

DOI:10.3969/j.issn.1005-202X.2024.05.001

医学放射物理

不同体积脑转移瘤对容积旋转调强计划摆位误差的敏感性

徐中标, 黄唯

南方医科大学附属广东省人民医院(广东省医学科学院)放疗科, 广东 广州 510080

【摘要】目的:探讨不同体积脑转移瘤对容积旋转调强(VMAT)计划摆位误差的敏感性。**方法:**在头部CT图像上设置5个球形模拟多发脑转移瘤, 体积依次为 0.5 cm^3 (V1)、 1.7 cm^3 (V2)、 4.0 cm^3 (V3)、 8.1 cm^3 (V4)和 14.0 cm^3 (V5)。制定单等中心5弧非共面VMAT计划, 等中心点到各靶区的距离为5 cm。通过旋转治疗床模拟绕Z轴旋转的摆位误差 θ ($-3.0^\circ\sim 3.0^\circ$, 步长为 0.5°), 通过移动等中心在三维轴向(X/Y/Z)上的位置模拟平移误差($-3.0\text{ mm}\sim 3.0\text{ mm}$, 步长为 0.5 mm), 不改变优化条件的情况下, 重新计算剂量分布。记录旋转、平移后靶区的覆盖率, 并归一到未发生摆位误差下的相对覆盖率。运用线性回归法, 分析不同体积脑转移瘤靶区覆盖率与体积的相关性。**结果:**随着旋转误差的增加, 靶区相对覆盖率逐渐下降。恒定旋转误差情况下, 靶区相对覆盖率与体积呈线性相关($\theta=0.5^\circ$, $P=0.006$; $\theta=1.0^\circ$, $P=0.024$; $\theta=1.5^\circ$, $P=0.028$; $\theta=2.0^\circ$, $P=0.019$; $\theta=2.5^\circ$, $P=0.014$; $\theta=3.0^\circ$, $P=0.007$), 随着靶区体积增加, 靶区相对覆盖率逐渐上升。当旋转误差 $\theta<0.5^\circ$ 时, 无论大体积靶区(14.0 cm^3)还是小体积靶区(0.5 cm^3), 其靶区相对覆盖率变化均小于2%。随着平移误差的增大, 靶区相对覆盖率逐渐下降。相对于大体积靶区, 小体积靶区对平移误差更为敏感。当平移误差 $<0.5\text{ mm}$ 时, 大体积靶区相对覆盖率变化 $<2\%$, 而小体积靶区(0.5 cm^3)的相对覆盖率下降接近5%。**结论:**旋转误差恒定情况下, 靶区相对覆盖率与体积呈线性关系。相对于大体积靶区, 小体积靶区对平移误差更为敏感。建议对于小体积靶区在实施立体定向放射外科VMAT计划时, 旋转误差应控制在 0.5° 以内, 平移误差应控制在 0.5 mm 以内。

【关键词】脑转移瘤; 容积旋转调强; 旋转误差; 平移误差; 敏感性

【中图分类号】R739.41; R811.1

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2024)05-0529-05

Sensitivity of volumetric modulated arc therapy plan to setup errors in radiotherapy for brain metastases of various sizes

XU Zhongbiao, HUANG Wei

Department of Radiation Oncology, Guangdong Provincial People's Hospital (Guangdong Academy of Medical Sciences), Southern Medical University, Guangzhou 510080, China

