

射波刀计划设计中治疗路径选择对靶区剂量分布的影响

周含,李傲梅,景生华,朱锡旭,沈泽天,李兵
解放军南京军区南京总医院放疗科,江苏 南京 210002

【摘要】目的:研究射波刀治疗计划不同治疗模式选择不同准直器治疗路径对剂量分布的影响。**方法:**回顾性分析10例行射波刀治疗的脑部肿瘤患者,10例患者共18个肿瘤,肿瘤体积(9.7 ± 10.4) cc,每个肿瘤计划设计时添加两个剂量限制环,环距离靶区5及15 mm,其中相对规则的6个靶区选取等中心治疗模式,其余选择非等中心模式,观察各个肿瘤的靶区分布情况。**结果:**6例规则肿瘤,适形度指数(CI),新适形度指数(NCI),包绕体积(Coverage),以及治疗节点数(Node),第一条路径(Path1, P1)与其余两条路径相比具有统计学意义。对于CI, P 值分别为0.019、0.076、0.819;对于NCI, P 值分别为0.031、0.733、0.014;对于Coverage, P 值分别为0.009、0.960、0.032;对于Node, P 值为0.000、0.584、0.000。12例非等中心治疗模式的肿瘤,选取4 cm的肿瘤进行分析,大小为20 mm的准直器得出最佳的剂量适形度及相对合适的治疗时间。**结论:**规则靶区,选取等中心治疗模式,同样可以得出较好的计划质量,射波刀的治疗计划系统的3条路径在使用过程中具有明显差别。在设计时,建议优先选择P1,同时避免选择靶区附近危及器官一侧的治疗路径节点。不规则靶区,选择非等中心治疗模式,建议选择肿瘤短径的70%大小的限光筒,使肿瘤的治疗时间及治疗适形度等得到最优化的计算。

【关键词】脑部肿瘤;射波刀;等中心;适形度;剂量分布

【中图分类号】R811.1

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2018)12-1408-05

Effects of treatment paths on target dosimetric distribution in CyberKnife radiotherapy plan

ZHOU Han, LI Aomei, JING Shenghua, ZHU Xixu, SHEN Zetian, LI Bing

Department of Oncology, Nanjing General Hospital of Nanjing Military Region of PLA, Nanjing 210002, China

Abstract: Objective To analyze the effects of different treatment paths on the dosimetric distribution in CyberKnife radiotherapy plan. **Methods** The clinical data of 10 patients receiving CyberKnife treatment for brain tumors were retrospectively analyzed in this study. A total of 18 tumors were found in 10 patients, with a mean volume of (9.7 ± 10.4) cc. Two dose-limit rings were created at the distance of 5 and 15 mm to target areas. Isocenter treatment model was adopted for 6 regular tumors, and non-isocenter treatment model was adopted for the rest. The target dosimetric distributions were analyzed. **Results** For 6 regular tumors, the conformity index, the new conformity index, coverage, and number of nodes of the first treatment path (P1) were significant different from those of the other two treatment paths. P value was 0.019, 0.076, 0.819 for conformity index, 0.031, 0.733, 0.014 for the new conformity index, 0.009, 0.960, 0.032 for coverage, and 0.000, 0.584, 0.000 for the number of nodes. Among the 12 tumors treated by non-isocenter treatment, only the tumor with a diameter of 4 cm were analyzed and the result showed that using 20 mm collimator achieved the best conformity index and acceptable treatment time. **Conclusion** Isocenter treatment for regular tumors achieves better conformity index. The 3 treatment paths on CyberKnife treatment planning system have obvious differences in treatment planning. The first treatment path should be the first choice during the treatment planning, and the treatment paths on the side of organs-at-risk should be avoided. Non-isocenter treatment is adopted for irregular tumors, and selecting collimator which is 70% of the short diameter of the tumor will achieve an optimal treatment time and the best conformity index.

