

## 人工智能放疗平台结合5G技术实现远程放疗

焦勇<sup>1</sup>,冯丽娟<sup>2</sup>,比确子拉<sup>1</sup>,梁月<sup>1</sup>,康盛伟<sup>1</sup>,章桦<sup>3</sup>

1.四川省肿瘤医院信息中心,四川 成都 610041; 2.四川省肿瘤医院放疗中心,四川 成都 610041; 3.北京连心医疗科技有限公司,北京 100094

**【摘要】目的:**评估人工智能放疗平台(AiContour)与5G技术结合的可行性,以及通过该结合实现跨区域远程放疗的可行性。**方法:**选取中国移动作为5G技术服务商,北京连心医疗作为人工智能放疗平台服务商,内江肿瘤医院作为远程放疗服务接收方,构建基于5G技术的人工智能放疗平台远程放疗架构。**结果:**人工智能放疗平台能够与5G技术结合,放疗医师能通过5G终端随时随地进行肿瘤患者靶区勾画,提升工作效率。同时,跨区域远程放疗模式能够降低市县级肿瘤患者放疗成本,提升肿瘤放疗应用范围。**结论:**通过5G终端实现肿瘤患者靶区自动勾画可节省放疗医师大量的时间;通过人工智能放疗平台可实现省级优势放疗技术向市县级的扩展,符合国家分级诊疗的要求。

**【关键词】**智能放疗;5G技术;肿瘤;远程放疗;自动勾画

**【中图分类号】**R318;R811

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2022)06-0788-05

## Artificial intelligence radiotherapy platform combined with 5G technology to realize remote radiotherapy

JIAO Yong<sup>1</sup>, FENG Lijuan<sup>2</sup>, BIQUE Zila<sup>1</sup>, LIANG Yue<sup>1</sup>, KANG Shengwei<sup>1</sup>, ZHANG Hua<sup>3</sup>

1. Information Center, Sichuan Cancer Hospital & Institute, Chengdu 610041, China; 2. Radiation Therapy Center, Sichuan Cancer Hospital & Institute, Chengdu 610041, China; 3. Beijing Liningmed Technology Co., Ltd, Beijing 100094, China

**Abstract: Objective** To evaluate the feasibility of combining artificial intelligence radiotherapy platform (AiContour) with 5G technology, and to assess the feasibility of realizing cross-regional remote radiotherapy through this combination. **Methods** By taking China Mobile as the 5G technology service provider, Beijing Liningmed as the artificial intelligence radiotherapy platform service provider, and Neijiang Cancer Hospital as the remote radiotherapy service receiver, the remote radiotherapy architecture on artificial intelligence radiotherapy platform was constructed based on 5G technology. **Results** Artificial intelligence radiotherapy platform could be combined with 5G technology, and radiotherapy physicians could realize the target area segmentation anytime and anywhere through 5G terminals, which improved work efficiency. Meanwhile, the cross-regional remote radiotherapy model reduced the cost of radiotherapy for tumor patients at municipal and county-level hospitals, and improved the application range of tumor radiotherapy. **Conclusion** The automatic segmentation of target areas through 5G terminal saves a lot of time for radiotherapy physicians. The extension of provincial superior radiotherapy technology to municipal and county-level hospitals through artificial intelligence radiotherapy platform is in line with the requirements of national hierarchical diagnosis and treatment.

**Keywords:** intelligent radiotherapy; 5G technology; tumour; remote radiotherapy; automatic segmentation

### 前言

世界卫生组织国际癌症研究所出版的《世界癌

症报告》2020版显示我国2020年新发癌症约457万人,死亡约300万人<sup>[1]</sup>。城市恶性肿瘤发病率高于农村,而农村恶性肿瘤死亡率高于城市<sup>[2]</sup>。导致恶性肿瘤的地区差异的原因可能是不同地区在自然地理环境、经济水平、医疗资源配置、诊疗水平、癌症筛查项目和人群生活方式等不同<sup>[3]</sup>。恶性肿瘤是严重威胁我国居民健康的一大类疾病,已成为我国居民的第1位死亡原因<sup>[4]</sup>。

