

容积旋转调强放射治疗肺癌患者放射性肺炎发生的相关因素分析

张彦秋¹, 韩阿蒙², 李金旺¹, 顾涛¹, 付占昭¹, 毛羽¹, 张子健³, 杨振³

1. 秦皇岛市第一医院放疗科, 河北 秦皇岛 066000; 2. 燕山大学信息中心, 河北 秦皇岛 066004; 3. 中南大学湘雅医院肿瘤科, 湖南 长沙 410008

【摘要】目的:分析肺癌患者行容积旋转调强放射治疗(VMAT)的临床因素和物理因素,探讨临床因素和物理因素与放射性肺炎(RP)发生的关系。**方法:**回顾性分析2014年7月1日~2016年10月1日在秦皇岛市第一医院住院初次接受VMAT治疗的肺癌患者,共计40例。比较发生RP和未发生RP患者的临床资料和放疗物理参数,随访时间大于10个月,根据影像学检查及RTOG标准明确RP,探讨上述因素与大于或等于2级RP的关系。**结果:**发生2级及以上RP患者10例。单因素分析显示,性别、年龄、病理类型、临床分期、是否有糖尿病、是否手术、肿瘤位置、是否吸烟、是否化疗及放疗前有无阻塞性肺炎等临床因素与RP的发生均无显著相关性($P>0.05$); V_5 、 V_{10} 、 V_{13} 、 V_{15} 、 V_{20} 、 V_{25} 、 V_{30} 、 V_{35} 、 V_{40} 、平均剂量(D_{mean})、处方剂量(D_p)和PTV体积大小等物理因素中, V_5 、 V_{10} 、 V_{13} 、 V_{15} 与RP发生的相关性具有统计学意义($P=0.018, 0.023, 0.012, 0.004$),其余物理因素与RP发生的相关性均无统计学意义($P>0.05$)。多因素分析显示,临床因素和物理因素中只有 V_5 与RP发生的相关性具有统计学意义($P=0.003, OR=29.571$)。**结论:**肺癌患者进行VMAT放射治疗时, V_5 与RP的发生显著相关。肺癌患者放射治疗选择ARC治疗方式时,应严格限制低剂量受照体积 V_5 、 V_{10} 、 V_{13} 、 V_{15} ,尤其是 V_5 ,使RP发生的概率降到最低。

【关键词】容积旋转调强放射治疗;肺癌;放射性肺炎;临床因素;物理因素

【中图分类号】R818.8

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2018)07-0771-05

Analysis of factors predicting radiation pneumonitis in volumetric modulated arc therapy of lung cancer

ZHANG Yanqiu¹, HAN Ameng², LI Jinwang¹, GU Tao¹, FU Zhanzhao¹, MAO Yu¹, ZHANG Zijian³, YANG Zhen³

1. Department of Radiation Therapy, First Hospital of Qinhuangdao, Qinhuangdao 066000, China; 2. Information Technology Center, Yanshan University, Qinhuangdao 066004, China; 3. Department of Oncology, Xiangya Hospital, Central South University, Changsha 410008, China

Abstract: Objective To analyze the clinical factors and physical factors of patients receiving volumetric modulated arc therapy (VMAT) for lung cancer, and evaluate the correlation of clinical factors and physical factors with the incidence of radiation pneumonitis (RP). **Methods** The information of 40 patients receiving the first VMAT for lung cancer in the First Hospital of Qinhuangdao between July 2014 and October 2016 were retrospectively analyzed. The clinical data and physical factors were compared between patients developing RP and those without developing RP. The RP was defined by the imaging examination and RTOG standard after over 10-month follow-up studies. The correlations of clinical factors and physical factors with the incidence of RP of grade 2 or above were analyzed. **Results** Ten patients developed RP of grade 2 or above. The results of univariate analysis revealed that the clinical factors, including gender, age, pathological type, clinical stage, diabetes mellitus, surgery, tumor location, smoking, chemotherapy and obstructive pneumonia before radiotherapy, didn't have any significant correlations with the incidence of RP ($P>0.05$). Among the physical factors of V_5 , V_{10} , V_{13} , V_{15} , V_{20} , V_{25} , V_{30} , V_{35} , V_{40} , D_{mean} , D_p and planning target volume, only V_5 , V_{10} , V_{13} , V_{15} had statistical correlations with the incidence of RP ($P=0.018, 0.023, 0.012, 0.004$) and no statistical correlations were found between the other factors and the incidence of RP ($P>0.05$). The results of multivariate analysis indicated that of all clinical and physical factors, only V_5 was the risk factor of RP ($P=0.003, OR=29.571$). **Conclusion**

