1 一般资料

回顾性分析2018年5至12月于中山大学肿瘤防治中心完成TOMO治疗计划的15例鼻咽癌患者的临床资料，其中男性11例、女性4例，年龄 (44.0 ± 17.7) 岁。纳入标准：①组织病理学检查结

果证实为鼻咽癌；②既往未接受过放疗；③放疗照射范围只包括头颈部。排除标准：①鼻咽癌已向其他器官转移；②鼻咽癌复发。将15例鼻咽癌患者的临床资料(包括CT图像、治疗计划、治疗计划的剂量文件、靶区及器官勾画的结构文件)从TOMO治疗计划系统导出至Ray Station 7治疗计划系统中,并在该系统中建立相应的CT密度曲线,以便进行治疗计划的设计。所有患者的放疗计划均采用2种治疗计划系统进行优化。所有患者均于治疗前签署了知情同意书。本研究符合《赫尔辛基宣言》的原则。

1.2 CT扫描与CT图像的获取

所有患者均采用仰卧位,双手自然下垂并拢,头颈部用热塑膜固定。在患者体表和面罩上做好标记并贴好铅点,使用Big Bore型大孔径CT(荷兰飞利浦公司)进行扫描,管电压140 kV,管电流350 mA。扫描范围覆盖整个靶区,扫描上下界在靶区的基础上各多出10 cm,扫描层厚3 mm。扫描后通过DICOM将CT图像传至TOMO治疗计划系统自带的工作站。

1.3 靶区勾画

由2名具有5年以上工作经验的放疗科医师在TOMO治疗计划系统工作站上逐层勾画靶区和正常器官的结构,包括鼻咽癌原发病灶的大体肿瘤靶区(gross tumor volume, GTV)(GTV_{nx}),双侧淋巴结病灶的GTV(GTV_{nd}),原发病灶侵犯区域的临床靶区(clinical target volume, CTV)(CTV1), CTV1和GTV_{nd}外扩+GTV_{nd}所在淋巴引流区+需要预防性放疗的阴性淋巴引流区的CTV(CTV2)。在肿瘤所有GTV(GTV_{nx}、GTV_{nd})和CTV(CTV1、CTV2)的基础上向各方向外扩3 mm,对应生成鼻咽癌原发病灶的计划靶区(planning target volume, PTV)(PTV_{nx})、双侧淋巴结病灶的PTV(PTV_{nd})、原发病灶侵犯区域的PTV(PTV1), CTV1和GTV_{nd}外扩+GTV_{nd}所在淋巴引流区+需要预防性放疗的阴性淋巴引流区的PTV(PTV2)。所有外扩后形成的结构在皮肤附近的,均需向皮肤内方向缩3 mm,形成最终的PTV。

1.4 放疗计划的设计

TOMO计划的窗射野大小均为2.51 cm,螺距为0.287,调制因子初设为3.8,剂量网格为精细模式,对应计算网格为0.195 cm×0.195 cm。X射线

能量为6 MV,剂量率固定为886 MU/min。硬件配置为2个6核的Xeon 5645 CPU(中央处理器)。

Ray Station 7计划设计的条件与TOMO计划基本相同,其射野对应的固定铅门为2.51 cm,螺距为0.287,对应计算网格为0.225 cm×0.225 cm。该治疗计划系统中无调制因子设置项目,但可以设置治疗时间的上限,为了使2种计划具有可比性,在Ray Station 7计划优化时参考了TOMO计划的执行时间。X射线能量为6 MV,剂量率为880 MU/min。硬件配置为12核的Xeon Gold 6128 CPU(中央处理器)和NVIDIA Quadro P6000的GPU(图形处理器)。

Ray Station 7和TOMO计划对应的不同PTV的处方剂量相同:PTV_{nx}为6 000~7 200 cGy, PTV_{nd}为6 000~6 996 cGy, PTV1为5 400~6 600 cGy, PTV2为4 800~5 940 cGy,治疗次数为30~33次。

Ray Station 7和TOMO治疗计划系统的优化参数均使用剂量-体积直方图(DVH)对靶区和危及器官的剂量目标进行约束。2种治疗计划系统设计的计划采用相同的剂量学评价指标,即95%的处方剂量至少要覆盖95%的靶区体积。按TOMO计划中每例患者放疗计划PTV_{nx}的平均剂量(mean of the dose, D_{mean})对对应Ray Station 7计划的剂量分布进行剂量归一。

