

## 基于人工智能技术的危及器官自动勾画在胸部肿瘤中的应用

王沛沛, 李金凯, 李彩虹, 昌志刚, 顾宵寰, 曹远东  
江苏省人民医院放射治疗中心, 江苏 南京 210029

**【摘要】目的:**评估基于人工智能技术的自动勾画软件勾画胸部危及器官轮廓的几何学精度,为临床应用提供依据。**方法:**选择30例胸部肿瘤患者的CT图像,分别使用基于人工智能技术的自动勾画软件勾画和医师手动勾画胸部危及器官。采用Hausdorff距离、形状相似性指数及Jaccard系数这3个指标评价自动勾画与手动勾画危及器官的几何学一致性。**结果:**在肺、心脏和脊髓的Hausdorff距离中,最大为右肺的(22.31±4.50) mm,最小为脊髓的(3.17±0.80) mm。危及器官的形状相似性指数值均≥0.91。Jaccard系数中左肺和右肺的均值≥0.95,脊髓的为0.84±0.02,心脏的略低为0.83±0.04。**结论:**基于人工智能技术的危及器官自动勾画软件对于胸部危及器官勾画能够达到较高的准确性和精度,可以满足临床工作。

**【关键词】**胸部肿瘤;人工智能;危及器官;自动勾画;放射治疗

**【中图分类号】**R312;R811.1

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2019)11-1346-04

## Application of automatic organs-at-risk segmentation based on artificial intelligence technology in thoracic tumors

WANG Peipei, LI Jinkai, LI Caihong, CHANG Zhigang, GU Xiaohuan, CAO Yuandong  
Center of Radiation Oncology, Jiangsu Province Hospital, Nanjing 210029, China

**Abstract: Objective** To evaluate the geometric accuracy of automatic segmentation software based on artificial intelligence technology for segmenting the organs-at-risk (OAR) in patients with thoracic tumors, so as to provide a basis for its clinical application. **Methods** A total of 30 patients with thoracic tumors were enrolled in the study, and the thoracic OAR was automatically delineated by segmentation software and manually segmented by physicians. Three evaluation indexes, namely Hausdorff distance, Dice similarity coefficient and Jaccard coefficient, were used to evaluate the geometric consistency between automatic segmentation and manual segmentation. **Results** Among the Hausdorff distances of lung-L, lung-R, heart and spinal cord, the maximum Hausdorff distance was (22.31±4.50) mm in lung-R, and the minimum was (3.17±0.80) mm in spinal cord. The Dice similarity coefficient of all OAR (lung-L, lung-R, heart, spinal cord) was not less than 0.91. The mean value of Jaccard coefficient in lung-L and lung-R were greater than or equal to 0.95, while that in spinal cord and heart was 0.84±0.02 and 0.83±0.04, respectively. **Conclusion** The automatic segmentation software based on artificial intelligence technology can achieve a high accuracy and precision in thoracic OAR segmentation, which can meet the needs of clinical practices.

**Keywords:** thoracic tumor; artificial intelligence; organs-at-risk; automatic segmentation; radiotherapy

### 前言

随着放射治疗技术的发展,调强放疗(Intensity-Modulated Radiotherapy, IMRT)已成为主流放疗技

术。IMRT可以在获得精确靶区剂量分布的同时更好地保护周围正常组织,但前提条件之一是在放疗计划设计前精确地勾画靶区和危及器官(Organs-at-Risk, OAR)体积轮廓<sup>[1-2]</sup>。通常,医生根据患者的CT图像手动描绘放疗靶区和OAR,然而勾勒过程非常耗时,包含了大量重复性的工作,降低了诊疗效率,耽误了患者的治疗时间。当前已有多个基于图谱库(Atlas-based)的自动勾画软件投入到临床应用中,可以为医生节省大量的OAR勾画时间,提高工作效率,并减少不同医生间的勾画差异<sup>[3-6]</sup>。然而基于图谱库的自动勾画软件需要大量已经勾画好OAR的CT图

