

常规调强放射治疗技术用于初诊IVb期鼻咽癌骨转移的可行性研究

苏灿森^{1,2}, 李云宝¹, 孙文钊¹

(1. 中山大学肿瘤防治中心放疗科/华南肿瘤学国家重点实验室/肿瘤医学协和创新中心, 广东 广州, 510060;
2. 中山大学附属东华医院, 广东 东莞, 523120)

摘要:【目的】研究评估常规调强放射治疗技术用于初诊IVb期鼻咽癌骨转移的可行性。【方法】收集15例已经采取TOMO放射治疗的初诊IVb期鼻咽癌骨转移患者的计划,按照相同的临床剂量学要求,在Eclipse治疗计划系统上对靶区设置固定野的常规IMRT计划,采用滑窗技术,其中对鼻咽部位靶区设置等分角度的9野调强,骨转移靶区设置7野或者9野调强,比较分析对应计划的靶区处方剂量覆盖率、高剂量、均匀指数和适形度指数,统计部分危险器官的关键剂量指标差异,以及表征计划运行效率的机器跳数(MU)与治疗时间差异等。对两组数据进行配对 t 检验分析。【结果】对于鼻咽部位的靶区两种计划处方剂量覆盖基本相当,IMRT计划在PTV_{nx}部位的剂量均匀性较差且高剂量高于TOMO计划,而在骨转移部位IMRT的处方剂量对靶区覆盖率高于TOMO计划。对于重要的危险器官如脊髓和脑干,IMRT计划的 $D_{1\%}$ 则高于TOMO计划,但双侧腮腺的平均剂量则低于TOMO计划,但所有被评估的危险器官的剂量学指标均在临床要求范围内。【结论】对于初诊IVb期鼻咽癌骨转移放射治疗,常规IMRT技术可以提供与TOMO技术相当靶区剂量覆盖和正常器官的保护,对于基层无TOMO治疗机的放疗单位可以作为TOMO治疗技术的一种替代。

关键词:常规调强放射治疗;TOMO治疗;适形指数;均匀指数

中图分类号:R739.93;R73-33 文献标志码:A 文章编号:1672-3554(2021)03-0441-07

DOI:10.13471/j.cnki.j.sun.yat-sen.univ(med.sci).2021.0115

The Feasibility Study of Using IMRT Technique for Newly Diagnosed Stage IVb Nasopharyngeal Carcinomas with Bone Metastasis

SU Can-sen^{1,2}, LI Yun-bao¹, SUN Wen-zhao¹

(1. Department of Radiotherapy, Sun Yat-sen University Cancer Center//State Key Laboratory of Oncology in South China//Oncology Medical Union Innovation Center, Guangzhou 510060, China; 2. TungWah Hospital Affiliated to Sun Yat-sen University, Dongguan 523120, China)

Correspondence to: SUN Wen-Zhao E-mail: sunwzh@sysucc.org.cn;

Abstract:【Objective】To investigate the feasibility of using Intensity-modulated radiotherapy (IMRT) for newly diagnosed stage IVb nasopharyngeal carcinomas with bone metastasis.【Methods】Fifteen cases of stage IVb nasopharyngeal carcinoma with bone metastasis which were delivered under the Tomotherapy (TOMO) were selected. Under the same prescription dose requirements and dose constraints in TOMO, the IMRT plan was designed on Eclipse treatment planning system. For the target of nasopharyngeal site, 9 fix-gantry angle beams were used, and 7 or 9 fix-gantry angle beams were for the site of bone metastasis. The dosimetric indexes for plan comparison included prescription dose coverage and high dose coverage of the targets, homogeneity index and conformal index in target volume, the key dosimetric index for organs

收稿日期:2021-02-02

基金项目:广东省自然科学基金(2018A0303100020)