Keywords: brain tumor; CyberKnife; isocenter; conformity index; dose distribution

【收稿日期】2018-06-15

【作者简介】周含,硕士研究生,物理师,主要从事肿瘤放射治疗物理技术的相关研究, E-mail: hanzhou26@163.com

【通信作者】李兵,博士研究生,副主任技师,主要从事肿瘤物理技术相关研究,尤其是立体定向放射外科方面的研究工作, E-mail: 592773927@qq.com

前言

射波刀是一种可以用于治疗全身部位肿瘤的典型立体定向放射治疗设备,它主要是通过机械手臂带动治疗机头达到计划的指定节点方向,进行投照

的治疗方式。治疗机头可以产生6 MV的X射线能量,以等中心和非等中心结合的方式高度聚焦于肿瘤内,使肿瘤靶区可以达到较高的适形度,同时靶区周围剂量跌落梯度较大,很好地保护肿瘤周围的正常组织。

G3射波刀计划系统有100个节点,每个节点具有12个射束投照方向,直线加速器照射系统比较特殊,与传统直线加速器比较,有许多独特的特点,采用5~60 mm的圆形准直器,对于不同的肿瘤直线,选择合适的准直器,将达到较好的剂量适型度^[1-2]。高行新等^[3-4]研究了不同准直器大小定位中心以及计算框的大小对剂量分布的影响,得出随着准直器尺寸的增加,治疗时间变得越来越少,靶区覆盖增加,但是正常组织的受量也变得越来越少,准直器尺寸的选择应小于肿瘤尺寸。Xu等^[5]和Lee等^[6]研究了不同的限光筒等剂量线对于靶区覆盖率及危及器官受量的影响,得出对于选择较大限光筒的肿瘤靶区,低等剂量线的危及器官受量低于高等剂量线的限制,相反对于肿瘤小于0.5 cc的肿瘤靶区,高等剂量线具有剂量学优势。

射波刀治疗计划系统可以采用12种不同尺寸的准直器来制定立体定向放疗计划,同时对于不同形状的靶区,可以采用等中心与非等中心的治疗模式,本研究主要分析不同肿瘤大小在计划设计时,治疗模式、准直器路径的选择对射波刀治疗计划的剂量学参数的影响。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选取2016年10月~2017年5月在中国人民解放军南京总医院行射波刀治疗的头部患者10例,包括原发肿瘤及脑转移肿瘤,共18个肿瘤,18个肿瘤均远离危及器官,肿瘤尺寸11~65 mm,肿瘤体积(9.7±10.4) cc,处方剂量为3次30 Gy,每个肿瘤计划设计时添加两个剂量限制环,环距离靶区5及15 mm,其中相对规则的6个靶区选取等中心治疗模式,其余选择非等中心模式,观察各个肿瘤的靶区分布情况^[7]。等中心计划要求等剂量线80%。

1.2 定位与靶区勾画

患者取仰卧位,小头模固定,行层厚为1 mm的CT扫描,扫描范围至第一胸椎T1,GTV为在CT与MRI融合基础上勾画出肿瘤。

1.3 计划设计

同一个医生按照头部立体定向放疗勾画原则,进行眼睛、晶体、脑干、神经等危及器官的勾画,勾画

完成,将靶区传送至计划设计系统(MultiPlan 2.4.1),物理师按照AAPM TG101报告危及器官的剂量限制行射波刀计划设计,所有患者行等中心及非等中心计划设计方法。

1.4 计划评估

计划完成之后,进入高精度评估阶段,分别计算等中心治疗模式及非等中心治疗模式的总治疗时间(Time),总的治疗节点(Node),靶区适形度指数(Conformity Index, CI),新适形度指数(NCI),靶区均匀性指数(Homogeneity Index, HI),以及靶区的包绕体积覆盖率(Coverage)。其中 $CI = \frac{TV_{Rt}}{TV}$,TV_{Rt}表示处方剂量包绕的靶区体积,TV表示处方剂量包绕的体积; $NCI = \frac{CI}{Coverage}$; HI定义为接受的剂量等于1.0~1.5倍的处方剂量的范围占靶区总体积的分数; Coverage为超过处方剂量的靶体积占肿瘤体积百分比^[8]。分别研究不同的限光筒对于靶区剂量分布的影响,以及在正常设计的过程中,等中心治疗路径的选择方法以及非等中心治疗过程中准直器及等剂量线的选择方法。

