

RT-Mind自动勾画技术应用于鼻咽癌放射治疗可行性研究

薛涛¹, 吴迪¹, 卢晓岩², 张恒², 秦浩人³, 李海鹏³, 孙婉君², 王辉¹

1. 天津市人民医院放疗科, 天津 300121; 2. 天津市人民医院肿瘤科, 天津 300121; 3. 天津中医药大学中西医结合学院, 天津 300193

【摘要】目的:探讨RT-Mind软件在鼻咽癌放疗临床靶区(CTV)、危及器官(OARs)自动勾画的可行性,为临床应用提供依据。**方法:**回顾性选取28例应用调强技术治疗的鼻咽癌患者,将放疗医师手动勾画CTV、OARs(脑干、脊髓、左右晶体、视交叉、左右视神经、左右腮腺、左右颞叶、左右颞颌关节、下颌骨)做为参考标准,再使用RT-Mind软件自动勾画CTV及OARs。对比手动与自动勾画在CTV和OARs区域的Dice相似性系数(DSC)、Jaccard系数(JAC)、敏感性指数(SI)、包容性系数(Incl)、质心偏差(DC)、Hausdorff距离(HD)等参数,从而评估自动勾画效果。**结果:**CTV的DSC、JAC、SI、Incl、DC、HD分别为:0.78±0.04、0.70±0.05、0.85±0.08、0.87±0.04、(7.76±5.03) mm、(12.3±1.16) mm, OARs中DC、HD值均在1 cm之内。**结论:**RT-Mind软件能够基本满足临床要求,能够较为准确地实现鼻咽癌患者CTV和OARs的自动勾画。由于病人既往病史的个体差异,放射治疗医师必须根据临床需要,对自动勾画的CTV和OARs进行修改后,才能用于治疗。若依据临床需求进一步完善自动勾画的个性化定制,相信RT-Mind软件在解剖结构复杂的鼻咽癌放疗中能够辅助放疗医生提高工作效率,更好地为患者服务。

【关键词】鼻咽癌;RT-Mind;自动勾画;临床靶区;危及器官

【中图分类号】R739.6;R811.1

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2022)06-0661-05

Feasibility of RT-Mind auto-segmentation technique in radiotherapy for nasopharyngeal carcinoma

XUE Tao¹, WU Di¹, LU Xiaoyan², ZHANG Heng², QIN Haoren³, LI Haipeng³, SUN Wanjun², WANG Hui¹

1. Department of Radiotherapy, Tianjin People's Hospital, Tianjin 300121, China; 2. Department of Oncology, Tianjin People's Hospital, Tianjin 300121, China; 3. School of Integrative Medicine, Tianjin University of Traditional Chinese Medicine, Tianjin 300193, China

Abstract: Objective To explore the feasibility of RT-Mind software in the automatic segmentations of clinical target volume (CTV) and organs-at-risk (OAR) for radiotherapy for nasopharyngeal carcinoma, so as to provide a basis for its clinical application. **Methods** Twenty-eight cases of nasopharyngeal carcinoma patients treated with radiotherapy were enrolled retrospectively. Taking manual segmentations of CTV and OAR (brain stem, spinal cord, lens, optic chiasm, optic nerves, parotid glands, temporal lobes, temporomandibular joints, and mandible) by radiotherapists as reference standards, RT-Mind software was used to carry out the auto-segmentations of CTV and OAR. The Dice similarity coefficient (DSC), Jaccard index (JAC), sensitivity index (SI), inclusiveness index (Incl), deviation of centroid (DC), and Hausdorff distance (HD) between manual and automatic segmentations of CTV and OAR were calculated for evaluating the performance of automatic segmentation. **Results** The DSC, JAC, SI, Incl, DC, and HD of CTV were 0.78±0.04, 0.70±0.05, 0.85±0.08, 0.87±0.04, (7.76±5.03) mm, and (12.3±1.16) mm, respectively. The DC and HD of OAR were all less than 1 cm. **Conclusion** RT-Mind software can basically meet the clinical requirements, and can more accurately realize the automatic segmentations of OAR and CTV in patients with nasopharyngeal carcinoma. Due to individual differences in the patient's medical history, radiotherapy physicians need to make certain modifications to the auto-segmentation results of OAR and CTV according to clinical needs. If the personalized customization of auto-segmentation can be further improved according to clinical requirements, RT-Mind software can assist doctors in improving their work efficiency in the radiotherapy of nasopharyngeal carcinoma with complex anatomical structures, and serving patients better.