作者简介:苏灿森,学士,物理师,E-mail:540361617@qq.com;孙文钊,通信作者,博士,中级物理师,E-mail:sunwzh@sysucc.org.cn

at risk, the plan delivery efficiency indexes including the MU and plan delivery time. Data from the two groups were compared by paired *t*-test.【Results】To the gross targets of the nasopharyngeal site, both IMRT and TOMO plans had comparable dose coverage. But compared with TOMO plan, IMRT plan had a little worse performance in the dose uniformity and had a higher dose in targets. To the organs at risk, the D1% of spinal cord and brain stem in IMRT plan was higher than that in TOMO plan, but the average dose of parotids for IMRT plan was lower than that for TOMO plan. All the dosimetric indexes for plan evaluation were within the clinical dose tolerance.【Conclusions】For radiotherapy of newly diagnosed stage IV b nasopharyngeal carcinomas with bone metastasis, the IMRT technique could provide adequate target dose coverage and normal organ sparing compared with helical tomotherapy plan. IMRT technique could be a feasible alternative to helical tomotherapy for this treatment.

Key words: intensity-modulated radiotherapy; tomotherapy; conformal index; heterogeneity index

[J SUN Yat-sen Univ (Med Sci), 2021, 42(3): 441-447]

世界上 80% 的鼻咽癌病例发生在中国, 以两广、福建等省最为多见。鼻咽癌发生远处转移的概率为 21%~29%^[1-2], 其中骨转移是鼻咽癌远处转移中最为常见的部位之一, 潘长穿等^[3]研究了 1 016 例鼻咽癌远处转移患者的转移分层, 最常见的远处转移部分中, 骨转移占病例 53.3%。其临床症状表现为身体功能受限、疼痛等, 严重影响了患者的生存质量。对于初诊 IVb 期鼻咽癌骨转移, 目前以综合治疗手段为主^[4], 尤其在骨转移局部治疗中放射治疗是非常重要的治疗手段。有学者^[5]研究报道, 伴骨转移的鼻咽癌病人接受放疗联合化疗者, 其中位生存期明显长于单纯化疗者 (50.7 个月 *vs.* 22.8 个月, $P < 0.001$)。同时, 王丹丹等^[6]分析了 68 例首诊伴单纯骨转移鼻咽癌患者的预后, 得出了对于骨转移数目 ≤ 3 个的首诊单纯骨转移鼻咽癌患者, 应予以积极治疗, 包括采用 IMRT (intensity-modulated radiotherapy, IMRT) 技术。因此, 鼻咽癌伴骨转移的患者在积极治疗后可获得较长生存期。但由于伴骨转移的鼻咽癌靶区既包含了头颈部病灶, 同时也包含了脊柱等椎体转移灶, 并且周边受脑干、脊髓等重要危险器官耐受剂量的限制, 因此, 为了提高肿瘤控制率的同时最大限度的保护重要危险器官, 伴骨转移的鼻咽癌的治疗计划需要满足较高的剂量调制能力, 较短的治疗时间等要求^[7]。崔佳宁^[8]等人认为, 脊椎转移是肿瘤患者常见的一种并发症, 放疗是治疗脊椎转移的一种有效手段。由于 TOMO 放疗适合长靶区肿瘤照射的特点^[9], 临床上对于长靶区肿瘤照射如全脑全脊髓照射倾向于优先选择 TOMO 照射技术^[10]。而在我国, 拥有 TOMO 机器的医院并不是很多, 特别是鼻咽癌高发的

广东省地方医院很少能拥有 TOMO 治疗机^[11], 而开展常规调强放射治疗技术的直线加速器相对较多。因此, 本文旨在通过对常规 IMRT 技术与 TOMO 治疗技术在治疗计划质量的比较分析, 以评估在临床上使用常规 IMRT 技术的可行性。

1 材料与方法

1.1 一般资料

收集 2017 年 5 月到 2018 年 6 月期间已经接受 TOMO 治疗的 15 例鼻咽癌骨转移患者的计划数据资料, 其中已排除了肋骨转移及其他器官转移的患者数据。所有入组患者均经病理证实为鼻咽癌, 通过 ETC 诊断和 X 线、CT 扫描或 MRI 扫描确诊有为骨转移瘤。其中男性 12 例, 女性 3 例。15 例患者转移灶共计 25 处, 其中颈椎转移 5 处, 胸椎转移 14 处, 腰椎转移 4 处, 腰椎尾椎髂骨连接转移 1 处。已征得患者知情同意, 本研究已获中心伦理委员会批准, 所有涉及患者个人隐私的信息在研究中均已匿名化处理。