放疗是恶性肿瘤的3大治疗手段之一,超过70%

**【收稿日期】**2021-12-11

**【基金项目】**四川省科技厅重点研发项目(2021YFG0168)

**【作者简介】**焦勇,工程师,研究方向:数字认证、医院信息化,E-mail: 805435732@qq.com

**【通信作者】**康盛伟,硕士,副研究员,研究方向:放射物理技术,E-mail: 275708926@qq.com

的恶性肿瘤患者需接受放疗<sup>[5]</sup>。由于经济发达地区的医疗卫生投入较多、医院诊疗水平较高,优质放疗资源多集中于省级医疗机构,市县级医疗卫生机构针对恶性肿瘤的治疗水平尚存在欠缺,导致市县级肿瘤患者需要进行跨区域治疗,无形中增加了肿瘤患者的治疗成本。

为满足国家对肿瘤患者分级诊疗要求,省级肿瘤治疗医疗机构通过与市县级医疗机构建立医联体联盟合作关系。省级医疗机构放疗医师不定期到市县级医联体医疗机构进行患者诊疗,并指导市县级医疗机构放疗医师;市县级医疗机构不定期组织放疗医师到省级医疗机构进修学习,进而提升市县级医疗机构放疗医师诊疗水平。但通过该方式需要较长周期才能达到整体提升市县级医疗机构放疗医师诊疗水平的目的。

随着人工智能和云技术的日益成熟,出现了多种自动勾画软件,如ABAS、MIM、OnQ等<sup>[6-7]</sup>,这几款软件能够执行3DCT、4DCT、MRI或PET/CT等不同模态影像间的形变配准<sup>[8-11]</sup>。目前人工智能放疗平台已在多家医疗机构进行部署和应用,也有许多专家学者对人工智能放疗平台自动勾画效果进行研究,对神经网络深度学习技术实现的自动勾画给予充分的肯定。医疗机构为确保患者信息的安全性,人工智能放疗平台一般部署于医疗机构内部网络中,放疗医师只能通过移动终端或PC在特定地点进行工作,极大地限制了放疗医师的工作便捷性和工作效率。要体现移动终端操作的便捷性,需要使用4G网络进行网络接入,但该方式又要求人工智能放疗平台部署到互联网上,这给患者信息安全带来极大挑战,且4G网络传输速度有限,人工智能放疗平台加载肿瘤患者CT图像时需等待较长时间来进行图像加载和传输;同时,人工智能放疗平台无法为跨区域的合作医疗机构提供服务。

工信部赛迪智库编写的《5G发展2021展望白皮书》提到,2021年我国5G网络建设和产业规模将进一步增长,且增幅将超过2020年。国家也高度重视5G的发展,要求积极推进5G商用,随着5G专网技术的应用和推广,为解决前述问题带来了契机。

## 1 方法

### 1.1 人工智能放疗平台搭建

精确勾画肿瘤靶区和危及器官是实现精确放疗的前提和保障<sup>[12]</sup>。张富利等<sup>[13]</sup>比较了基于深度学习和图谱库方法自动勾画不同部位肿瘤危及器官轮廓的几何学精度,发现前者在总体上更有优势。人工智能放疗平台主要通过计算机深度学习方法来完成

患者靶区和危及器官的自动勾画<sup>[14-17]</sup>。基于特征的深度学习方法通过捕获不同算法间的差异并将其纳入预测模型以解决临床工作中可能遇到的问题,国内外许多学者都对此进行探讨<sup>[18-22]</sup>。本研究中的人工智能放疗平台采用北京连心医疗公司开发的AiContour软件。

人工智能放疗平台采用语义分割融合U-Net、Res-Net、Dilated Convolution等架构,从而达到高精度器官分割的目的,实现深度学习网络的自动部位分类算法以及自动分割算法,完成头颈部、胸腹部和盆腔等110多个危及器官的自动勾画。在卷积深度神经网络基础上,本研究设计多层网络反馈与激励结构,结合放疗勾画和计划中的不变规则与变化特征,研究多尺度注意力机制在神经网络中如何控制模型参数达到强化学习重点,使得网络可以扩展到肿瘤靶区的自动勾画,可以在小量样本数据情况下,达到良好的收敛效果,从而实现肿瘤靶区的自动勾画。平台基于大量的专家经验库,利用机器学习技术,采用FCN-深度学习模型,对影像图像进行像素级的分类,以提高对正常组织器官和病灶的识别能力。模型经过大量训练和验证,能更快速和准确地勾画危及器官和肿瘤靶区,得到精准且符合病人个性化特性的结果。

