

3种立体定向放射外科技术在不同脑转移瘤个数下的比较

魏夏平¹, 苏洁洪¹, 林楚婕¹, 朱毅¹, 刘叶明¹, 黄明超¹, 黄小伟², 石俊月³

1. 广州中医药大学金沙洲医院肿瘤放射治疗中心, 广东 广州 510168; 2. 东莞理工学院科学技术处, 广东 东莞 523808; 3. 前海人寿广州总医院, 广东 广州 511300

【摘要】目的:比较HyperArc、容积旋转调强(VMAT)和射波刀(CyberKnife)在单发和多发脑转移瘤(BM)放射治疗中的剂量学差异。**方法:**将75例脑转移瘤CT图像分成5组(1 BM、4 BM、8 BM、15 BM、20 BM),分别设计HyperArc、非共面VMAT和CyberKnife这3种不同技术(HA、nCO-VMAT、CK)的计划。分析比较3种计划的剂量学差异,包括靶区适形度指数(CI)、梯度指数(GI)、正常脑组织平均剂量(Brain_{mean})、机器总跳数(MU)以及出束时间。**结果:**在1 BM中,HA、nCO-VMAT、CK的GI值($P=0.429$)和Brain_{mean}值($P=0.799$)接近;HA和nCO-VMAT的CI值接近,优于CK($P<0.001$)。在4 BM中,HA、nCO-VMAT、CK的GI值($P=0.334$)和Brain_{mean}值($P=0.317$)都接近;HA和nCO-VMAT的CI值接近,优于CK($P<0.001$)。在8 BM中,HA和nCO-VMAT的CI值接近,优于CK($P<0.001$);HA和CK的GI值接近,优于nCO-VMAT($P<0.001$)。在15 BM中,HA的CI值($P<0.001$)最优;CK的GI值($P<0.001$)最优,HA次之,nCO-VMAT最差;CK的Brain_{mean}值($P<0.001$)最优,HA次之,nCO-VMAT最差。在20 BM中,HA的CI值($P<0.001$)最优;CK的GI值($P<0.001$)最优,HA次之,nCO-VMAT最差。在所有组中HA和nCO-VMAT的MU值都比CK低,CK的出束时间都远大于HA和nCO-VMAT。**结论:**HA、nCO-VMAT与CK技术都可以降低正常脑组织的剂量,都能取得很好的CI和GI,但HA出束时间短,CK出束时间长。

【关键词】脑转移瘤;容积旋转调强;剂量学比较;HyperArc;射波刀

【中图分类号】R739.41;R815.6

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2022)11-1329-05

Comparison among 3 different SRS techniques in the treatment of single or multiple brain metastases

WEI Xiaping¹, SU Jichong¹, LIN Chujie¹, ZHU Yi¹, LIU Yeming¹, HUANG Mingchao¹, HUANG Xiaowei², SHI Junyue³

1. Department of Radiation Oncology, Jinshazhou Hospital of Guangzhou University of Chinese Medicine, Guangzhou 510168, China; 2. Office for Science and Technology, Dongguan University of Technology, Dongguan 523808, China; 3. Department of Radiation Oncology, Foresea Life Insurance Guangzhou General Hospital, Guangzhou 511300, China

Abstract: Objective To compare the dosimetric differences among HyperArc (HA), volumetric modulated arc therapy (VMAT) and CyberKnife (CK) in the radiotherapy of single or multiple brain metastases. **Methods** The CT images of 75 cases of brain metastases were divided into 5 groups (1 BM, 4 BM, 8 BM, 15 BM, 20 BM), and 3 different treatment plans (HA, nCO-VMAT and CK) were designed for each case. The treatment plans were evaluated and compared in terms of conformity index (CI), gradient index (GI), mean dose to normal brain tissues (Brain_{mean}), total monitor units (MU) and delivery time. **Results** In the cases of 1 BM and 4 BM, GI (1 BM: $P=0.429$; 4 BM: $P=0.334$) and Brain_{mean} (1 BM: $P=0.799$; 4 BM: $P=0.317$) did not differ significantly among HA, nCO-VMAT and CK; and the CI of HA was close to that of nCO-VMAT, and both of them were higher than that of CK (1 BM: $P<0.001$; 4 BM: $P<0.001$). In the cases of 8 BM, the CI of HA and nCO-VMAT was close and higher than that of CK ($P<0.001$), and the GI of HA and CK were close and higher than that of nCO-VMAT ($P<0.001$). In the cases of 15 BM, HA had the optimal CI among 3 different plans; and CK had the lowest GI ($P<0.001$) and Brain_{mean} ($P<0.001$), followed by HA and nCO-VMAT. In the cases of 20 BM, the optimal CI was found in HA ($P<0.001$); CK has the minimum GI ($P<0.001$), followed by HA and nCO-VMAT. In all groups, MU of both HA

