

直肠癌术前放疗危及器官与临床靶区自动勾画的可行性研究

薛涛¹, 吴迪¹, 刘双童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 AccuContour 软件及定制化自动勾画模型在直肠癌术前容积旋转调强放疗中临床靶区(CTV)和危及器官(OAR)自动勾画几何轮廓及剂量学各项参数精度,为临床应用提供依据。**方法:**回顾性选取 133 例已接受直肠癌术前容积旋转调强放疗的患者,随机分组,65 例作为训练集,16 例作为验证集,52 例作为测试集,构建并训练自动勾画模型,将其导入 AccuContour 软件并自动勾画 CTV 和 4 个 OAR,对比自动勾画与手动勾画在 CTV 和 OAR 几何轮廓的体积差异(ΔV)、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,以及自动勾画与手动勾画 CTV 和 OAR 在同一容积旋转调强计划中所受照射剂量学参数差异,从而评估自动勾画效果。**结果:**CTV 的 DSC 值、JAC 值、SI 值、Incl 值为:0.84±0.06、0.72±0.08、0.81±0.07、0.87±0.08, ΔV 值、DC 值、HD 值为:10.93%(4.56%, 15.37%)、5.03(3.27, 8.77) mm、15.03(15.00, 24.70) mm;OAR 的 DSC 值、SI 值、Incl 值、JAC 值、 ΔV 值、DC 值、HD 值比较优劣顺序依次为:右股骨头、左股骨头、膀胱、小肠;自动勾画与手工勾画剂量学参数对比中,除膀胱 V_{30} 、小肠 D_{mean} 、CTV D_{95} 的差异有统计学意义外($P<0.05$),其余均无统计学意义($P>0.05$)。**结论:**在直肠癌术前容积旋转调强放疗中,本研究所采用的自动勾画系统,对于 CTV 和 OAR 的自动勾画有一定准确性,为临床医生节省大量时间,提高工作效率。

【关键词】AccuContour 自动勾画;临床靶区;危及器官;直肠癌

【中图分类号】R811.1

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2022)07-0799-06

Feasibility study of automatic segmentation of organs-at-risk and clinical target area for preoperative radiotherapy for rectal cancer

XUE Tao¹, WU Di¹, LIU Shuangtong¹, 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 accuracy of AccuContour software and customized automatic segmentation model in automatically outlining the geometric contours of clinical target volume (CTV) and organs-at-risk (OAR) for the preoperative volumetric modulated arc therapy (VMAT) for rectal cancer, thereby providing a basis for clinical applications. **Methods** A total of 133 patients who have received preoperative VMAT for rectal cancer were enrolled retrospectively. Sixty-five cases of them were randomly selected for training set, 16 cases for validation set, and 52 cases for test set. The automatic segmentation model was established and trained, and then imported into AccuContour software for the automatic segmentations of CTV and 4 OAR. The automatic and manual segmentation results of CTV and OAR were compared in term of volume difference (ΔV), Dice similarity coefficient (DSC), Jaccard coefficient (JAC), sensitivity index (SI), inclusion coefficient (Incl), centroid deviation (DC) and Hausdorff distance (HD). Moreover, the differences of dosimetric parameters between automatically and manually delineated CTV and OAR in the same VMAT plan were compared, so as to evaluate the performance of automatic segmentation. **Results** The DSC, JAC, SI, and Incl of CTV were 0.84±0.06, 0.72±0.08, 0.81±0.07, 0.87±0.08, respectively, and the ΔV , DC, and HD were 10.93% (4.56%, 15.37%), 5.03 (3.27, 8.77) mm, 15.03 (15.00, 24.70) mm, respectively. According to DSC, SI, Incl, JAC, ΔV , DC, and HD, the OAR segmentation performance from superior to inferior were as followed: right femoral head, left femoral head, bladder, small intestine. There were no statistical differences between automatic and manual segmentations in the dosimetric parameters ($P>0.05$) except bladder V_{30} , small intestine D_{mean} , and CTV D_{95} ($P<0.05$). **Conclusion** In preoperative VMAT for rectal cancer,

【收稿日期】2022-01-19

【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:肿瘤放射物理学,E-mail: tjxt1168@sina.com

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

the automatic segmentation system used in the study has a high accuracy for the automatic segmentation of CTV and OAR, which saves a lot of time for clinicians and improves work efficiency.