Keywords: nasopharyngeal carcinoma; RT-Mind; auto-segmentation; clinical target volume; organ-at-risk

【收稿日期】2021-10-26

【基金项目】国家自然科学基金(81972847, 81573089)

【作者简介】薛涛, 工程师, 研究方向: 肿瘤放射物理, E-mail: tjxt1168@sina.com

【通信作者】王辉, 博士, 主任医师, 研究方向: 肿瘤放射治疗, E-mail: ezxwanghui@163.com

前言

鼻咽癌是我国常见的头颈部恶性肿瘤之一,南方地区高发^[1]。由于鼻咽癌的解剖位置复杂、周围淋巴结引流分布的特殊性且病理分型大多为中低分化鳞癌(90%左右)^[2-3],故放射治疗是鼻咽癌的主要治疗手段^[4]。近年来随着放射生物学、放射物理学、医学影像技术等相关学科的发展,鼻咽癌放疗技术不断改进,常规放疗、近距离放疗、非常规分割放疗、立体聚焦式放疗、适形放疗先后应用于临床^[5],随着调强放射治疗技术日趋成熟,其高度的剂量适形性照射技术可使肿瘤靶区同时得到不同的照射剂量,从而形成靶区剂量的高梯度变化^[6]。头颈部解剖位置复杂,鼻咽癌调强放疗技术优于传统放疗技术^[7],调强放疗技术提高了鼻咽癌的局部控制率和总生存率,改善了生存质量^[8],而准确勾画临床靶区(Clinical Target Volumes, CTV)和危及器官(Organs-at-Risk, OARs)是保证鼻咽癌调强治疗疗效的前提^[9]。

当前勾画CTV和OARs都是由放射治疗医师参考多模态影像资料手动勾画^[10],需要大量的精力和时间,繁琐和重复性的工作降低了医师对患者进行诊疗的效率。近年来,自动勾画软件的开发已成为放疗领域的热点,基于患者图集和基于卷积神经网络的自动勾画是目前两种主要技术^[11-12]。RT-Mind软件是基于卷积神经网络系统开发出来的自动勾画软件,它利用改进版的U-Net卷积神经网络(RTD-Net)模型,运用标准数据集对其进行训练,通过算法逻辑对图像进行自动分割勾画^[13]。本研究拟通过RT-Mind软件,探讨其对鼻咽癌放疗患者CTV和OARs自动勾画的精确度,为临床应用提供参考。

1 资料与方法

1.1 临床资料

选取2019年8月~2020年7月于天津市人民医院放疗科诊治的28例鼻咽癌调强放疗患者,年龄最大73岁,最小21岁,中位年龄60岁。

1.2 定位设备及方法

定位设备采用美国16排GE大孔径CT模拟机,由定位激光灯系统、螺旋CT和各种模拟软件构成。患者取仰卧位,热塑头颈肩膜固定体位。扫描参数:电压150 kV,电流300 mAs。扫描范围:从头顶至气管分叉;重建层厚:2.5 mm,增强CT扫描,完成后将图像传至瓦里安Eclipse15.5治疗计划系统。

1.3 RT-Mind软件

RT-Mind自动勾画软件由北京医智影科技有限

公司研发设计,采用RTD-Net模型,见图1。RTD-Net模型包含编码器(Encoder)及解码器(Decoder)两部分,解码器部分产生的特征图可通过跨层直接连接到编码器部分相对应的特征图,图像分割结果更精确;增强了定位精度,网络实现目标特征重新校准,强调有用的特征信息,减少假阳性。