**【收稿日期】**2019-06-19

**【基金项目】**国家自然科学基金(81672983)

**【作者简介】**王沛沛,研究生,主管技师,研究方向:医学物理, E-mail: wangpeipei5650@163.com

**【通信作者】**曹远东,博士,主任医师,研究方向:放射肿瘤学, E-mail: caoyuandong@jsph.org.cn

像,由这些图像训练得到一个模板数据库,这不仅耗时耗力,而且勾画时不具备自动识别OAR边缘的能力<sup>[7-8]</sup>。

人工智能是研究、开发用于模拟、延伸和扩展人的智能的理论、方法、技术及应用系统的一门新的技术科学<sup>[9-10]</sup>。基于人工智能技术的OAR体积轮廓自动勾画软件使用时无需训练,容易上手。江苏省人民医院放疗科每年收治的肿瘤患者中,胸部肿瘤约占50%,OAR勾画成为医生日常工作中比较繁琐的部分。本研究主要目的是通过临床前的测试,评估基于人工智能技术的图像自动勾画软件在胸部OAR自动勾画的准确度,为临床应用提供依据。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选取2018年12月江苏省人民医院收治的30例胸部肿瘤患者,其中食管癌10例、乳腺癌10例、肺癌5例、胸腺癌5例。定位时均采用仰卧位,采用CT模拟定位系统(Siemens Sensation Open,德国)进行扫描,扫描层厚5 mm,层间距5 mm。将CT图像通过DICOM传至自动勾画软件工作站和医生工作站。

1.2 软件工作站

使用医科达公司的MONACO-Sim V5.1手动勾画CT图像的胸部OAR,包括双肺、心脏和脊髓,均参考RTOG 1106胸部OAR勾画指南。

使用MANTEIA公司的AccuContour精确自动勾画软件自动勾画同一CT图像的胸部OAR。该软件用于在CT图像上绘制放射治疗计划所需的患者解剖结构的轮廓。

近年来,基于深度学习的算法模型相比于传统模型实现了巨大的进步,尤其是U-Net的神经网络结构在OAR勾画领域,有许多深度学习模型被提出,有的通过在局部区域上使用分类算法,有的包含图像前处理、模型后处理,也有一些直接使用基于U-Net的结构。这些勾画技术存在一些问题,比如纯粹基于深度学习的算法精度上限于人类勾画的结果,无法得到精度的进一步提升;在全身的OAR勾画中,并不是所有器官深度学习的方法都能达到最优的精度等。AccuContour精确自动勾画软件提出了一种基于深度学习和传统算法模型结合的方法,该方法分为数据收集及标注、模型训练、模型预测产生结果这3个部分,其中模型训练为核心模块。该模块在获取训练集数据后,依次构建损失函数池、图像分割模型池以及可选择参数池;基于所述可选择参数池随机选择相应的损失函数、图像分割模型以及训练参数

值构建训练模型,并基于训练集数据对训练模型进行训练,获取训练好的训练模型;然后,对每一个训练好的训练模型在对应的验证集上进行Dice值计算处理,获取每个训练好的训练模型验证测试的Dice值;最后,选取Dice值最高的对应的训练好的训练模型作为最终的OAR自动勾画模型。

1.3 评价指标

以医生手动勾画的OAR轮廓体积作为参考,评价自动勾画的OAR轮廓体积的准确性。为了确保手动勾画OAR的准确性,每个病例手动勾画完成后均由副主任医师及以上资格的医师审阅和修改。评价指标包括Hausdorff距离、形状相似性指数(Dice Similarity Coefficient, DSC)和Jaccard系数。