Abstract: Objective To explore the sensitivity of volumetric modulated arc therapy (VMAT) plan to setup errors in radiotherapy for brain metastases of various sizes. **Methods** Five spheres were set to simulate multiple brain metastases in the CT image, with the volumes of 0.5 , 1.7 , 4.0 , 8.1 , and 14.0 cm^3 , respectively. A single isocenter 5-arc non-coplanar VMAT plan was generated, and the distance from isocenter to each target was 5 cm . The rotational setup error θ around the Z axis was simulated by rotating the treatment couch (clockwise from -3.0° to 3.0° , with a step length of 0.5°); and the translational setup error (from -3.0 mm to 3.0 mm , with a step length of 0.5 mm) was simulated by changing the position of the isocenter on the three-dimensional axis (X/Y/Z). The dose distribution was recalculated in the optimization conditions remaining unchanged. The target coverage after rotation and translation was recorded and normalized to the relative coverage without setup error. The correlation between the target coverage of brain metastases of various sizes and the setup error was analyzed with linear regression method. **Results** The relative coverage decreased gradually as rotational setup error increased. With the same rotational setup error, the relative coverage was in linear correlation with target volume ($\theta=0.5^\circ$, $P=0.006$; $\theta=1.0^\circ$, $P=0.024$; $\theta=1.5^\circ$, $P=0.028$; $\theta=2.0^\circ$, $P=0.019$; $\theta=2.5^\circ$, $P=0.014$; $\theta=3.0^\circ$, $P=0.007$), and the relative coverage increased with increasing target volume. When the rotational setup error was less than 0.5° , the relative coverage was less than 2% regardless of whether the target area was large (14.0 cm^3) or small (0.5 cm^3). The relative coverage decreased gradually as translational setup error increased. Compared with large target area, small

【收稿日期】2024-02-25

【基金项目】国家自然科学基金(62101144); 广东省人民医院启动经费(KY012021473)

【作者简介】徐中标, 博士, 助理工程师, 研究方向: 放射物理、图像处理, E-mail: xzbiao19890507@126.com

【通信作者】黄唯, 硕士, 工程师/物理师, 研究方向: 医学图像处理、医学物理学, E-mail: huangwei_0118@163.com

target area was more sensitive to translational setup error. When the translational setup error was less than 0.5 mm, the relative coverage of the large target area varied less than 2%, while the relative coverage of the small target area (0.5 cm³) decreased by nearly 5%. **Conclusion** When the rotational setup error is constant, the relative coverage of the target has linear relationship with target volume. Small target area is more sensitive to translational setup error than large target area. The rotational setup error within 0.5° and the translational setup error within 0.5 mm are recommended when implementing SRS VMAT plan for small target area.

Keywords: brain metastasis; volumetric modulated arc therapy; rotational setup error; translational setup error; sensitivity

前言

立体定向放射外科 (Stereotaxic Radiosurgery, SRS) 是通过立体定向的方法, 将高能射线聚焦于颅内靶区, 使得靶区受到高剂量照射, 靶区外周围正常组织因剂量迅速跌落而免受累及的一种高度精确放疗新技术, 具有照射范围小, 单次照射剂量高, 分割次数少的特点^[1]。相对于传统的脑转移瘤标准治疗方案全脑放射治疗 (Whole Brain Radiotherapy, WBRT), SRS 具有更高的生物等效剂量 (Biological Equivalent Dose, BED), 肿瘤局部控制率更高, 并发症或后遗症更少, 逐渐成为多发脑转移瘤的重要治疗手段^[2-6]。SRS 的实现方法主要有有限光筒和容积旋转调强 (Volumetric Modulated Arc Therapy, VMAT) 技术, 其中 VMAT 是一种旋转照射的动态放疗方式, 可通过改变机架旋转速度, 多叶准直器形状、叶片速度和剂量率实现不规则肿瘤的剂量叠加和调整^[7]。

VMAT 最优计划的选择不仅需要考虑静态条件下 VMAT 计划剂量学参数的优劣 (靶区覆盖率、危及器官受照射剂量、剂量梯度跌落指数等), 还需考虑实际放疗过程中 VMAT 计划的稳健性 (对摆位误差的敏感性)^[8]。临床上, 可通过在放疗计划系统中几何模拟预期误差, 不进行通量优化, 重新计算剂量分布来评估 VMAT 计划的稳健性。目前国内外已有较多研究报道摆位误差对 VMAT 计划剂量分布的影响^[8-10], 然而鲜有文献定量分析不同体积脑转移瘤对 SRS VMAT 计划摆位误差的敏感性。本文通过在放疗计划 (Treatment Planning System, TPS) 系统中模拟不同方向、不同大小的摆位误差, 分析在多发脑转移瘤 SRS VMAT 计划中不同体积靶区对摆位误差的敏感性。