1.5 评价指标

比较2种治疗计划系统的V₁₀₀、V₉₅(100%、95%处方剂量覆盖靶区的体积占靶区总体积的百分比),D_{1%}、D_{98%}、D_{99%}(覆盖靶区1%、98%、99%体积的剂量),均匀性指数(homogeneity index, HI),适形指数(conformity index, CI)。CI和HI分别采用以下2个公式计算。

$$CI = \frac{V_{100} \times TV(P)}{V(P)} \quad (1)$$

式中:TV(P)为处方剂量覆盖靶区的绝对体积(ml);V(P)为处方剂量的剂量线在患者体内包裹的绝对体积(ml)。

$$HI = \frac{D_{1\%} - D_{98\%}}{D_p} \times 100\% \quad (2)$$

式中:D_p为处方剂量。

比较2种治疗计划系统的重要危及器官的以下剂量学指标:基于脊髓外扩形成的计划危及器官靶区(planning organ at risk volume of spinal cord,

PRV-SC)的 $D_{1\text{ ml}}$ (PRV-SC中包绕1 ml体积的等剂量线对应的剂量)、 $V_{50\text{ Gy}}$ 、 $V_{40\text{ Gy}}$ 、 $V_{30\text{ Gy}}$ (PRV-SC中50、40、30 Gy对应的等剂量线包绕的体积占PRV-SC的百分比)、 D_{mean} ，基于脑干外扩形成的计划危及器官靶区(planning organ at risk volume of brainstem, PRV-BS)的 $D_{1\%}$ (覆盖PRV-BS 1%体积的剂量)、 $V_{60\text{ Gy}}$ (PRV-BS中60 Gy对应的等剂量线包绕的体积占PRV-BS的百分比)、 D_{mean} ，双侧腮腺的 D_{mean} ，双侧颞叶的 D_{mean} 、 $V_{60\text{ Gy}}$ (颞叶中60 Gy对应的等剂量线包绕的体积占颞叶体积的百分比)。

比较同一例鼻咽癌患者的放疗计划在2种治疗计划系统中的剂量-体积直方图和平面剂量分布图。

记录2种计划的优化时间和执行时间，用于分析比较2种计划的效率。

1.6 统计学方法

应用SPSS v19.6软件对数据进行统计学分析。符合正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示，组间比较采用配对样本 t 检验的双侧检验(方差齐)。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 靶区剂量学指标的比较

Ray Station 7计划和TOMO计划的靶区剂量学指标的比较见表1。2种治疗计划系统设计的所有鼻咽癌治疗计划均达到临床要求。Ray Station 7计划的 PTV_{nx} 的 V_{100} 明显大于TOMO计划，且差异有统计学意义($P < 0.05$)；Ray Station 7计划的 $PTV1$ 和 $PTV2$ 的 V_{100} 、 V_{95} 均略小于TOMO计划，且差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$)；Ray Station 7计划的 $PTV2$ 的 CI 、 $TV(P)$ 低于TOMO计划， $V(P)$ 大于TOMO计划，且差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$)。Ray Station 7和TOMO计划的 PTV_{nx} 的 V_{95} 、 HI 、 CI 、 $D_{1\%}$ 、 $D_{98\%}$ 、 $TV(P)$ 、 $V(P)$ ，双侧 PTV_{nd} 的 V_{100} 、 V_{95} 、 $D_{1\%}$ 、 $D_{99\%}$ 的差异均无统计学意义(均 $P > 0.05$)。图1A为1例鼻咽癌患者在Ray Station 7和TOMO治疗计划系统中的靶区剂量-体积直方图的比较。图2为该例患者在2种治疗计划系统中的平面剂量分布图的比较。

2.2 重要危及器官剂量学指标的比较

Ray Station 7计划和TOMO计划的部分重要

表1 15例鼻咽癌患者Ray Station 7计划与TOMO计划的放疗靶区剂量学指标的比较($\bar{x} \pm s$)

Table 1 Dosimetry index comparison of the Ray Station 7 plan with TOMO plan for the radiotherapy target in 15 nasopharyngeal carcinoma patients ($\bar{x} \pm s$)

