

DOI:10.3969/j.issn.1005-202X.2025.01.002

医学放射物理

## 去伪影技术在头颈部肿瘤精准放疗中应用研究

郭畅<sup>1</sup>, 沈泽天<sup>1</sup>, 赵本新<sup>1</sup>, 周含<sup>1,2</sup>

1. 南京医科大学第四附属医院放疗科, 江苏 南京 211500; 2. 南京大学电子科学与工程学院, 江苏 南京 210046

**【摘要】目的:**探讨 Discovery RT (GE Inc) 模拟定位设备去伪影技术对于器官勾画及放疗计划的影响。**方法:**选择 2021 年 9 月~2024 年 2 月在南京医科大学第四附属医院接受放疗的 12 名携带金属假牙的头颈部肿瘤患者。使用自动勾画软件 AccuContour 分别对经过 MAR 算法处理过的 CT 图像和常规 CT 图像进行危及器官(OAR)勾画。然后比较有无金属伪影 OAR 轮廓的三维 Dice 相似性系数(DSC)、豪斯多夫距离(HD)及 OARs 的平均 CT 值。把处理过的 CT 图像以及原始图像传输至 Monaco 计划系统, 对带有金属伪影的图像进行剂量计算, 然后将计算好的计划映射到去除伪影后的图像上, 比较 OAR 的剂量学差异。**结果:**去伪影前后喉、口腔、下颌骨的勾画 HD 稍高。去伪影前后的 CT 图像各组织平均 CT 值除了气管外, 其他组织均无统计学差异( $P>0.05$ ), 而伪影区域的口腔平均 CT 值两组有统计学差异( $P<0.05$ )。去伪影前后放疗计划中各组织间的照射剂量仅有咽上缩肌具有统计学差异。各组织间的照射剂量相对差值为 0~6.45%, 其中差异范围浮动最大的组织为左晶状体( $-2.92\%\pm 3.95\%$ )和右晶状体( $1.29\%\pm 3.35\%$ )。**结论:**金属伪影对于距离伪影较近组织的 OAR 勾画 CT 值以及计划剂量影响较大, 需要人工勾画的介入, 其他组织几乎没有差异。

**【关键词】**头颈部肿瘤; CT 值; 剂量; 自动勾画; 金属伪影; MAR

**【中图分类号】**R318; R811.1

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2025)01-0007-07

## Application of artifact removal technique in precision radiotherapy for head and neck tumors

GUO Chang<sup>1</sup>, SHEN Zetian<sup>1</sup>, ZHAO Benxin<sup>1</sup>, ZHOU Han<sup>1,2</sup>

1. Department of Radiation Oncology, the Fourth Affiliated Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing 211500, China; 2. School of Electronic Science and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210046, China

**Abstract: Objective** To explore the application effect of artifact removal technique of Discovery RT (GE Inc) in organ segmentation and radiotherapy planning. **Methods** Twelve patients with head and neck tumors carrying irremovable metal dentures, who received radiotherapy at the Fourth Affiliated Hospital of Nanjing Medical University from September 2021 to February 2024, were enrolled in the study. AccuContour was used to perform organs-at-risk (OAR) segmentations separately on CT image processed by metal artifact reducing algorithm and conventional CT image. Dice similarity coefficient (DSC), Hausdorff distance (HD) and the mean CT values of OAR with or without metal artifacts were compared. Both the processed CT images and original images were transferred to Monaco planning system. Dose calculation was conducted on the images with metal artifacts, and the calculated plans were mapped to the artifact-free images for analyzing the dosimetric differences of OAR. **Results** The HD of the throat, oral cavity and mandible were slightly higher. The mean CT values of the tissues in images before and after artifact removal were not statistically different except for the trachea ( $P<0.05$ ), and the mean oral CT value at the artifact level differed significantly in two groups ( $P<0.05$ ). The radiation dose of different tissues in the radiotherapy plan before and after artifact removal only showed statistical differences in the superior constrictor muscle of pharynx. The percentages of irradiation dose differences for the tissues ranged from 0 to 6.45%, with the largest fluctuation in the left lens ( $-2.92\%\pm 3.95\%$ ) and the right lens ( $1.29\%\pm 3.35\%$ ). **Conclusion** Manual delineation is required for the tissues close to metal artifacts due to the remarkable effects on CT values and planned dose, but there is few differences in the other tissues.

**Keywords:** head and neck tumor; CT value; irradiation dose; auto-segmentation; metal artifact; metal artifact reducing

**【收稿日期】**2024-08-21

**【基金项目】**南京医科大学校基金(NMUB2023038); 江苏省社会发展重点项目(BE2020685)

**【作者简介】**郭畅, 主管技师, 研究方向: 肿瘤放射物理技术, E-mail: guochang94605@163.com

**【通信作者】**周含, 高级工程师, 研究方向: 肿瘤放射物理技术, E-mail: hanzhou26@163.com

## 前言

头颈部肿瘤是指病灶位于锁骨之上、颅底之下的肿瘤,以鼻咽癌、口咽癌、喉癌为主<sup>[1]</sup>,治疗方案主要包括手术、化疗和放射治疗,放射治疗已经成为头颈部肿瘤治疗的主要治疗方法<sup>[2]</sup>。但是由于部分头颈部肿瘤患者术后金属植入物以及本身无法去除的金属牙齿,导致头颈部肿瘤患者在CT模拟定位产生一定的金属伪影,影响放疗靶区勾画,同时也对放射治疗计划的剂量计算带来很多不确定性。图像伪影主要是由于X线穿过高密度金属物质时,光子与金属物质的原子之间发生复杂的相互作用,从而导致X线穿过金属物质后急剧衰减,与之相对应的投影数据失真或缺失,即形成图像伪影<sup>[3-4]</sup>。