1 资料与方法

1.1 仪器设备

选取脑转移瘤患者的头部定位 CT 图像 1 例, CT 扫描层厚为 1.5 mm; 瓦里安直线加速器, 射线能量为 6 MV 光子, 配备 60 对全自动独立多叶准直器, 中间 40 对叶片宽度为 5 mm, 其余 20 对叶片宽度为 10 mm, 最大视野为 40 cm×40 cm; 瓦里安 Eclipse 13.5 治疗计划系统, 采用滑窗调强运动模式, 可实现 VMAT 计划设计。

1.2 靶区勾画及 VMAT 计划设计

在头部 CT 图像中勾画 5 个球形模拟多发脑转移瘤, 体积依次 0.5 cm³ (V1)、1.7 cm³ (V2)、4.0 cm³ (V3)、8.1 cm³ (V4) 和 14.0 cm³ (V5), 如图 1a 所示。制定单等中心 5 弧非共面 VMAT 计划, 等中心点到各靶区的距离为 5 cm。0°床角采用顺时针全弧照射; 40°床角, 机架角度从 330°逆时针旋转到 200°; 70°床角, 机架角度从 190°顺时针旋转到 320°; 300°床角, 机架角度从 10°顺时针旋转到 160°; 330°床角, 机架角度从 160°逆时针旋转到 10°, 如图 1b 所示。多叶准直器角度设置为 350°或 10°。VMAT 计划优化采用剂量体积优化 (Dose Volume Optimizer, DVO) 算法, 剂量计算采用各向异性分析 (Anisotropic Analytical Algorithm, AAA) 算法, 剂量网格设置为 2.5 mm/voxel, 处方剂量设置为 18 Gy/次, 要求 100% 处方剂量至少包围 95% 靶体积, 危及器官限量参照 RTOG 0225 标准。

1.3 摆位误差的模拟

在 TPS 系统中, 通过旋转治疗床模拟绕 Z 轴旋转的摆位误差 (θ 从 -3° 旋转至 3°, 步长为 0.5°)。通过移动等中心在三维轴向 (X/Y/Z) 上的位置模拟平移误差, 平移误差分别选取 ±0.5、±1.0、±1.5、±2.0、±2.5、±3.0 mm。不改变优化条件的情况下, 重新计算剂量分布, 计划评价参数为靶区覆盖率。所有生成的 VMAT 计划, 均不作为实际执行治疗计划, 仅限于实验参数比较, 靶区覆盖率均被归一到未发生摆位误差情况下的相对覆盖率 Re:

$$Re = \frac{R(x)}{R_0} \times 100\% \quad (1)$$

其中, R 为旋转或平移误差为 x 时, 靶区的覆盖率; R_0 为未发生摆位误差时靶区的覆盖率。采用 OriginPro 2021 软件运用线性回归法, 分析不同体积脑转移瘤靶区覆盖率与体积的相关性。

2 结果

2.1 旋转误差对不同体积靶区相对覆盖率的影响

随着旋转误差的增加, 靶区相对覆盖率逐渐下降, 如图 2a 所示。相同旋转误差情况下, 靶区相对覆盖率与体积呈线性关系, 随着靶区体积增加, 靶区相对覆盖率逐渐上升, 如图 2b 和表 1 所示。当旋转误差 $\theta \leq 0.5^\circ$ 时, 旋转误差对靶区相对覆盖率影响较小, 不同体积靶区的相对覆盖率下降均小于 1%。