1.3.1 Hausdorff距离 Hausdorff距离是度量空间中任意两个集合之间距离的量。定义空间中的两个点集 $A=\{a_1, a_2, \cdots\}$ ,  $B=\{b_1, b_2, \cdots\}$ , Hausdorff距离用于衡量A、B之间的距离,计算公式为:

$$H(A, B)=\text{MAX}[h(A, B), h(B, A)] \tag{1}$$

1.3.2 DSC DSC用于评价自动勾画与手动勾画OAR的重合性<sup>[11-13]</sup>。

$$\text{DSC} = \frac{2 \times (V_a \cap V_m)}{V_a + V_m} \tag{2}$$

其中,  $V_a$ 为自动勾画OAR的体积,  $V_m$ 为手动勾画OAR的体积。DSC值的范围从0到1, DSC越接近于1,表示两种勾画方式的重合性越好。

1.3.3 Jaccard系数 用于度量两个集合(A和B)之间的相似性,定义为两个集合交集的大小除以并集的大小,其计算公式为:

$$J(A, B) = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|} \tag{3}$$

$0 \leq J(A, B) \leq 1$ , Jaccard系数数值越大,样本相似度越高。

2 结果

表1展示了30例基于人工智能的自动勾画与手动勾画胸部OAR几何量化评价参数(均值±标准差)的统计学结果。结果显示,在肺、心脏和脊髓的Hausdorff距离均值(标准差)中,最大的为右肺的(22.31±4.50) mm,最小为脊髓的(3.17±0.80) mm;4项OAR的DSC值均≥0.91,其中,左右肺的DSC可以高达0.98±0.01,脊髓的DSC为0.92±0.02,心脏略低为0.91±0.03;4项OAR的Jaccard系数中左肺和右肺的均值≥0.95,脊髓的为0.84±0.02,心脏的略低为0.83±0.04。

图1显示了自动勾画与人工勾画效果比较图,可以看出,自动勾画和医师手动勾画几乎一致,但有时

表1 自动勾画与手动勾画结果几何量化评价参数( $\bar{x} \pm s$ )

Tab.1 Comparison of geometric quantitative evaluation parameters between automatic segmentation and manual segmentation (Mean±SD)

危及器官	Hausdorff距离/mm	DSC	Jaccard 系数
左肺	20.55±5.50	0.98±0.01	0.96±0.01
右肺	22.31±4.50	0.98±0.01	0.95±0.02
心脏	15.69±5.91	0.91±0.03	0.83±0.04
脊髓	3.17±0.80	0.92±0.02	0.84±0.02

肺尖处层面差别较大,用于计划设计时需手动修改。另外,自动勾画的脊髓偶有层面勾画不正确,需认真修改。

3 讨论

精确放疗时代下,最优的计划设计很大程度上依赖于精确的轮廓勾画,因此保证靶区和OAR勾画的准确性是确保患者疗效的前提。临床工作中OAR勾画的工作量大、重复性高,另外受医师不同专业水