Keywords: AccuContour automatic segmentation; clinical target volume; organ-at-risk; rectal cancer

前言

结直肠癌是常见的消化道恶性肿瘤之一,其发病率及死亡率呈逐年上升趋势^[1]。据2020年国际癌症研究机构统计,结直肠癌位居全球癌症发病率第3位、死亡率第2位^[2]。直肠癌位置低、相邻器官解剖关系复杂,导致手术清除不彻底,术后易出现复发^[3]。放射治疗在直肠癌综合治疗中有着重要的地位,可以为部分直肠癌患者降低肿瘤分期,提供手术机会,提高保肛率,改善患者的生活质量,降低局部复发率,延长生存期,术前同步放、化疗是局部晚期不可手术切除直肠癌的首选治疗方案^[4-5]。

精确放疗技术要求放疗医师严格准确定义临床靶区(Clinical Target Volume, CTV)和危及器官(Organ at Risk, OAR)轮廓并逐层精准勾画,以保证在肿瘤靶区精确照射前提下,最大限度保护OAR^[6-7]。然而手动勾画不仅复杂繁琐、耗时耗力,还受到医生对肿瘤学、解剖学的掌握程度和临床经验、影像质量等主、客观因素的影响,且同一勾画者在不同勾画中也会有偏差^[8]。自动勾画软件可以提高勾画效率,减少人工勾画之间的个体差异^[9]。本研究使用AccuLearning平台构建并训练自动勾画模型,配合使用AccuContour软件,对直肠癌术前容积旋转调强放疗患者的CTV与OAR进行自动勾画,通过比较自动勾画与手工勾画的几何轮廓和剂量学各项参数精度,来探讨其应用于临床的可行性。

1 资料与方法

1.1 临床资料

回顾性选取自2019年3月至2020年11月于天津市人民医院放疗科治疗的133例直肠癌术前患者容积旋转调强放疗计划,其中,男99例,女34例;年龄24~85岁,平均(60.49±10.60)岁。

1.2 定位设备及方法

所有患者CT定位前1 h均排空大、小便,饮用加入泛影葡胺20 mL的1 000 mL水,然后等待1 h后再行CT扫描,以充盈膀胱,显影小肠。扫描时患者仰卧位,双手抱肘置于额头,热塑体膜固定。采用美国GE公司16排大孔径CT模拟机定位,由激光灯系统、螺旋CT和各种模拟软件构成。扫描参数:电压150 kV,电流300 mAs。扫描范围:上界自膈顶水平,下界至股骨中段水平;重建层厚:3.75 mm,完成后将图像传至飞利浦Pinnacle³ 9.10治疗计划系统。

1.3 自动勾画系统

本研究应用厦门Manteia公司开发的放疗图像处理软件AccuContour以及自主训练平台AccuLearning构建自动勾画系统^[10]。AccuContour软件本身内置了多种常见的OAR和靶区的自动勾画^[11],同时也可导入由AccuLearning平台训练出的自动勾画模型。AccuLearning是深度学习自主训练平台,它支持由用户导入的数据集来训练定制化的自动勾画模型。数据集的预处理分为以下3个步骤:(1)ROI命名映射。DICOM结构文件中的ROI名称可能包含有拼写错误或多种命名方式,ROI命名映射是指自动统计ROI名称并按照莱文斯坦距离进行排序,将其映射到统一的ROI目标命名;(2)Z-Score标准化。深度学习的模型性能会受到数据集内数值变化的影响,Z-Score标准化以每个病例为单位,统计其图像的均值和标准差,将图像减去均值后再除以方差,达到数值范围统一同时不损失原始分布的目的;(3)体素间距重采样。出于特定的临床考虑,对于不同的病例会使用不同的重建方案以及不同的切片厚度和体素间距,本研究中将体素间距统一重采样为1.0 mm×1.0 mm,以减小不同病例间的空间尺度差异性。

本研究中,模型需要进行100轮训练,每轮训练包含200次迭代,一次完整的迭代流程包括数据增强、窗口采样、网络前向传播和损失函数优化。数据增强是指以一定的概率对数据进行随机变换,包含0.80至1.25倍数的缩放、-30°至30°的旋转等空间变换、图像直方图非线性变换、高斯噪声变换等。窗口采样是指以固定大小320×320像素的窗口,随机选择窗口中心点对图像进行裁剪。模型的网络结构采用U-Net,损失函数采用交叉熵和Dice损失以1:1的权重进行融合。