随着对精准放疗流程精度的要求越来越高,为了减少金属植入物对放疗的影响,很多去伪影算法应运而生。劳峥等<sup>[5]</sup>研究去伪影算法在术后植入钛板患者的临床应用,结果表明去伪影算法可以有效降低CT图像的伪影,同时影响去伪影前后CT图像的CT值,对剂量造成一定的影响。宋威等<sup>[6]</sup>研究金属伪影对鼻咽癌放疗危及器官(Organ At Risk, OAR)勾画的影响,得出三维Dice相似性系数(Dice Similarity Coefficient, DSC)和豪斯多夫距离(Hausdorff Distance, HD)在有无金属伪影上无显著差别,但二维有伪影组偏离基准值较明显。韩若臻等<sup>[7]</sup>对智能去金属伪影技术在放疗应用中做了研究,分析去金属伪影对CT图像亨氏值以及噪声水平精准度的意义,强调对于放疗剂量计算准确度的重要性。伪影消除不仅对放疗精准计划有重要的意义,对放疗实施的摆位同样重要,大多数放疗单位采用锥形束CT(Cone Beam CT, CBCT)等图像引导设备,伪影的存在同样影响后续摆位图像的采集,对于治疗过程中实时采集的摆位图像的处理同样重要,例如更改实时采集条件以及深度学习后处理等方法也越来越多<sup>[8-9]</sup>,在减少摆位误差的同时,也为更好地开展自适应放疗提供参考。

临床去除图像伪影的方法较多,其中金属伪影消减算法技术为金属伪影消除序列,可纠正X线扫描金属物质后产生的低信号,提高图像质量,达到临床使用目的。本文主要介绍GE大孔径模拟定位机去伪影扫描技术对于头颈部肿瘤的放疗定位CT、后续靶区勾画以及计划剂量分布的影响,旨在优化定位去伪影算法在放疗中的临床应用,优化放疗靶区勾画以及计划设计,提供更加精准的放疗方案。

## 1 材料与方法

### 1.1 病例选择

选取2021年9月~2024年2月在南京医科大学第四附属医院接受放疗的12例头颈部肿瘤患者。其中,鼻咽癌7例、喉癌3例、下咽癌1例、牙龈肿瘤1例。男性11例、女性1例,中位年龄66岁,选取患者均带有无法去除的金属假牙。

### 1.2 主要设备

定位方式采用仰卧位,使用头颈肩热塑性膜固定,双手置于身体两侧。模拟定位CT为GE公司的Discovery RT大孔径螺旋定位CT扫描系统,层厚2.5 mm,扫描参数120 kV,300 mA,扫描范围从头顶上1 cm至气管分叉水平。GE Discovery去伪影(Metal Artifact Reduction, MAR)算法是一种CT金属伪影去除技术,有助于减少光子饥饿、硬化和条纹伪影。自动勾画采用Manteia公司的自动勾画平台AccuContour软件。

### 1.3 研究方法

模拟定位结束后,经过GE去伪影算法后生成两套定位CT数据。去伪影前CT图像和去伪影后CT图像,分别传输至自动勾画系统AccuContour以及Monaco计划系统(Elekta, Monaco),其头颈部OAR勾画方式参考国际勾画标准共识,最后在Monaco计划系统进行计划设计<sup>[10]</sup>。先把去伪影后的图像在Monaco计划系统进行计算,再把计算好的计划直接映射到去伪影前的CT图像中生成剂量分布数据。把去伪影前后生成的计划分为两组分别进行分析。一组为伪影周围区域,包括下颌骨、口腔。另一组为伪影外围区域,包括左右颞叶、脑干、脊髓、视交叉、左右视神经、左右耳蜗、左右内耳道、左右咽鼓管、左右鼓室、左右前庭、左右内耳、左右中耳、左右眼球、左右晶状体、垂体、左右颞下颌关节、喉、气管、食管、左右腮腺、左右颌下腺、甲状腺、咽缩肌。

### 1.4 评价指标

比较去伪影前后OAR以及伪影区靶区自动勾画的DSC、HD、平均CT值、平均CT值变化率。

**1.4.1 自动勾画评估** 同时在两组CT图像上进行OAR靶区勾画,评价自动勾画去伪影前后的重叠性。比较不同OAR的DSC和HD<sup>[11]</sup>。

$$DSC(A, B) = \frac{2(A \cap B)}{A + B} \quad (1)$$

DSC值范围为0~1,当去伪影前后自动勾画完全重叠时,DSC为1。当DSC>0.7时,可以认定勾画达到较好的重叠效果<sup>[12]</sup>。A和B分别表示去伪影后和