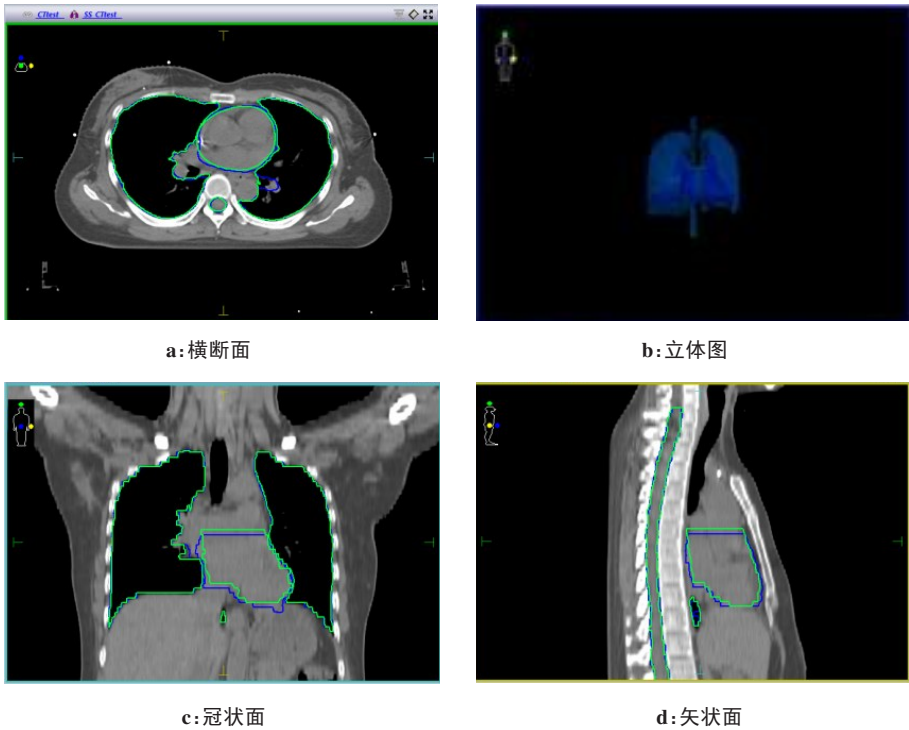


图1 1例胸部肿瘤患者人工与自动勾画危及器官结果CT图像示例

Fig.1 An example of CT image of manual and automatics segmentations of organs-at-risk in a patient with thoracic tumor

绿色线条为手动勾画轮廓,蓝色线条为自动勾画轮廓

平的限制,很难保证勾画的一致性。因此,自动勾画的软件工具越来越受到关注,以期在不牺牲勾画精度的前提下,提高勾画效率、减少不同勾画者间的差异。人工智能是计算机学科的一个分支,对于繁重的重复劳动、计算及大量记忆来说,计算机比人脑更能胜任,甚至比人脑做得更快、更好。近年来基于机器学习的自动勾画技术开始应用于OAR勾画,其中有不少学者提出了基于深度学习的自动分割技术<sup>[14-18]</sup>。本研究的OAR自动勾画系统依托于深度学习进行肿瘤放疗OAR的智能化、自动化勾画。

从研究结果看,在未经任何人工修正的情况下,胸部肿瘤放疗中OAR的自动勾画结果与人工勾画结果相比均有较高的精度。Hausdorff距离中,最大的为右肺(22.31±4.50) mm,勾画差异的位置集中在肺

尖处。DSC是一项评价自动勾画与手动勾画OAR重合性的重要指标,Zijdenbos等<sup>[19]</sup>认为DSC>0.7表示重合度较好。临床工作中,放射肿瘤医生认为软件轮廓勾画的DSC达95%左右时,基本不需调整,或仅需轻微修改。张嵩<sup>[20]</sup>指出临床符合率达到85%即可满足临床勾画功能的有效性的验证。本研究中OAR的DSC值均≥0.9,均可满足临床要求。

另外,医生手工勾画胸部OAR用时约20~30 min,AccuContour精确自动勾画软件用时不到1 min。结合两种手段,医师在自动勾画OAR的基础上进行修改,时间大约为2~5 min,这样既节约了时间又提高了勾画精度及准确度。