**1.1.1 放疗平台硬件配置** 人工智能放疗平台涉及大量的图像计算和图像存储,需要使用高性能的显卡和大容量的存储。本研究采用的服务器配置如表1所示。

表1 人工智能放疗平台服务器配置

Table 1 Configuration of artificial intelligence radiotherapy platform server

| 设备  | 型号或配置                             |
|-----|-----------------------------------|
| CPU | 1.9 GHz 6C/6T, 9.6 GT/s, 8.25 M缓存 |
| 内存  | 32 GB                             |
| 网卡  | 双端口1 GbE BASE-T适配器                |
| 硬盘  | 32 TB                             |
| 显卡  | 显存容量11 G                          |

**1.1.2 放疗平台网络架构** 人工智能放疗平台访问方式包括PC端访问和5G终端访问,根据访问要求设计网络拓扑如图1所示。人工智能放疗平台服务器配置双千兆网口,满足网络访问和传输要求,一个网口用于内部网络用户访问网络配置,一个网口用于5G专用网络访问配置。

### 1.2 5G专网网络构建

5G智慧医疗专网主要涉及行业终端、5G无线网

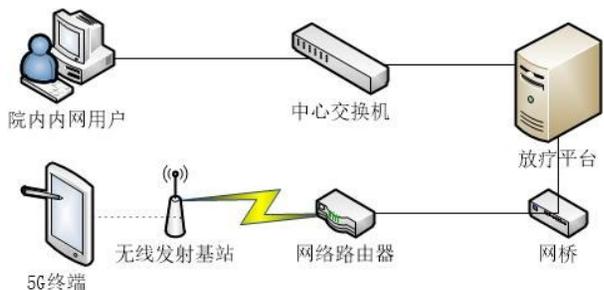


图1 人工智能放疗平台网络拓扑图  
Figure 1 Network topology of artificial intelligence radiotherapy platform

络覆盖、端到端网络切片、行业专网网关以及边缘计算平台等,以行业专网网关和行业边缘云平台为核心,融合5G切片技术和边缘计算技术。利用现有公网资源,按照共享用户面功能(User Plane Function, UPF)模式部署实现公网专网模式,配置专属DNN(Data Network Name),实现业务隔离,保障业务安全,满足医疗机构业务、连接、计算、安全等云网融合服务需求的新型网络基础设施。5G专网网络构建方案如图2所示。

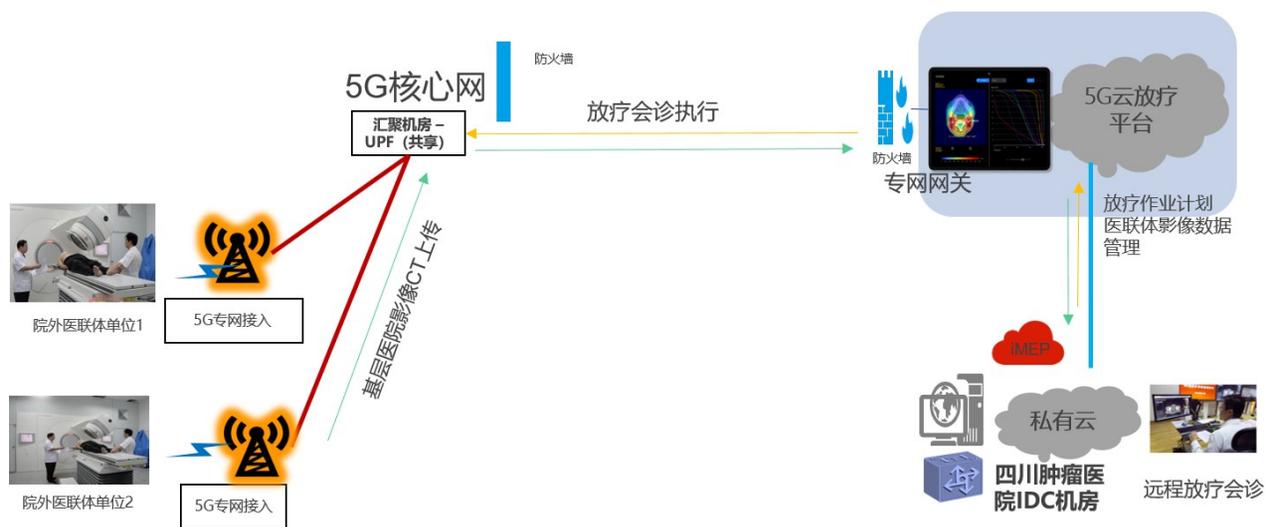


图2 5G专网构建方案  
Figure 2 Construction scheme of 5G private network

5G专网中的行业专网网关控制端部署在中国移动运营商机房,提供4G & 5G & NB等蜂窝网数据接入,支持流量卸载、安全与加密、云边端协同、计费管理、云网监控管理等功能;医疗边缘云部署于医院机房,支持本地网络综合接入,应用于计费管理、安全与加密、云边端协同和第三方能力开放等功能。院外医联体单位(本研究选取内江肿瘤医院)使用5G专网接入,构建一张灵活的、可扩展的、可靠的全连接专用网络,实现“一张网络”满足不同接入需求的资源与数据整合。

