

部分弧容积旋转调强计划在中央型肺癌的应用

刘建平, 杨海芳, 王志武, 张晓斌, 姜斌, 王蕊
唐山市人民医院放疗中心, 河北 唐山 063001

【摘要】目的:探讨容积旋转调强(VMAT)规避扇区功能在中央型肺癌放疗中降低肺部受量的可行性。**方法:**选取近期16例中央型肺癌病例,利用规避扇区制作部分弧形照射(P-VMAT)计划,以及全弧VMAT计划和5野均分的调强放射治疗(IMRT)计划。比较靶区的适形度指数、均匀性指数,正常组织比较双肺 V_5 、 V_{20} 、 V_{30} 、平均肺剂量,以及心脏、脊髓和食管受量。评价每种计划执行效率。**结果:**3种计划均能很好满足临床需要。P-VMAT计划与全弧VMAT计划相比,靶区适形度指数有所下降,其他剂量学指标均无明显变化,双肺受量有所下降,尤其 V_5 下降明显,其他危及器官无明显差别。P-VMAT计划与IMRT计划相比,靶区剂量学指标有所提高,双肺高剂量区下降明显, V_5 指标稍有升高,治疗时间缩短。**结论:**利用规避扇区制作P-VMAT计划能降低双肺低剂量区域,保留VMAT的其他优点,能够适用于中央型肺癌的放射治疗。

【关键词】中央型肺癌;容积旋转调强;规避扇区功能

【中图分类号】R815;R734.2

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2017)11-1091-05

Application of partial arc volumetric modulated arc therapy for central lung cancer

LIU Jianping, YANG Haifang, WANG Zhiwu, ZHANG Xiaobin, JIANG Bin, WANG Rui

Department of Radiation Oncology, Tangshan People's Hospital, Tangshan 063001, China

Abstract: Objective To explore the feasibility of avoiding sector function to reduce the dose to lungs in volumetric modulated arc therapy (VMAT) for central lung cancer. **Methods** Three plans avoiding sector function were generated for 16 patients with central lung cancer, including partial arc VMAT (P-VMAT) plan, full-arc VMAT plan and 5-field intensity-modulated radiotherapy (IMRT) plan. The conformity index and homogeneity index of the planning target volume, the V_5 , V_{20} , V_{30} of lungs, mean lung dose, and the doses to heart, spinal cord and esophagus were compared, and the execution efficiency of plans were evaluated. **Results** All the 3 plans met the clinical requirement. P-VMAT plan showed a slightly decreased conformity index of target areas and a declined dose to lungs, especially the V_5 of lungs, as comparison with full-arc VMAT plan, and no significant differences were found in the other dosimetry indicators of target areas and the dose to the other organs-at-risk. Compared with IMRT plan, P-VMAT plan increased the dosimetry indicators of target areas, significantly decreased the dose to high-dose area of lung but slightly increased the V_5 of lungs, and shortened the treatment time. **Conclusion** P-VMAT plan avoiding sector function which is suitable for the radiotherapy for central lung cancer can reduce the dose to low dose area in lungs and maintain other advantages of VMAT.

Keywords: central lung cancer; volumetric modulated arc therapy; avoiding sector function

前言

肺癌是常见恶性肿瘤,放疗是主要治疗手段之一^[1]。随着放疗技术的发展,由三维适形放疗发展到调强放射治疗(IMRT),该技术能提高靶区剂量,降低周围正常组织受量^[2]。容积旋转调强(VMAT)是在IMRT基础上结合图像引导发展起来的更为先进的技术。VMAT是

通过治疗过程中改变机架旋转速度、剂量率和光栅形状等来实现理想的剂量分布。与IMRT相比,VMAT能明显降低加速器跳数,缩短治疗时间,但是由于加速器360°旋转连续出束,增加低剂量辐照区域^[3-5]。肺组织对低剂量较为敏感,大面积低剂量增加放射性肺炎的风险,限制了VMAT技术在胸部肿瘤的应用^[6]。规避扇区是Eclipse计划系统进行VMAT优化时提供的模块,能够在一个完整弧内避开某些危及器官,形成部分弧VMAT(P-VMAT)计划,降低器官受量。本文研究利用规避扇区制作P-VMAT在中央型肺癌的剂量分布,意在为临床应用提供参考和借鉴。