虽然自动勾画的OAR仍需要进一步修改,但在很大程度上减少了医师的工作量。经测试,基于人

工智能技术的OAR自动勾画具有较高的准确性和精度,能很好地辅佐医生,减轻医生的工作量,提高医疗服务的质量。

## 【参考文献】

- [1] FANG F M, CHIEN C Y, TSAI W L, et al. Quality of life and survival outcome for patients with nasopharyngeal carcinoma receiving three-dimensional conformal radiotherapy vs. intensity-modulated radiotherapy-a longitudinal study[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2008, 72(2): 356-364.
- [2] MACKIE T R, KAPATOES J, RUCHALA K, et al. Image guidance for precise conformal radiotherapy[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2003, 56(1): 89-105.
- [3] REED V K, WOODWARD W A, ZHANG L F, et al. Automatic segmentation of whole breast using atlas approach and deformable image registration[J]. *Int J Radiat Oncol Bio Phys*, 2009, 73(5): 1493-1500.
- [4] HWEE J, LOUIE A V, GAEDE S, et al. Technology assessment of automated atlas based segmentation in prostate bed contouring[J]. *Radiat Oncol*, 2011, 6: 110.
- [5] ANDERS L C, STIELER F, SIEBENLIST K, et al. Performance of an atlas-based autosegmentation software for delineation of target volumes for radiotherapy of breast and anorectal cancer[J]. *Radiat Oncol*, 2012, 102(1): 68-73.
- [6] 彭应林,游雁,韩非,等. ABAS软件勾画OAR临床前测试重要性研究[J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2016, 25(6): 609-614.
- PENG Y L, YOU Y, HAN F, et al. Commissioning of an atlas-based auto-segmentation software for application in organ contouring of radiotherapy planning[J]. *Chinese Journal of Radiation Oncology*, 2016, 25(6): 609-614.
- [7] ISAMBERT A, DHERMAIN F, BIDAULT F, et al. Evaluation of an atlas-based automatic segmentation software for the delineation of brain organs at risk in a radiation therapy clinical context [J]. *Radiother Oncol*, 2008, 87(1): 93-99.
- [8] SCHIPAANBOORD B, BOUKERROU D, PERESSUTTI D, et al. Can atlas-based auto-segmentation ever be perfect? Insights from extreme value theory[J]. *IEEE Trans Med Imaging*, 2019, 38(1): 99-106.
- [9] MINTZ Y, BRODIE R. Introduction to artificial intelligence in medicine[J]. *Minim Invasive Ther Allied Technol*, 2019, 27: 1-9.
- [10] 王卫东,郎锦义. 基于生命/影像组学和人工智能的精确放射治疗: 思考和展望[J]. *中国肿瘤临床*, 2018, 45(12): 604-608.
- WANG W D, LANG J Y. Reflection and prospect: precise radiation therapy based on bio-omics/radiomics and artificial intelligence technology[J]. *Chinese Journal of Clinical Oncology*, 2018, 45(12): 604-608.
- [11] SIMS R, ISAMBERT A, GREGOIRE V, et al. A pre-clinical assessment of an atlas-based automatic segmentation tool for the head and neck[J]. *Radiother Oncol*, 2009, 93(3): 474-478.
- [12] TSUJI S Y, HWANG A, WEINBERG V, et al. Dosimetric evaluation of automatic segmentation for adaptive IMRT for head-and-neck cancer[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2010, 77(3): 707-714.
- [13] TEGUH D N, LEVENDAG P C, VOET P W, et al. Clinical validation of atlas-based auto-segmentation of multiple target volumes and normal tissue structures in the head and neck[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2011, 81(4): 950-957.
- [14] IBRAGIMOV B, XING L. Segmentation of organs-at-risks in head and neck CT images using convolutional neural networks[J]. *Med Phys*, 2017, 44(2): 547-557.
- [15] LIANG S, TANG F, HUANG X, et al. Deep-learning-based detection and segmentation of organs at risk in nasopharyngeal carcinoma computed tomographic images for radiotherapy planning [J]. *Eur Radiol*, 2019, 29(4): 1961-1967.
- [16] YANG J, VEERARAGHAVAN H, ARMATO S G, et al. Auto-segmentation for thoracic radiation treatment planning: a grand challenge at AAPM 2017[J]. *Med Phys*, 2018, 45(10): 4568-4581.
- [17] TONG N, GOU S, YANG S, et al. Fully automatic multi-organ segmentation for head and neck cancer radiotherapy using shape representation model constrained fully convolutional neural networks [J]. *Med Phys*, 2018, 45(10): 4558-4567.
- [18] SAHINER B, PEZESHK A, HADJIISKI L M, et al. Deep learning in medical imaging and radiation therapy[J]. *Med Phys*, 2019, 46(1): e1-e36.
- [19] ZIJDENBOS A P, DAWANT B M, MARGOLIN R A, et al. Morphometric analysis of white matter lesions in MR images: method and validation[J]. *IEEE Trans Med Imaging*, 1994, 13(4): 716-724.
- [20] 张嵩. 放射治疗靶区轮廓勾画软件的安全性和有效性评价方法[J]. *医疗装备*, 2018, 31(19): 51-54.
- ZHANG S. Safety and effectiveness evaluation methodology of target delineation software in radiation therapy [J]. *Medical Equipment*, 2018, 31(19): 51-54.

(编辑:谭斯允)