项目	Ray Station 7计划 (n=15)	TOMO计划 (n=15)	t值	P值
PTV_{nx}				
$V_{100}(\%)$	97.5±2.1	94.9±3.9	2.74	0.031
$V_{95}(\%)$	99.7±0.3	99.8±0.2	-1.01	0.398
$D_{1\%}(\text{cGy})$	7 008.5±746.5	6 996.0±767.0	0.35	0.231
$D_{98\%}(\text{cGy})$	6 628.0±577.0	6 548.8±577.3	0.05	0.812
HI(%)	6.2±2.7	6.3±2.6	0.90	0.312
TV(P)(ml)	105.8±58.1	104.5±57.7	0.07	0.312
V(P)(ml)	229.7±168.8	200.2±137.8	0.25	0.357
CI(%)	59.8±26.1	64.0±24.3	0.04	0.943
PTV1				
$V_{100}(\%)$	98.5±1.4	99.1±0.9	-3.19	0.011
$V_{95}(\%)$	99.3±0.7	100.0	-4.96	0.004
PTV2				
$V_{100}(\%)$	98.6±1.1	98.9±0.9	-2.91	0.025
$V_{95}(\%)$	99.1±0.9	99.8±0.2	-4.38	0.002
TV(P)(ml)	917.8±291.2	924.6±288.6	-0.15	<0.001
V(P)(ml)	1 244.0±402.4	1 153.2±6.8	0.93	0.029
CI(%)	74.8±5.7	79.2±8.3	-3.61	0.006
PTV_{nd}(左侧)				
$V_{100}(\%)$	98.5±1.5	98.1±1.9	-0.51	0.563
$V_{95}(\%)$	99.7±0.3	100.0	-1.51	0.308
$D_{99\%}(\text{cGy})$	6 511.0±500.0	6 487.1±483.5	-0.54	0.056
$D_{1\%}(\text{cGy})$	6 824.0±571.0	6 815.7±562.6	0.24	0.340
PTV_{nd}(右侧)				
$V_{100}(\%)$	98.7±1.2	96.6±3.4	0.46	0.624
$V_{95}(\%)$	100.0	100.0	-0.31	0.673
$D_{99\%}(\text{cGy})$	6 496.0±484.0	6 493.3±466.6	0.05	0.904
$D_{1\%}(\text{cGy})$	6 851.0±583.0	6 807.0±587.5	0.75	0.136

注：TOMO为螺旋断层放射治疗； PTV_{nx} 为鼻咽癌原发病灶的计划靶区； V_{100} 、 V_{95} 分别为100%、95%处方剂量覆盖靶区的体积占靶区体积的百分比； $D_{1\%}$ 、 $D_{98\%}$ 、 $D_{99\%}$ 分别为覆盖靶区1%、98%、99%体积的剂量；HI为均匀性指数； $TV(P)$ 为处方剂量覆盖靶区的绝对体积； $V(P)$ 为处方剂量的剂量线在患者体内包绕的绝对体积；CI为适形指数； $PTV1$ 为原发病灶侵犯区域的计划靶区； $PTV2$ 为以原发病灶侵犯区域的临床靶区(CTV1)和双侧淋巴结病灶的大体肿瘤靶区(GTV_{nd})外扩+GTV_{nd}所在淋巴引流区+需要预防性放疗的阴性淋巴引流区的计划靶区； PTV_{nd} 为双侧淋巴结病灶的计划靶区

危及器官剂量学指标的比较见表2。Ray Station 7计划的PRV-SC的 $D_{1\text{ ml}}$ 、 $V_{30\text{ Gy}}$ 、 $V_{40\text{ Gy}}$ 和 D_{mean} 明显高于TOMO计划，且差异均有统计学意义(均