1.2 CT 扫描与获取

全部病例均采用仰卧位, 双手自然放在身体两侧, 头颈部用热塑膜固定, 体部用真空袋固定。在患者体表和面罩上做好标记并贴好铅点, 扫描范围覆盖整个靶区并多出 10 cm 左右, 扫描层距为 3 mm。扫描后通过 DICOM 传至计划系统工作站。

1.3 靶区勾画

在计划系统工作站上逐层勾画靶区和正常器官。其中靶区有鼻咽癌原发病灶 GTV_{nx}, 双侧淋巴结病灶 GTV_{nd}, 临床侵犯区域 CT1 和 CTV2, 以及

椎体转移灶GTV和CTV。对于所有靶区进行全向外扩3 mm产生PTV,椎体转移灶在外扩生成PTV时需减去脊髓部分。

1.4 计划设计

TOMO (Accuray, Hi-Art V5.1.3, 安科瑞公司, 美国)的计划设计时Jaw size均采用2.51 cm, Pith设置为0.287, 调制因子初设为3.8, 剂量网格为Fine模式, 对应计算网格大小为0.225 cm×0.225 cm。能量为6 MV, 剂量率固定为886 MU/min。Eclipse (V11.0, 瓦里安公司, 美国)计划系统设计的计划为固定野调强, 采用滑窗技术调制, 其中鼻咽部位采用等角度划分的9野调强^[12], 椎体转移部位为7野或9野调强照射^[7]。计算模型选取Trilogy机型(瓦里安公司, 美国), 叶片为60对, 其中中间40片为0.5 cm宽度, 两侧各10片叶片为1 cm宽度, 能量为6 MV光子线, 计算网格大小为0.25 cm×0.25 cm。设定剂量率为400 MU/min。

靶区处方剂量分别是: PTV_{nx}是6 580~7 020 cGy, PTV1是5 600~6 000 cGy, PTV2是5 040~5 400 cGy, PGTV-bone是5 000~6 900 cGy, PCTV-bone是4 000~5 408 cGy。治疗分次为28~33次。

TOMO和Eclipse治疗计划系统优化参数都使用的是剂量-体积的参数进行目标约束。两套治疗计划系统设计的计划采用相同的剂量学评价指标, 包括靶区95%的处方剂量至少要覆盖95%的靶区体积, 仅对椎体转移部位的临床靶区PTV出于对危险器官脊髓的保护而降低要求, 处方剂量的95%至少覆盖靶区90%的体积。

1.5 评价指标

对于靶区统计参数有: 95%的处方剂量包绕的靶区体积的 V_{95} 、靶区内覆盖2%体积的最大剂量D2%、均匀指数HI、适形指数CI; 对于重要危险器官统计的参数有: 脊髓的D1% (部分延伸至马尾神经部分均按脊髓一起比较), 脑干的PRV_BS的D1%、双侧腮腺的平均剂量Dmean; 计划运行效率的评估参数有: 机器的跳数MU和治疗时间。其中适形指数计算公式:

$$CI = \frac{V_{t, ref}}{V_t} \times \frac{V_{t, ref}}{V_{ref}} \quad (1)$$

V_t 为PTV体积, $V_{t, ref}$ 为靶区内处方剂量包绕的绝对体积(cc), V_{ref} 为患者体内处方剂量包绕的绝对体积(cc);

均匀指数计算公式为:

$$HI = \frac{D2\% - D98\%}{D_p} \times 100\% \quad (2)$$

D_p 为处方剂量。

1.6 统计学方法

统计分析采用SPSS 19软件, 对两组计划之间评价指标的比较用配对t检验的双侧检验, $P < 0.05$ 为两组计划的对应评价指标差异有统计学意义。

2 结果

2.1 靶区剂量学比较

TOMO技术和常规IMRT技术计划的剂量学比较如表1所示, 其中鼻咽部位的各靶区的处方剂量覆盖 V_{95} 基本相同, 但PTV_{nx}内的表征高剂量的指标D2%存在显著差异, 常规IMRT计划的高量大于TOMO治疗技术的计划高量。此外, 常规IMRT计划的平均均匀指数和适形指数也劣于TOMO治疗计划, 但只有均匀指数评价指标差异有统计学意义($P < 0.05$)。然而对于椎体转移靶区, PGTV-Bone的 $V_{95}\%$ 值显示IMRT优于TOMO技术, 并且其差异有统计学意义($P < 0.05$), PTV-bone靶区 $V_{95}\%$ 平均值虽然也显示IMRT高于TOMO技术, 但是其无统计学意义($P > 0.05$)。图1A为其中一例患者的靶区DVH比较。