去伪影前 OAR 自动勾画轮廓几何学数值<sup>[13]</sup>

$$HD(A,B)=\max\{h(A,B),h(B,A)\} \tag{2}$$

$$h(A,B)=\max_{a\in A,b\in B}\min\|a-b\| \tag{3}$$

其中,A、B 意义同上;a、b 分别表示轮廓线 A、B 上的任意一点。HD 值越小表示两轮廓线的最大欧式距离越小,相似性越高。

1.4.2 平均 CT 值 通过 Monaco 计划系统,评估某个组织内 CT 值,取组织 CT 数值的平均数。

1.4.3 剂量学比较 以自动勾画为准,在去伪影 CT 上进行计划设计,计划完成后,将计划复制至常规 CT 上,进行 OAR 剂量学参数的比较。

1.5 统计学分析

采用 Origin 8.0 对结果进行统计学分析,计量资料以均值±标准差表示,组间采用配对 t 检验,P<0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 自动勾画重合度

从表 1 可以看出去除伪影前后大部分器官勾画能够达到较好的重叠状态(DSC>0.7)。喉、口腔、下颌骨的 HD 稍高。

2.2 平均 CT 值变化

按照式(4)统计各组织在经 MAR 算法校正前、后 CT 值的差异:

$$HU(\%)=\frac{HU_{ref}-HU_{MAR}}{HU_{ref}} \tag{4}$$

其中,HU<sub>ref</sub> 代表未经 MAR 算法校正前的 CT 值,HU<sub>MAR</sub> 代表经过 MAR 算法校正后的 CT 值。经去伪影算法处理的 CT 图像和未经去伪影算法处理的 CT 图像,分别传输至 Manteia 自动勾画系统上,使用自动勾画软件对去伪影后的 CT 图像进行 OAR 自动勾画,然后将勾画结构复制到未去伪影的图像上。分别统计去伪影前、后各 OAR 的平均 CT 值。通过统计得出:上述 OAR 的平均 CT 值变化率为 0%~82.57%。其中平均 CT 值几乎无变化的组织是脑干(0%),平均 CT 值变化最大的组织是左鼓室(82.57%)。

统计出各组织的平均 CT 值变化率按照大小制成散点图(图 1),除去左右鼓室、左右视神经、左中耳、左咽鼓管平均 CT 值变化率较大的组织,各组织平均 CT 变化率在 3% 上下波动。

将经 MAR 算法校正前后各组织平均 CT 值进行配对 t 检验。从表 2 可以看出大部分 OAR 的平均 CT 值在去伪影前后没有统计学差异(P>0.05)。唯独在气管组织上平均 CT 值有统计学差异(P<0.05)。

去除伪影前后口腔和下颌骨的平均 CT 值无统计

表 1 各组织器官去伪影前后靶区勾画 DSC 和 HD 对比( $\bar{x}\pm s$ )  
Table 1 DSC and HD of the contoured organs-at-risk before and after artifact removal (Mean±SD)

危及器官	三维 DSC	HD/mm
左颞叶	0.99±0.01	0.75±0.75
右颞叶	0.99±0.01	0.53±0.51
脑干	0.98±0.01	0.71±0.45
脊髓	0.98±0.01	0.26±0.45
视交叉	0.95±0.03	0.79±0.94
左视神经	0.96±0.04	0.53±1.17
右视神经	0.87±0.29	0.35±0.82
左耳蜗	0.97±0.04	0.23±0.75
右耳蜗	0.98±0.01	0±0
左咽鼓管	0.96±0.03	0.31±0.78
右咽鼓管	0.95±0.06	0.43±0.82
左内耳道	0.97±0.02	0.09±0.3
右内耳道	0.97±0.02	0.11±0.38
左鼓室	0.98±0.01	0.09±0.29
右鼓室	0.98±0.01	0.32±0.78
左前庭	0.98±0.02	0.09±0.30
右前庭	0.98±0.03	0.11±0.38
左内耳	0.98±0.02	0.34±0.48
右内耳	0.98±0.01	0.26±0.45
左中耳	0.97±0.03	0.24±0.81
右中耳	0.97±0.02	0.17±0.38
左眼球	0.99±0.01	0.18±0.39
右眼球	0.99±0.01	0.09±0.30
左晶状体	0.89±0.30	0±0
右晶状体	0.98±0.01	0.18±0.40
垂体	0.90±0.30	0±0
下颌骨	0.98±0.01	3.96±13.13
左颞下颌关节	0.97±0.03	0.5±0.81
右颞下颌关节	0.97±0.02	0.29±0.51
口腔	0.98±0.01	1.11±0.86
喉	0.89±0.05	3.2±1.57
气管	0.81±0.40	0.18±0.40
食管	0.79±0.39	0.57±0.56
左腮腺	0.97±0.02	0.88±0.73
右腮腺	0.98±0.01	0.88±0.73
左颌下腺	0.97±0.01	0.36±0.49
右颌下腺	0.97±0.02	0.53±0.51
甲状腺	0.97±0.02	0.39±0.55
咽上缩肌	0.87±0.29	0.49±0.80
咽中缩肌	0.88±0.29	0.54±1.01
咽下缩肌	0.98±0.02	0.18±0.40