【收稿日期】2022-06-19

【基金项目】国家自然科学基金青年基金(12004410)

【作者简介】魏夏平, 硕士, 研究方向: 肿瘤放射物理, E-mail: wei-xia-ping@163.com

【通信作者】苏洁洪, 工程师, 研究方向: 肿瘤放射物理, E-mail: 573921373@qq.com

and nCO-VMAT were lower than that of CK, and the beam delivery time of CK was much longer than those of HA and nCO-VMAT. **Conclusion** All these techniques (HA, nCO-VMAT and CK) can minimize the irradiated doses to normal brain tissues and achieve satisfying CI and GI. The beam delivery time required for HA is shorter, but the beam delivery time required for CK is much longer.

Keywords: brain metastasis; volumetric modulated arc therapy; dosimetric comparison; HyperArc; CyberKnife

前言

颅脑是多种恶性肿瘤的常见转移部位^[1-2],放射治疗作为脑转移瘤最为重要的姑息治疗手段,可在有效地改善脑转移瘤患者生活质量的同时延长生存期^[3-5]。脑转移瘤的治疗既往以全脑放射治疗(Whole-Brain Radiotherapy, WBRT)为主,但其颅内病灶控制率约为60%,中位生存期仅为3~6个月^[6-8],调强放射治疗(IMRT)技术的出现解决了WBRT肿瘤靶区照射剂量低和副反应大等缺点。IMRT能提高肿瘤靶区的处方剂量,降低邻近重要组织剂量,有效提高肿瘤的控制率和最大限度减少重要组织的损伤^[9-11]。容积旋转调强(VMAT)问世后,使用VMAT技术实现立体定向放射外科(Stereotactic Radiosurgery, SRS),能更好地保护靶区外的正常脑组织,降低副反应^[5-6]。Varian公司最新的HyperArc治疗技术(HA)和Accuray公司的CyberKnife治疗技术(CK)都适用于脑转移瘤的治疗。HA技术是快速自动的单中心非共面SRS VMAT技术,用于治疗单发或者多发的颅内病灶,计划流程高度自动化^[12-13]。CK是立体定向放射外科治疗设备,利用机器人手臂可以实现非等中心、非共面照射取得靶区内剂量高、靶区外剂量迅速跌落的效果^[14-16]。本研究分析了HA、nCO-VMAT、CK在不同个数脑转移瘤放射治疗中的剂量学差异,为脑转移瘤患者选择合适的治疗技术提供参考。

1 资料与方法

1.1 研究对象

回顾性选取2021年5~12月广州中医药大学金沙洲医院的肿瘤放射治疗中心19例脑转移瘤(转移瘤数目均为1~35个)患者的CT图像,按脑转移瘤个数不同分为5组(1 BM、4 BM、8 BM、15 BM、20 BM),每组15例(文中所有计划都不会用于临床治疗)。例如病例甲有35个转移瘤,随机选取其中若干个转移瘤归到相应的组,则产生了一个新的病例。最终,使用19个病例生成了75个病例。第1组:1个转移瘤;第2组:4个转移瘤;第3组:8个转移瘤;第4组:15个转移瘤,第5组:20个转移瘤。

1.2 定位机器、计划系统和治疗机器

CT模拟定位使用Siemens的SOMATOM Confidence四维大孔径模拟定位CT,nCO-VMAT和HA使用Varian的Eclipse15.6的计划系统(TPS),治疗机器为Varian的Truebeam 2.7。CK使用Accuray的Precision1.1 TPS,治疗机器为Accuray公司的CyberKnife M6。

1.3 治疗计划设计

75个病例靶区的处方剂量都相同,为40 Gy/10次,分别设计HA、nCO-VMAT和CK 3种不同技术的治疗计划。3种计划设计都是采用SRS的模式,100%处方剂量线覆盖95%靶区体积,最大点剂量小于130%。