【收稿日期】2017-06-19

【基金项目】国家自然科学基金(81603475)

【作者简介】刘建平,硕士,高级工程师,研究方向:放射治疗技术应用及质量控制, E-mail: ljp717@sohu.com

1 资料与方法

1.1 病例选择

本研究选取2016年1月~8月在唐山市人民医院放疗中心因原发性中央型肺癌接受放射治疗患者,共16例。其中,肺腺癌4例,肺鳞癌7例,肺小细胞癌5例;左肺癌10例,右肺癌6例。年龄37~65岁。根据UICC2016 TNM分期,T2N0M0 8例,T3N0M0 5例,T3N1M0 3例。

1.2 CT模拟定位及靶区、危及器官的勾画

患者体位仰卧位于CIVCO体架,自主呼吸,双手抱肘放于额前。为保证摆位的重复准确性,患者两侧和体中线均画出与体架之间的对应标记线,保证患者与体架前后左右的相对位置固定,制作热塑膜时注意严格按患者体形并做出肚脐等明显位置的对应形状。待热塑膜完全冷却20 min后无回缩时在患者体表画出体膜的上下界^[7]。利用Philipse Brilliance大孔径CT模拟定位机增强扫描,层厚及层间距均为5 mm。将DICOM图像通过RTIS放疗网络(深圳医诺)传输至Eclipse治疗计划系统。放疗医师根据患者CT等图像勾画大体肿瘤体积(GTV)、临床靶区(CTV)、计划靶区(PTV)为CTV在三维方向上均匀外扩6 mm,并勾画患者皮肤以及胸部危及器官肺、脊髓、心脏和食管。

1.3 计划设计

TPS选取Eclipse 13.5版本,射线能量均是6 MV,优化方法采取AAA算法,计算网格为2.5 mm。选取的病例剂量处方量均为6 000 cGy,单次剂量为200 cGy,次数为30次,PTV 95%体积达到处方剂量。在保证靶区得到足够剂量的同时尽量减少正常组织受量,脊髓最大剂量不得超过45 Gy,肺组织体积 V_5 小于65%、 V_{20} 小于30%、 V_{30} 小于20%,食管 V_{50} 小于50%,心脏体积 V_{30} 小于40%、 V_{40} 小于30%。每位患者均制作3种计划,即利用规避扇区模块制作P-VMAT、全弧VMAT和5野均分的IMRT计划。

1.3.1 P-VMAT计划 采用单弧顺时针旋转治疗,开始角度为 181° ,终止角度为 179° ,选取最大剂量率600 MU/min,准直器角度和床角均为 0° 。在优化界面利用规避扇区的功能,规避正常肺组织。即左肺癌适当规避右肺,右肺癌适当规避左肺。选取距离靶中心距离最远的角度,分别向顺时针和逆时针张开一定角度,在这段区域,机头以最快的速度转过,而不出束。由图1所示,蓝色弧部分为出束状态,红色弧部分为规避区域。张开角度的大小由靶区形状决定,形状较为规则,则可以规避较大区域,形状较为复杂,则需要规避较小的区域。规避区域越大,则

正常肺组织受量越低,但是会影响到靶区受量及适形度,根据每位患者情况,优化过程选取最佳角度。

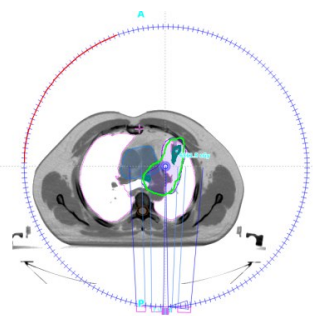


图1 规避扇区形成部分弧

Fig.1 Part of arc formed for avoiding the sector function

1.3.2 全弧VMAT计划与5野均分IMRT计划 全弧VMAT计划设置与P-VMAT计划相同,只是采用全弧设置,不再规避扇区。IMRT计划采取5野均分共面动态滑窗调强计划,角度分别为 0° 、 72° 、 144° 、 216° 、 288° 。