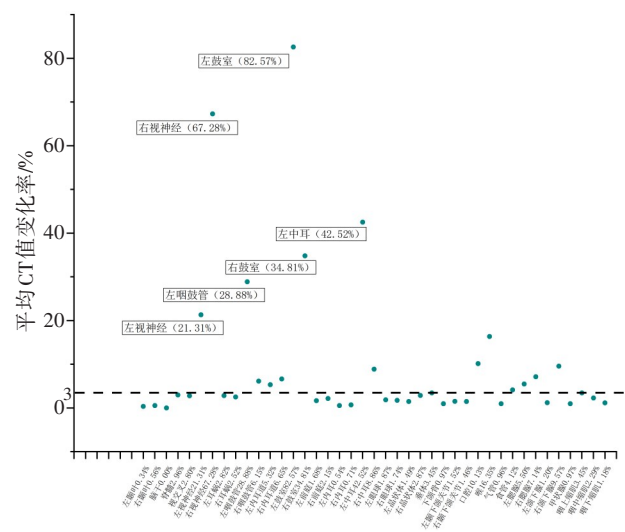


图1 平均CT值变化率散点图  
Figure 1 Scatter plot of the change rates of mean CT values

学差异( $P>0.05$ ),见表3。12位患者去伪影前后口腔和下颌骨CT值柱状图如图2所示,近伪影层面口腔、下颌骨去伪影前后CT值柱状图如图3、图4所示。再统计近伪影层面的口腔和下颌骨平均CT值。如图3所示,近伪影层面口腔CT值差异较图2差异明显增大,表4提示距离近伪影层面的去伪影前后口腔平均CT值有统计学差异( $P<0.05$ )。如图4所示,近伪影层面的下颌骨CT值较图2差异明显增大,但是表4提示去伪影前后下颌骨平均CT值无统计学差异( $P>0.05$ )。

2.3 各OAR计划放疗剂量

比较入组病例中两组CT在同一放疗计划下的剂量差别。首先将两组CT的靶区结构统一,然后按医生开出的计划申请单要求先计算去伪影组的放疗计划,计算完成并满足计划申请单要求后将照射数据复制到未去伪影组CT上。然后分别统计两组各个组织结构的平均照射剂量(表5)。统计结果显示两组的同一组织中,仅有咽上缩肌具有统计学差异( $P=0.034$ )。随后又统计出两组照射剂量之间的相对差值(图5)。结果显示:各组之间的相对差值为0~6.45%,其中差异范围浮动最大为左晶状体(-2.92%±3.95%)和右晶状体(1.29%±3.35%)。

伪影层面口腔剂量的相对差值为-0.26%±0.74%,下颌骨剂量的相对差值为0±0.27%。

3 讨论

放射治疗已经成为治疗恶性肿瘤的主要手段之一。随着计算机技术的快速发展,计算机后处理算法在医学上得到较快的应用,使得医学影像数据的获取更加

表2 各组织去伪影前后平均CT值的比较( $\bar{x}\pm s$ )  
Table 2 Comparison of mean CT values before and after artifact removal in each tissue (Mean±SD)

危及器官	平均CT值/HU		t值	P值
	去伪影组	有伪影组		
左颞叶	53.73±4.58	53.55±4.39	1.49	0.17
右颞叶	52.36±3.91	52.64±3.98	-1.94	0.08
脑干	38.82±2.75	38.82±2.75	0.00	1.00
脊髓	42.09±6.47	41.45±6.30	1.10	0.30
视交叉	46.82±12.6	46.00±11.95	1.94	0.08
左视神经	13.45±16.41	13.55±16.03	-0.12	0.91
右视神经	25.5±21.34	23.91±20.17	-0.45	0.66
左耳蜗	853.45±113.64	854.18±86.95	-0.08	0.94
右耳蜗	852.91±88.87	844.45±87.50	0.83	0.42
左咽鼓管	25.64±125.47	14.27±135.75	1.03	0.33
右咽鼓管	358.45±211.52	361.00±214.14	-0.33	0.75
左内耳道	477.55±96.12	485.00±99.39	-0.73	0.48
右内耳道	666.64±224.55	686.73±233.21	-1.51	0.16
左鼓室	-31.00±75.14	-40.82±70.56	2.22	0.05
右鼓室	99.55±178.74	93.00±179.42	1.74	0.11
左前庭	1 131.18±104.91	1 119.27±87.55	1.66	0.13
右前庭	1 167.27±51.28	1 165.91±38.55	0.11	0.91
左内耳	1 031.64±92.48	1 034.55±95.55	-1.24	0.24
右内耳	1 070.27±69.58	1 072.64±75.38	-0.82	0.43
左中耳	-58.18±104.62	-66.00±103.09	2.19	0.05
右中耳	89.36±203.82	84.00±200.54	1.13	0.28
左眼球	28.45±4.01	28.36±4.46	0.36	0.72
右眼球	28.73±4.34	28.82±4.26	-0.43	0.68
左晶状体	55.09±4.64	55.00±4.36	0.27	0.80
右晶状体	55.27±5.20	54.36±6.68	1.61	0.14
垂体	76.27±25.72	75.09±24.97	1.25	0.24
左颞下颌关节	437.27±63.24	442.00±65.23	-2.11	0.06
右颞下颌关节	446.91±67.75	449.82±69.37	-0.96	0.36
喉	-114.91±74.98	-123.36±74.08	1.38	0.20
气管	-753.45±32.45	-759±29.15	2.78	0.02
食管	-51.00±73.25	-50.27±71.37	-0.63	0.54
左腮腺	24.27±24.46	23.09±23.70	1.44	0.18
右腮腺	24.64±21.68	23.09±21.78	1.37	0.20
左颌下腺	71.00±20.13	70.91±20.32	0.27	0.80
右颌下腺	118.19±151.11	71.55±17.16	1.00	0.34
甲状腺	146.09±26.60	145.36±26.84	1.62	0.14
咽上缩肌	84.36±22.96	85.27±22.84	-0.64	0.53
咽中缩肌	64.82±17.77	64.36±16.50	0.64	0.53
咽下缩肌	56.82±9.50	56.55±9.60	0.90	0.39