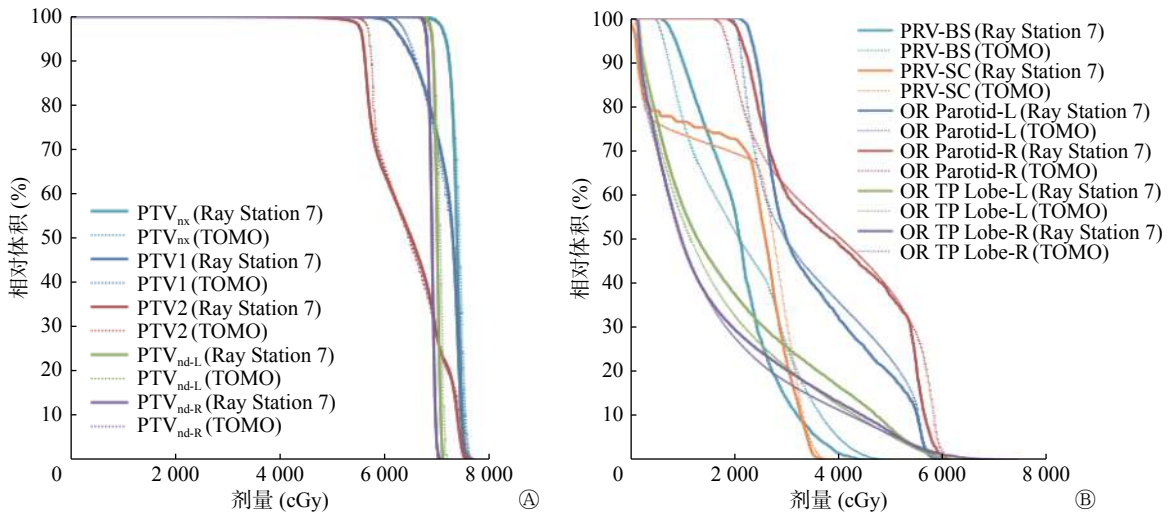


图1 Ray Station 和 TOMO 2种治疗计划系统在鼻咽癌患者(患者女性, 47岁)放疗计划中靶区(A)和重要危及器官(B)的剂量-体积直方图 TOMO 为螺旋断层放射治疗; PTV_{nx} 为鼻咽癌原发病灶的计划靶区; PTV1 为原发病灶侵犯区域的计划靶区; PTV2 为以原发病灶侵犯区域的临床靶区 (CTV1) 和双侧淋巴结病灶的大体肿瘤靶区 (GTV_{nd}) 外扩+GTV_{nd} 所在淋巴引流区+需要预防性放疗的阴性淋巴引流区的计划靶区; PTV_{nd} 为双侧淋巴结病灶的计划靶区; L 为左侧; R 为右侧; PRV-SC 为基于脊髓外扩形成的计划危及器官靶区; PRV-BS 为基于脑干外扩形成的计划危及器官靶区; OR 为危及器官; Parotid 为腮腺; TP Lobe 为颞叶

Figure 1 Dose-volume histogram diagrams of planning targets (A) and organs at risk (B) of a patient (female, 47 years old) with nasopharyngeal carcinoma with Ray Station 7 treatment planning system and TOMO treatment planning system

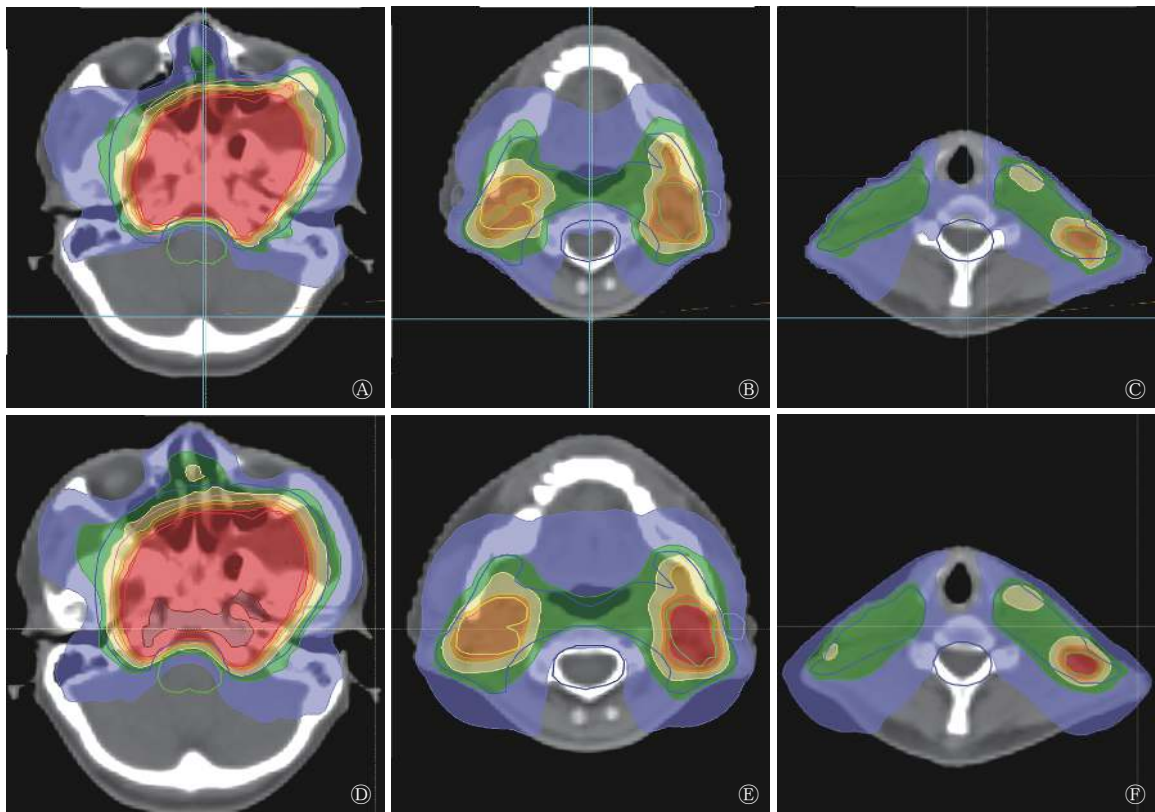


图2 鼻咽癌患者(患者女性, 47岁)的放疗计划在 Ray Station 7 和 TOMO 2种治疗计划系统中的平面剂量分布图 A~C 分别为 Ray Station 7 治疗计划系统中头部、颈部的平面剂量分布图; D~F 分别为 TOMO 治疗计划系统中头部、颈部的平面剂量分布图。图中同一种颜色的线条代表同一剂量大小的等剂量线。TOMO 为螺旋断层放射治疗