1.3.1 HA计划 HA计划使用6 MV-FFF能量,剂量率为1 400 MU/min,采用TPS自动布野:1条全弧(床角0°)和3条非共面半弧(床角分别为315°、45°、90°)。75例HA计划的弧的起始角度、床角都相同,但小机头角度不相同,因为HA技术带有准直器优化功能,根据每个计划的转移瘤分布情况,系统自动优化出最优的小机头角度,形成所谓的“孤岛效果”^[12,17],即当照射其中多个转移瘤时,多叶准直器(MLC)能尽量遮挡住更多的正常脑组织,使得计划既能降低正常脑组织的剂量,又能一次性照射多个转移瘤,进而提高治疗效率。HA计划优化过程中具有SRS NTO(Normal Tissue Objective)功能,其效果明显优于传统的辅助结构“环”,使得靶区外的剂量线能够迅速跌落。

1.3.2 nCO-VMAT计划 nCO-VMAT计划采用非共面VMAT设计,使用6 MV-FFF能量档,剂量率为1 400 MU/min,手动设置机架起始角度、转床角度与HA计划一致:1条全弧(床角0°)和3条非共面半弧(床角分别为315°、45°、90°)。小机头角度只能手动设置,分别为30°、330°、0°、90°。

1.3.3 CK计划 CK计划使用6 MV-FFF能量档,剂量率为1 000 MU/min。根据每个计划转移瘤体积大小不同,采用3组不同尺寸的IRIS准直器设计计划。在满足100%处方剂量覆盖95%靶区的前提下,尽量减少出束时间。

1.4 剂量学分析方法

在3种治疗计划都满足100%处方剂量线覆盖95%靶区体积,最大点剂量小于130%的前提下,利用剂量体积直方图、SPSS统计分析软件评估3种治疗计划的适形度指数(CI)^[18]、梯度指数(GI)、机器跳数(MU)、脑组织平均剂量(Brain_{mean})和出束时间的差异。

$$CI = V_{p_{-i}}^2 / (V_p \times V_i) \quad (1)$$

其中, $V_{p_{-i}}$ 代表100%处方剂量线所包绕的靶区体积, V_p 代表100%处方剂量线的体积, V_i 代表靶区体积,CI值越接近1,说明适形性越好。

GI用来描述靶区外剂量线跌落程度:

$$GI = V_{50} / V_{100} \quad (2)$$

其中, V_{50} 是50%处方剂量线体积, V_{100} 是100%处方剂量线体积,GI值越小表示靶区外剂量跌落得越快。

1.5 统计学方法

使用SPSS 23.0统计分析软件对数据进行分析,计量资料不服从正态分布,采用 $M(Q1, Q3)$ 表示,采用非参数检验中独立样本克鲁斯卡尔-沃利斯检验分析进行多组间比较。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

表1总结了HA、nCO-VMAT、CK这3种不同计划5组的参数比较。在1 BM中,HA、nCO-VMAT、CK的GI值($P=0.429$)和Brain_{mean}值($P=0.799$)接近;HA和nCO-VMAT的CI值接近,优于CK($P < 0.001$)。在4 BM中,HA、nCO-VMAT、CK的GI值($P=0.334$)和Brain_{mean}值($P=0.317$)都接近;HA和nCO-VMAT的CI值接近,优于CK($P < 0.001$)。在8 BM中,HA和nCO-VMAT的CI值接近,优于CK($P < 0.001$);HA和CK的GI值接近,优于nCO-VMAT($P < 0.001$)。在15 BM中,HA的CI值($P < 0.001$)最优;CK的GI值($P < 0.001$)最优,HA次之,nCO-VMAT最差;CK的Brain_{mean}值($P < 0.001$)最优,HA次之,nCO-VMAT最差。在20 BM中,HA的CI值($P < 0.001$)最优;CK的GI值($P < 0.001$)最优,HA次之,nCO-VMAT最差。在所有组中HA和nCO-VMAT的MU值都比CK低,CK的出束时间都远大于HA和nCO-VMAT。

3 讨论

基于CK和VMAT的SRS广泛用于脑转移瘤治疗^[19-25]。HA是一种新的基于VMAT的非共面SRS技术。HA和nCO-VMAT的主要区别在于HA计划使用准直器角度优化和SRS NTO算法减少健康组织的照射,这使得靶区适形度更好的同时靶区外剂量线跌落更快。