表3 去伪影前后整体口腔和下颌骨平均CT值的比较( $\bar{x}\pm s$ )

Table 3 Comparison of mean CT values of the overall oral cavity and mandible before and after artifact removal (*Mean±SD*)

危及器官	平均CT值/HU		t值	P值
	去伪影组	有伪影组		
口腔	13.18±82.29	17.91±86.36	-1.23	0.25
下颌骨	889.09±78.67	892.73±86.19	-0.87	0.41

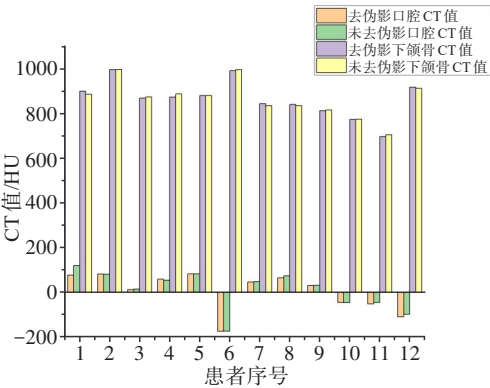


图2 去伪影前后口腔和下颌骨CT值柱状图

Figure 2 Bar graph of CT values of oral cavity and mandible before and after artifact removal

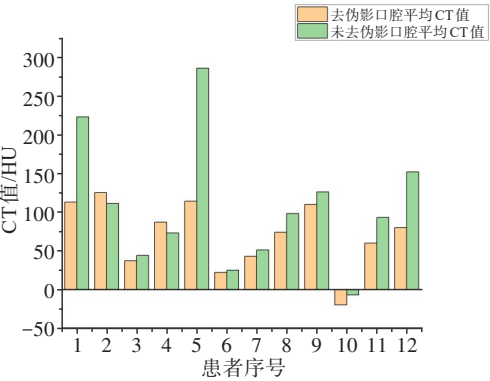


图3 近伪影层面口腔去伪影前后CT值柱状图

Figure 3 Bar graph of CT value of oral cavity artifact removal at the artifact level

准确。精准放疗流程包括精准定位、精准计划以及精准摆位治疗,放疗的每个步骤都要求获取精准的医学影像数据。GE公司的Discovery RT设备里的MAR算法对于有金属伪影的CT图像有着良好的去伪影功能。首先所有OAR的靶区DSC均超过0.75,HD均小于4 mm,达到较好的重叠状态,喉、口腔、下颌骨的HD稍高,与已有研究报道的结果相近<sup>[14-16]</sup>。但大部分文章中分析整体结构的影像,由于伪影大小以及器官体积的影响,自动勾画以及剂量分布整体影响较小,很少提及逐层

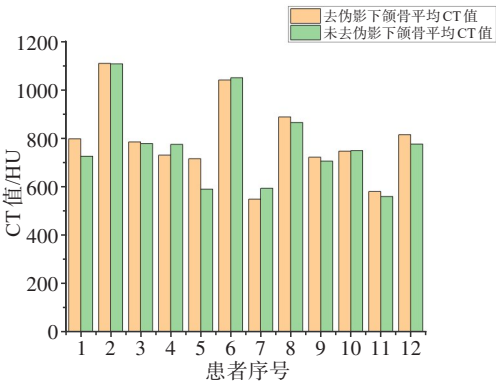


图4 近伪影层面下颌骨去伪影前后CT值柱状图

Figure 4 Bar graph of CT values of mandible artifact removal at the artifact level

表4 伪影较近层面口腔和下颌骨去伪影前后平均CT值的比较( $\bar{x}\pm s$ )

Table 4 Comparison of the mean CT values of oral cavity and mandible at the artifact level before and after artifact removal (*Mean±SD*)

危及器官	平均CT值/HU		t值	P值
	去伪影组	有伪影组		
口腔	70.08±43.39	105.92±83.27	-2.23	0.04
下颌骨	707.08±223.77	689.08±225.19	1.33	0.21