Figure 2 Planar dose distribution of radiotherapy plans for a patient (female, 47 years old) with nasopharyngeal carcinoma in Ray Station 7 and TOMO treatment planning system

表 2 15 例鼻咽癌患者 Ray Station 7 计划与 TOMO 计划的重要危及器官剂量学指标的比较($\bar{x} \pm s$)

Table 2 Dosimetric index comparison of the Ray Station 7 plan with TOMO plan for the organs at risk in 15 nasopharyngeal carcinoma patients ($\bar{x} \pm s$)

项目	Ray Station 7计划 (n=15)	TOMO计划 (n=15)	t值	P值
PRV-SC				
D _{1 ml} (cGy)	3 750.0±250.0	3 443.6±309.3	3.34	0.006
V _{50 Gy} (%)	0.03±0.03	0	1.96	0.190
V _{40 Gy} (%)	0.7±0.7	0.1±0.1	6.71	<0.001
V _{30 Gy} (%)	52.3±29.1	44.6±22.9	3.16	0.001
D _{mean} (cGy)	2 705.5±535.5	2 619.4±413.9	2.46	0.002
PRV-BS				
D _{1%} (cGy)	4 880.0±1 600.0	5 254.6±755.1	-1.29	0.058
D _{mean} (cGy)	2 511.0±792.0	2 397.0±310.6	-1.29	0.141
V _{60 Gy} (%)	1.6±1.6	3.6±3.6	-0.54	0.621
左侧腮腺				
D _{mean} (cGy)	3 986.5±836.5	3 953.1±425.6	0.52	0.381
右侧腮腺				
D _{mean} (cGy)	4 223.0±708.0	4 205.1±800.2	0.41	0.091
左侧颞叶				
D _{mean} (cGy)	1 891.5±845.5	2 077.1±573.0	-0.31	0.587
V _{60 Gy} (%)	6.7±6.7	6.5±6.5	0.28	0.244
右侧颞叶				
D _{mean} (cGy)	1 639.5±594.5	2 150.3±735.6	-1.55	0.031
V _{60 Gy} (%)	4.0±4.0	5.8±5.8	-0.37	0.126

注: TOMO 为螺旋断层放射治疗; PRV-SC 为基于脊髓外扩形成的计划危及器官靶区; D_{1 ml} 为 PRV-SC 中包绕 1 ml 体积的等剂量线对应的剂量; V_{60 Gy}、V_{50 Gy}、V_{40 Gy}、V_{30 Gy} 分别为 60、50、40、30 Gy 的等剂量线包绕的体积占对应危及器官体积的百分比; D_{mean} 为平均剂量; PRV-BS 为基于脑干外扩形成的计划危及器官靶区; D_{1%} 为覆盖靶区 1% 体积的剂量

$P < 0.01$); Ray Station 7 计划右侧颞叶的 D_{mean} 低于 TOMO 计划, 且差异有统计学意义($P < 0.05$)。2 种计划的 PRV-SC 的 V_{50 Gy}, PRV-BS 的 D_{1%}、D_{mean}、V_{60 Gy}, 双侧腮腺的 D_{mean}, 左侧颞叶的 V_{60 Gy}、D_{mean}, 右侧颞叶的 V_{60 Gy} 的差异均无统计学意义(均 $P > 0.05$)。图 1B 为 1 例鼻咽癌患者在 2 种治疗计划系统中的重要危及器官剂量-体积直方图的比较。图 2 为该例患者在 2 种治疗计划系统中的平面剂量分布图的比较。

2.3 优化时间的比较

Ray Station 7 计划的优化时间明显短于 TOMO 计划 [(3.00±0.58)min 对 (120.00±17.00)min], 且差异有统计学意义($t = -52.31$, $P < 0.01$)。

2.4 执行时间的比较

Ray Station 7 计划的执行时间为(611.0±94.2)s, TOMO 计划的执行时间为(612.2±94.3)s, 两者接近, 且差异无统计学意义($t = -0.03$, $P > 0.05$)。

3 讨论

对于鼻咽癌放疗患者, TOMO 在剂量学方面较常规 IMRT 有明显的优势, 其明显提高了靶区剂量的适形度和均匀性^[8], 更好地保护了正常组织和危及器官^[9]。本研究比较了 2 种治疗计划系统对鼻咽癌患者做的螺旋断层调强计划, 结果表明, 在相同的优化条件下, 2 种鼻咽癌螺旋断层调强计划在剂量学上存在微小差异, 均可满足临床要求, 但二者优化时间的差别较大。