### 1.3 远程放疗协作

智能放疗云平台利用人工智能技术,赋能放疗全过程,集放疗流程管理、放疗影像智能勾画于一体;然后通过基于5G的云技术,形成远程的靶区勾画、放疗质控、MDT多学科会诊、计划评估和患者随访。结合远程视频组件,省级医疗机构(四川省肿瘤医院)放疗医师可实时指导市县级医疗机构(内江肿瘤医院)放疗医师进行肿瘤患者危及器官勾画,实现基于移动互联网的跨区域协作和移动办公,将省级

医疗机构的肿瘤诊疗能力覆盖到市县级医疗机构,为解决放疗资源不均衡和资源不足的问题提供解决方案。

## 2 结果

人工智能放疗平台能与5G技术结合,放疗医师能通过5G终端随时随地进行肿瘤患者靶区勾画,提升工作效率;同时,跨区域远程放疗模式能降低市县级肿瘤患者放疗成本,提升肿瘤放疗应用范围。

### 2.1 放疗效率提升

2.1.1 勾画效率提升 人工智能放疗平台支持110+器官的自动勾画,放疗医师可以通过平台对肿瘤患者危及器官进行自动勾画后,使用少量的时间进行手动优化,即可满足临床放疗对高精度勾画的要求<sup>[4]</sup>。王继平等<sup>[23]</sup>对鼻咽癌危及器官自动分割研究的10例测试患者进行手工勾画和自动分割的平均时间分别为1 663 s和432 s,自动分割较手工勾画节省时间1 231 s(74.02%)。由此可见,靶区自动勾画加人工调优的模式相比纯手工勾画节省50%以上的时间成本。

智能放疗平台进行自动勾画的效果如图3所示, 该病例自动勾画部位包括全身分层、心脏四器、盆腔联合分割、乳腺、十二指肠、心肺联合分割、肾、肝脾胃等, 自动勾画时间为11.5 min。



图3 智能放疗平台自动勾画

Figure 3 Automatic segmentation on intelligent radiotherapy platform

将人工勾画预估时间与针对乳腺、十二指肠等部位自动勾画时间进行对比(表2)。对于乳腺、十二指肠等勾画时间较短的部位, 自动勾画和人工勾画耗时相近; 但对于头颈部等勾画时间较长的部位, 自动勾画相较于人工勾画时间节省约44%。

表2 自动勾画和人工勾画时间对比

Table 2 Comparison of time taken for between automatic and manual segmentations (min)

| 勾画部位   | 自动勾画 | 人工勾画 |
|--------|------|------|
| 乳腺     | 1.6  | 1.4  |
| 十二指肠   | 1.9  | 2.1  |
| 肾      | 3.0  | 2.2  |
| 心肺联合分割 | 3.8  | 3.0  |
| 头颈部勾画  | 16.8 | 30.0 |

**2.1.2 工作效率提升** 放疗医师通过5G终端安全访问到人工智能放疗平台, 随时随地进行勾画操作。人工智能放疗平台自动勾画操作采用异步模式在后台进行处理, 处理时间依赖于图像层数和平台服务器性能, 放疗医师可开启自动勾画后, 处理其它工作内容, 待自动勾画完成后进行少量调优操作, 极大地提升了放疗医师的工作效率。

**2.2 移动终端操作便捷性提升**

5G专网技术的应用使医疗机构和医联体机构移动终端网络传输下行速率不低于300 Mbps, 移动终端连接服务端时延如图4所示, 时延均在100 ms内。在肿瘤患者诊疗过程中, 影像数据非常大, 通过5G移动终端加载肿瘤患者影像数据更加快捷, 无卡顿现

象, 可提升移动终端操作便捷性。同时, 只要放疗医师所处区域有5G信号覆盖, 放疗医师即可随时进行靶区勾画(图5), 增强放疗医师使用移动终端进行肿瘤患者靶区勾画的意愿, 扩充肿瘤患者靶区勾画场景。