AccuLearning训练产出的模型被导入至AccuContour进行使用,AccuContour对图像的自动勾画分为以下3个步骤:(1)图像预处理。执行与AccuLearning相同的Z-Score标准化及体素间距重采样;(2)模型预测。使用导入的自动勾画模型进行预测,得到初步勾画结果;(3)勾画后处理。过滤勾画中存在的体积偏小的碎块,并基于B样条插值技术对轮廓进行平滑处理,生成最终的DICOM结构文件。

1.4 自动、手动勾画CTV与OAR的几何轮廓评价

在飞利浦Pinnacle³ 9.10治疗计划系统中,133例直肠癌患者的CTV和OAR均在定位CT图像上,由

同一放疗医师对照核磁共振影像资料,参考相关标准手动勾画,OAR包括膀胱、小肠、左股骨头、右股骨头等,并经两名副主任医师进行器官勾画核对校准^[12-13]。随机分组,训练集 65 例,验证集 16 例,测试集 52 例,其中,训练集和验证集传入 AccuLearning 平台用于训练自动勾画模型,测试集则传入 AccuContour 软件进行自动勾画。

以医生手工勾画轮廓为“金标准”,采用体积差异(ΔV)、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,来评估 AccuContour 软件自动勾画 CTV、OAR 轮廓的准确性。

1.5 评价参数

ΔV:自动与手动勾画在轮廓体积上的差异,越接近于0,表明两者体积上差异越小,其中,V_{ref}为参考勾画的体积,V_{auto}为自动勾画的体积,公式如下所示:

$$\Delta V = \frac{|V_{\text{auto}} - V_{\text{ref}}|}{V_{\text{ref}}} \times 100\%$$

(1)

DSC:自动与手动勾画在轮廓体积上的重合度,DSC 值为 0~1,DSC 值为 0 时表示两个轮廓完全不重合,DSC 值为 1 时表示两个轮廓体积完全重合,公式如下所示:

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

(2)

JAC: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,公式如下所示:

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

(3)

SI: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,公式如下所示:

$$SI = \frac{V_{\text{ref}} \cap V_{\text{auto}}}{V_{\text{ref}}}$$

(4)

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

$$Incl = \frac{V_{\text{ref}} \cap V_{\text{auto}}}{V_{\text{auto}}}$$

(5)

DC: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 数值越大,说明两组勾画轮廓之间在位置上偏差越远。公式如下所示:

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

(6)

HD: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),公式如下所示:

$$HD(X, Y) = \max(h(X, Y), h(Y, X))$$

(7)

其中,
$$h(x, y) = \max_{x \in X} \min_{y \in Y} \|x - y\|$$

1.6 自动勾画、手动勾画 CTV 和 OAR 剂量学评价

采用飞利浦 Pinnacle³ 9.10 治疗计划系统,133 例直肠癌患者容积旋转调强计划均采用射线能量 6 MV X 线,单、双弧 SmartArc 优化方式,机架角 180°~181°,靶区处方剂量 1.8 Gy/25 f,剂量覆盖 95% 以上;OAR 限量要求:膀胱 V₃₅<50%、V₄₀<40%、平均剂量(D_{mean})<35 Gy;左、右股骨头 V₄₀<5%、D_{mean}<30 Gy;小肠最大剂量(D_{max})<50 Gy,D_{mean}<25 Gy。V_x表示接受 x Gy 照射的体积占整个器官照射体积的百分比^[14]。

将 52 例自动勾画 CTV 和 OAR 后的测试病例,应用上述限定条件,进行计划优化及计算,生成对照计划,与人工勾画 CTV 和 OAR 的原始计划对比,通过剂量分布图、剂量-体积直方图(DVH),按照国际辐射单位和测量委员会(ICRU)83 号报告要求,进行两组计划临床剂量学比对^[15]。

1.7 统计学方法

采用 Graph Pad 9.0 软件对数据进行统计学分析。采用 Kolmogorov-Smirnov 法检验数据的正态分布,符合正态分布的计量资料以均数±标准差表示,采用配对 t 检验;不符合正态分布的数据以 M(Q1, Q3)表示,采用秩和检验进行组间比较。P<0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 几何轮廓参数对比

几何轮廓参数比较见表 1,DSC、JAC、SI、Incl、ΔV、DC、HD 对比,优劣顺序依次为:右股骨头、左股骨头、膀胱、CTV、小肠。CTV、OAR 图像比较见图 1、图 2。图内蓝色轮廓为自动勾画结果,红色轮廓为手动勾画结果。