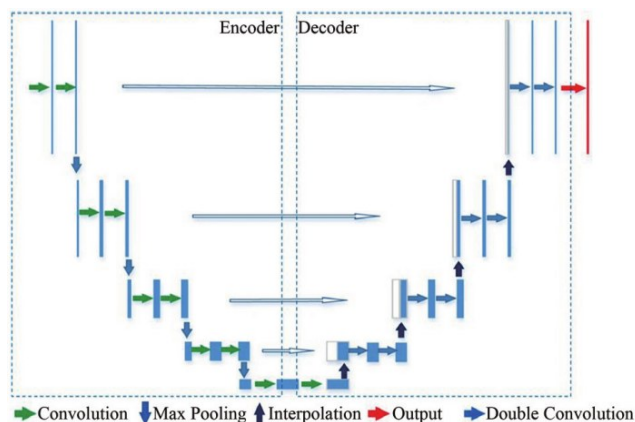


图1 RTD-Net的总体框架

Figure 1 Overall framework of RTD-Net

1.4 手动、自动勾画CTV及OARs

在瓦里安Eclipse 15.5治疗计划系统中,患者的CTV及OARs均在定位CT图像上参考MR影像勾画,在统计计算前均经3名以上放射治疗医师进行器官勾画校对,OARs包括脑干、脊髓、左右晶体、视交叉、左右视神经、左右腮腺、左右颞合关节、下颌骨等,勾画标准参考ICRU62号文件^[14]。将选取的28例鼻咽癌患者调强放疗CT图像传入RT-Mind软件中,使用鼻咽癌自动勾画功能,对CTV及上述OARs进行自动勾画。

1.5 评估参数

以医生手动勾画的CTV、OARs轮廓做为金标准,采用Dice相似性系数(Dice Similarity Coefficient, DSC)、Jaccard系数(Jaccard Index, JAC)、敏感性指数(Sensitivity Index, SI)、包容性系数(Inclusiveness Index, Incl)、质心偏差(Deviation of Centroid, DC)、Hausdorff距离(Hausdorff Distance, HD)等参数^[15],来评估RT-Mind软件自动勾画CTV、OARs轮廓的准确性。

DSC表示自动与手动勾画在轮廓体积上的重合度,DSC值为0~1。

$$DSC = \frac{2 \times (V_{ref} \cap V_{auto})}{V_{ref} + V_{auto}} \quad (1)$$

其中, V_{ref} 为参考勾画轮廓的体积, V_{auto} 为自动勾画轮廓的体积。

JAC表示自动与手动勾画轮廓的交集与两者并

集的比值,用以比较两组勾画轮廓间的相似性与差异性。JAC的范围为0~1,JAC为0时表示自动勾画的结果与人工勾画完全不相符,JAC为1时表明自动勾画的结果与人工勾画完全一致。

$$JAC = \frac{V_{ref} \cap V_{auto}}{V_{ref} \cup V_{auto}} \tag{2}$$

SI表示自动与手动勾画轮廓的交集与手工勾画轮廓中的比值。SI值的范围为0~1,SI为0时表明自动勾画结果与手动勾画无交集,SI为1时表明自动勾画的轮廓完全包含手动勾画。

$$SI = \frac{V_{ref} \cap V_{auto}}{V_{ref}} \tag{3}$$

IncI表示自动与手动勾画轮廓的交集与自动勾画轮廓中的比值。IncI值的范围为0~1,IncI为0时表示两组勾画轮廓无交集,IncI为1时表明人工勾画轮廓完全包含自动勾画轮廓。

$$IncI = \frac{V_{ref} \cap V_{auto}}{V_{auto}} \tag{4}$$

DC表示自动与手动勾画轮廓质心之间的距离(单位mm),用来评价两组轮廓之间的总体位置偏差。DC越大,说明两组勾画轮廓之间在位置上偏差越远。

$$DC = \sqrt{(X_{auto} - X_{ref})^2 + (Y_{auto} - Y_{ref})^2 + (Z_{auto} - Z_{ref})^2} \tag{5}$$

其中, X_{auto} 、 Y_{auto} 、 Z_{auto} 为自动勾画轮廓的质心坐标, X_{ref} 、 Y_{ref} 、 Z_{ref} 为手动勾画轮廓的质心坐标。

HD表示自动与手动勾画轮廓两组点集在三维空间上的最大距离(单位mm):

$$HD(X,Y) = \max(h(X,Y),h(Y,X)) \tag{6}$$

其中, $h(X,Y) = \frac{\max \min}{x \in X y \in Y} \|x - y\|$ 。

2 结果与讨论

2.1 RT-Mind 软件自动勾画与手工勾画鼻咽癌患者CTV及OARs轮廓结果比较

RT-Mind软件自动勾画鼻咽癌CTV及OARs轮廓与医生手动勾画对比的参数结果如表1所示。对于边界清晰的区域,CTV轮廓勾画容易,自动与手动勾画差异性小;而边界不清的区域,在CT图像上无法准确分辨出来,临床上需要根据肿瘤大小、位置、侵犯范围的不同,转移淋巴结的大小、有无包膜外侵及对正常组织挤压等情况,借助MR、PET-CT等多模态图像融合技术和医师丰富的临床经验共同确定。勾画过程中,颈部淋巴结引流区域的CTV相对固定,而鼻咽部区域的CTV边界需依据肿瘤靶区(GTV)范围,对颅底、海绵窦、副鼻窦等亚临床区域边界进行