图4 5G移动终端连接服务端时延

Figure 4 Time delay of 5G mobile terminal connection server

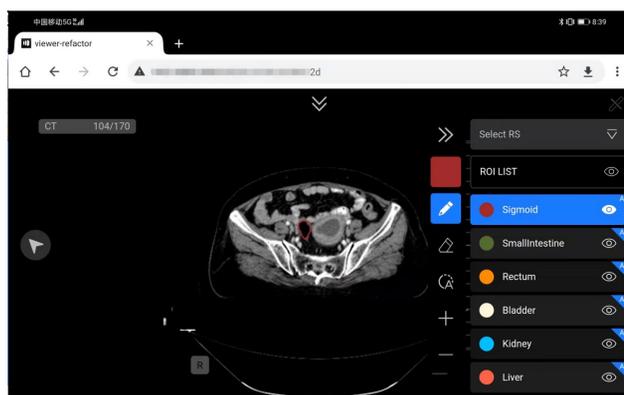


图5 移动终端勾画示意图

Figure 5 Segmentation on mobile terminal

**2.3 跨区域远程放疗协同**

通过远程放疗协作平台, 省级医疗机构放疗医师可以实时与市县级医疗机构放疗医师沟通, 进行患者病历讨论、靶区勾画指导、放疗建议等, 有助于提升市县级医疗机构放疗医师诊疗水平, 也有助于增强肿瘤患者就近就医意愿, 进一步减少农村地区肿瘤患者就医成本, 进而推动实现肿瘤患者分级诊疗愿景。

### 3 结论

人工智能放疗平台结合5G技术能够实现移动靶区自动勾画,利用计算机辅助自动或半自动勾画危及器官不仅可以缩短勾画时间,而且可以有效减少不同医师个体主观判断所致的勾画差异<sup>[24-26]</sup>,为放疗医师靶区勾画提供更好的便捷性的同时节省了放疗医师大量的靶区勾画时间,提升肿瘤患者放疗效率。平台结合远程视频组件,为提升市县医疗机构放疗诊疗能力提供参考,满足国家分级诊疗要求,进一步提升市县肿瘤患者就近治疗意愿和降低就医成本。

### 【参考文献】

[1] Wild CP, Weiderpass E, Stewart BW. World cancer report: cancer research for cancer prevention[M]. Lyon: International Agency for Research on Cancer, 2020.

[2] 郑荣寿,孙可欣,张思维,等. 2015年中国恶性肿瘤流行情况分析[J]. 中华肿瘤杂志, 2019, 41(1): 19-28.

Zheng RS, Sun KX, Zhang SW, et al. Report of cancer epidemiology in China, 2015[J]. Chinese Journal of Oncology, 2019, 41(1): 19-28.

[3] Zeng H, Zheng R, Guo Y, et al. Cancer survival in China, 2003-2005: a population-based study[J]. Int J Cancer, 2015, 136(8): 1921-1930.

[4] 孙可欣,郑荣寿,张思维,等. 2015年中国分地区恶性肿瘤发病和死亡分析[J]. 中国肿瘤, 2019, 28(1): 1-11.

Sun KX, Zheng RS, Zhang SW, et al. Report of cancer incidence and mortality in different areas of China, 2015[J]. China Cancer, 2019, 28(1): 1-11.

[5] Barton MB, Frommer M, Shafiq J. Role of radiotherapy in cancer control in low-income and middle-income countries[J]. Lancet Oncol, 2006, 7(7): 584-595.

[6] 林金勇,阴晓娟,胡彩容,等. ABAS自动勾画软件应用于头颈部肿瘤调强放疗中的剂量学研究[J]. 肿瘤学杂志, 2018, 24(6): 644-648.

Lin JY, Yin XJ, Hu CR, et al. Dosimetric evaluation of atlas-based autosegmentation (ABAS) software in head and neck cancer radiotherapy[J]. Journal of Chinese Oncology, 2018, 24(6): 644-648.

[7] 谷珊珊,田娟秀,宋明永,等. 基于MIM软件模板数据库的病例数对危及器官自动勾画的探讨[J]. 中国医学装备, 2018, 15(3): 1-4.

Gu SS, Tian JX, Song MY, et al. Exploration for automatically delineation of organ at risk based on medical case number of template database in MIM software[J]. China Medical Equipment, 2018, 15(3): 1-4.

[8] Eldesoky AR, Yates ES, Nyeng TB, et al. Internal and external validation of an ESTRO delineation guideline-dependent automated segmentation tool for loco-regional radiation therapy of early breast cancer[J]. Radiother Oncol, 2016, 121(3): 424-430.