1.5 统计学分析

应用Origin 8.0软件对参数采用参数检验法行正态分布检验,正态分布行配对t检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

研究结果显示10例脑部肿瘤患者共18个肿瘤,其中6个肿瘤靶区形状规则,近似圆形,另外12个肿瘤形状不规则,只能采用非等中心的治疗模式。6例靶区规则患者中,首先选择等中心的治疗方式,由于每个准直器主要有3条不同的路径,对应着100个不同方位机头出束节点,每个靶区选择不同准直器路径,其对应的CI、Coverage、Node、Time,以及选择的准直器大小(Collimator)的分布参数见表1;3条路径的参数比较见表2。等剂量线分布图见图1,其中第一条路径为Path1(P1),第二条路径为Path2(P2),第三条路径为Path3(P3)。

其他12个肿瘤形状均呈椭球形状,分别量取靶区的最长直径及最短直径,分别选取短径长度的90%、80%、70%、60%的限光筒对3条路径进行计划设计,表3选取短径为4 cm的肿瘤,对不同准直器大小相同路径的靶区平均剂量进行分析。

3 讨论

射波刀属于立体定向放射外科的一种新的治疗

表1 等中心治疗不同准直器路径的剂量学参数

Tab.1 Dosimetric parameters in isocenter treatment with different paths

No. of patients	Treatment path	CI	NCI	HI	Coverage/%	Node	t/h	Collimator/mm
1	P1	1.42	1.48	1.25	95.76	34	0.40	12.5
	P2	1.58	1.80	1.25	87.66	23	0.30	12.5
	P3	1.53	1.60	1.25	95.95	18	0.40	12.5
2	P1	1.51	1.56	1.25	96.81	35	0.30	10.0
	P2	1.70	1.51	1.25	93.15	28	0.30	10.0
	P3	1.34	1.82	1.25	88.36	19	0.20	10.0
3	P1	1.56	1.73	1.25	90.31	36	0.30	12.5
	P2	1.51	1.79	1.25	84.50	19	0.25	12.5
	P3	1.51	1.78	1.25	84.75	21	0.20	12.5
4	P1	1.37	1.44	1.25	95.02	36	0.30	15.0
	P2	1.58	1.68	1.25	94.26	24	0.30	15.0
	P3	1.53	1.63	1.25	93.6	22	0.30	15.0
5	P1	1.36	1.51	1.25	90.21	36	0.35	12.5
	P2	1.48	1.70	1.25	87.26	27	0.35	12.5
	P3	1.34	1.53	1.25	87.61	23	0.30	12.5
6	P1	1.40	1.52	1.25	92.32	30	0.30	12.5
	P2	1.54	1.75	1.25	88.09	13	0.30	12.5
	P3	1.44	1.71	1.25	84.05	22	0.30	12.5

CI: Conformity index; NCI: The new conformity index; HI: Homogeneity index; P1, P2, P3: The first, second, third treatment paths

表2 等中心治疗模式不同路径剂量学参数的统计学分析

Tab.2 Statistic analysis of dose distribution in iso-center treatment with different paths

Statistics	CI			NCI			Coverage			Node		
	P1 vs P2	P2 vs P3	P1 vs P3	P1 vs P2	P2 vs P3	P1 vs P3	P1 vs P2	P2 vs P3	P1 vs P3	P1 vs P2	P2 vs P3	P1 vs P3
t value	-3.37	2.22	-0.24	-2.98	0.36	-3.68	4.15	0.05	2.93	7.24	0.58	11.11
P value	0.019	0.076	0.819	0.031	0.734	0.014	0.009	0.960	0.032	0.000	0.584	0.000