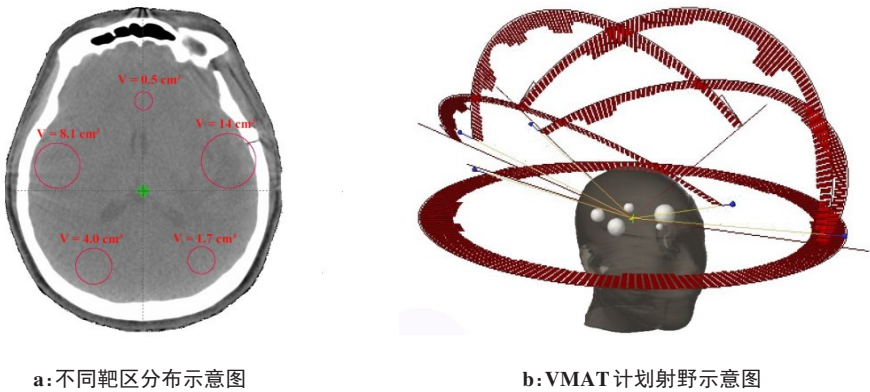


图1 靶区和射野分布示意图

Figure 1 Schematic diagram of target areas and field distribution

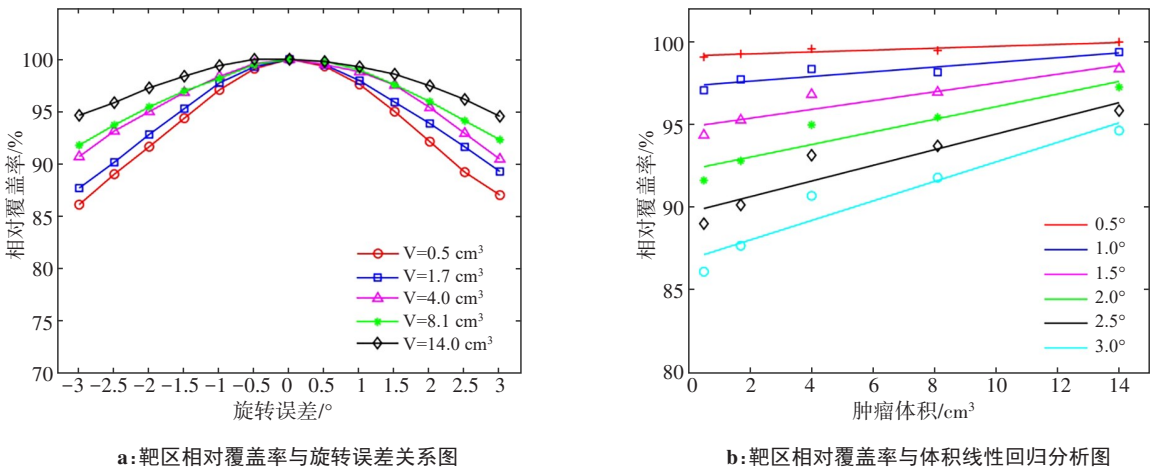


图2 旋转误差对不同体积靶区相对覆盖率的影响

Figure 2 Effects of rotational setup error on relative coverage of different target areas

表1 不同旋转和平移误差的靶区相对覆盖率与体积的线性相关分析

Table 1 Linear correlation analysis of relative coverage and target volume with different rotation and translation errors

旋转/平移误差	线性相关系数R				P值			
	θ旋转方向	X轴方向	Y轴方向	Z轴方向	θ旋转方向	X轴方向	Y轴方向	Z轴方向
0.5°/0.5 mm	0.942	0.839	0.678	0.809	0.006	0.076	0.208	0.097
1.0°/1.0 mm	0.859	0.816	0.720	0.820	0.024	0.092	0.171	0.089
1.5°/1.5 mm	0.848	0.824	0.770	0.816	0.028	0.086	0.128	0.092
2.0°/2.0 mm	0.878	0.824	0.788	0.849	0.019	0.086	0.113	0.069
2.5°/2.5 mm	0.899	0.812	0.790	0.862	0.014	0.095	0.112	0.060
3.0°/3.0 mm	0.936	0.804	0.798	0.862	0.007	0.101	0.105	0.060

2.2 平移误差对不同体积靶区相对覆盖率的影响

随着平移误差的增大,靶区相对覆盖率逐渐下降,如图3a~c所示。相对于大体积靶区(V5),小体积靶区(V1)对平移误差更为敏感。平移误差为0.5 mm时,V2、V3、V4及V5靶区相对覆盖率下降均小于2%,而小体积靶区V1在X和Y轴方向的靶区相对覆