【收稿日期】2018-01-16

【基金项目】河北省科技计划项目(162777171)

【作者简介】张彦秋, 硕士, 主管技师, 主要从事肿瘤放射治疗物理学工作, E-mail: zmary198589@163.com

【通信作者】付占昭, 主任医师, 主要从事肿瘤放射化疗工作, E-mail: fuzhanzhao1@163.com

The incidence of RP is significantly correlated with V_5 in lung cancer patients treated with VMAT. When patients with lung cancer treated with ARC, the volume of low-dose irradiation (V_5 , V_{10} , V_{13} and V_{15}) should be strictly restricted, especially V_5 , in order to minimize the incidence of RP.

Keywords: volumetric modulated arc therapy; lung cancer; radiation pneumonitis; clinical factors; physical factors

前言

容积旋转调强放射治疗(Volumetric Modulated Arc Therapy, VMAT)(文中所选的是RapidArc技术,即VMAT技术的一种,以下简称ARC技术)和螺旋断层调强放射治疗(Helical Tomotherapy, HT)是当前放疗领域最先进的两种放射治疗技术^[1-3]。ARC技术因治疗时间短、机器跳数较少以及一定的剂量学优势,越来越得到临床应用的青睐。肺癌患者放射治疗所产生的放射性肺炎(Radiation Pneumonitis, RP)问题一直是肿瘤临床实践中关注的重要课题,其发生与否直接关系到患者的治疗效果和生存质量^[4-5],关于ARC治疗后RP发生情况罕见报道^[6]。本研究回顾性分析近两年在秦皇岛市第一医院放疗科接受ARC治疗的肺癌患者RP相关的临床因素和物理因素,并进行单因素和多因素分析,以期为ARC技术的临床应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 病例选择和一般资料

随机选取2014年7月1日~2016年10月1日在秦皇岛市第一医院放疗科进行ARC治疗的40例肺癌患者。患者放疗前主要肺功能参数:FEV1均>50%预测值,DLCO均>40%预测值。所有患者处方剂量均大于50 Gy,其中男女患者分别为25、15例;病理类型:鳞癌、腺癌、小细胞肺癌和大细胞肺癌分别为5、12、22和1例。年龄范围41~80岁,中位年龄62.5岁。根据IASLC国际肺癌第7版TNM分期:小细胞肺癌患者局限期和广泛期分别为18、4例;非小细胞肺癌患者I期、II期、IIIa期、IIIb期和IV期的例数分别为1、1、4、2和10例。33例患者接受化疗,2例患者进行同步化疗。所有患者均进行大于10个月的随访。

1.2 体位固定和靶区勾画

在CT床上,患者治疗体位取仰卧位,固定采用热塑胸部体罩,GE CT扫描进行模拟定位,扫描层厚和层距均为2.5 mm,扫描范围根据病灶位置,最高可到锁骨上淋巴结以上2 cm,最低可到膈肌以下。由同一组副主任医师以上的放疗医生在治疗计划系统上勾画靶区和危及器官。根据ICRU 62号报告,靶区包括大体肿瘤体积(Gross Tumor Volume, GTV)(术

后放疗的患者无GTV),包括影像学显示的原发肿瘤和转移淋巴结区域;临床肿瘤体积(Clinical Tumor Volume, CTV),对于组织学为鳞癌患者,CTV由GTV外扩6 mm得到,组织学为腺癌和小细胞肺癌患者,CTV由GTV外扩8 mm得到,对于有淋巴结受侵的区域,CTV应包括相应的区域淋巴结;计划靶体积(Planning Tumor Volume, PTV)由CTV加上肿瘤的运动范围和摆位误差;危及器官包括脊髓、食管、心脏和全肺。