技术,使用机械手臂控制的直线加速器,可以产生6 MV的X线,可以对全身各部位肿瘤进行实时追踪的方法,从而达到治疗精度高,对正常危及器官保护效果好的优点。射波刀的治疗方式为通过1~5次的单次大剂量的照射方式,缩短治疗时间,提高了肿瘤的局控率。射波刀治疗计划的设计过程中,物理师会根据肿瘤外放PTV的大小选取一定的限光筒,限光筒的大小^[9-10]、数目将决定患者在治疗过程中的时间、以及肿瘤的包绕范围、适形度等,也将决定肿瘤的控制情况,因此最佳限光筒的选择至关重要^[11-12]。

本文主要选取18例具有代表性的肿瘤,选取不

同的准直器路径,分别研究对于相同的靶区,不同的限光筒对各项参数分布的影响。对于规则靶区,主要使用等中心的治疗模式,从表1和表2中可以得出射波刀系统中P1与P2相比较,CI、NCI、Coverage及Node都具有显著性差异,且从表1中可知,3条路径Node有逐渐减少的趋势,但P2与P3并无显著性的差异。对于肿瘤适形度来说,3条路径也具有统计学差异,在不考虑危及器官的影响下,P1总是具有最好的适形度,因此在路径的选择中,可以考虑优先选择P1。

从患者CT断层图像上可知,危及器官的位置分

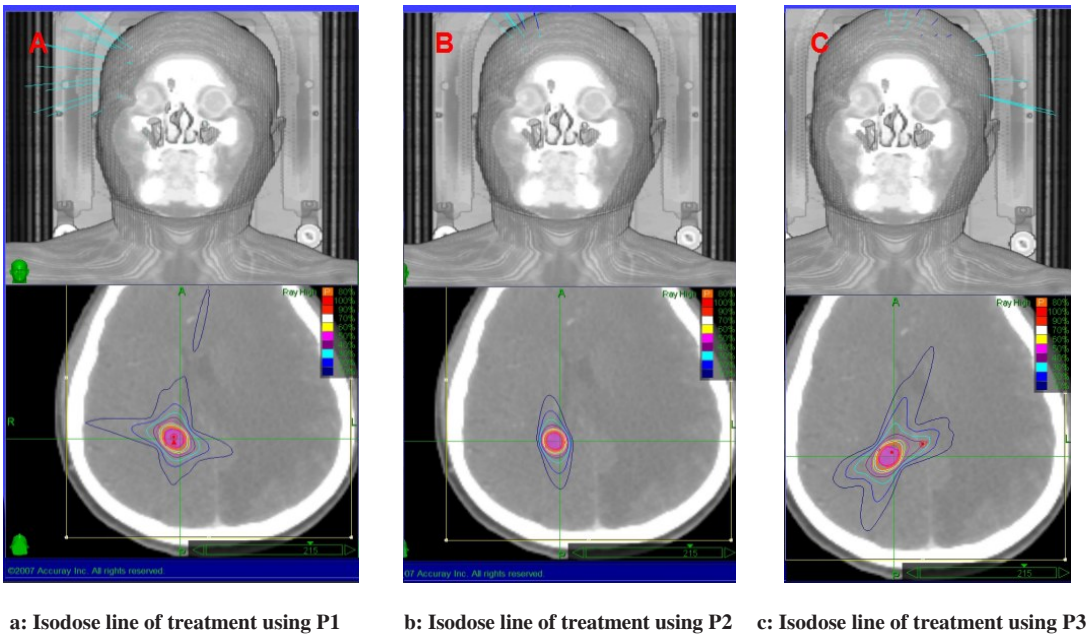


图1 3条路径对剂量线的影响
Fig.1 Effects of 3 paths on isodose line in isocenter model

别位于肿瘤的左侧、上侧(下侧)、右侧3个方向,这3个方向正好匹配限光筒3个路径上的所有节点,因此从靶区的等剂量图(图1)可以清楚看到剂量线的跌落曲线,在计划设计的过程中,选择相应的限光筒的路径可以选择相对避开一侧的危及器官。有学者研究准直器的个数对于计划设计的影响,得出了单个准直器路径在靶区覆盖度、适形度以及新适形度上存在明显不足,因此对于本文提到的治疗路径的选择,选择两条路径的方式也将明显优于一条路径^[13-14]。