勾画以及逐层计划的影响<sup>[17-18]</sup>。本文在总体研究的基础上,逐层分析与伪影区域较近层面的影响,由表3及表4可知,虽然口腔及下颌骨区域整体去伪影前后平均CT值无统计学差异,但距离伪影较近层面口腔CT值两组比较具有统计学差异。因此伪影影响是局部的,像口咽癌、舌癌、鼻咽癌放疗时要注意局部有伪影区域的靶区以及正常器官的勾画及剂量。本文的结果也指导临床医生要对自动勾画的口腔进行二次修改<sup>[19]</sup>,宋威等的研究也表明这一点。其次计划的准确性与定位CT值准确性具有很大相关性,本文同样研究了去伪影前后各个组织的CT值变化,由表2可知仅在气管上平均CT值两组比较有统计学差异( $P<0.05$ ),其他组织无统计学差异,可能的原因是MAR算法对于低密度组织的CT值改变较大。从表3及图2看出去除伪影前后整个口腔和下颌骨的平均CT值无统计学差异( $P>0.05$ )。原因可能在于伪影区域在整个口腔和下颌骨结构中所占的体积比重较小,平均计算后CT值趋于一致。如果只统计伪影层面的部分口腔和下颌骨,仅口腔的平均CT值有显著差异。而伪影层面的下颌骨平均CT值差异明显增大但无统计学差异( $P>0.05$ ),原因可能在于下颌骨属于高密度结构且伪影CT值数值影响下颌骨区域所占比重较小故平均计算后差异并不明显。另外放射状伪影和下颌骨位置关系决定了伪影影响范围所占比

表 5 各组织去伪影前后平均照射剂量比较( $\bar{x}\pm s$ )

Table 5 Comparison of irradiation dose before and after artifact removal in each tissue (Mean±SD)

危及器官	平均剂量值/cGy		t值	P值
	去伪影组	未去伪影组		
左颞叶	623.13±697.43	622.65±696.77	0.737	0.475
右颞叶	675.62±711.11	675.04±710.29	0.908	0.382
脑干	990.48±1 009.99	990.64±1 010.43	-0.210	0.837
脊髓	1 731.44±1 031.12	1 732.38±1 031.62	-0.791	0.444
视交叉	1 301.56±1899.51	1 300.72±1 898.00	0.679	0.510
左视神经	878.13±1 096.88	871.63±1 086.48	1.711	0.115
右视神经	1 235.74±1 563.25	1 234.43±1 560.20	0.257	0.802
左耳蜗	2 234.05±2 483.71	2 235.01±2 484.87	-0.253	0.805
右耳蜗	2 280.97±2 474.35	2 285.22±2 479.77	-0.976	0.348
左咽鼓管	2 450.82±2 698.74	2 449.88±2 698.87	0.475	0.643
右咽鼓管	2 537.15±2 729.42	2 538.45±2 728.63	-0.463	0.652
左内耳道	1 929.09±2 303.17	1 932.48±2 306.46	-1.371	0.198
右内耳道	2 024.37±2 416.56	2 025.92±2 418.40	-0.598	0.562
左鼓室	2 059.66±2 179.91	2 058.07±2 179.48	0.578	0.574
右鼓室	2 110.39±2 291.55	2 115.34±2 295.94	-1.735	0.108
左前庭	1 960.02±2 112.82	1 958.93±2 110.67	0.239	0.815
右前庭	1 994.97±2 199.56	1 994.48±2 196.88	0.160	0.876
左内耳	2 080.22±2 250.33	2 078.58±2 248.49	0.560	0.586
右内耳	2 107.78±2 287.45	2 109.62±2 288.87	-0.756	0.464
左中耳	2 210.64±2 394.48	2 210.71±2 396.41	-0.030	0.976
右中耳	2 297.29±2 456.58	2 299.78±2 458.20	-0.792	0.444
左眼球	310.59±285.49	309.63±284.71	0.980	0.348
右眼球	265.88±274.73	265.86±274.85	0.027	0.979
左晶状体	134.38±127.28	131.03±124.69	1.865	0.089
右晶状体	162.76±152.93	162.98±152.79	-0.185	0.857
垂体	2 633.83±2 789.15	2 636.32±2 791.79	-0.691	0.504
下颌骨	2 400.5±1 698.4	2 400.98±1 699.65	-0.223	0.827
口腔	1 940.15±1 754.98	1 930.91±1 745.68	1.376	0.194
喉	3 804.36±2 279.00	3 803.94±2 278.88	0.281	0.784
气管	2 358.36±1 015.87	2 358.14±1 017.53	0.120	0.907
食管	2 191.91±1 002.18	2 192.19±1 003.73	-0.181	0.860
左腮腺	2 021.74±1 436.29	2 019.70±1 434.03	1.400	0.187
右腮腺	1 789.18±1 307.69	1 788.50±1 306.92	0.394	0.700
左颌下腺	3 959.04±1 864.52	3 958.42±1 864.16	0.203	0.842
右颌下腺	3 632.63±2 033.76	3 632.04±2 032.96	0.280	0.784
甲状腺	3 918.78±1 905.81	3 920.82±1 906.33	-1.624	0.130
咽上缩肌	4 112.32±2 228.62	4 114.97±2 229.38	-2.417	0.034
咽中缩肌	4 037.52±2 013.18	4 040.43±2 014.99	-1.517	0.158
咽下缩肌	3 536.28±2 654.78	3 536.16±2 653.07	0.048	0.962