盖率下降接近5%。当平移误差由0 mm增加至3 mm时,V1、V2、V3、V4和V5的靶区相对覆盖率分别平均下降34.7%、22.3%、15.2%、12.0%及10%。恒定平移误差下,患者在X/Y/Z轴方向靶区相对覆盖率与体积线性相关分析P值,见图3d~f和表1。

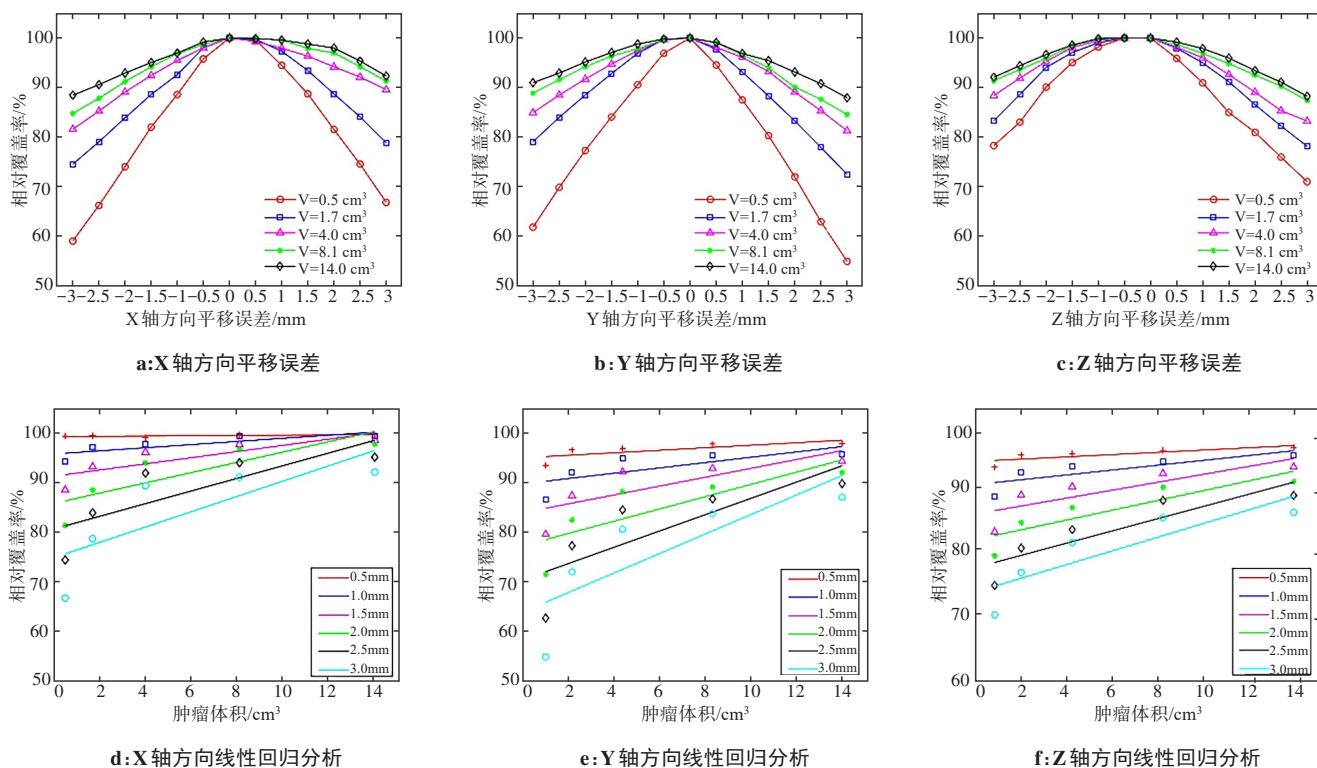


图3 平移误差对不同体积靶区相对覆盖率的影响

Figure 3 Effects of translational setup error on relative coverage of different target areas