2.2 重要危险器官剂量学比较

对于伴骨转移的鼻咽癌, 其重要的危险器官有很多, 不仅头颈部有大量的危险器官, 椎体转移部分亦因部位不同而周边的危险器官不同, 虽然在计划设计阶段笔者都有考虑, 但数据统计后为了表格规范统一, 我们只选取了部分共有的危险器官进行比较分析, 包括: PRV-SC, PRV-BS, Parotid。两种计划的剂量学数据如表1中所示, 其中常规IMRT的PRV-SC的D1%均值和PRV-BS的D1%均值均高于TOMO的计划。但对于腮腺体积的均量则显示IMRT低于TOMO技术, 其差异无统计学意义($P > 0.05$)。图1B为一例危险器官的DVH比较。

2.3 计划运行效率比较

两种计划运行效率比较如表2所示。其中IMRT的出束时间的均值大约为8 min, 为TOMO出束时间的1/3。IMRT机器跳数的均值大约为2 400 MU, 为TOMO计划的1/10。

表1 常规IMRT计划与TOMO计划在伴骨转移鼻咽癌中的剂量学比较
 Table 1 The dosimetric comparison of the IMRT plan with TOMO plan for nasopharyngeal carcinomas with bone metastasis

Parameters	IMRT(Eclipse)	TOMO	<i>P</i>	Δ (%)
PTVnx				
$V_{95}/\%$	99.6±0.4[99.2-100]	99.4±0.6[98.8-100]	0.17	0.12
D2%/cGy	7 367.3±256.9[7 110.5-7 624.2]	7 199.3±328.7[6 870.6-7 527.9]	0.00	2.11
HI/%	8.17±1.74[6.42-9.91]	6.86±2.20 [4.66-9.05]	0.01	20.22
CI/%	52.2±25.9[26.3-78.0]	61.4±25.4 [36.0-86.9]	0.07	5.66
PTV1				
$V_{95}/\%$	99.5±0.5[99.0-100]	99.9±0.2[99.7-100]	0.39	0.10
PTV2				
$V_{95}/\%$	98.6±1.5[97.1-100]	99.7±0.2[99.59]	0.45	0.20
CI/%	71.1±0.164[54.7-87.6]	63.6±20.1[43.5-83.8]	0.10	4.54
PRV-SC				
D1%/cGy	4 680.6±666.6[4 014.0-5 347.9]	4 232.5±670[3 562.5-4 902]	0.57	2.95
PRV-BS				
D1%/cGy	5 770.1±1 124.5[4 645.6-6 894.7]	5 555.4±956.3[4 599.1-6 511.7]	0.27	3.52
Parotid-L				
Dmean/cGy	3 830.4±616.7[3 213.7-4 447.1]	3 991.5±688.8[3 303.2-4 680.7]	0.92	0.45
Parotid-R				
Dmean/cGy	3 863.1±699.9[3 163.2-4 562.9]	4 042.0±812.0[3 230-4 853.9]	0.51	3.32
PGTV-Bone				
$V_{95}/\%$	99.4±0.6[98.8-100]	96.3±3.7[92.7-100]	0.03	1.69
D2%/cGy	5 783.5±1 389.1[4 394.4-7 172.6]	5 685.5±1 497.5[4 188-7 182.9]	0.16	1.09
HI/%	11.29±7.43 [3.86-18.72]	12.13±9.03 [3.11-21.17]	0.34	14.31
CI/%	25.1±24.6[0.4-49.7]	13.5±12.8[0.7-26.3]	0.96	0.18
PCTV-Bone				
$V_{95}/\%$	99.2±0.8[98.4-100]	92.6±7.4[85.2-100]	0.32	1.76
CI/%	13.1±10.1 [3.0-23.1]	17.9±15.5[2.5-33.4]	0.40	11.09