2.2 剂量学参数对比

自动勾画与手工勾画的剂量学参数比较见表 2。CTV D₉₅、膀胱 V₃₀、小肠 D_{mean} 比较差异有统计学意义(P<0.05),其余均无统计学意义(P>0.05)。

表 1 AccuContour 软件自动勾画 52 例直肠癌术前调强治疗患者 CTV、OAR 与手工勾画几何轮廓参数比较

Table 1 Comparison of manual segmentation results and AccuContour automatic segmentation results of CTV and OAR for preoperative VMAT for 52 cases of rectal cancer

靶区	DSC	JAC	SI	Incl	$\Delta V/\%$	DC/mm	HD/mm
CTV	0.84±0.06	0.72±0.08	0.81±0.07	0.87±0.08	10.93(4.56, 15.37)	5.03(3.27, 8.77)	15.03(15.00, 24.70)
膀胱	0.94±0.04	0.89±0.07	0.96±0.03	0.93±0.07	1.84(0.74, 5.33)	2.06(1.48, 3.61)	3.75(2.47, 3.75)
小肠	0.82±0.07	0.72±0.10	0.81±0.10	0.86±0.11	11.33(5.86, 23.57)	7.20(4.23, 11.97)	11.28(7.00, 15.00)
左股骨头	0.95±0.01	0.91±0.02	0.98±0.01	0.93±0.02	5.13(3.83, 6.20)	2.53(1.38, 3.53)	1.79(1.64, 2.20)
右股骨头	0.95±0.01	0.91±0.01	0.97±0.01	0.93±0.02	4.58(3.29, 6.23)	2.19(1.82, 3.50)	1.76(1.60, 2.34)

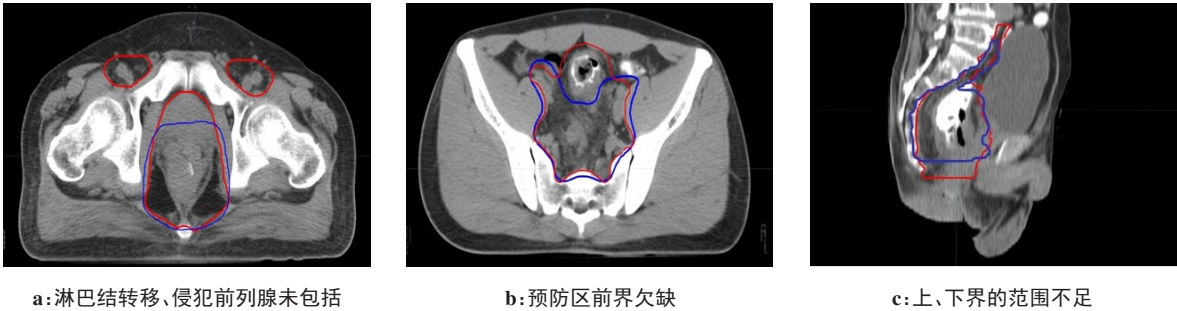


图 1 自动勾画与手动勾画 CTV 几何轮廓比较

Figure 1 Comparison of automatic and manual segmentations of CTV

3 讨论

近年来,随着人工智能应用于肿瘤放疗,基于图谱、深度学习和神经网络的自动勾画技术在国内外相继开发,其准确度也随之得到重视,并且逐渐成为学者们的研究热点^[16-17]。有学者认为影响自动勾画效果不仅包括几何准确性还应包括剂量学的准确性^[18]。鲜利勋等^[19]对食管癌放疗的剂量学参数研究几何指标评价自动勾画轮廓准确度的可行性研究,提出对于自动勾画系统不仅要评价几何指标还要加入剂量学参数。本研究应用 AccuContour 软件及定制化自动勾画模型在直肠癌术前容积旋转调强放疗中 CTV 和 OAR 的勾画,进行几何轮廓和剂量学参数评价。

有学者认为 $DSC>0.7$,表示自动与手动勾画重合度高^[20]。在本研究中,几何轮廓的 DSC 值均大于 0.8,综合 JAC、 $\Delta V\%$ 、HD、DC 等各项指标,评估优劣顺序为:右股骨头、左股骨头、膀胱、小肠、CTV。因为股骨头电子密度高,CT 值与周围组织形成较为鲜明的差异^[21],所以自动勾画效果好。左、右股骨头的剂量学参数 D_{mean} 、 V_{40} 无统计学差异 ($P>0.05$)。