3 讨论

临床工作中,对放疗计划的评价是基于TPS系统中静止的解剖图像。然而在实际治疗中,由于患者身体与定位时发生了相对变化,使得实际治疗位置与计划设计时的位置不一致,即产生摆位误差。从类型上可将摆位误差分为系统误差和随机误差^[11]。系统误差是在同一条件下多次重复同一量值时误差不变或按一定规律变化。随机误差的产生与技术员摆位的熟练程度、患者配合情况等因素有关,具有偶发性和随机性^[12]。尽管采用了各种措施去控制,但依然存在或大或小的摆位误差。ICRU 24号报告指出放疗期间患者体位移动3 mm,疗效下降3.3%;移动5 mm,疗效下降18.4%;移动6 mm,疗效将下降33.1%^[13]。研究表明,相对于三维适形计划,静态调强计划或VMAT计划对摆位误差的敏感度更高^[14-15]。目前,文献主要侧重于研究摆位误差对大体积肿瘤IMRT或VMAT计划的剂量学影响^[16-17],如头颈部肿瘤、胸腹部肿瘤等。鲜有文献报道不同体积脑转移瘤对VMAT计划摆位误差的敏感性分析。

本研究分析了不同体积脑转移瘤对VMAT计划摆位误差的敏感性,模拟了最坏情况下($\pm 3.0^\circ$ 旋转误差和 ± 3 mm平移误差)对不同体积靶区相对覆盖率的影响,结果显示脑转移瘤靶区相对覆盖率与体积相关,体积越小对摆位误差越敏感。临床研究表

明3%~5%的剂量偏差可使得肿瘤局控率下降及正常组织并发症增加^[18-19]。在本研究中当旋转误差 $<0.5^\circ$ 时,无论大体积靶区(14.0 cm^3)还是小体积靶区(0.5 cm^3),其靶区相对覆盖率变化均小于2%。当平移误差为0.5 mm时,大体积靶区相对覆盖率下降小于2%,而小体积靶区(0.5 cm^3)的相对覆盖率下降接近5%。Gutfield等^[19]的研究结果表明脊柱立体放疗(Stereotactic Body Radiation Therapy, SBRT)计划中大于 2° 的旋转误差需要校正。王琦等^[20]的研究表明旋转误差影响直肠癌VMAT验证计划的 γ 通过率,旋转角度越大, γ 通过率越低,建议旋转误差控制在 1° 以内。然而不管是脊柱SBRT计划还是直肠癌VMAT计划,其靶区体积都比较大,对摆位误差的容忍度较高。国内外关于头部立体定向放疗的摆位误差阈值设置,一般为旋转误差控制在 $0.5^\circ\sim 1.0^\circ$,平移误差控制在 $0.5\sim 1.0\text{ mm}$ ^[21-22]。邓官华等^[23]建议在实施多发脑转移SRS VMAT计划时,六维床旋转误差校正阈值应设置为 0.5° 。TG-142号^[24]报告也要求SRS计划旋转偏移角度应控制在 0.5° 以内,平移误差应控制在1 mm以内。这一要求对于大体积脑转移瘤VMAT计划精度是足够的,但对于小体积靶区($<0.5\text{ cm}^3$),应执行更为严格的标准,即旋转误差应控制在 0.5° 以内,平移误差应控制在0.5 mm以内。本研究发现相对于旋转误差,多发脑转移瘤VMAT

计划对平移方向误差更为敏感,且X/Y轴方向平移误差影响尤为明显。笔者认为对于旋转和平移方向上摆位误差敏感性不同的原因在于本研究中MLC运动方向垂直于Y轴方向,X/Y轴方向的误差使得靶区在所形成的误差范围内直接逃离照射野辐射范围,这将导致这一部分射野外的靶区剂量骤降;而旋转误差及Z轴方向的误差在射野近乎360°环绕的情况下,靶区剂量覆盖率的影响明显更小。这提示在实施SRS VMAT计划校正摆位误差时,需要特别注意平移方向的误差,减少平移误差对靶区剂量的影响。