对于非等中心的设计,从表3中可得,选取短径为4 cm的不规则肿瘤,分别选择12.5、15.0、20.0、25.0 mm 4种限光筒,计算可得适形度、治疗时间等,可知选择大小为20 mm的限光筒,在得到最好适形度的同时,能得到相对最少的治疗时间及治疗节点。Xu等^[5]研究发现相对低的等剂量线,正常脑组织获得更少的照射,同时肿瘤组织获得最好的适形度,减少放射性脑损伤的发生,同时肿瘤中心获得相对较高的剂量,提高肿瘤的局控率。高行新等^[15]也研究准直器的选择对放射治疗剂量参数的影响,建议在计划设计时,选择准直器为肿瘤直径的2/3左右,和本文非等中心的治疗路径的选择具有相同的结果。朴俊杰等^[16]研究等中心与非等中心立体定向放射治疗计划的质量,得出虽然等中心治疗在治疗时间,治疗跳数上明显优于非等中心治疗,但对于CI、NCI、Coverage,非等中心明显优于等中心的治疗。很多学者对射波刀的计划设计作了深入的研究,大多局限于计划系统本身的设计方法上面,本研究在

靶区的覆盖率、治疗效率、适形度等都具有相同的研究结果^[17],此外本研究又对治疗路径以及治疗路径中的节点对剂量跌落的影响进行分析研究,得出治疗路径的选择可以有效减少某些靠近肿瘤位置的危及器官受量。

表3 肿瘤直径为4 cm的靶区平均剂量分布参数
Tab.3 Target dosimetric distribution for tumor with a diameter of 4 cm

Collimator/mm	CI	NCI	Isodose line/%	t/h	Node
12.5	1.14	1.21	80	1.5	399
15.0	1.14	1.19	80	1.2	345
20.0	1.15	1.20	76	0.8	304
25.0	1.14	1.19	66	0.5	369

本文通过对各种靶区的射波刀计划设计参数的分析,在临床射波刀计划中限光筒的选择具有一定的方法,限光筒的选择对靶区剂量学分布具有较大的影响,但是限光筒的选择不是唯一的,具有个体化差异,因此在实际的治疗中,对于患者的身体状况的了解也是十分重要的,因此在立体定向放射治疗计划的设计过程中,在病人耐受且不考虑治疗时间的影响前提下,使用非等中心治疗更有益于提高治疗计划的质量^[18]。同时在脑部转移瘤个数较多且对时间的要求比较高时,可以选择等中心与非等中心结合的方式进行设计。而在计划设计的过程中,治疗限光筒路径的选择尤为重要,3个路径在设计的结果