膀胱在勾画体积上的差异,未影响其剂量学参数 D_{mean} 及 V_{40} ,但在 V_{30} 上出现差异 ($P<0.05$),研究结果发现膀胱自动勾画结果与其充盈程度有关,充盈越好,膀胱与周围的脂肪组织密度差异越大^[22],自动

勾画越容易识别,而充盈不足,膀胱顶部容积减小,局部增厚的膀胱壁被肠管阻隔,则自动勾画欠佳(图 2 膀胱 a~d)。

小肠的剂量学参数 D_{max} 比较无统计学差异 ($P>0.05$),而 D_{mean} 存在统计学差异 ($P<0.05$),推断是由于自动勾画与人工勾画的小肠体积不同所致,小肠与周围相邻组织密度近似^[23],自动勾画对小肠邻近的其它正常组织鉴别差,如男性患者的精索(图 2 小肠 a)、女性患者的附件(图 2 小肠 d)、髂总动脉(图 2 小肠 b)都包含在小肠勾画中,有的在同一层面内勾画范围欠缺(图 2 小肠 c),自动勾画在计划靶区上下 3 层范围内的小肠包含不完整(图 2 小肠 e)。

在 CTV 自动勾画中,未包括腹股沟淋巴结转移、肿瘤侵犯前列腺的部分(图 1a);高位直肠癌患者预防区前界勾画范围不足(图 1b);CTV 上、下界的勾画范围欠缺(图 1c)。分析其原因是由于训练集未根据患者直肠病变位置细化分组,而导致自动勾画对 CTV 界定范围不清,始末层识别准确性差,加上 CT 图像对直肠癌软组织、淋巴结转移、肿瘤侵犯周围的组织识别效果欠佳^[24],而导致 CTV 自动勾画范围不够,体现在剂量学参数上 D_{95} 与手动勾画有偏差。

综上所述,研究发现自动勾画的几何精度越高,其剂量学参数越接近于手动勾画,总体上正常组织的勾画要好于肿瘤靶区。因患者肿瘤的部位、生物学行为及定位扫描时膀胱充盈状态、正常组织密度