本研究比较了HA、nCO-VMAT和CK对单个和多个脑转移瘤的剂量学影响。当BM个数在1~4个范围内时,HA、nCO-VMAT和CK的GI和Brain_{mean}无明显差异,3种SRS技术都可以很好地处理那些相对简单的靶点,但与HA和nCO-VMAT相比,CK的治疗时间相对较长。HA和nCO-VMAT的CI优于CK。随着BM数量的增加,HA、nCO-VMAT和CK的CI值也逐渐降低,CK在GI和Brain_{mean}上的优势更加明显,但是CK的出束时间是最长的。对于20 BM的情况,nCO-VMAT的CI、GI和Brain_{mean}均差于HA和CK,HA的CI优于CK,CK的GI和Brain_{mean}优于HA。

HA计划主要受益于准直器角度优化算法和SRS NTO算法。对于多个BM,准直器角度优化算法可以自动选择最佳准直器角度,从而最大限度地减少靶点之间的相互作用。SRS NTO在靶点周围产生陡峭的剂量衰减。对于CK,直线加速器安装在灵活的机械臂上,可以使用数量极多的非共面、非等中心射束实现靶区高剂量和靶区外剂量快速下降。另一方面,过多的非等中心治疗光束会导致出束时间急剧增加,尤其是BM超过15个的案例,CK的出束时间超过60 min,患者很难坚持这么长时间,而且在如此长的治疗时间内,如何保证位置精度也是一个难题。

1 BM组的CI值波动较大,其中某一病例的HA计划的CI值为0.84,小于1 BM组内平均值的0.93。经分析,该案例的靶点体积相对较小,为2.50 cm³。如果100%处方剂量线在靶区体积之外有少量溢出,CI值则会受到极大的影响。基于此原因,此病例HA、nCO-VMAT和CK获得的CI值都较差。随着BM数量的增加,靶区体积会变得更加复杂,导致CI值出现波动。对于20 BM,某一病例的HA和nCO-VMAT的CI远低于组内平均值,分析发现,其全部20个转移瘤的平均体积只有(0.40±0.32) cm³,MLC很难取得良好的适形性。相比之下,CK使用IRIS准直器会做得更好。

本研究的不足之处是每组的样本数量偏少,导致靶区形状和体积大小对CI、GI、MU和治疗时间的影响未能明显表现出来。靶区形状相对复杂的时候,MLC可能比IRIS更能取得较好的适形性,靶区体积较小的时候,IRIS可能比MLC适形性更好。未来工作将收集更多临床病例并对病例进行分组设计3种计划比较,从而为临床选择合适的治疗技术提供更准确的依据。

综上所述,HA、nCO-VMAT、CK均能有效进行脑转移瘤的放射治疗。HA是一种安全高效的SRS技术,在单发和多发脑转移瘤的治疗中,CI、GI和出束时间等均能取得满意的效果。

表1 5组HA、nCO-VMAT和CK的参数对比[M(Q1, Q3)]
Table 1 Dosimetric comparison among HA, nCO-VMAT and CK in 5 groups [M(Q1, Q3)]