虽然本文分析了不同体积脑转移瘤对VMAT计划摆位误差的敏感性,但仍存在一定的局限性。其一,本文对于摆位误差的研究为单个方向的,但在实际治疗中,往往是多个方向的摆位误差同时存在。其二,本文中未探讨弧数对摆位误差的影响。根据AAPM 101报告,靶区剂量分布与弧数相关,当弧数充足时,射束方向性重要程度下降。其三,未研究靶区到等中心距离对摆位误差的影响。李志聪等^[25]的研究表明靶区到等中心的距离越远,旋转误差越大,靶区的剂量偏差越大。尽管本研究仅进行1例多发脑转移瘤病例的观察和研究,缺乏普遍性意义,但研究结果与文献报道相似,再次表明了加强摆位误差控制对多发脑转移瘤SRS VMAT计划的重要性和必要性。因此,建议在多发脑转移瘤SRS VMAT计划实施过程中应加强摆位误差的控制,对摆位旋转误差 $>0.5^\circ$,平移误差 $>0.5\text{ mm}$ 时及时予以纠正。

【参考文献】

- [1] Ruggieri R, Naccarato S, Mazzola R, et al. Linac-based radiosurgery for multiple brain metastases: comparison between two mono-isocenter techniques with multiple non-coplanar arcs[J]. *Radiother Oncol*, 2019, 132: 70-78.
- [2] Steinmann D, Vordermark D, Gerstenberg W, et al. Quality of life in patients with limited (1-3) brain metastases undergoing stereotactic or whole brain radiotherapy: a prospective study of the DEGRO QoL working group[J]. *Strahlenther Onkol*, 2020, 196(1): 48-57.
- [3] Wei QH, He HM, Lv L, et al. The promising role of radiotherapy in the treatment of advanced or metastatic renal cell carcinoma: a narrative review[J]. *Transl Androl Urol*, 2020, 9(6): 2821-2830.
- [4] Sebastian NT, Glenn C, Hughes R, et al. Linear accelerator-based radiosurgery is associated with lower incidence of radionecrosis compared with gamma knife for treatment of multiple brain metastases[J]. *Radiother Oncol*, 2020, 147: 136-143.
- [5] Navarria P, Clerici E, Carta G, et al. Randomized phase III trial comparing gamma knife and linac based (EDGE) approaches for brain metastases radiosurgery: results from the gadget trial[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2018, 102(S3): S143-S144.
- [6] 张丁平,陈乃耀,黄越,等.脑放射治疗对认知功能的影响及机制研究进展[J]. *神经解剖学杂志*, 2020, 36(3): 345-348.
Zhang DP, Chen NY, Huang Y, et al. Research progress on the effect and mechanism of brain radiation therapy on cognitive function[J]. *Chinese Journal of Neuroanatomy*, 2020, 36(3): 345-348.
- [7] Bedford JL, Warrington AP. Commissioning of volumetric modulated arc therapy (VMAT)[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2009, 73(2): 537-545.
- [8] 张彪,贾鹏飞,汤乐民.摆位稳健性对IMRT与VMAT剂量学影响研究[J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2016, 25(7): 676-680.
Zhang B, Jia PF, Tang LM. Effects of positioning robustness on dosimetry for intensity-modulated radiation therapy and volumetric modulated arc therapy[J]. *Chinese Journal of Radiation Oncology*, 2016, 25(7): 676-680.
- [9] He YP, Chen SJ, Gao X, et al. Robustness of VMAT to setup errors in postmastectomy radiotherapy of left-sided breast cancer: impact of bolus thickness[J]. *PLoS One*, 2023, 18(1): e0280456.
- [10] Esposito M, Bruschi A, Bastiani P, et al. Characterization of EPID software for VMAT transit dosimetry[J]. *Australas Phys Eng Sci Med*, 2018, 41(4): 1021-1027.
- [11] van Herk M. Errors and margins in radiotherapy[J]. *Semin Radiat Oncol*, 2004, 14(1): 52-64.