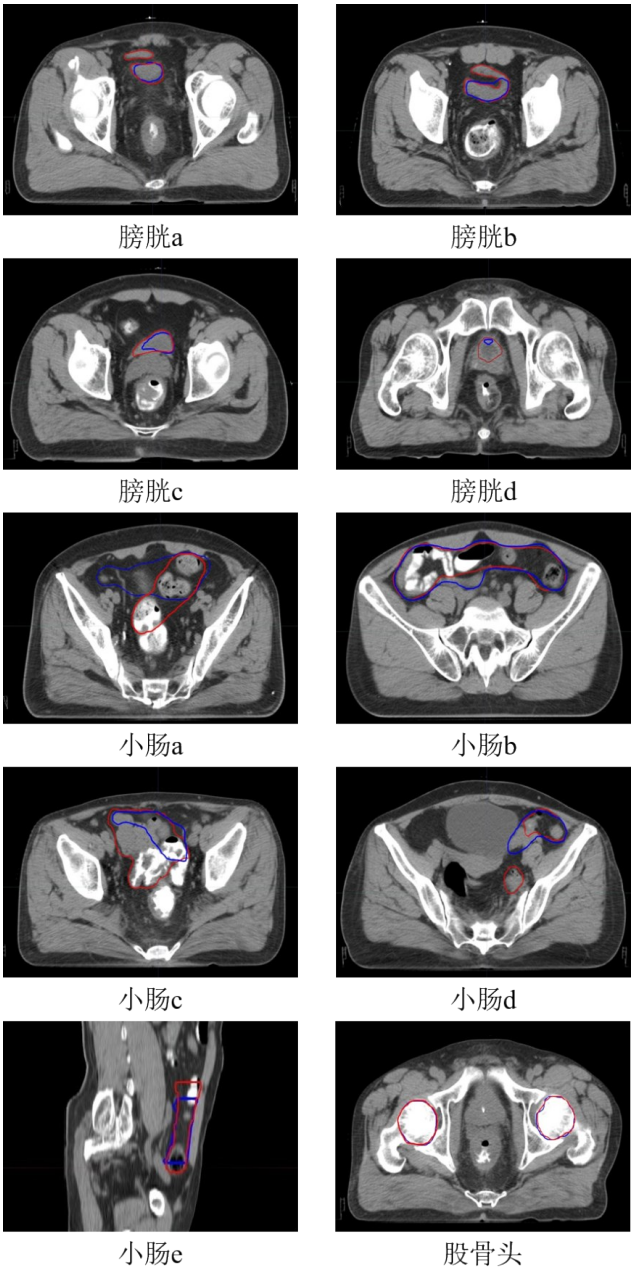


图2 自动勾画与手动勾画 OAR 比较

Figure 2 Comparison of automatic and manual segmentations of OAR

不同等因素影响软件对CT图像的识别,使得自动勾画的CTV和OAR几何轮廓与手动勾画有偏差,从而导致某些部位在相关剂量学参数上产生差异。自动勾画应用于临床时,医生还要依据肿瘤分期不同、大小、位置、周围侵袭范围及淋巴结转移的部位等大量临床资料,采用MR、PET-CT等多模态影像融合技术,对自动勾画的器官轮廓进行检查手工修改后才能用于计划设计,以确保患者放疗剂量的精准^[25]。

本研究存在的局限性:因133例患者资料随机分为65例训练集、16例验证集、52例测试集,在训练集中,未根据患者直肠病变位置进行高、中、低位再细化分组,采取分别训练,而导致自动勾画对CTV界定范围不清,始末层识别准确性差,后续将收集更多患

表2 自动勾画与手工勾画的剂量学参数比较($\bar{x} \pm s$)
Table 2 Comparison of dosimetric parameters between automatic and manual segmentations (Mean±SD)

参数	手动	自动	t值	P值
CTV D ₉₅ /Gy	46.89±0.47	44.67±5.53	2.820	0.007
膀胱				
D _{mean} /Gy	32.46±3.64	32.65±2.02	0.410	0.697
V ₃₀ /%	53.00±8.00	52.00±8.00	2.670	0.012
V ₄₀ /%	30.00±6.70	30.00±6.20	0.692	0.492
小肠				
D _{mean} /Gy	25.30±2.63	23.71±4.35	3.132	0.003
D _{max} /Gy	49.23±0.98	49.28±1.11	0.413	0.681
左股骨头				
D _{mean} /Gy	23.67±4.57	23.56±4.59	1.689	0.094
V ₄₀ /%	1.00±0.32	1.00±0.26	0.255	0.786
右股骨头				
D _{mean} /Gy	24.46±4.68	24.57±4.74	1.657	0.104
V ₄₀ /%	1.00±0.34	1.00±0.33	0.240	0.811

者资料,设定肿瘤高位、中位、低位3个不同训练组,对照相应位置的病例做测试,以提高自动勾画系统准确性。

在直肠癌术前容积旋转调强放疗中,本研究所采用的自动勾画系统,对于CTV和OAR的自动勾画有一定准确性,为临床医生节省大量时间,提高了工作效率。

【参考文献】

[1] 秦新裕, 许剑民, 任黎, 等. 中国《结直肠癌肝转移诊断和综合治疗指南(V 2016)》解析[J]. 临床外科杂志, 2017, 25(1): 15-20.
Qin XY, Xu JM, Ren L, et al. Analysis of Chinese guidelines for diagnosis and comprehensive treatment of colorectal cancer with liver metastasis (V 2016) [J]. Journal of Clinical Surgery, 2017, 25(1): 15-20.

[2] 常紫薇, 刘辉, 张秋萌, 等. 胃肠道癌症预后预测模型研究进展[J]. 华北理工大学学报(医学版), 2020, 22(5): 416-420.
Chang ZW, Liu H, Zhang QM, et al. Advances in prognostic models of gastrointestinal cancer[J]. Journal of North China University of Science and Technology (Medical Edition), 2020, 22(5): 416-420.

[3] 窦建建, 金昌洙. 直肠癌调强放疗危及器官照射剂量与其解剖结构的关系[J]. 世界最新医学信息文摘, 2019, 19(19): 38-39.
Dou JJ, Jin CZ. Relationship between radiation dose and anatomical structure of organs endangered by intensity modulated radiotherapy for rectal cancer[J]. World Latest Medicine Information, 2019, 19(19): 38-39.

[4] 彭涛, 姜展, 杨永江, 等. 手术联合术前新辅助同步放化疗治疗II~III期中低位直肠癌效果观察[J]. 肿瘤研究与临床, 2018, 30(2): 103-106.
Peng T, Lou Z, Yang YJ, et al. Efficacy observation of surgical operation combined with neoadjuvant concurrent chemoradiotherapy before operation for middle and lower rectal carcinoma in phase II and III[J]. Cancer Research and Clinic, 2018, 30(2): 103-106.