组别	参数	HA	nCO-VMAT	CK	H值	P值
1 BM	CI	0.941(0.916, 0.971)	0.936(0.916, 0.949)	0.870(0.826, 0.890)	23.216	<0.001
	GI	3.080(2.800, 4.060)	3.160(2.960, 4.600)	3.300(2.970, 3.690)	1.691	0.429
	Brain _{mean} /Gy	1.253(0.845, 3.030)	1.311(0.938, 3.200)	1.270(0.790, 3.100)	0.448	0.799
	MU	1 068.000(1 039.000, 1 198.000)	1 052.000(924.000, 1 082.000)	3 001.000(2 815.000, 3 618.000)	30.948	<0.001
	出束时间/min	2.500(2.500, 2.500)	2.490(2.490, 2.490)	22.000(20.000, 24.000)	42.281	<0.001
4 BM	CI	0.922(0.899, 0.933)	0.918(0.900, 0.921)	0.800(0.787, 0.860)	26.932	<0.001
	GI	3.940(3.520, 4.380)	4.180(3.520, 5.800)	3.850(3.560, 4.440)	2.195	0.334
	Brain _{mean} /Gy	3.964(3.118, 5.142)	4.601(3.491, 5.504)	3.770(2.590, 4.910)	2.297	0.317
	MU	1 308.000(1 127.000, 1 376.000)	1 464.000(1 305.000, 1 669.000)	8 062.000(7 187.000, 9 257.000)	30.990	<0.001
	出束时间/min	2.500(2.500, 2.500)	2.490(2.490, 2.490)	42.000(39.000, 45.000)	42.284	<0.001
8 BM	CI	0.892(0.880, 0.898)	0.889(0.860, 0.897)	0.790(0.780, 0.806)	27.952	<0.001
	GI	4.770(4.430, 4.920)	5.780(5.080, 6.080)	4.600(4.260, 4.747)	26.743	<0.001
	Brain _{mean} /Gy	7.865(7.047, 8.170)	8.700(7.885, 8.960)	6.830(6.100, 7.320)	15.265	<0.001
	MU	1 793.000(1 727.000, 2 002.000)	1 652.000(1 550.000, 1 773.000)	10 562.000(9 703.000, 11 311.000)	33.081	<0.001
	出束时间/min	2.500(2.500, 2.500)	2.490(2.490, 2.490)	60.000(56.000, 70.000)	45.257	<0.001
15 BM	CI	0.872(0.866, 0.885)	0.853(0.838, 0.862)	0.763(0.746, 0.790)	30.638	<0.001
	GI	5.730(5.520, 6.110)	7.470(6.840, 8.260)	5.370(4.990, 5.630)	24.655	<0.001
	Brain _{mean} /Gy	11.079(10.340, 12.710)	12.034(10.980, 14.390)	9.000(7.850, 11.740)	14.053	0.001
	MU	2 803.000(2 222.000, 2 997.000)	1 752.000(1 669.000, 1 814.000)	14 916.000(11 540.000, 16 076.000)	39.133	<0.001
	出束时间/min	2.540(2.500, 2.570)	2.490(2.490, 2.490)	70.000(64.000, 72.000)	40.679	<0.001
20 BM	CI	0.850(0.761, 0.869)	0.808(0.704, 0.834)	0.724(0.690, 0.730)	20.308	<0.001
	GI	6.910(6.190, 9.990)	9.330(7.720, 12.390)	6.240(6.140, 7.150)	17.481	<0.001
	Brain _{mean} /Gy	12.281(11.656, 14.590)	13.946(12.822, 16.230)	9.780(9.060, 11.420)	14.272	0.001
	MU	3 445.000(3 193.000, 3 567.000)	1 830.000(1 754.000, 1 985.000)	17 935.000(11 464.000, 18 894.000)	39.136	<0.001
	出束时间/min	2.720(2.625, 2.760)	2.490(2.490, 2.490)	70.000(66.000, 76.000)	40.638	<0.001

【参考文献】

[1] Park JH, Lomana A, Marzese DM, et al. A systems approach to brain tumor treatment[J]. *Cancers*, 2021, 13(13): 3152.

[2] Siker ML, Mehta MP. Radiation for brain metastases[J]. *Cancer Res Treat*, 2007, 136: 91-115.

[3] Latorzeff I, Antoni D, Josset S, et al. Radiation therapy for brain metastases[J]. *Cancer Radiother*, 2022, 26(1-2): 129-136.

[4] Kawngwoo P, Hwan BG, Kyung KW, et al. Radiotherapy for brain metastasis and long-term survival[J]. *Sci Rep*, 2021, 11(1): 1-8.

[5] Adriana A, Kellie KA, Charlotte SA. The feasibility and benefits of using volumetric arc therapy in patients with brain metastases: a systematic review[J]. *J Med Radiat Sci*, 2014, 61(4): 267-276.

[6] Denise B, Sebastian A, Farastuk B, et al. Outcome and prognostic factors in patients with brain metastases from small-cell lung cancer treated with whole brain radiotherapy[J]. *J Neuro-Oncol*, 2017, 134(1): 205-212.

[7] Cengiz G, Gokhan Y. Whole-brain radiation therapy for brain metastases: detrimental or beneficial?[J]. *Radiat Oncol*, 2015, 10(1): 1-3.

[8] Takemoto S, Shibamoto Y, Miyakawa A, et al. Efficacy of whole-brain radiotherapy for leptomeningeal metastasis from lung cancer[J]. *Int J Radiat Oncol*, 2020, 108(3): e683-e684.

[9] Zhou L, Liu J, Xue JX, et al. Whole brain radiotherapy plus simultaneous in-field boost with image guided intensity-modulated radiotherapy for brain metastases of non-small cell lung cancer[J]. *Radiat Oncol*, 2014, 9(1): 1-9.