1.3 处方剂量、计划验证和图像引导

应用瓦里安Trilogy直线加速器,采用6 MV X线实施ARC治疗。单次处方剂量为2 Gy,1次/d,5次/周。对于进行淋巴结预防区域照射的患者,处方剂量达到45~50 Gy后,进行重新定位,再次勾画肿瘤靶区和计划设计。计划设计优化时肺的相关剂量学参数设置如下:5、20、30 Gy以上放疗剂量照射的肺体积占全肺总体积的百分比 $V_5 \leq 65\%$, $V_{20} \leq 30\%$, $V_{30} \leq 20\%$,肺的平均剂量 $D_{mean} \leq 15$ Gy,处方总剂量50~66 Gy,中位剂量60 Gy。新治疗计划在执行之前均进行计划验证。计划验证设备为:瑞典Scandi Dos公司生产的Delta4剂量验证系统,对计划实测数据和计划数据进行伽马分析,伽马指标限定条件为3%(剂量误差)/3 mm(位置误差),伽马通过率在95%以上,则计划通过验证。患者第一次治疗和每周的第一次治疗都进行锥形束CT的位置验证,误差 ≤ 3 mm方可进行治疗。

1.4 随访

患者放疗前进行CT检查并保存CT片,放疗处方剂量到40 Gy后和放疗刚结束后分别进行胸部CT复查,并建议患者放疗结束后,前3个月每隔1个月进行一次CT复查,3个月后每隔3个月进行CT复查。

1.5 分析指标

临床指标包括性别、年龄、肿瘤位置、临床分期、病理类型、是否有糖尿病、是否有阻塞性肺炎、是否吸烟、是否手术和是否同步化疗。剂量学参数包括PTV体积大小,处方剂量 D_p ,正常肺受照的平均剂量 D_{mean} ,肺 V_5 、 V_{10} 、 V_{13} 、 V_{15} 、 V_{20} 、 V_{25} 、 V_{30} 、 V_{35} 和 V_{40} (即受到5、10、15、20、25、30、35和40 Gy以上剂量照射的肺体积占全肺总体积的百分比)。

1.6 RP评价标准

按照美国肿瘤放射治疗协作组织(RTOG)标准^[7], RP分为0~5级, 0级:无变化;1级:轻度干咳或劳累后呼吸困难;2级:持续咳嗽需麻醉性止咳药或稍活动后呼吸困难, 休息时无呼吸困难;3级:重度咳嗽, 麻醉性止咳药无效, 或休息时呼吸困难/临床或影像有放射性肺炎的证据/间断吸氧或可能需要类固醇治疗;4级:严重呼吸功能不全或持续吸氧或辅助通气治疗;5级:致命性。本研究拟对≥2级的RP进行分析, 患者发生RP者为RP组, 未发生RP者为非RP组。

1.7 统计学方法

使用SPSS 19.0软件进行统计学分析。对于单因素分析, 采用Fisher精确检验对临床因素进行分析, 采用独立样本*t*检验对物理因素进行分析;采用Logistic多因素回归分析对多因素进行分析。*P*<0.05为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 临床因素与RP的关系

采用Fisher精确检验RP与性别、年龄、肿瘤位置、临床分期、病理类型、是否有糖尿病、是否有阻塞性肺炎、是否吸烟、是否手术和是否同步化疗等临床因素之间的关系, 结果显示这些临床因素与RP的发生均无显著相关性(*P*>0.05), 见表1。

2.2 物理因素与RP的关系

正常肺组织V₅、V₁₀、V₁₃、V₁₅、V₂₀、V₂₅、V₃₀、V₃₅、V₄₀、平均剂量D_{mean}、处方剂量D_p和PTV体积大小是本研究的物理因素。物理因素与RP的关系采用独立样本*t*检验, 结果显示V₅、V₁₀、V₁₃、V₁₅与RP发生的相关性具有统计学意义(*P*<0.05)。对于V₂₅, *P*=0.095, 接近统计学意义。其余物理因素与RP发生的相关性均无统计学意义(*P*>0.05)。详见表2。

2.3 RP发生的多因素分析

RP发生的多因素分析选择Logistic多因素回归分析, OR即Exp(B)的置信区间选择95%, 结果显示临床因素和物理因素中只有V₅具有统计学意义(*P*=0.003, OR=29.571), 提示V₅是RP发生的危险因素。

3 讨论

本研究结果显示肺癌患者在ARC放射治疗时, RP的发生与性别、年龄、病理类型、是否手术、肿瘤位置、是否吸烟、是否化疗及放疗前有无阻塞性肺炎等临床因素均无显著相关性。在之前的研究中关于临床因素与RP之间的关系研究结论不一。国外研究