- [12] Unkelbach J, Bortfeld T, Cardenas CE, et al. The role of computational methods for automating and improving clinical target volume definition[J]. *Radiother Oncol*, 2020, 153: 15-25.
- [13] Wambersie A. The role of the ICRU in quality assurance in radiation therapy[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 1984, 10 Suppl 1: 81-86.
- [14] Jensen CA, Roa AMA, Johansen M, et al. Robustness of VMAT and 3DCRT plans toward setup errors in radiation therapy of locally advanced left-sided breast cancer with DIBH[J]. *Phys Med*, 2018, 45: 12-18.
- [15] 姜庆丰,柏森,李贤富,等.摆位系统误差对乳腺癌调强放射治疗剂量分布的影响[J]. *华西医学*, 2014, 29(5): 937-939.
Jiang QF, Bai S, Li XF, et al. Effect of setting system error on dose distribution of intensity-modulated radiotherapy for breast cancer[J]. *West China Medical Journal*, 2014, 29(5): 937-939.
- [16] Shinde P, Jadhav A, Shankar V, et al. Assessment of dosimetric impact of interfractional 6D setup error in tongue cancer treated with IMRT and VMAT using daily kV-CBCT[J]. *Rep Pract Oncol Radiother*, 2023, 28(2): 224-240.
- [17] Rossi M, Boman E, Skyttä T, et al. Dosimetric effects of anatomical deformations and positioning errors in VMAT breast radiotherapy[J]. *J Appl Clin Med Phys*, 2018, 19(5): 506-516.
- [18] Hong TS, Ritter MA, Tomé WA, et al. Intensity-modulated radiation therapy: emerging cancer treatment technology[J]. *Br J Cancer*, 2005, 92(10): 1819-1824.
- [19] Gutfeld O, Kretzler AE, Kashani R, et al. Influence of rotations on dose distributions in spinal stereotactic body radiotherapy (SBRT)[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2009, 73(5): 1596-1601.
- [20] 王琦,龚恋,严文广,等.旋转误差对直肠癌容积旋转调强放射治疗验证计划 γ 通过率的影响[J]. *中南大学学报(医学版)*, 2020, 45(9): 1104-1108.
Wang Q, Gong L, Yan WG, et al. Effect of the rotation errors on the γ pass rate of volume-modulated arc therapy plan in rectal cancer[J]. *Journal of Central South University (Medical Science)*, 2020, 45(9): 1104-1108.
- [21] Huang YM, Zhao B, Kim J, et al. Targeting accuracy at couch kick for a frameless image guided radiosurgery system[J]. *J Radiosurg SBRT*, 2018, 5(2): 123-129.
- [22] Ackerly T, Lancaster CM, Geso M, et al. Clinical accuracy of ExacTrac intracranial frameless stereotactic system[J]. *Med Phys*, 2011, 38(9): 5040-5048.
- [23] 邓官华,林正茂,陈丽霞,等.机械旋转误差对多发脑转移瘤VMAT计划剂量分布的影响[J]. *中国医学物理学杂志*, 2020, 37(1): 38-43.
Deng GH, Lin ZM, Chen LX, et al. Effect of rotational mechanical errors on dose distribution of volumetric modulated arc therapy for multiple intracranial metastases[J]. *Chinese Journal of Medical Physics*, 2020, 37(1): 38-43.
- [24] Faught AM, Trager M, Yin FF, et al. Re-examining TG-142 recommendations in light of modern techniques for linear accelerator based radiosurgery[J]. *Med Phys*, 2016, 43(10): 5437.
- [25] 李志聪,向昭雄,游雁,等.旋转摆位误差对调强放疗剂量准确性的影响[J]. *医疗卫生装备*, 2016, 37(4): 109-111.
Li ZC, Xiang ZX, You Y, et al. Impact of rotational set-up error in dose veracity of intensity-modulated radiotherapy[J]. *Chinese Medical Equipment Journal*, 2016, 37(4): 109-111.

(编辑:薛泽玲)