[10] Edwards AA, Keggin E, Plowman PN. The developing role for intensity-modulated radiation therapy (IMRT) in the non-surgical treatment of brain metastases [J]. *Brit J Radiol*, 2010, 83(986): 133-136.

[11] Ni LQ, Liang XD. Feasibility of simultaneous integrated boost with forward intensity-modulated radiation therapy for multiple brain metastases[J]. *Wspolczesna Onkol*, 2014, 18(3): 187.

[12] Ohira S, Sagawa T, Ueda Y, et al. Effect of collimator angle on HyperArc stereotactic radiosurgery planning for single and multiple brain metastases[J]. *Med Dosim*, 2020, 45(1): 85-91.

[13] Wu QX, Snyder KC, Liu C, et al. Optimization of treatment geometry to reduce normal brain dose in radiosurgery of multiple brain metastases with single-isocenter volumetric modulated arc therapy[J]. *Sci Rep*, 2016, 6(1): 1-8.

[14] Yu XY, Wang YW, Yuan ZY, et al. Benefit of dosimetry distribution for patients with multiple brain metastases from non-small cell lung cancer by a CyberKnife stereotactic radiosurgery (SRS) system[J].

- BMC Cancer, 2020, 20(1): 1-7.
- [15] Telentschak S, Ruess D, Grau S, et al. CyberKnife® hypofractionated stereotactic radiosurgery (CK-hSRS) as salvage treatment for brain metastases[J]. J Cancer Res Clin, 2021, 147(9): 2765-2773.
- [16] Zhang SM, Yang RJ, Shi CY, et al. Noncoplanar VMAT for brain metastases: a plan quality and delivery efficiency comparison with coplanar VMAT, IMRT, and CyberKnife[J]. Technol Cancer Res T, 2019, 18: 1-8.
- [17] Krzysztof S, Barbara B, Jacek W, et al. In silico assessment of the dosimetric quality of a novel, automated radiation treatment planning strategy for linac-based radiosurgery of multiple brain metastases and a comparison with robotic methods[J]. Radiat Oncol, 2018, 13(1): 1-10.
- [18] Paddick I. A simple scoring ratio to index the conformity of radiosurgical treatment plans. Technical note[J]. J Neurosurg, 2000, 93(Suppl 3): 219-222.
- [19] Shingo O, Yoshihiro U, Yuichi A, et al. HyperArc VMAT planning for single and multiple brain metastases stereotactic radiosurgery: a new treatment planning approach[J]. Radiat Oncol, 2018, 13(1): 1-9.
- [20] Cameron SJ, Amish SP, Patrick K, et al. Whole brain radiotherapy with hippocampal sparing using Varian HyperArc[J]. Med Dosim, 2021, 46(3): 264-268.
- [21] Daphne SB, Stephanie F, Jerry JJ. Cost-effectiveness of stereotactic radiosurgery and stereotactic body radiation therapy in treating brain metastases[J]. Pract Radiat Oncol, 2021, 11(6): 488-490.
- [22] Ruggiero R, Stefania N, Rosario M, et al. Linac-based VMAT radiosurgery for multiple brain lesions: comparison between a conventional multi-isocenter approach and a new dedicated mono-isocenter technique[J]. Radiat Oncol, 2018, 13(1): 1-9.
- [23] 杨波, 于浪, 汪之群, 等. HyperArc与VMAT技术脑转移瘤应用比较[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2021, 30(9): 876-881.
- Yang B, Yu L, Wang ZQ, et al. Application comparison of hyperarc and VMAT in brain metastases[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2021, 30(9): 876-881.
- [24] 陈知然, 王晓红, 李向斌, 等. 多发脑转移瘤容积旋转调强立体定向放射外科计划对比[J]. 中国医学物理学杂志, 2021, 38(12): 1482-1486.
- Chen ZR, Wand XH, Li XB, et al. Comparison of VMAT and stereotactic radiosurgery plans for multiple brain metastases [J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2021, 38(12): 1482-1486.
- [25] Filippo A, Alba F, Fabiana G, et al. First experience and clinical results using a new non-coplanar mono-isocenter technique (HyperArc™) for Linac-based VMAT radiosurgery in brain metastases[J]. J Cancer Res Clin, 2019, 145(1): 193-200.

(编辑:陈丽霞)