3 讨论

骨是鼻咽癌晚期最常见的转移部位之一,而骨转移的常见部位又以脊柱转移最为常见。临床表现为疼痛,逐渐发展可出现神经症状和体征,从而严重影响患者的生活质量^[13]。而放射治疗的原则就是为了在最大程度地保护正常组织的同时也最大程度地杀灭肿瘤细胞,因此伴骨转移的鼻咽癌对放射治疗计划有较高的要求。

对于鼻咽癌靶区部分,两种计划的处方剂量覆盖基本相当,都达到了临床要求。其中两种计划的 V_{95} 和适形指数均值接近,而PTVnx的D2%和均匀指数HI有显著差异,从表中看到,IMRT计划的D2%数值、均匀指数都高于TOMO计划,其中D2%相差200 cGy左右。这可能是IMRT计划的靶区剂量均匀性较差,高剂量偏高,从而影响了均匀指数。但是IMRT计划的适形指数则低于TOMO计划,在处方剂量覆盖相似的情况下,这可能与IMRT计划

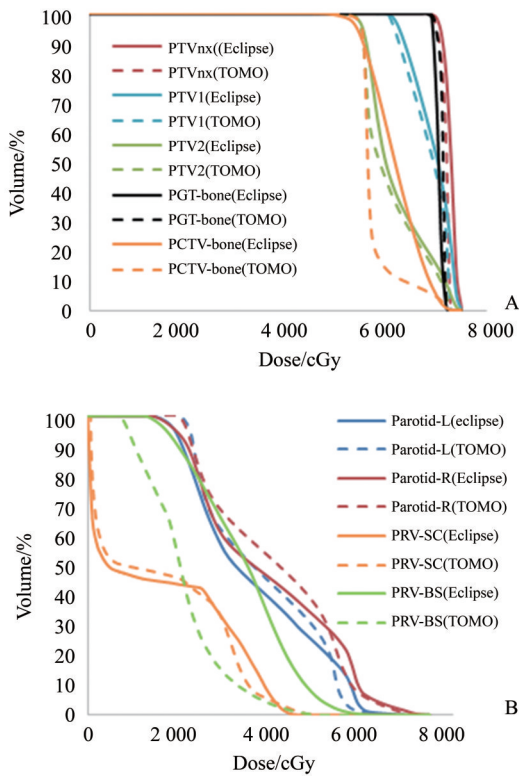


图1 一例伴骨转移鼻咽癌的两治疗计划DVH比较
Fig. 1 A DVH comparison between TOMO plan and IMRT plan for nasopharyngeal carcinomas with bone metastasis

D2%则偏高。骨转移中高发的椎体转移通常离脊髓比较近^[14],通过对比发现,IMRT的外扩脊髓PRV-SC的平均D1%要比TOMO计划的高400 cGy左右,这可能是常规IMRT的计划为了提高靶区的覆盖从而间接提高了脊髓的评估体积。图2中也可以看出IMRT计划中骨转移部位靶区的剂量均匀性较差。

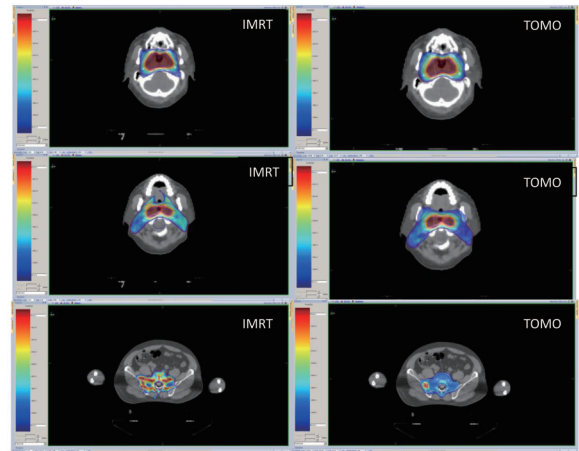


图2 一例伴骨转移鼻咽癌的两治疗计划平面剂量分布比较

Fig. 2 The planar dose distribution comparison with the two treatment plans for one case with nasopharyngeal carcinomas and bone metastasis