[5] 曾小华, 李华峰, 阮善明, 等. 直肠癌同步调强放疗不同射野角度对小肠和膀胱受照剂量的影响研究[J]. 医疗卫生装备, 2020, 41(4): 61-63.
Zeng XH, Li HF, Ruan SM, et al. Effects of different radiation field

- angles on the dose of small intestine and bladder in synchronous intensity modulated radiotherapy for rectal cancer [J]. Chinese Medical Equipment Journal, 2020, 41(4): 61-63.
- [6] 彭应林, 孙文钊, 程婉琴, 等. 鼻咽癌调强计划靶区和危及器官不同勾画方式下个体化差异观察[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2019, 28(10): 762-766.
- Peng YL, Sun WZ, Cheng WQ, et al. Observation of individualized differences under different sketching methods of nasopharyngeal carcinoma intensity modulation plan target and endangered organs[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2019, 28(10): 762-766.
- [7] 马娜, 曲宝林, 解传滨, 等. 肿瘤精确放疗技术的发展与挑战[J]. 中国医疗设备, 2021, 36(12): 149-153.
- Ma N, Qu BL, Xie CB, et al. Development and challenge of precision radiotherapy for cancer[J]. China Medical Devices, 2021, 36(12): 149-153.
- [8] 储进锦, 朱正飞, 童彤等. 勾画指南的培训对海马勾画的影响[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2019, 28(2): 81-84.
- Chu JJ, Zhu ZF, Tong T, et al. The impact of delineating guideline training on the hippocampal delineation [J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2019, 28(2): 81-84.
- [9] 汪志, 常艳奎, 吴昊天, 等. 基于深度学习的危及器官自动勾画软件系统DeepViewer在放疗中的应用及评估[J]. 中国医学物理学杂志, 2020, 37(8): 1071-1075.
- Wang Z, Chang YK, Wu HT, et al. Application and evaluation of deep learning-based DeepViewer system for automatic segmentation of organs-at-risk [J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2020, 37(8): 1071-1075.
- [10] 秦伟, 庄洁颖, 时飞跃, 等. AccuContour软件自动勾画胸腹部肿瘤患者两种胃结构比较[J]. 中国辐射卫生, 2021, 30(3): 264-268.
- Qin W, Zhuang JY, Shi FY, et al. Comparison of the automatic delineation of two kinds of stomach by the AccuContour software for patients with thoracic and abdominal tumors[J]. Chinese Journal of Radiological Health, 2021, 30(3): 264-268.
- [11] 李金凯, 王沛沛, 曹远东, 等. AccuContour软件在头颈部危及器官自动勾画中的应用研究[J]. 中国医疗设备, 2021, 36(6): 66-70.
- Li JK, Wang PP, Cao YD, et al. Study on the application of ccuContour software in automatic delineation of endangered organs in head and neck[J]. Chinese Medical Equipment, 2021, 36(6): 66-70.
- [12] Cefaro GA, Genovesi D, Perez CA. Delineating organs at risk in radiation therapy[M]. Milan: Springer, 2013.
- [13] 唐源, 金晶, 朱远, 等. 直肠癌术前/术后适形/调强放疗靶区勾画共识与图谱[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2018, 27(3): 227-234.
- Tang Y, Jin J, Zhu Y, et al. Consensus and atlas of preoperative / postoperative conformal / intensity modulated radiotherapy target for rectal cancer[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2018, 27(3): 227-234.
- [14] 刘宏嘉, 曲宝林, 吴昊, 等. 剂量计算算法对肺癌立体定向放疗自动计划建模及应用的影响[J]. 中华生物医学工程杂志, 2021, 27(3): 233-238.
- Liu HJ, Qu BL, Wu H, et al. Effect of dose calculation algorithm on automatic planning modeling and application of stereotactic radiotherapy for lung cancer [J]. Chinese Journal of Biomedical Engineering, 2021, 27(3): 233-238.
- [15] 杜霄勤, 安菊生, 马攀, 等. ICRU 83号报告推荐方式评估宫颈癌术后辅助IMRT与传统放疗方式的差异及可行性[J]. 癌症进展, 2015(4): 419-424.