重较小。照射剂量的准确性是精准放射治疗的关键步骤,照射剂量计算基于电子密度,而电子密度与CT值

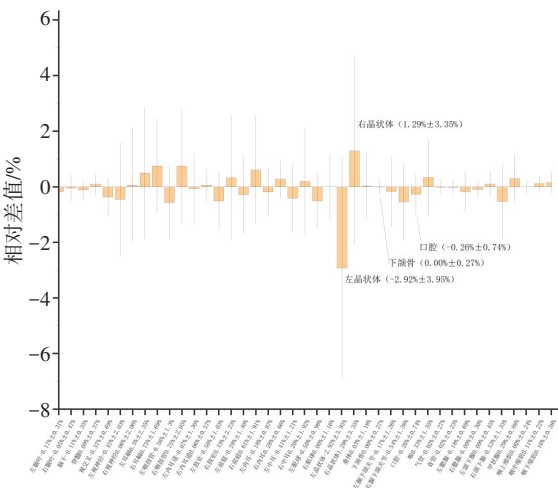


图 5 各组织去伪影前后照射剂量相对差值

Figure 5 Percentage of irradiation dose differences for each tissue before and after artifact removal

关系密切,因此CT值的准确性决定了剂量计算的准确性<sup>[20-21]</sup>。本研究统计了去伪影前后放射治疗计划剂量的差异,研究发现仅有咽上缩肌两组具有统计学差异( $P=0.034$ ),其他组织两组无统计学差异。咽上缩肌靠近伪影区域,临床勾画很少。本文统计咽上缩肌去伪影前后差异显著,对临床医生勾画具有指导意义。从去伪影前后照射剂量变化来看,各组之间的相对差异为0~6.45%。左晶状体(-2.92%±3.95%)和右晶状体(1.29%±3.35%)浮动范围更大。提示在计划设计时务必要考虑到这些剂量误差带来的影响,如患者放疗反应加大,或者剂量超出阈值,增加放疗风险。而在伪影层面的口腔组织,它的剂量相对差值为-0.26%±0.74%,下颌骨的剂量相对差值为0±0.27%。虽然差异不大,但是也显示出去伪影技术带来的影响。临床同样可以采用对伪影区采用CT值校正和使用动态扩增CT/电子密度转换曲线<sup>[22]</sup>。

为了更好地消除伪影对放疗临床的应用,处理伪影的方法也很多,其中包括扫描条件的选择,近几年随着深度学习技术,尤其是计算机处理技术在图像伪影中运用较多,同样能够得出较好的临床应用结果<sup>[23-24]</sup>。黄霞等<sup>[25]</sup>利用卷积神经网络的方法消除宫颈CT的金属伪影,通过仿真以及临床数据试验,最大程度上保留组织结构的同时,有效消除金属伪影。因为伪影的影响涉及全身组织结构,很大程度影响放疗患者以及放疗计划的执行。

本文通过去伪影技术对放疗计划应用的研究,得出伪影对于距离伪影区域较远的结构影响较小,对于除伪影区域以外的各组织CT平均值影响也很小。仅对于伪影区域的口腔平均CT值有显著影响。



照射剂量方面,仅显示咽上缩肌有显著差异,对于临床具有一定的指导意义。综上所述,对待去伪影技术应怀着谨慎的态度。在实际计划设计时,可以采用去伪影图像勾画正常组织,剂量计算使用未去伪影的图像或者单对伪影影响区域进行去伪影计算,从而合成由去伪影图像以及未去伪影图像共同组成的新DICOM文件。