1.4 计划评价与数据统计

比较3种计划的剂量分布及DVH图。靶区PTV的评价指标主要包括:近似最高剂量 $D_{2\%}$;近似最低剂量 $D_{98\%}$;适形度指数(CI)^[8], $CI=(TVR_t/TV) \times (TVR_t/VR_t)$,其中TV是靶区体积,TVR_t为处方剂量包绕的靶体积,VR_t为处方剂量包绕的所有体积,CI取值为0~1,越是接近1,说明靶区适形性越好;均匀性指数(HI)^[9], $HI=(D_{2\%}-D_{98\%})/D_{50\%}$,HI值越大说明该计划的剂量分布均匀性越差。危及器官评价双肺受量、心脏受量、脊髓和食管受量。采集的数据包括3种计划所用机器跳数(MU)、计划执行时间。

1.5 统计学方法

采用SPSS 20.0软件进行统计分析,数据用均值±标准差表示,计量资料采用两样本 t 检验,率的比较采用卡方检验, $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 PTV剂量指标

由表1和图2可知,3种计划均能满足靶区临床剂量学要求,互相差别不大。3种计划 $D_{2\%}$ 、 $D_{98\%}$ 差异无统计学意义,但是CI是全弧VMAT计划最佳,IMRT计划最次,这跟选取的是5野IMRT计划有关。P-VMAT计划的CI与全弧VMAT计划差别不大,优于5野IMRT。靶区剂量HI方面,P-VMAT计划略高于全弧VMAT计划,但优于5野IMRT。

2.2 危及器官剂量分析

表1 3种计划PTV剂量体积参数比较

Tab.1 Comparison of PTV dose volume parameters among 3 plans

Plan	D _{2%} /cGy	D _{98%} /cGy	CI	HI
P-VMAT	6 325±61	6 038±45	0.68±0.08	0.032±0.011
VMAT	6 301±54	6 016±72	0.71±0.07	0.025±0.009
IMRT	6 413±79	6 027±43	0.59±0.15	0.053±0.024
P ₁ value	0.176	0.102	0.042	0.033
P ₂ value	0.090	0.081	0.020	0.001

P-VMAT: Partial arc volumetric modulated arc therapy; VMAT: Volumetric modulated arc therapy; IMRT: Intensity-modulated radiotherapy; CI: Conformity index; HI: Homogeneity index; P₁: Comparing P-VMAT with VMAT; P₂: Comparing P-VMAT with IMRT