表1 临床因素与RP的关系

Tab.1 Correlations between clinical factors and RP

Clinical factor	Number of patients	Number of RP cases	P value
Sex			
Male:Female	24:16	5:5	0.723
Age (year)			
≥60:<60	26:14	6:4	1.000
Pathological type			
SCLC:NSCLC	22:18	8:2	0.279
Clinical stages			
Early and middle:Advanced	18:22	1:9	0.067
Whether diabetes			
Yes:No	4:36	1:9	1.000
Whether surgery			
Yes:No	5:27	0:10	0.315
Tumor location			
Upper lobes:Middle and lower lobes	19:21	6:4	0.725
Smoking history			
Yes:No	19:21	5:5	1.000
Combined chemotherapy			
Yes:No	35:5	9:1	1.000
Obstructive pneumonia before RT			
Yes:No	7:33	1:9	1.000

RP: Radiation pneumonitis; SCLC: Small cell lung cancer; NSCLC: Non-small cell lung cancer; RT: Radiotherapy

中上述的某几个因素是RP发生的相关因素。Vogelius等^[8]进行的Meta分析表明较大的年龄、病灶位于中下叶和伴随其他疾病是RP发生的显著危险因素。Palma等^[9]进行的Meta分析则认为高龄患者同步放化疗和病灶位于下叶与RP的发生显著相关。Yamaguchi等^[10]的研究表明年龄与RP的发生无显著相关性。Dang等^[11]研究显示放疗前手术是RP发生的显著危险因素。国内一些研究表明糖尿病^[12]、肺功能^[13]等临床因素与RP的发生有一定相关性。颜博等^[14]研究表明联合化疗和高龄是RP发生的显著危险因素, 与Palma等^[9]的研究结论类似。

本研究中单因素分析显示V₅、V₁₀、V₁₃、V₁₅与RP的发生显著相关, V₂₅与RP的发生有一定相关性, 而多因素分析显示只有V₅是RP发生的显著危险因素, 这与Jo^[15]、Khalil^[16]、王静^[17]等的研究结果一致。杨

表2 物理因素与RP的关系

Tab.2 Correlations between physical factors and RP

Physical factor	RP occurred	RP not occurred	Difference	t value	P value
V ₅ /%	63.21±2.02	55.56±9.62	7.65±3.09	2.475	0.018
V ₁₀ /%	52.39±7.31	43.77±10.69	8.62±3.65	2.362	0.023
V ₁₃ /%	47.75±9.74	37.95±10.22	9.79±3.69	2.654	0.012
V ₁₅ /%	44.92±10.79	34.01±9.42	10.91±3.56	3.062	0.004
V ₂₀ /%	28.64±5.75	25.35±6.89	3.29±2.42	1.358	0.183
V ₂₅ /%	22.97±6.20	19.29±5.79	3.68±2.15	1.712	0.095
V ₃₀ /%	16.73±5.05	14.56±4.91	2.17±1.81	1.199	0.238
V ₃₅ /%	10.99±3.92	10.37±4.20	0.61±1.51	0.404	0.688
V ₄₀ /%	7.22±2.30	7.05±3.10	0.17±1.12	0.149	0.882
Planning target volume/cc	697.93±354.52	571.32±258.39	126.61±103.75	1.220	0.230
D _{mean} /Gy	14.47±1.87	13.11±2.57	1.27±0.83	-0.936	0.357
D _p /Gy	56.06±3.13	57.86±5.64	-1.80±1.88	-0.956	0.345

阳^[18]、Kimum^[19]等的研究表明肺D_{mean}、V₂₀、V₃₀或V₄₀也与RP的发生紧密相关。同时,杨阳等^[18]研究中利用多因素回归模型计算了各因素影响RP发生的风险比,肺D_{mean}>8.5 Gy者或增加1 Gy时、V₂₀每增加1%时、V₃₀每增加1%时或V₄₀每增加1%时均是RP发生率显著升高的相关因素。

值得注意的是,上述研究中放射治疗方式均不是ARC技术,而是固定野调强、三维适形或常规放射治疗,一些国外的研究是关于肺癌大分割非常规剂量的研究,并且在一些研究中并未给出详细的放射治疗技术参数。同时本研究属于小样本回顾性研究,基于这两点可能是导致本研究结果与上述研究结果有所不同。在今后的工作中进一步开展大样本研究,是更深层次探究各个因素尤其是临床因素与RP关系的关键。同时无论临床因素还是物理因素应该更加细化,以期更全面地评估RP与各因素的关系。