2 种计划对于靶区处方剂量的覆盖基本一致, 均达到了临床要求。除 Ray Station 7 的 PTV_{nx} 的 V₁₀₀ 较 TOMO 大, 二者 PTV_{nx} 的其他剂量学指标的差异均无统计学意义。二者几乎均可 100% 覆盖 PTV_{nd}, 且 PTV_{nd} 所有剂量学指标的差异均无统计学意义。二者的 PTV1 和 PTV2 所有剂量学指标的差异均有统计学意义, 其中 Ray Station 7 计划的 PTV1 和 PTV2 的 V₁₀₀、V₉₅ 均低于 TOMO 计划, 但二者的靶区覆盖均在 98% 以上, 均满足临床剂量学的要求。Ray Station 7 计划 PTV2 的 TV(P) 小于 TOMO 计划, V(P) 大于 TOMO 计划。Ray Station 7 计划 PTV2 的 CI 小于 TOMO 计划, 但均 > 70%。综上, 2 种计划的靶区剂量学指标接近。

鼻咽癌发生于头颈部, 因此放疗会影响大量重要器官。为了数据的规范统一, 我们只选取了部分危及器官的剂量学指标进行比较。危及器官中脊髓的剂量限量最为重要。Kirkpatrick 等^[10]的研究结果表明, 在每天 200 cGy 的常规放疗中, 与剂量受量为 5 000、6 000、6 900 cGy 对应的脊髓疾病的发生率分别为 0.2%、6%、50%。本研究中 Ray Station 7 计划 PRV-SC 的 V_{30 Gy}、V_{40 Gy}、V_{50 Gy} 均高于 TOMO 计划, PRV-SC 的 D_{mean} 也比 TOMO 计划高约 100 cGy, 但 2 种计划 PRV-SC 的 D_{1 ml} 均不超过 4 000 cGy, 均符合临床要求。

除脊髓外, 脑干的剂量限量也十分重要。张石川等^[11]对 105 例鼻咽癌化疗患者的脑干剂量进行长期随访及研究, 结果表明, 在放疗的单次剂量不超过 200 cGy 的情况下, 将脑干的最大剂量(D_{max})限值放宽到 6 600 cGy 并严格控制外放边界为 1 mm 后, D_{1%} < 6 300 cGy 对于脑干是安全的, 且有利于提高局部晚期鼻咽癌患者的生存率。本研究中,

2种计划 PRV-BS 的 $D_{1\%}$ 、 D_{mean} 均 $<6\ 300\ \text{cGy}$ ，在临床剂量限量范围内，且 Ray Station 7 计划的 $D_{1\%}$ 低于 TOMO 计划。

鼻咽癌的放疗射野会穿过全部或部分腮腺组织，会不可避免地引起患者口干、急性腮腺炎等腮腺损伤症状^[12]。Li 等^[13]对 142 例头颈部癌症患者放疗 2 年后的腮腺功能进行随访观察，结果表明，放疗剂量 $>25\ \text{Gy}$ 时，腮腺的损伤明显加重，当放疗剂量 $>45\ \text{Gy}$ 时腮腺损伤最大。本研究中，2 种计划左侧、右侧腮腺 D_{mean} 的差异均无统计学意义，且腮腺 D_{mean} 均 $<45\ \text{Gy}$ 。

放射性颞叶损伤是鼻咽癌患者行根治性放疗的常见并发症之一，患者会出现记忆功能部分受损和双侧颞叶灰质体积萎缩的症状^[14]，其严重影响患者的认知功能和生活质量，甚至危及患者的生命^[15]。吴奕珊等^[16]的研究结果表明，T 分期、颞叶受照的最大剂量(D_{max})和 D_{mean} 是鼻咽癌患者放疗后颞叶放射性损伤的独立危险因素。本研究中，Ray Station 7 和 TOMO 计划双侧颞叶 $V_{60\ \text{Gy}}$ 的差异均无统计学意义，但 Ray Station 7 计划右侧颞叶的 D_{mean} 小于 TOMO 计划。

Ray Station 7 的计划优化时间远短于 TOMO 计划，其主要原因可能有 3 个。(1)二者最大迭代次数的设置不同。TOMO 计划在鼻咽癌治疗计划优化时，为了达到理想的剂量分布，最大迭代次数通常设置为 500 次，计划系统需完成 500 次迭代且中途不会停止，如果将迭代次数设为 100 次，优化和最终剂量计算的总时间约为 40 min，而迭代次数为 500 次时，其花费时间更长，约为 3~5 h 不等。Ray Station 7 计划的最大迭代次数通常设置为 50 次，但其在迭代 30 余次时已达到收敛条件并终止，这一过程可在数分钟内完成。(2)二者优化算法的差异会对优化时间产生一定的影响。(3)二者所依托的硬件的差别较大，Ray Station 7 治疗计划系统的中央处理器(CPU)的主频比 TOMO 治疗计划系统高，其使二者的计划设计所需时间存在巨大差异。但造成二者硬件差异的最主要原因是 Ray Station 7 治疗计划系统采用的图形处理器(GPU)加速方法可以极大地节省计划优化时间和剂量计算时间。尽管 TOMO 治疗计划系统采用了多线程的中央处理器(CPU)计算，但其优化时间和剂量计算时间仍然较长。(4)二者计算网格的不同也会对