## 【参考文献】

- [1] 刘万阳, 许青. 螺旋断层放射治疗技术在头颈部肿瘤中的应用[J]. 中国医疗器械信息, 2022, 28(1): 52-54.  
Liu WY, Xu Q. Application of tomography in the treatment for head and neck cancer[J]. China Medical Device Information, 2022, 28(1): 52-54.
- [2] 赫捷, 王绿化, 李晔雄, 等. 放射治疗质量控制基本指南[J]. 上海医学, 2018, 41(10): 577-583.  
He J, Wang LH, Li YX, et al. Basic guidelines of quality control for radiotherapy[J]. Shanghai Medical Journal, 2018, 41(10): 577-583.
- [3] 王勇, 孙彦泽, 赵培峰, 等. 调强放疗中金属植入物及伪影的消减技术[J]. 辐射研究与辐射工艺学报, 2020, 38(4): 45-50.  
Wang Y, Sun YZ, Zhao PF, et al. Reduction in metal implants and artifacts in intensity modulated radiotherapy[J]. Journal of Radiation Research and Radiation Processing, 2020, 38(4): 45-50.
- [4] 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.
- [5] 劳峥, 毕帆, 樊文慧, 等. 去伪影算法对头颈部肿瘤患者钛板植入术后放疗的剂量影响[J]. 中国口腔颌面外科杂志, 2021, 19(3): 248-252.  
Lao Z, Bi F, Fan WH, et al. Impact of metal artifact reduction algorithms on dosimetry of postoperative radiotherapy for head and neck cancer patients with titanium plate implantation [J]. China Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, 2021, 19(3): 248-252.
- [6] 宋威, 鹿红, 马珺, 等. 金属伪影对鼻咽癌放疗危及器官自动勾画的影响[J]. 中国医学物理学杂志, 2021, 38(10): 1185-1189.  
Song W, Lu H, Ma J, et al. Effects of metal artifacts on automatic segmentation of organs-at-risk in patients receiving radiotherapy for nasopharyngeal carcinoma[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2021, 38(10): 1185-1189.
- [7] 韩若臻, 陈思乐, 邱恩毅, 等. 智能去金属伪影技术在放疗中的应用[J]. 浙江医学教育, 2020, 19(6): 55-57.  
Han RZ, Chen EL, Qiu EY, et al. Radiotherapy application of intellectual metal artifacts reduction technology[J]. Zhejiang Medical Education, 2020, 19(6): 55-57.
- [8] Rusanov B, Hassan GM, Reynolds M, et al. Deep learning methods for enhancing cone-beam CT image quality toward adaptive radiation therapy: a systematic review[J]. Med Phys, 2022, 49(9): 6019-6054.
- [9] Thibault JB, Sauer K, Bouman CA, et al. Three-dimensional statistical modeling for image quality improvements in multi-slice helical CT[J]. <https://www.researchgate.net/publication/228692577>
- [10] Brouwer CL, Steenbakkers RJ, Bourhis J, et al. CT-based delineation of organs at risk in the head and neck region: DAHANCA, EORTC, GORTEC, HKNPCSG, NCIC CTG, NCRI, NRG Oncology and TROG consensus guidelines[J]. Radiother Oncol, 2015, 117(1): 83-90.
- [11] 周含, 赵本新, 朱锡旭, 等. 危及器官自动勾画在鼻咽癌、乳腺癌与直肠癌中应用研究[J]. 生物医学工程与临床, 2022, 26(5): 580-587.  
Zhou H, Zhao BX, Zhu XX, et al. Clinical evaluation of automatic commercial software for intensity modulation radiotherapy in nasopharyngeal carcinoma, breast cancer and rectum cancer [J]. Biomedical Engineering and Clinical Medicine, 2022, 26(5): 580-587.
- [12] 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.
- [13] Valentini V, Boldrini L, Damiani A, et al. Recommendations on how to establish evidence from auto-segmentation software in radiotherapy [J]. Radiother Oncol, 2014, 112(3): 317-320.
- [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] van der Veen J, Willems S, Deschuymer S, et al. Benefits of deep learning for delineation of organs at risk in head and neck cancer[J]. Radiother Oncol, 2019, 138: 68-74.
- [16] van Rooij W, Dahele M, Ribeiro Brandao H, et al. Deep learning-based delineation of head and neck organs at risk: geometric and dosimetric evaluation[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2019, 104(3): 677-684.
- [17] 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.
- [18] 王沛沛, 李金凯, 李彩虹, 等. 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[J]. 中国医学物理学杂志, 2019, 36(11): 1346-1349.  
Wang PP, Li JK, Li CH, et al. Application of automatic organs-at-risk segmentation based on artificial intelligence technology in thoracic tumors[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2019, 36(11): 1346-1349.
- [19] van Dijk LV, Van den Bosch L, Aljabar P, et al. Improving automatic delineation for head and neck organs at risk by deep learning contouring[J]. Radiother Oncol, 2020, 142: 115-123.
- [20] Kim C, Pua R, Lee CH, et al. An additional tilted-scan-based CT metal-artifact-reduction method for radiation therapy planning[J]. J Appl Clin Med Phys, 2019, 20(1): 237-249.
- [21] Tsukihara M, Noto Y, Sasamoto R, et al. Initial implementation of the conversion from the energy-subtracted CT number to electron density in tissue inhomogeneity corrections: an anthropomorphic phantom study of radiotherapy treatment planning[J]. Med Phys, 2015, 42(3): 1378-1388.
- [22] Mullins JP, Grams MP, Herman MG, et al. Treatment planning for metals using an extended CT number scale[J]. J Appl Clin Med Phys, 2016, 17(6): 179-188.
- [23] 胡亚辉, 吴月, 张新伟, 等. 单能量去金属伪影算法在心脏起搏器中去伪影效果评价[J]. 中国医学计算机成像杂志, 2024, 30(2): 186-190.  
Hu YH, Wu Y, Zhang XW, et al. Evaluation of single-energy metal artifact reduction algorithm in cardiac pacemaker implantation [J]. Chinese Computed Medical Imaging, 2024, 30(2): 186-190.
- [24] Angella S, Indrati R, Yoshandi TM. Image quality improvement of SENSE parallel imaging MRI post-acquisition using denoising non-local mean filter technique[J]. Appl Mech Mater, 2023, 913: 89-99.
- [25] 黄霞, 许乙凯, 张煜. 基于卷积神经网络的宫颈CT图像的金属伪影去除[J]. 中国医学物理学杂志, 2022, 39(12): 1466-1472.  
Huang X, Xu YK, Zhang Y. Metal artifact reduction in cervical CT images using convolutional neural network[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2022, 39(12): 1466-1472.

(编辑: 薛泽玲)