本研究结果显示V₅、V₁₀、V₁₃、V₁₅与RP的发生显著相关,尤其是V₅。在具体的临床应用中,可以从ARC技术应用的具体参数进行调节以最大可能的降低V₅、V₁₀、V₁₃、V₁₅的大小,如弧的个数选择,根据病变位置选择合适的弧度范围。同时本研究结果显示RP的发生率为25%(10/40),为降低RP的发生,在胸部肿瘤放射治疗中,可以结合ARC技术和三维适形放射治疗技术的各自优点,使用CRT+ARC技术^[20],既能一定程度上降低靶区的低剂量受照体积,又能使靶区有较好的均匀度和适形度,从而降低RP的发生并提高肿瘤的控制率。

ARC技术已逐渐在临床中广泛应用,而放射性肺炎的预防应引起重视。虽本研究结果显示临床因素与RP的发生无显著相关性,但根据其他学者的一些研究结果,临床实践中也要注意各种临床因素与RP的相关性。根据本研究结果,肺癌患者进行ARC放射治疗时,V₅与RP的发生显著相关,因此,肺癌患者放射治疗选择ARC治疗方式时,应严格限制低剂量受照体积V₅、V₁₀、V₁₃、V₁₅,尤其是V₅,使RP发生的概率降到最低。进一步开展大样本研究,结合正常组织并发症模型^[21]和Lyman-Kutcher-Burman模型,并考虑胸部其它类型的肿瘤,是本课题组今后的研究方向。

【参考文献】

- [1] OTTO K. Volumetric modulated arc therapy: IMRT in a single gantry arc[J]. Med Phys, 2008, 35(1): 310-317.
- [2] SAPKAROSKI D, OSBORNE C, KNIGHT K A, et al. A review of stereotactic body radiotherapy-is volumetric modulated arc therapy the answer?[J]. J Med Radiat Sci, 2015, 62(2): 142-151.
- [3] FITZGERALD R, OWEN R, HARGRAVE C, et al. A comparison of three different VMAT techniques for the delivery of lung stereotactic ablative radiation therapy[J]. J Med Radiat Sci, 2016, 63(1): 23-30.
- [4] 王春梅, 高艳丽, 尹丽霞, 等. 非小细胞肺癌放射治疗研究进展[J]. 中华肿瘤防治杂志, 2017, 24(10): 720-724.
WANG C M, GAO Y L, YIN L X, et al. Current status and progress of radiotherapy for non-small cell lung cancer[J]. Chinese Journal of Cancer Prevention and Treatment, 2017, 24(10): 720-724.
- [5] 鲍艳红, 黄常新. 放射性肺炎的发病机制及其防治研究进展[J]. 实用医学杂志, 2015, 31(21): 3621-3623.
BAO Y H, HUANG C X. Advance of pathogenesis and prevention and