优化时间产生一定的影响，TOMO 的计算网格为 $0.195\ \text{cm}\times 0.195\ \text{cm}$ ，Ray Station 7 为 $0.225\ \text{cm}\times 0.225\ \text{cm}$ ，因此同样体积条件下 TOMO 治疗计划系统计算的数据量更大。

Ray Station 7 计划的执行时间与 TOMO 计划接近，相差仅 1.1 s，二者计划执行的效率相当。

不同放疗计划系统的放疗剂量会受到物理技师对计划系统的优化能力和熟悉程度的影响，这也是 2 种计划的执行时间存在微小差异的原因。在临床实践中，物理技师通常会反复修改优化参数以达到最佳的临床目标。

综上所述，在相同的剂量学优化条件下治疗复杂病种鼻咽癌患者时，Ray Station 7 治疗计划系统和 TOMO 治疗计划系统优化的计划存在微小的剂量学差异，但二者均可满足临床要求。Ray Station 7 治疗计划系统在保护危及器官脊髓方面稍逊于 TOMO 治疗计划系统，但其脊髓限量在临床剂量限量的范围内，2 种计划中，脑干、腮腺、颞叶的剂量学指标大体相同，同时也符合临床剂量学的要求。但因本研究中的研究对象均为鼻咽癌患者，故其他肿瘤患者的螺旋断层调强放疗计划值得进一步研究和比较。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明 苏灿森负责论文的撰写、数据的提供与分析；孙文钊负责论文的撰写、数据的提供与分析、方法的建立、论文的审阅；黄晓延负责方法的建立、论文的审阅