[9] Sarudis S, Karlsson A, Bibac D, et al. Evaluation of deformable image evaluation of deformable image registration accuracy for CT images of the thorax region[J]. Phys Med, 2019, 57: 191-199.

[10] 胡彩容,林小艺,阴晓娟,等. 自动勾画软件在食管癌中的应用[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2018, 38(9): 684-689.

Hu CR, Lin XY, Yin XJ, et al. Application of autosegmentation software in esophageal cancer[J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 2018, 38(9): 684-689.

[11] 郑庆增,王运来,张建新,等. 宫颈癌自适应放疗中基于自配准与图谱库的自动勾画比较[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2019, 28(4): 292-

296.

Zheng QZ, Wang YL, Zhang JC, et al. Evaluation of the autosegmentation based on self-registration and Atlas in adaptive radiotherapy for cervical cancer[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2019, 28(4): 292-296.

[12] Lee JG, Jun S, Cho YW, et al. Deep learning in medical imaging: general overview[J]. Korean J Radiol, 2017, 18(4): 570-584.

[13] 张富利,崔德琪,王秋生,等. 基于深度学习和图谱库方法自动勾画肿瘤放疗中危及器官的比较[J]. 中国医学物理学杂志, 2019, 36(197): 126-130.

Zhang FL, Cui DQ, Wang QS, et al. Comparative study of deep learning-versus Atlas-based auto-segmentation of organs-at-risk in tumor radiotherapy[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2019, 36(197): 126-130.

[14] 秦伟,赵紫婷,时飞跃,等. 智能放疗云平台在肝脏结构自动勾画中的应用[J]. 中国医疗设备, 2021, 36(1): 66-68.

Qin W, Zhao ZT, Shi FY, et al. Application study of the RAIC.OIS in automatic delineation of the structure of liver for patients with abdominal tumor[J]. China Medical Devices, 2021, 36(1): 66-68.

[15] 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.

[16] Men K, Geng HZ, Cheng CY, et al. More accurate and efficient segmentation of organs-at-risk in radiotherapy with convolutional neural networks cascades[J]. Med Phys, 2019, 46(1): 286-292.

[17] Fu Y, 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.

[18] Men K, Zhang T, Chen X, et al. Fully automatic and robust segmentation of the clinical target volume for radiotherapy of breast cancer using big data and deep learning[J]. Phys Med, 2018, 50: 13-19.

[19] Men K, Boimel P, Janopaul-Naylor J, et al. Cascaded atrous convolution and spatial pyramid pooling for more accurate tumor target segmentation for rectal cancer radiotherapy[J]. Phys Med Biol, 2018, 63(18): 185016.

[20] Lin L, Dou Q, Jin YM, et al. Deep learning for automated contouring of primary tumor volumes by MRI for nasopharyngeal carcinoma[J]. Radiology, 2019, 291(3): 677-686.

[21] Guo Z, Guo N, Gong K, et al. Gross tumor volume segmentation for head and neck cancer radiotherapy using deep dense multimodality network[J]. Phys Med Biol, 2019, 64(20): 205015.

[22] Chan JW, Kearney V, Haaf S, et al. A convolutional neural network algorithm for automatic segmentation of head and neck organs at risk using deep lifelong learning[J]. Med Phys, 2019, 46(5): 2204-2213.

[23] 王继平,李鑫,陈传喜,等. 3D U-net应用于鼻咽癌危及器官自动分割的研究[J]. 医疗卫生装备, 2020, 41(11): 17-20.

Wang JP, Li X, Chen CX, et al. Application of 3D U-net in automatic segmentation of OARs in nasopharyngeal carcinoma[J]. Chinese Medical Equipment Journal, 2020, 41(11): 17-20.

[24] Young A, Wortham A, Wernick I, et al. Atlas-based segmentation improves consistency and decreases time required for contouring postoperative endometrial cancer nodal volumes[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2011, 79(3): 943-947.

[25] Langmack K, Perry C, Sinstead C, et al. The utility of atlas-assisted segmentation in the male pelvis is dependent on the interobserver agreement of the structures segmented[J]. Br J Radiol, 2014, 87(1043): 20140299.

[26] Gambacorta MA, Valentini C, Dinapoli N, et al. Clinical validation of atlas-based auto-segmentation of pelvic volumes and normal tissue in rectal tumors using auto-segmentation computed system[J]. Acta Oncol, 2013, 52(8): 1676-1681.

(编辑:谭斯允)