个体化制定。RT-Mind软件实现自动分割功能运用基于卷积神经网络模型的自动勾画,部分CTV与放疗医师勾画结果有一定差异,需要在自动勾画基础上根据临床个体化情况进行修正。

OARs中DC、HD均在1 cm之内(表1),结果提示下颌骨勾画效果最好,颞颌关节、腮腺、颞叶、晶体、脑干、脊髓次之,视神经、视交叉勾画效果不太理想,究其原因在于CT图像的局限性,对于视交叉识别较差,而我科在临床工作中为加强对视交叉的保护,在勾画视神经、视交叉时,医生把两者连接的视神经管内部分也勾画出来,相对自动勾画视交叉的范围要大;在勾画脊髓时临床上以骨性标记椎孔为勾画参考边界,而自动勾画则是以实质性脊髓束的边界为参考,比手动勾画范围小;这些都是临床上出于主观考虑,对OARs更加严格的保护。

调强放疗已经广泛应用于鼻咽癌治疗^[16],其具有剂量梯度大、靶区适形度高、OARs保护好、治疗效率高等优点^[17],放疗计划对CTV和OARs的精确勾画要求更高,每一位鼻咽癌患者的CT图像多达上百层,解剖结构复杂,OARs多,CTV及OARs的勾画繁琐,耗费医生大量时间和精力,由于CT图像缺少对比度,边界不明显,勾画者各自的经验不同,差异性也较为突出,同一医生在不同时间的勾画轮廓也可能有差别,而自动勾画软件的开发与应用为临床放疗医生提高了效率,降低了不同勾画者之间的差异^[18]。目前自动勾画技术主要分为两种:基于图集和基于卷积神经网络,本研究的RT-Mind软件是基于卷积神经网络模型开发出来的自动勾画软件,它利用RTD-Net模型^[19],运用标准的数据集对其进行训练,通过算法逻辑对图像进行自动分割勾画^[20]。

通过应用RT-Mind软件对已完成调强治疗的28例鼻咽癌患者CTV和OARs的自动勾画与放疗医生手动勾画轮廓对比,结果提示:自动勾画可以节省大量时间,提高效率,但它只是基于患者定位的CT图像,受到CT图像的清晰程度、CT窗宽、窗位的影响,而放射治疗医生手动勾画CTV时要结合患者的不同情况,并且参考MR、PET-CT等多模态影像资料和以往大量临床治疗经验,所以对CTV自动勾画轮廓后必须进行放射治疗医生手动修改,才能符合临床治疗要求;在OARs勾画中,放射治疗医生为了对OARs实行更加严格的保护,不同的器官勾画范围与自动勾画有所差异,这些都是临床治疗上出于主观的考虑。CTV和OARs边缘勾画的准确性与边缘对比度相关,边缘对比度越高,越容易被识别,自动勾画越准确。

表1 RT-Mind 软件自动勾画与手工勾画 28 例鼻咽癌 CTV 和 OARs 轮廓结果比较($\bar{x} \pm s$)

Table 1 Comparison between manual segmentation and RT-Mind auto-segmentation of clinical target volume and organs-at-risk in 28 patients with nasopharyngeal carcinoma (Mean±SD)

靶区和危及器官	DSC	JAC	SI	IncI	DC/mm	HD/mm
CTV	0.78±0.04	0.70±0.05	0.85±0.08	0.87±0.04	7.76±5.03	12.3±1.16
脑干	0.72±0.03	0.63±0.05	0.75±0.07	0.73±0.06	3.21±2.52	1.62±0.39
脊髓	0.68±0.05	0.61±0.07	0.64±0.07	0.71±0.06	3.84±3.07	1.61±0.36
左晶体	0.77±0.09	0.64±0.11	0.68±0.13	0.87±0.10	0.88±0.47	1.42±0.55
右晶体	0.78±0.11	0.65±0.15	0.74±0.15	0.88±0.15	1.05±0.57	1.39±0.52
视交叉	0.58±0.14	0.24±0.10	0.33±0.17	0.52±0.22	4.56±1.61	5.71±2.86
左视神经	0.66±0.15	0.51±0.13	0.58±0.13	0.88±0.07	4.33±1.26	4.23±1.97
右视神经	0.66±0.17	0.50±0.15	0.56±0.15	0.88±0.12	4.10±1.50	4.48±2.17
左腮腺	0.80±0.09	0.67±0.10	0.82±0.08	0.80±0.12	3.70±1.68	2.91±1.57
右腮腺	0.78±0.04	0.65±0.06	0.82±0.07	0.76±0.07	4.43±1.57	3.03±1.44
左颞叶	0.75±0.19	0.69±0.14	0.81±0.17	0.73±0.16	4.3±2.42	3.4±1.34
右颞叶	0.78±0.20	0.66±0.15	0.80±0.17	0.77±0.17	4.06±2.54	3.2±1.04
左颞颌关节	0.83±0.07	0.71±0.10	0.81±0.07	0.85±0.11	1.61±1.10	1.47±0.38
右颞颌关节	0.81±0.08	0.69±0.12	0.79±0.09	0.84±0.13	1.81±1.01	1.48±0.41
下颌骨	0.93±0.02	0.86±0.3	0.90±0.04	0.96±0.03	1.30±0.54	1.58±0.32