中具有统计学差异,因此在实际选择中建议优先选择P1,同时考虑3个路径的剂量跌落方向,应选择避开危及器官这侧路径的节点。

【参考文献】

- [1] SOTHMANN T, BLANCK O, POELS K, et al. Real time tracking in liver SBRT: comparison of CyberKnife and Vero by planning structure-based γ -evaluation and dose-area-histograms[J]. *Phys Med Biol*, 2016, 61(4): 1677-1691.
- [2] OHTAKARA K, HAYASHI S, NAKAYAMA N, et al. Significance of target location relative to the depth from the brain surface and high-dose irradiated volume in the development of brain radionecrosis after micromultileaf collimator-based stereotactic radiosurgery for brain metastases[J]. *J Neurooncol*, 2012, 108(1): 201-209.
- [3] 高行新, 陆军, 李莎, 等. 射波刀治疗计划中定位中心的改变对靶区剂量分布影响研究[J]. *中国医学装备*, 2016, 13(3): 28-31.
GAO X X, LU J, LI S, et al. Research on the influence of target dose distribution with the changes of align center in Cyberknife treatment planning[J]. *China Medical Equipment*, 2016, 13(3): 28-31.
- [4] 高行新, 王洪花, 李莎, 等. 射波刀治疗计划中计算框大小对靶区剂量分布影响研究[J]. *中国医学装备*, 2017, 14(9): 20-23.
GAO X X, WANG H H, LI S, et al. The research on the influence of calculation grid size for dose distribution of target region in the therapy plan of Cyberknife system[J]. *China Medical Equipment*, 2017, 14(9): 20-23.
- [5] XU Q Y, FAN J J, GRIMM J, et al. The dosimetric impact of the prescription isodose line (IDL) on the quality of robotic stereotactic radiosurgery (SRS) plans[J]. *Med Phys*, 2017, 44(12): 6159-6164.
- [6] LEE S W, JANG S Y, PYAKURYAL A P, et al. The impact of CyberKnife's prescription isodose percentage on intracranial target planning[J]. *J Appl Clin Med Phys*, 2014, 15(5): 5081.
- [7] 崔晓磊, 陆军, 李莎, 等. 射波刀外放shell的限量对治疗计划的影响研究[J]. *中国医学装备*, 2017, 14(10): 23-26.
CUI X L, LU J, LI S, et al. Research on the effect of shell dose limits of Cyberknife for treatment planning[J]. *China Medical Equipment*, 2017, 14(10): 23-26.
- [8] CHANM H, KWONG D L, LAW G M, et al. Dosimetric evaluation of four-dimensional dose distributions of CyberKnife and volumetric-modulated arc radiotherapy in stereotactic body lung radiotherapy[J]. *J Appl Clin Med Phys*, 2013, 14(4): 4229.
- [9] LLOYD S, CHUN D H. The effect of dose and other parameters on outcomes in CyberKnife stereotactic radiosurgery for trigeminal neuralgia[J]. *J Radiat Oncol*, 2015, 4(4): 1-8.
- [10] MOHAMMADI A M, SCHROEDER J L, ANGELOV L, et al. Impact of the radiosurgery prescription dose on the local control of small (2 cm or smaller) brain metastases[J]. *J Neurosurg*, 2016, 126(3): 1.
- [11] MABHOUTI H, SANLO E, CEBE M, et al. The dosimetric comparison of truebeam 2.0 and Cyberknife M6 treatment plans for brain SRS treatment[J]. *Med Phys*, 2016, 43(6): 3352.
- [12] CERNICA G, JI H, MCRAE D, et al. Asymmetries in the CyberKnife Iris 2 collimator[J]. *Med Phys*, 2016, 43(22): 3598-3599.
- [13] ZHANG Q, ZHENG D, LEI Y, et al. Dosimetric effect of prescription isodose line selection on normal tissues in SRS and SRT treatment planning[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2014, 90(1): S907-S908.
- [14] WAHL M, HWANG A, NAKAMURA J, et al. Individual beam sharpening improves composite dose fall-off near a target for non-isocentric cyberknife radiosurgery[J]. *Technol Cancer Res Treat*, 2013, 12(4): 341-348.
- [15] 高行新, 陆军, 李莎, 等. 射波刀治疗计划准直器对剂量分布和治疗时间影响的研究[J]. *中国医学装备*, 2015, 12(10): 39-42.
GAO X X, LU J, LI S, et al. Research on collimators on dose distribution and treatment time of Cyberknife treatment planning[J]. *China Medical Equipment*, 2015, 12(10): 39-42.
- [16] 朴俊杰, 徐寿平, 王金媛, 等. CyberKnife等中心及非等中心立体定向治疗计划质量及效率评价[J]. *实用癌症杂志*, 2016, 31(5): 747-751.
PIAO J J, XU S P, WANG J Y, et al. Evaluation on quality and efficiency of isocentric and non-isocentric stereotactic treatment plans from CyberKnife[J]. *The Practical Journal of Cancer*, 2016, 31(5): 747-751.
- [17] ALBANI D, J FABIEN, J BRINDLE, et al. SU-E-T-432: dosimetric computation of Cyberknife SBRT plans for treatment of kidney and adrenal gland[J]. *Med Phys*, 2013, 40(6): 304.
- [18] DING C, SAW C B, TIMMERMAN R D, et al. Cyberknife stereotactic radiosurgery and radiation therapy treatment planning system[J]. *Med Dosim*, 2018, 43(2): 129-140.

(编辑:薛泽玲)