表2 常规IMRT计划与TOMO计划在伴骨转移鼻咽癌中的运行效率比较

Table 2 The delivery efficiency comparison between the IMRT plan and TOMO plan for nasopharyngeal carcinomas with bone metastasis ($\bar{x} \pm s$)

	IMRT(Eclipse)	TOMO	Ratio (Tomo/IMRT)
MU	2 398.5±1007.5	2 3201±14645	9.68
Time/min	7.995±3.358	26.950±17.078	3.37

处方剂量在靶区外覆盖了较多的体积有关。对于PTV2而言,IMRT计划的平均适形指数则优于TOMO计划。

对于骨转移靶区部分,IMRT计划的各项靶区指标(除D2%外)均优于TOMO计划。从表1中的数据对比可以看到,两者除V₉₅外其他评价标准差异均无统计学意义。对比数值发现,此表中IMRT的V₉₅要比TOMO的覆盖得好一些,但高剂量指标

对于伴骨转移的鼻咽癌患者而言,脊髓剂量的限制是最重要的。许鹏飞等^[15]指出鼻咽癌放疗可诱发放射性脊髓炎,通过减少脊髓的受照量照射,避免延迟性放射性脊髓炎的发生,可以适当提高患者的无病生存率。史亦飞^[16]也指出在放射治疗1~3年内,一些鼻咽癌患者在低头或是抬腿时会产生颈部向四肢放射性的麻木感和触电感,甚至发生肢体瘫痪等,直接降低其生活品质。因此,基于安全考虑在放疗中需尽可能地降低脊髓的受照剂量,然而由于鼻咽癌骨转移的靶区一般都比较复杂,易受摆位误差等因素影响,使脊髓比较容易暴露在较高照射剂量中。Han等^[17]研究了摆位误差对脊髓Dmax的影响,发现如果没有每日的摆位校正,脊髓Dmax平均增加达7.6%。John等^[18]统计过整个脊髓在每日200 cGy的常规治疗中,分别受量为5 000、6 000、6 900 cGy时,对应脊髓病相关的概率分别为0.2%、6%和50%。从表1中可见,两种计划中外扩的脊髓PRV-SC均低于5 000 cGy。因此,可以看出虽然TOMO对脊髓的保护优势很大,但常规的

IMRT也可以满足临床要求。

危险器官脑干的剂量评价指标差异无统计学意义。从表1中数据可发现,IMRT计划中外扩脑干PRV-BS的D1%平均要比TOMO的高150 cGy,脑干的功能主要是维持个体生命,包括心跳,呼吸,消化等重要生理功能。四川省癌症防治中心曾对105例鼻咽癌患者的脑干剂量进行过统计评价,并长期随访,得出结论为在单次剂量不超过200 cGy的情况下,将绝对脑干Dmax放宽到6 600 cGy,严格控制外放边界1 mm后D1%在6 300 cGy以下是安全的,并有利于提高局部晚期鼻咽癌患者的生存率^[18]。姚成云等^[19]也指出,当脑干D1% \leq 6 000 cGy、Dmax \leq 6 300 cGy、D 0.1 cm³ \leq 6 000 cGy、D 0.5 cm³ \leq 5 800 cGy和D 1.0 cm³ \leq 5 600 cGy时,发生放射性损伤概率可能较低($P=0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00$)。在此研究中,常规IMRT的和TOMO的PRV-BS的D1%分别为5 770.1 cGy和5 555.4 cGy,均少于6 300 cGy。因此可以看出TOMO对脑干的保护优势相对较好,但是在此研究中常规IMRT的脑干受量也是在临床剂量学要求阈值内。

放疗为鼻咽癌首选治疗方案,但因鼻咽癌射野会穿过全部或部分腮腺组织,不可避免引起口干,甚至有急性或后期的腮腺损伤^[20]。对于两种技术的计划,双侧腮腺的平均受量基本达到4 000 cGy