DSC: Dice相似性系数; JAC: Jaccard 系数; SI: 敏感性指数; IncI: 包容性系数; DC: 质心偏差; HD: Hausdorff 距离

3 结 论

RT-Mind 软件能够基本满足临床要求, 较为准确地实现鼻咽癌调强放疗患者 CTV 和 OARs 的自动勾画。在使用过程中, 由于病人既往病史的个体差异, 医生还需要根据患者肿瘤分期、大小、位置、侵犯范围, 采用 MR、PET-CT 等多模态影像融合技术, 对自动勾画器官轮廓手动修改后, 才能用于治疗。RT-Mind 软件在解剖结构复杂、OARs 较多的鼻咽癌放疗器官勾画中为医师减少工作量, 节省大量时间, 提高工作效率。

【参考文献】

[1] 王正安, 徐宁红. 鼻咽癌的综合治疗[J]. 中国社区医师, 2009, 11(1): 57.
Wang ZA, Xu NH. Comprehensive treatment of nasopharyngeal carcinoma[J]. Chinese Community Doctors, 2009, 11(1): 57.

[2] 夏云飞. 鼻咽癌淋巴引流区临床靶区的确定(一)—颈淋巴结转移的生物学基础及临床特性[C]. 2007 第六届全国放射肿瘤学学术年会, 2007.
Xia YF. Identification of clinical target of lymphatic drainage area in nasopharyngeal carcinoma (I) -the biological basis and clinical characteristics of cervical lymphatic metastasis[C]. the 6th National Annual Meeting of Radiation Oncology in 2007, 2007.

[3] 曹爱国. 鼻咽癌的临床病理分型特点及临床意义[J]. 郴州医学高等专科学校学报, 2003, 5(1): 45-46.
Cao AG. Clinicopathological characteristics and clinical significance of nasopharyngeal carcinoma[J]. Journal of Chenzhou Medical College, 2003, 5(1): 45-46.

[4] 梁锦辉. 鼻咽癌治疗研究的现状[J]. 中国医学文摘: 肿瘤学, 2005, 19(3): 243-244.
Liang JH. Current status of research on treatment of nasopharyngeal

carcinoma[J]. Journal of Chinese Medical Abstracts: Oncology, 2005, 19(3): 243-244.

[5] 张小红, 张海霞, 尚友兰, 等. 鼻咽癌放射治疗进展[J]. 大家健康, 2014, 8(4): 151.
Zhang XH, Zhang HX, Shang YL, et al. Progress in radiotherapy of nasopharyngeal carcinoma[J]. Healthy People, 2014, 8(4): 151.

[6] 刘均, 陈宏. 图像引导鼻咽癌调强放射治疗靶区勾画研究进展[J]. 中华临床医师杂志(电子版), 2011, 5(6): 1691-1694.
Liu J, Chen H. Research progress of image-guided intensity-modulated radiotherapy target delineation for nasopharyngeal carcinoma[J]. Chinese Journal of Clinicians (Electronic Edition), 2011, 5(6): 1691-1694.

[7] 谢聪颖, 吴式琇, 金献测, 等. 鼻咽癌调强放疗与常规放疗对腮腺功能影响的研究[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2006, 26(4): 377-379.
Xie CY, Wu SX, Jin XC, et al. Study on the effect of intensity-modulated radiotherapy and conventional radiotherapy on parotid function of nasopharyngeal carcinoma [J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 2006, 26(4): 377-379.

[8] 秦雷, 杨林. 鼻咽癌放射治疗的进展[J]. 安徽医科大学学报, 2012, 47(6): 720-724.
Qin L, Yang L. Advances in radiotherapy for nasopharyngeal carcinoma [J]. Acta Universitatis Medicinalis Anhui, 2012, 47(6): 720-724.