- Du XM, An JS, Ma P, et al. Difference and feasibility of intensity-modulated radiotherapy and conventional 2D radiotherapy for postoperative cervical cancer evaluated with ICRU 83 report method [J]. Oncology Progress, 2015(4): 419-424.
- [16] 李华玲, 李金凯, 王沛沛, 等. 人工智能在肿瘤放射治疗中的应用[J]. 临床肿瘤学杂志, 2019, 24(10): 943-948.
- Li HL, Li JK, Wang PP, et al. Application of artificial intelligence in tumor radiotherapy [J]. Chinese Clinical Oncology, 2019, 24(10): 943-948.
- [17] 李玉成, 王成, 贾勇士, 等. 基于深度学习与图谱库两种自动勾画方法对直肠癌危及器官勾画效果的对比研究[J]. 中国基层医药, 2021, 28(10): 1490-1495.
- Li YC, Wang C, Jia YS, et al. Effects of deep learning versus atlas-based automatic contouring methods on the contouring of organs-at-risk in rectal cancer[J]. Chinese Journal of Primary Medicine and Pharmacy, 2021, 28(10): 1490-1495.
- [18] 陈旭明, 刘勇. 基于深度学习的正常组织自动勾画在计划设计中的剂量准确度评估[J]. 中国医疗设备, 2021, 36(10): 169-172.
- Chen XM, Liu Y. Comparison of endangered organs in tumor radiotherapy based on deep learning and spectrum library method [J]. China Medical Devices, 2021, 36(10): 169-172.
- [19] 鲜利勋, 李光俊, 肖青, 等. 基于食管癌放疗的剂量学参数研究几何指标评价自动勾画轮廓准确度的可行性[J]. 中国医学物理学杂志, 2021, 38(2): 148-152.
- Xian LX, Li GJ, Xiao Q, et al. To study the feasibility of geometric index to evaluate the accuracy of automatic contour drawing based on dosimetric parameters of radiotherapy for esophageal cancer [J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2021, 38(2): 148-152.
- [20] 王萍, 王继平, 李鑫, 等. 探讨AI用于食管癌危及器官自动勾画的可行性[J]. 中国辐射卫生, 2019, 28(6): 709-713.
- Wang P, Wang JP, Li X, et al. Feasibility of automatic delineation of OAR in radiotherapy of esophageal cancer utilizing AI [J]. Chinese Journal of Radiological Health, 2019, 28(6): 709-713.
- [21] 李克, 钟小军, 张晓华, 等. 不同扫描部位采集的CT值-电子密度转换曲线对放疗剂量的影响[J]. 医疗卫生装备, 2017, 38(12): 80-83.
- Li K, Zhong XJ, Zhang XH, et al. Influence of CT value-electron density transformation curve on radiotherapy dosage for different scanning sites [J]. Chinese Medical Equipment Journal, 2017, 38(12): 80-83.
- [22] 李莎, 姜桂兰, 吴昊, 等. 基于重建影像数据的放疗患者膀胱充盈度影响因素分析[J]. 中华生物医学工程杂志, 2021, 27(1): 8-13.
- Li S, Jiang GL, Wu H, et al. Analysis of influencing factors of bladder filling in patients with radiotherapy based on reconstructed image data [J]. Chinese Journal of Biomedical Engineering, 2021, 27(1): 8-13.
- [23] 孙凤涛, 张厚宁, 王冰, 等. 测量感兴趣区最大密度对肠梗阻合并肠缺血诊断价值[J]. 中国医学影像学杂志, 2017, 25(1): 6-10.
- Sun FT, Zhang HN, Wang B, et al. Value of contrast-enhanced CT scans in diagnosis of intestinal obstruction combined intestinal ischemia by measuring maximal density of region of interest [J]. Chinese Journal of Medical Imaging, 2017, 25(1): 6-10.
- [24] 巫丹萍, 卞琳杰, 张迢阳, 等. 结直肠癌术前淋巴结CT量化分析[J]. 中国临床研究, 2018, 31(2): 167-171.
- Wu DP, Bian LJ, Zhang ZY, et al. Analysis of influencing factors of bladder filling in patients with radiotherapy based on reconstructed image data [J]. Chinese Journal of Biomedical Engineering, 2018, 31(2): 167-171.
- [25] 王剑杰, 王雪鹁, 蒲朝煜. 恶性淋巴瘤的多模态显像研究进展[J]. 国际放射医学核医学杂志, 2018, 42(4): 363-368.
- Wang JJ, Wang XJ, Pu CY. Multimodal imaging of malignant lymphoma [J]. International Journal of Radiology and Nuclear Medicine, 2018, 42(4): 363-368.

(编辑:陈丽霞)