以内,但IMRT明显低于TOMO计划。王静等^[21]研究指出,正头颈部恶性肿瘤放射治疗后口干症的发生率很高,腮腺受到4 000 cGy以上的照射将导致持久性口干。

对于执行效率而言,常规IMRT技术明显优于TOMO技术。从治疗机器的MU上而言,常规IMRT技术的MU明显少于TOMO计划,约为十分之一, MU的显著减少也间接的降低的整个身体的低剂量照射,从而可能降低了第二癌的发生。从治疗时间来比较,IMRT治疗的时间约为TOMO治疗时间的三分之一,不过在实际治疗中,TOMO是连续运行计划,而常规IMRT则是需要在治疗后,治疗师进入机房移动治疗床,因此也会额外增加一定的时间。

本研究的不足之处在于,计划的优化结果会受到设计者的能力和主观理解的影响。虽然我们在研究方案设计时为了减少这种影响,所有的计划设计均由指定的一位资深物理师来完成设计,从而达到最佳的控制计划质量、保证数据的客观性,但依然无法完全去除影响计划质量人为因素。

综上所述,对于初诊鼻咽癌伴骨转移患者而言,IMRT技术可以取得与TOMO技术相当质量的计划,同时在腮腺保护方面有一定的优势。因此,对于地方没有TOMO治疗机的放疗单位而言,常规IMRT技术可以用于伴骨转移的鼻咽癌放射治疗。

参考文献

- [1] 罗彪. 放射治疗在鼻咽癌骨转移中的临床应用进展[J]. 右江医学, 2017, 14(5): 615-617.
Luo B. The clinical application progress of radiation therapy in nasopharyngeal carcinoma patients with bone metastases [J]. J Youjiang Med, 2017, (14) 5: 615-617.
- [2] 周洁瑕. 鼻咽癌为何被称为"广东癌"[J]. 家庭医药·快乐养生, 2019, (9):75.
Zhou JX. Why is nasopharyngeal cancer called "Cantonese cancer" [J]. Home Med, 2019, (9):75.
- [3] 潘长穿, 卢进, 陈萍, 等. 1016例鼻咽癌远处转移患者的转移分层细化及其临床意义[J]. 中华肿瘤杂志, 2013, 35(8):595-599.
Pan CC, Lu J, Chen P, et al. Evaluation of the prognostic significance of refinement and stratification of distant metastasis status in 1016 cases of nasopharyngeal carcinoma [J]. J Chin Oncol, 2013, 35 (8) : 595-599.
- [4] 王成涛, 曹卡加, 谢国丰, 等. 初诊远处转移鼻咽癌临床预后因素分析[J]. 中华肿瘤防治杂志, 2009, 16(6):439-442.
Wang CT, Cao KJ, Xie GF, et al. Analysis of clinical prognostic factors to newly diagnosed distant metastatic nasopharyngeal carcinoma [J]. J Chin Oncol Prev Treat, 2009, 16(6):439-442.
- [5] Cao X, Han Y, He L, et al. Risk subset of the survival for nasopharyngeal carcinoma patients with bone metastases: who will benefit from combined treatment [J]. Oral Oncol, 2011, 47(8):747-752.
- [6] 王丹丹, 李梅, 杨智宁, 等. 68例首诊伴单纯骨转移鼻咽癌患者预后分析[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2017, 26(10):1137-1140.
Wang DD, Li M, Yang ZN, et al. Prognostic analysis of 68 patients with initially diagnosed bone-only meta-