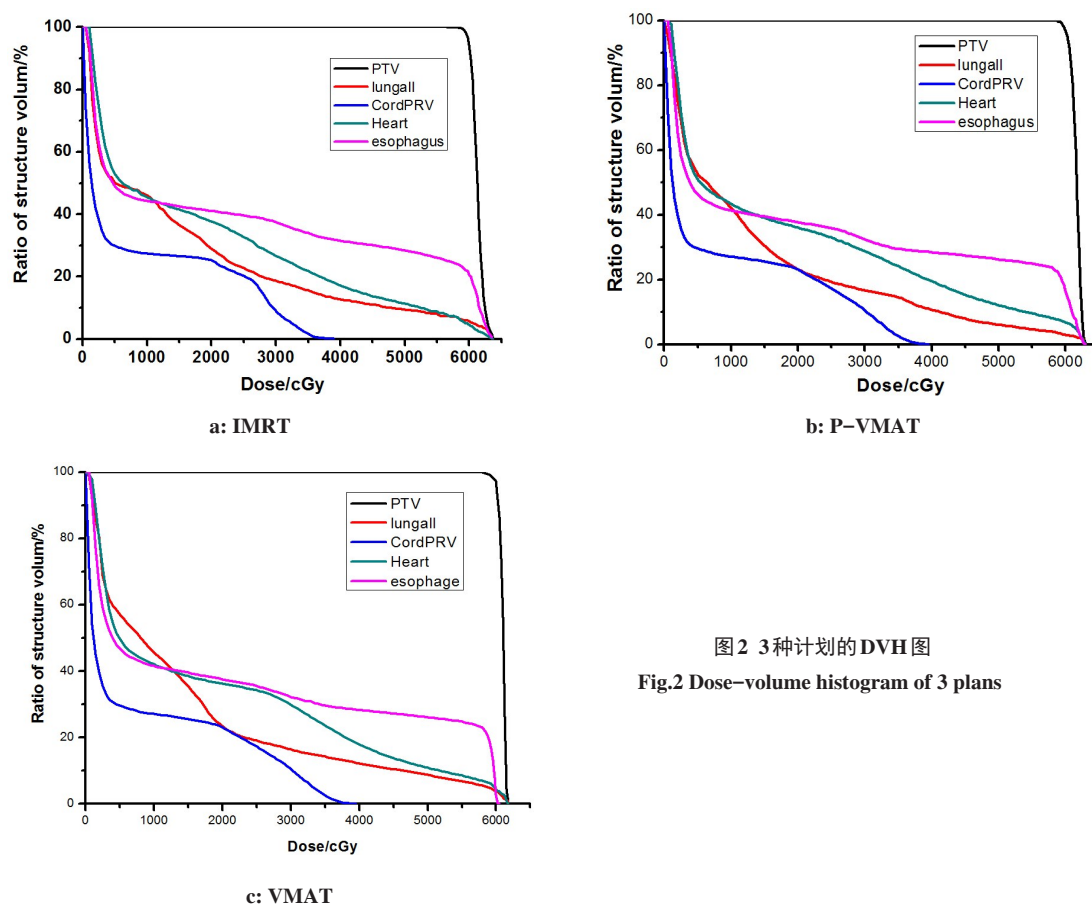


图2 3种计划的DVH图

Fig.2 Dose-volume histogram of 3 plans

2.2.1 双肺剂量分析 图2为某一患者P-VMAT、VMAT和IMRT双肺受量DVH图。由图中可以看出,3种计划均能满足危及器官临床剂量学要求,互有差别。在高剂量区域,V₂₀及V₃₀参数两种VMAT计划之间差别不大,均低于IMRT计划,VMAT能明显降低双肺高剂量。在低剂量区,双肺V₅参数IMRT受量最低,VMAT计划最高,P-VMAT计划可以明显降低V₅,能与IMRT计划相比拟。P-VMAT能保持VMAT在双肺高剂量区域的优点,降低双肺低剂量受

量。由表2统计的16例患者危及器官剂量体积参数可知,双肺受量所有患者均成一致性。

2.2.2 脊髓、食管和心脏受量分析 由图2和表2可知,3种计划脊髓D_{max}差别不大,基本等同,无统计学意义;评价食管受量主要看V₅₀,VMAT计划最低,P-VMAT计划其次,IMRT计划最高,有统计学意义,但是三者受量均在正常限值以内。对于心脏的V₃₀、V₄₀,P-VMAT略低于VMAT,两种VMAT计划均低于IMRT计划。

表 2 危及器官参数指标比较

Tab.2 Comparison of organs-at-risk parameters among 3 plans

Parameter	P-VMAT	VMAT	IMRT	P_1 value	P_2 value
Lungs					
$V_5/\%$	56.6±5.5	60.1±4.7	54.2±8.1	0.011	0.023
$V_{20}/\%$	24.4±5.7	23.3±4.7	26.3±3.7	0.172	0.037
$V_{30}/\%$	13.9±4.3	12.8±3.9	17.2±2.8	0.097	0.001
MLD/cGy	1 423±52	1 441±27	1 554±38	0.112	0.048
Heart					
$V_{30}/\%$	32.4±6.4	31.2±5.7	35.7±4.2	0.225	0.007
$V_{40}/\%$	23.8±7.1	22.4±3.3	24.8±3.7	0.084	0.031
Esophagus					
$V_{50}/\%$	32.5±4.6	30.7±5.5	37.9±4.8	0.107	0.042
Spinal cord					
D_{max}/cGy	4 291±42	4 245±77	4 287±56	0.197	0.216

MLD: Mean lung dose; P_1 : Comparing P-VMAT with VMAT; P_2 : Comparing P-VMAT with IMRT

2.3 机器跳数及计划执行时间统计

16 例患者的 3 种计划机器跳数统计见表 3,IMRT 计划机器跳数最高,两种 VMAT 计划跳数较低,能明显降低机器跳数,P-VMAT 计划比全弧 VMAT 计划跳数稍高。计划执行时间起始点为患者摆位结束后,

终止点为患者计划执行完毕后,解除患者模具前,排除技术员摆位因素,由表 3 统计数据表明,两种 VMAT 计划执行均比 IMRT 计划时间短,具有统计学意义,P-VMAT 计划稍稍比全弧 VMAT 计划执行时间稍长。