[9] 吴式琇, 张萍, 谢聪颖, 等. 鼻咽癌调强放射治疗的临床研究[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2004, 13(3): 154-157.
Wu SX, Zhang P, Xie CY, et al. Intensify modulated radiotherapy (IMRT) for nasopharyngeal carcinoma [J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2004, 13(3): 154-157.

[10] 王荣福. 多模态影像技术在肿瘤诊治中的应用进展[J]. 肿瘤影像学, 2013, 22(4): 292-295.
Wang RF. Progress and application of multi modality imaging technology in the diagnosis and treatment of tumors [J]. Oncoradiology, 2013, 22(4): 292-295.

[11] 门阔, 戴建荣. 利用深度反卷积神经网络自动勾画放疗危及器官[J]. 中国医学物理学杂志, 2018, 35(3): 256-259.
Men K, Dai JR. Automatic segmentation of organs at risk in radiotherapy using deep deconvolutional neural network[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2018, 35(3): 256-259.

[12] Fu YB, Mazur TR, Wu X, et al. A novel MRI segmentation method

- using CNN-based correction network for MRI-guided adaptive radiotherapy[J]. Med Phys, 2018, 45(11): 5129-5137.
- [13] 李华玲, 李金凯, 张炜, 等. 基于U-Net的自动分割方法对乳腺癌危及器官的自动勾画[J]. 中国医疗设备, 2020, 35(8): 31-35.
- Li HL, Li JK, Zhang W, et al. Automatic segmentation of organs at risk of breast cancer using U-Net-based automatic segmentation method [J]. China Medical Devices, 2020, 35(8): 31-35.
- [14] 鹿红, 李兵. 外照射中体积的定义及剂量规定[J]. 医学研究生学报, 2003, 16(5): 397-398.
- Lu H, Li B. The definition of volume and dose regulation in external radiation[J]. Journal of Medical Postgraduates, 2003, 16(5): 397-398.
- [15] 李楨, 洪文松, 胡丽彩. 三种自动勾画软件应用于中上腹部危及器官勾画的准确性研究[J]. 中国医疗设备, 2021, 36(3): 66-70.
- Li Z, Hong WS, Hu LC. Study on the accuracy of three automatic delineation softwares for the delineation of organs at risk in abdomen [J]. China Medical Devices, 2021, 36(3): 66-70.
- [16] 张丹丹. 鼻咽癌容积旋转调强治疗计划的初步探讨[C]//广东省生物医学工程学会. 广东省生物医学工程学会成立30周年纪念大会暨2010广州(国际)生物医学工程学术大会论文集, 2010: 2.
- Zhang DD. A preliminary study of volume rotation modulated intensity therapy for nasopharyngeal carcinoma [C]//Guangdong Biomedical Engineering Society. Proceedings of the 2010 International Conference on Biomedical Engineering, 2010: 2.
- [17] 刘丽虹, 韩春. 容积旋转调强放射治疗的临床应用[J]. 肿瘤防治研究, 2013, 40(9): 903-907.
- Liu LH, Han C. Clinical application of volume rotation and intensity modulated radiation therapy[J]. Cancer Research on Prevention and Treatment, 2013, 40(9): 903-907.
- [18] 单书灿, 邱杰, 全红, 等. 自动勾画软件对鼻咽癌靶区和危及器官勾画结果对比分析[J]. 中国医学装备, 2015, 7(12): 33-36.
- Chan SC, Qiu J, Quan H, et al. Comparative of the two software for ABAS in NPC[J]. China Medical Equipment, 2015, 7(12): 33-36.
- [19] 赵荔君. 基于深度学习的鼻咽部肿瘤PET-CT双模态图像分割方法研究[D]. 广州: 南方医科大学, 2019.
- Zhao LJ. Research on dual-modality PET-CT images segmentation of nasopharyngeal carcinoma based on deep learning[D]. Guangzhou: Southern Medical University, 2019.
- [20] 秦楠楠, 薛旭东, 吴爱林, 等. 基于U-net卷积神经网络的宫颈癌临床靶区和危及器官自动勾画的研究[J]. 中国医学物理学杂志, 2020, 37(4): 524-528.
- Qin NN, Xue XD, Wu AL, et al. Automatic segmentation of clinical target volumes and organs-at-risk in radiotherapy for cervical cancer using U-net convolutional neural network[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2020, 37(4): 524-528.

(编辑: 薛泽玲)