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: 408-475.
Hu YM. Radiation oncology physics[M]. Beijing: Atomic Energy Press, 1999: 408-475.
- [2] Pow EHN, Kwong DLW, McMillan AS, et al. Xerostomia and quality of life after intensity-modulated radiotherapy vs. conventional radiotherapy for early-stage nasopharyngeal carcinoma: initial report on a randomized controlled clinical trial[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2006, 66(4): 981-991. DOI: 10.1016/j.ijrobp.2006.06.013.
- [3] Oates JE, Clark JR, Read J, et al. Prospective evaluation of quality of life and nutrition before and after treatment for nasopharyngeal carcinoma[J]. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg*, 2007, 133(6): 533-540. DOI: 10.1001/archotol.133.6.533.
- [4] 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]. *Radiother Oncol*, 2012, 104(3): 286–293. DOI: 10.1016/j.radonc.2012.08.013.
- [5] 张力. 鼻咽癌的综合治疗进展[J]. *肿瘤防治研究*, 2019, 46(8): 667–671. DOI: 10.3971/j.issn.1000-8578.2019.19.0636.
- Zhang L. Progress on comprehensive treatment of nasopharyngeal cancer[J]. *Cancer Res Prev Treat*, 2019, 46(8): 667–671. DOI: 10.3971/j.issn.1000-8578.2019.19.0636.
- [6] 陈欣, 李萌萌, 陈如君, 等. 局部晚期鼻咽癌静态调强、容积旋转调强和螺旋断层调强放射治疗的剂量学比较[J]. *中国医学装备*, 2022, 19(3): 17–22. DOI: 10.3969/j.issn.1672-8270.2022.03.003.
- Chen X, Li MM, Chen RJ, et al. Dosimetric comparison of sIMRT, VMAT and HT for locally advanced nasopharyngeal carcinoma[J]. *China Med Equip*, 2022, 19(3): 17–22. DOI: 10.3969/j.issn.1672-8270.2022.03.003.
- [7] 崔珍, 刘佳, 孙巧玉, 等. 局部晚期鼻咽癌螺旋断层放疗与常规调强放疗的剂量学比较及近期疗效分析[J]. *蚌埠医学院学报*, 2021, 46(7): 887–892. DOI: 10.13898/j.cnki.issn.1000-2200.2021.07.012.
- Cui Z, Liu J, Sun QY, et al. Dosimetric comparison and short-term efficacy analysis of helical tomotherapy and intensity-modulated radiation therapy for locally advanced nasopharyngeal carcinoma[J]. *J Bengbu Med Coll*, 2021, 46(7): 887–892. DOI: 10.13898/j.cnki.issn.1000-2200.2021.07.012.
- [8] 许莉. 鼻咽癌螺旋断层放疗与常规加速器调强放疗的剂量学观察[J]. *世界最新医学信息文摘*, 2020, 20(12): 87, 89. DOI: 10.3969/j.issn.1671-3141.2020.12.054.
- Xu L. A dosimetric observe between helical tomotherapy and conventional IMRT for nasopharyngeal carcinoma[J]. *World Latest Med Inf*, 2020, 20(12): 87, 89. DOI: 10.3969/j.issn.1671-3141.2020.12.054.
- [9] 刘慧, 何汇朗, 陈炫光, 等. 鼻咽癌 HT 与 IMRT 急性不良反应比较[J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2019, 28(8): 580–583. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1004-4221.2019.08.005.
- Liu H, He HL, Chen XG, et al. Comparison of acute adverse reactions between helical tomotherapy and intensity-modulated radiation therapy for nasopharyngeal carcinoma[J]. *Chin J Radiat Oncol*, 2019, 28(8): 580–583. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1004-4221.2019.08.005.
- [10] Kirkpatrick JP, van der Kogel AJ, Schultheiss TE. Radiation dose–volume effects in the spinal cord[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2010, 76(Suppl): S42–49. DOI: 10.1016/j.ijrobp.2009.04.095.
- [11] 张石川, 刘丽, 廖文军, 等. 斜坡受侵鼻咽癌患者 105 例脑干剂量评价及长期随访结果[J]. *现代医药卫生*, 2017, 33(16): 2420–2424. DOI: 10.3969/j.issn.1009-5519.2017.16.005.
- Zhang SC, Liu L, Liao WJ, et al. Dosimetric analysis of brainstem and long-term follow-up of 105 patients with nasopharyngeal carcinoma invading clivus[J]. *J Mod Med Health*, 2017, 33(16): 2420–2424. DOI: 10.3969/j.issn.1009-5519.2017.16.005.
- [12] 范明新, 戚元刚, 张晴. 鼻咽癌放疗早期涎腺 DWI 变化及其与放疗后口干程度相关性[J]. *放射学实践*, 2019, 34(6): 614–618. DOI: 10.13609/j.cnki.1000-0313.2019.06.004.
- Fan MX, Qi YG, Zhang Q. Correlation between the changes of ADC value of salivary glands at the beginning of radiotherapy and degree of xerostomia after radiotherapy in patients with nasopharyngeal carcinoma[J]. *Radiol Pract*, 2019, 34(6): 614–618. DOI: 10.13609/j.cnki.1000-0313.2019.06.004.
- [13] Li Y, Taylor JMG, Ten Haken RK, et al. The impact of dose on parotid salivary recovery in head and neck cancer patients treated with radiation therapy[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2007, 67(3): 660–669. DOI: 10.1016/j.ijrobp.2006.09.021.
- [14] 谢铁明, 孔月, 石磊, 等. 鼻咽癌患者放疗后记忆功能及影像学改变的临床分析[J]. *中华放射医学与防护杂志*, 2018, 38(2): 105–109. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2018.02.005.
- Xie TM, Kong Y, Shi L, et al. Analysis of memory function and MRI changes in nasopharyngeal carcinoma patients after radiotherapy[J]. *Chin J Radiol Med Prot*, 2018, 38(2): 105–109. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2018.02.005.
- [15] 陈海文, 张坤强, 卢耀勇. 鼻咽癌海绵窦侵犯调强放疗后放射性颞叶损伤的临床分析[J]. *中国医药科学*, 2018, 8(23): 129–131. DOI: 10.3969/j.issn.2095-0616.2018.23.037.
- Chen HW, Zhang KQ, Lu YY. Clinical analysis of radioactive temporal lobe lesion after intensity modulated radiation therapy of cavernous sinus invasion of nasopharyngeal carcinoma[J]. *China J Med Pharm*, 2018, 8(23): 129–131. DOI: 10.3969/j.issn.2095-0616.2018.23.037.
- [16] 吴奕珊, 陈文芬, 郭灵, 等. 鼻咽癌调强适形放射治疗后颞叶放射性损伤的相关因素分析[J]. *中华肿瘤防治杂志*, 2014, 21(23): 1897–1901. DOI: 10.16073/j.cnki.cjcp.2014.23.013.
- Wu YS, Chen WF, Guo L, et al. Risk factors associated with temporal lobe necrosis in patients with nasopharyngeal carcinoma after intensity modulated radiation therapy[J]. *Chin J Cancer Prev Treat*, 2014, 21(23): 1897–1901. DOI: 10.16073/j.cnki.cjcp.2014.23.013.

(收稿日期: 2022-06-02)