表 3 机器跳数及计划执行时间统计

Tab.3 Statistics of monitor unit and execution time

Parameter	P-VMAT	VMAT	IMRT	P_1 value	P_2 value
Monitor unit/MU	476±152	407±175	651±201	0.012	0.037
Execution time/min	3.2±0.6	3.0±0.2	7.5±0.8	0.021	0.014

P_1 : Comparing P-VMAT with VMAT; P_2 : Comparing P-VMAT with IMRT

3 讨论

放射性肺炎是胸部肿瘤进行放疗时比较常见的副作用,一级和二级放射性肺炎患者能自愈或用药干预均不会造成严重后果,但三级放射性肺炎会严重影响患者生存期。Claudel 等^[10]研究发现平均肺剂量(Mean Lung Dose, MLD)、 V_{20} 、 V_{30} 与二级以上的放射性肺炎发生概率相关。沈文斌等^[11]认为双肺 MLD、 V_5 和 V_{20} 参数组合能提示急性放射性肺炎发生的概率。经研究发现,双肺受到的剂量越低,受照体积越少,发生放射性肺炎的概率越低,既要控制双肺

高剂量受照体积,也要控制低剂量受照体积,避免形成“小剂量照射大体积”^[12]。

已有大量文献证明,全弧 VMAT 技术与 IMRT 技术相比,能够提高靶区适形度和均匀性,减少治疗时间,提高治疗效率,减少患者分次内误差,提高治疗精度^[13-16]。VMAT 是 360°旋转照射,在进行胸部放疗时,容易控制双肺所受的高剂量区域,但同时会增加低剂量区域,且可调性较小^[17]。中央型肺癌受照范围广泛,且有部分靶区位于纵隔区域,两边是低剂量敏感的双肺,限制了 VMAT 的应用。如何保持 VMAT 优点和降低低剂量区域是本文研究的重点。

规避扇区是Eclipse计划系统在VMAT阶段提供的模块,能够有选择地规避一些区域,降低某些器官受照范围,实现VMAT的弧内间断照射,简单方便形成P-VMAT。在执行计划效率方面,P-VMAT优于IMRT计划,表现为治疗时间的缩短和机器跳数的减少。相比全弧计划,P-VMAT计划跳数稍有增加,但是增加并不明显,在高剂量率的模式下,治疗时间的增加几乎可忽略。P-VMAT计划保持了VMAT技术的优点,靶区适形度与剂量均匀性均比IMRT有所提升,双肺MLD、 V_{20} 、 V_{30} 均有所降低。在双肺低剂量区域,P-VMAT计划规避了一部分正常肺组织,对双肺 V_5 有所降低,能够有效降低放射性肺炎发生的概率。部分弧VMAT计划可应用到需要规避照射的肿瘤中,比如鼻腔NKT计划时,可利用规避扇区的方法降低眼晶体的剂量,第10胸椎至腰椎骨转移时规避肾脏等。