- therapy of radiation pneumonitis [J]. The Journal of Practical Medicine, 2015, 31(21): 3621-3623.
- [6] KANNARUNIMIT D, DESCOVICH M, GARCIA A, et al. Analysis of dose distribution and risk of pneumonitis in stereotactic body radiation therapy for centrally located lung tumors: a comparison of robotic radiosurgery, helical tomotherapy and volumetric modulated arc therapy[J]. Technol Cancer Res Treat, 2015, 14(1): 49-60.
- [7] WIJSMAN R, DANKERS F J, TROOST E G, et al. Inclusion of incidental radiation dose to the cardiac atria and ventricles does not improve the prediction of radiation pneumonitis in advanced-stage non-small cell lung cancer patients treated with intensity modulated radiation therapy[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2017, 99(2): 434-441.
- [8] VOGELIUS I R, BENTZEN S M. A literature-based meta-analysis of clinical risk factors for development of radiation induced pneumonitis [J]. Acta Oncol, 2012, 51(8): 975-983.
- [9] PALMA D A, SENAN S, TSUJINO K, et al. Predicting radiation pneumonitis after chemoradiation therapy for lung cancer: an international individual patient data meta analysis[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2013, 85(2): 444-450.
- [10] YAMAGUCHI S, OHGURI T, MATSUKI Y, et al. Radiotherapy for thoracic tumors: association between subclinical interstitial lung disease and fatal radiation pneumonitis[J]. Int J Clin Oncol, 2015, 20(1): 45-52.
- [11] DANG J, LI G, ZANG S, et al. Comparison of risk and predictors for early radiation pneumonitis in patients with locally advanced non-small cell lung cancer treated with radiotherapy with or without surgery [J]. Lung Cancer, 2014, 86(3): 329-333.
- [12] 刘璐. 糖尿病与Ⅲ期非小细胞肺癌的放射性肺炎的相关性分析[J]. 实用癌症杂志, 2016, 31(10): 1646-1651.
- LIU J. Analysis of the correlation of the radiation pneumonia in the diabetic and stage Ⅲ non-small cell lung cancer[J]. The Practical Journal of Cancer, 2016, 31(10): 1646-1651.
- [13] 王天昶, 冯杏, 王浩, 等. 放疗前肺功能参数对非小细胞肺癌放射性肺炎的预测价值[J]. 实用癌症杂志, 2016, 31(4): 581-584.
- WANG T C, FENG X, WANG H, et al. Predictive value of lung function parameters on radiation pneumonitis in patients with non-small-cell lung cancer [J]. The Practical Journal of Cancer, 2016, 31(4): 581-584.
- [14] 颜博, 庞青松, 陈玉龙, 等. 非小细胞肺癌IMRT放疗引起急性重症放射性肺损伤相关因素分析[J]. 中国肿瘤临床, 2016, 43(3): 116-119.
- YAN B, PANG Q S, CHEN Y L, et al. Factors related to severe acute radiation-induced lung injury caused by IMRT for non-small cell lung cancer[J]. Chinese Journal of Clinical Oncology, 2016, 43(3): 116-119.
- [15] JO I Y, KAY C S, KIM J Y, et al. Significance of low-dose radiation distribution in development of radiation pneumonitis after helical-tomotherapy-based hypo-fractionated radiotherapy for pulmonary metastases[J]. J Radiat Res, 2014, 55(1): 105-112.
- [16] KHALIL A A, HOFFMANN L, MOELLER D S, et al. New dose constraint reduces radiation-induced fatal pneumonitis in locally advanced non-small cell lung cancer patients treated with intensity-modulated radiotherapy[J]. Acta Oncol, 2015, 54(9): 1343-1349.
- [17] 王静, 贾敬好, 宋玉芝, 等. 局部晚期非小细胞肺癌调强放疗放射性肺炎发生相关因素分析[J]. 河北医药, 2017, 39(4): 511-515.
- WANG J, JIA J H, SONG Y Z, et al. The related factors with radiation pneumonia after intensity modulated radiation therapy for locally advanced non-small cell lung cancer[J]. Hebei Medical Journal, 2017, 39(4): 511-515.
- [18] 杨阳, 闫婧, 刘娟, 等. 胸部放疗放射性肺炎病因学相关因素分析[J]. 中华肿瘤防治杂志, 2012, 19(1): 446-449.
- YANG Y, YAN J, LIU J, et al. Analysis of clinical and dosimetric factors associated with radiation pneumonitis in patients with lung cancer or esophageal cancer treated with intensity-modulated radiotherapy [J]. Chinese Journal of Cancer Prevention and Treatment, 2012, 19(1): 446-449.
- [19] KIMUM T. Radiation pneumonitis patients with lung and mediastinal tumours: a retrospective study of risk factors focused on pulmonary emphysema[J]. Br J Radiol, 2012, 85(1010): 135-141.
- [20] 张彦秋, 韩阿蒙, 李金旺, 等. CRT+ARC技术在肺癌“T”形靶区患者放射治疗中的剂量学研究[J]. 中国医学物理学杂志, 2017, 34(7): 712-718.
- ZHANG Y Q, HAN A M, LI J W, et al. Dosimetric study of conformal radiation therapy+volumetric modulated arc therapy for T-shaped target areas in lung cancer patient[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2017, 34(7): 712-718.
- [21] TSOGOS I, NILSSON P, THEODOROU K, et al. NTCP modelling and pulmonary function tests evaluation for the prediction of radiation induced pneumonitis in non-small-cell lung cancer radiotherapy[J]. Phys Med Biol, 2007, 52(4): 1055-1073.

(编辑:黄开颜)