- static nasopharyngeal carcinoma[J]. J Chin Radiat Oncol, 2017, 26(10):1137-1140.
- [7] 张雷. 脊柱转移癌局部根治性调强放疗的治疗方案比较[D]. 新疆医科大学, 2010.
- Zhang L. Comparison of IMRT local radical treatment options to spinal metastases[D]. Xin Jiang Med Univ, 2010.
- [8] 崔佳宁. 脊柱转移瘤放射治疗进展[J]. 癌症进展, 2019, 17(1):31-62.
- Cui JN. Advances in radiotherapy for spinal metastases[J]. Oncol Prog, 2019 17(1):31-62.
- [9] 庞金猛. 探究螺旋断层放疗计划参数对放疗计划的影响[D]. 湖南:南华大学, 2020.
- Pang JM. Exploring the influence of parameters of tomotherapy on radiotherapy plan[D]. Hu Nan: South China Univ, 2020.
- [10] 杨美玲, 黎静, 李志强, 等. 螺旋断层放疗与常规放疗在全脑全脊髓照射中的剂量学比较[J]. 临床肿瘤学杂志, 2014, 19(8):718-722.
- Yang ML, Li J, Li ZQ, et al. Dosimetric comparison between helical tomotherapy and conventional radiotherapy for craniospinal irradiation[J], Chin Clin Oncol, 2014, 19(8):718-722.
- [11] 肖月, 邱英鹏, 史黎炜, 等. 螺旋断层放射治疗系统在我国公立医院应用现状分析[J]. 中国医学装备, 2020, 17(12):14-18.
- Xiao Y, QIU YP, Shi LW, et al. Analysis of the application status of Tomotherapy system in public hospitals in my country[J]. Chin Med Equi, 2020, 17(12):14-18.
- [12] 陈海雄, 宋炳文, 丁振华. 三种调强放射治疗鼻咽癌布野方案的剂量学比较[J]. 广东医学, 2014, 35(11):1673-1676.
- Chen HX, Song BW, Ding ZH. Dosimetric comparison of three radiotherapy plans for nasopharynx carcinoma[J]. J Guangdong Med, 2014, 35(11):1673-1676.
- [13] 王翰, 陈辉, 熊源长. 肿瘤骨转移疼痛管理进展[J]. 中国疼痛医学杂志, 2019, 25(11):859-862.
- Wang H, Chen H, Xiong YC. The progress of pain management to the tumor bone metastasis[J], J Chin Pain Med, 2019, 25(11):859-862.
- [14] 戴力扬. 脊柱转移性肿瘤的诊断和治疗[J]. 临床骨科杂志, 1999, 2(2):1-4.
- Dai LY. Diagnosis and treatment of metastatic neoplasms of the spine[J]. J Clin Orth, 1999, 2(2):1-4.
- [15] 许鹏飞, 郭灵, 徐永腾, 等. 鼻咽癌放疗后放射性脊髓损伤的临床研究[J]. 中华神经医学杂志, 2014, 13(11):1147-1153.
- Xu PF, Guo L, Xu YT, et al. Diagnosis and treatment of metastatic neoplasms of the spine[J]. J Clin Orth, 2014, 13(11):1147-1153.
- [16] 史亦飞. 浅析鼻咽癌放疗后遗症与防治[J]. 养生保健指南, 2018, (13):360.
- Shi YF. Analysis of the sequelae and prevention of radiotherapy for nasopharyngeal carcinoma[J]. Health Guide, 2018, 13360.
- [17] Han C, Chen YJ, Liu A. et al. Actual dose variation of parotid glands and spine cord for nasopharyngeal cancer patients during radiotherapy[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2008, 70:1256-1262.
- [18] John PK, Alabert J, Van DK, Timothy ES, et al. Radiation Dose-Volume effects in the spinal cord[J]. Int J Radiation Oncology Biol Phys. 2010; 76(Suppl 3): S42-S49.
- [19] 姚成云, 王丽君, 孔诚, 等. 鼻咽癌IMRT脑干损伤的剂量体积研究[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2017, 26(2):128-132.
- Yao CY, Wang L, Kong C, et al. A dose volume analysis of brain stem injury after intensity-modulated radiotherapy in patients with nasopharyngeal carcinoma[J]. J Chin Radiat Oncol, 2017, 26(2):128-132.
- [20] 范明新, 戚元刚, 张晴, 等. 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.
- 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]. Radiolo Pract, 2019, 34(6):614-618.
- [21] 王静, 翟振宇, 魏清, 等. 鼻咽癌调强放疗计划设计中有关误差的研究[J]. 医学研究杂志, 2005, 34(12):17-20.
- Wang J, Zhai ZY, Wei Q, et al. Study on the Deviation in the Design of Intensity Modulated Radiation Therapy Plan for Nasopharyngeal Carcinoma[J]. Bull Med Res, 2005, 34(12):17-20.