总之,在中央型肺癌中应用部分弧VMAT计划,能有保持VMAT计划优点,规避正常肺组织,降低肺受量,值得推荐。

【参考文献】

- [1] 殷蔚伯,余子豪,徐国振,等.肿瘤放射治疗学[M].北京:协和医科大学出版社,2008:919-932.
YIN W B, YU Z H, XU G Z, et al. Radiation oncology[M]. Beijing: Pecking Union Medical College Press, 2008: 919-932.
- [2] TEOH M, CLARK C H, WOOD K, et al. Volumetric modulated arc therapy: a review of current literature and clinical use in practice[J]. Br J Radiol, 2011, 84(1007): 967-996.
- [3] PAUDEL N R, NARAYANASAMY G, HAN E Y, et al. Dosimetric and radiobiological comparison for quality assurance of IMRT and VMAT plans[J]. J Appl Clin Med Phys, 2017, 18(5): 237-244.
- [4] MA P, WANG X, XU Y, et al. Applying the technique of volumetric modulated arc radiotherapy to upper esophageal carcinoma[J]. J Appl Clin Med Phys, 2014, 15(3): 4372.
- [5] RADHAKRISHNAN S, CHANDRASEKARAN A, SARMA Y, et al. Dosimetric comparison between single and dual arc-volumetric modulated arc radiotherapy and intensity modulated radiotherapy for nasopharyngeal carcinoma using a simultaneous integrated boost technique[J]. Asian Pac J Cancer Prev, 2017, 18(5): 1395-1402.
- [6] 喻冰琪,王谨,徐裕金,等.放疗技术与放射性肺损伤:高剂量小体积还是低剂量大体积?[J].中国肺癌杂志,2015,18(12):752-757.
YU B Q, WANG J, XU Y J, et al. Radiotherapy techniques and radiation pneumonitis: a lot to a little or a little to a lot? [J]. Chinese Journal of Lung Cancer, 2015, 18(12): 752-757.
- [7] 徐云华,罗海峰,宋文立,等.热塑型体网伸缩性对放疗定位标记中心影响的初步研究[J].中华放射肿瘤学杂志,2010,19(6):536.
XU Y H, LUO H F, SONG W L, et al. Preliminary study on the effect of thermoplastic network scalability of radiotherapy [J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2010, 19(6): 536.
- [8] 廖雄飞,李厨荣,黎杰,等.多等中心计划设计方法在全中枢神经系统调强放疗中的应用[J].中华放射医学与防护杂志,2015,35(10):756-760.
LIAO X F, LI C R, LI J, et al. Application of intensity-modulated radiotherapy for carnosipinal irradiation with multi-ISO centers planning method[J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 2015, 35(10): 756-760.
- [9] MANECKSHA R P, FITZPATRICK J M. Epidemiology of testicular cancer[J]. BJU Int, 2009, 104(9B): 1329-1333.
- [10] CLAUDEL, PEROL D, CINESTET C, et al. A prospective study on radiation pneumonitis following conformal radiation therapy in non-small-cell lung cancer: clinical and dosimetric factors analysis[J]. Radiother Oncol, 2004, 71(2): 175-181.
- [11] 沈文斌,祝淑钗,李任.非小细胞肺癌放疗所致放射性食管损伤的研究进展[J].中华放射肿瘤学杂志,2006,15(3):207-210.
SHEN W B, ZHU S C, LI R. Research progress of radiation-induced esophageal injury in radiotherapy of small cell lung cancer [J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2006, 15(3): 207-210.
- [12] HE L, TENQ Y, JIN B, et al. Initial partial response and stable disease according to RECIST indicate similar survival for chemotherapeutical patients with advanced non-small cell lung cancer[J]. BMC Cancer, 2010, 10(1): 861-872.
- [13] 刘晓静,张西志,李军,等.胸段食管癌容积旋转调强与固定野动态调强放疗中的剂量学研究[J].实用癌症杂志,2011,26(6):630-633.
LIU X J, ZHANG X Z, LI J, et al. Dosimetric comparison between RapidArc and fixed gantry dynamic IMRT for middle esophageal carcinoma[J]. the Practical Journal of Cancer, 2011, 26(6): 630-633.
- [14] 陈婷婷,张西志,花威,等.容积旋转调强与固定野动态调强在上段食管癌治疗中的剂量学比较[J].临床肿瘤学杂志,2013,18(2):151-154.
CHEN T T, ZHANG X Z, HUA W, et al. Dosimetric comparison between Rapid Arc and fixed gantry dynamic IMRT for upper esophageal cancer [J]. Chinese Clinical Oncology, 2013, 18(2): 151-154.
- [15] MANI K R, UPADHAYAY S, DAS K J. Influence of jaw tracking in intensity-modulated and volumetric-modulated arc radiotherapy for head and neck cancers: a dosimetric study[J]. Radiat Oncol J, 2017, 35(1): 90-100.
- [16] XHAFFERLLARI I, EL-SHERIF O, GAEDE S, et al. Comprehensive dosimetric planning comparison for early-stage, non-small cell lung cancer with SABR: fixed- beam IMRT versus VMAT versus TomoTherapy[J]. J Appl Clin Med Phys, 2016, 17(5): 1-12.
- [17] 张耀文,郑安平,董尚文,等.胸上段食管癌容积旋转调强与静态调强放疗计划的剂量学比较[J].中华肿瘤防治杂志,2014,21(23):1902-1906.
ZHANG Y W, ZHENG A P, DONG S W, et al. Dosimetric comparison between volumetric modulated arc therapy and step-and-shoot IMRT for upper-thoracic esophageal cancer [J]. Chinese Journal of Cancer Prevention and Treatment, 2014, 21(23): 1902-1906.

(编辑:陈丽霞)