

DOI:10.3969/j.issn.1005-202X.2024.02.004

医学放射物理

个体化塑形的鼻咽癌多感兴趣区图像配准摆位误差

曹潘潘¹, 王维青², 成宇¹, 雷金艳¹, 李师¹, 施小龙¹, 彭海燕¹, 靳富¹

1. 重庆大学附属肿瘤医院放射物理中心, 重庆 400030; 2. 临沂市第三人民医院影像科, 山东 临沂 276000

【摘要】目的:探究鼻咽癌个体化塑形多感兴趣区图像配准对摆位误差的影响。**方法:**随机选取43例鼻咽癌放疗的患者, 采用发泡胶个体化塑形联合头颈肩热塑膜对其进行体位固定, 每周一次CBCT摆位校准。在CBCT图像上, 将感兴趣区(ROI)划分为临床使用的全ROI(ROI_{PTV})和7个包含不同颈段结构的局部ROI($ROI_{\text{蝶窦}}$ 、 $ROI_{\text{寰椎椎}}$ 、 $ROI_{\text{颈3}}$ 、 $ROI_{\text{颈4}}$ 、 $ROI_{\text{颈5}}$ 、 $ROI_{\text{颈6}}$ 、 $ROI_{\text{颈7}}$), 分别与定位CT图像配准, 记8个ROI在头脚(SI)、左右(LR)、腹背(AP)、Pitch、Roll、Yaw方向的配准误差。**结果:**SI方向 $ROI_{\text{颈7}}$ 的摆位误差在0.3 cm以内的占89.74%, 其余ROI在0.3 cm以内均占90%以上。LR方向随着颈段往上, 摆位误差在0.3 cm以内的占比逐渐增加, $ROI_{\text{颈7}}$ 、 $ROI_{\text{颈6}}$ 、 $ROI_{\text{颈5}}$ 摆位误差在0.3 cm以内的占比分别为76.78%、81.70%和85.26%, 其余ROI占比均在90%以上; AP方向除 $ROI_{\text{寰椎椎}}$ 和 $ROI_{\text{颈3}}$ 外, 其余ROI摆位误差在0.3 cm以内的占比均低于90%。 $ROI_{\text{蝶窦}}$ 、 $ROI_{\text{寰椎椎}}$ 、 $ROI_{\text{颈3}}$ 、 $ROI_{\text{颈4}}$ 与 ROI_{PTV} 在SI方向的摆位误差均呈显著正相关($R=0.94, 0.95, 0.90, 0.83$); $ROI_{\text{寰椎椎}}$ 与 $ROI_{\text{颈3}}$ 、 ROI_{PTV} 与 $ROI_{\text{颈3}}$ 在LR方向的摆位误差均呈显著正相关($R=0.95, 0.91, 0.91$); AP方向 ROI_{PTV} 与 $ROI_{\text{寰椎椎}}$ 、 $ROI_{\text{颈3}}$ 的摆位误差均呈显著正相关($R=0.88, 0.90$)。8个ROI的外扩为0.38~1.01 cm, 其中 $ROI_{\text{颈6}}$ 与 $ROI_{\text{颈7}}$ 在AP方向的外扩均超过0.90 cm, $ROI_{\text{颈7}}$ 在SI方向的外扩达到0.95 cm。**结论:** ROI_{PTV} 与 $ROI_{\text{蝶窦}}$ 、 $ROI_{\text{寰椎椎}}$ 、 $ROI_{\text{颈3}}$ 在SI、LR和AP方向均存在显著相关性; 随着颈段从第三颈椎往下, 鼻咽癌患者分段摆位误差逐渐增大; 头颈部鼻咽癌患者用发泡胶进行个体化塑形时, 鼻咽部和颈椎区域需分段进行外扩。

【关键词】鼻咽癌; 个体化塑形; 多感兴趣区; 摆位误差

【中图分类号】R318; R811.1

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2024)02-0151-07

Setup error analysis of image registration using various regions of interest after individualized nasopharyngeal carcinoma radiotherapy immobilization

CAO Panpan¹, WANG Weiqing², CHENG Yu¹, LEI Jinyan¹, LI Shi¹, SHI Xiaolong¹, PENG Haiyan¹, JIN Fu¹

1. Radiation Physics Center, Chongqing University Cancer Hospital, Chongqing 400030, China; 2. Department of Imaging, Linyi Third People's Hospital, Linyi 276000, China

Abstract: Objective To explore the effects of image registration using various regions of interest (ROI) on the setup error for nasopharyngeal carcinoma (NPC) patients who were immobilized individually. **Methods** Forty-three NPC patients who required radiotherapy were enrolled. The patients were immobilized with customized plastic foam and thermoplastic mask, and CBCT verification was performed once a week. In CBCT images, ROI was divided into the whole ROI (ROI_{PTV}) and 7 local ROI containing different cervical structures ($ROI_{\text{sphenoid sinus}}$, $ROI_{\text{atlantoaxial}}$, ROI_{neck3} , ROI_{neck4} , ROI_{neck5} , ROI_{neck6} , and ROI_{neck7}), which were then used for registrations with localized CT image. The setup errors in superior-inferior (SI), left-right (LR), anterior-posterior (AP), Pitch, Roll, and Yaw directions were recorded. **Results** In SI direction, the setup errors within 0.3 cm accounted for 89.74% for ROI_{neck7} , and more than 90% for the other ROI. The proportion of setup errors within 0.3 cm gradually increased with the neck upward in LR direction, and they were 76.78%, 81.70%, 85.26%, and above 90% for ROI_{neck7} , ROI_{neck6} , ROI_{neck5} , and the other ROI, respectively. In AP direction, the proportions of setup errors within 0.3 cm were less than 90%, except for $ROI_{\text{atlantoaxial}}$ and ROI_{neck3} . The setup errors of $ROI_{\text{sphenoid sinus}}$, $ROI_{\text{atlantoaxial}}$, ROI_{neck3} , and ROI_{neck4} were significantly positively correlated with ROI_{PTV} in SI direction, and the correlation coefficients (R) were 0.94, 0.95, 0.90, and 0.83, respectively. In LR direction, there were positive correlations between the setup errors of $ROI_{\text{atlantoaxial}}$ and $ROI_{\text{sphenoid sinus}}$ ($R=0.95$), ROI_{neck3} and $ROI_{\text{sphenoid sinus}}$ ($R=0.91$), ROI_{PTV} and ROI_{neck3} ($R=0.91$). The setup errors of ROI_{PTV} in AP

【收稿日期】2023-11-12

【基金项目】重庆市科卫联合医学科研项目(2022DBXM005)

【作者简介】曹潘潘, 主管技师, 研究方向: 肿瘤放射治疗, E-mail: p18623193021@163.com

【通信作者】彭海燕, 主管技师, 研究方向: 肿瘤放射治疗, E-mail: 13668175902@163.com

direction were positively correlated with $ROI_{\text{atlantoaxial vertebrae}}$ and ROI_{neck3} ($R=0.88, 0.90$). The margins of all ROIs ranged from 0.38 cm to 1.01 cm. The extension of ROI_{neck6} and ROI_{neck7} in AP direction exceeded 0.9 cm, and the extension of ROI_{neck7} reached 0.95 cm in SI direction. **Conclusion** ROI_{PTV} and $ROI_{\text{sphenoid sinus}}$, $ROI_{\text{atlantoaxial}}$, ROI_{neck3} are significantly correlated in SI, LR, and AP directions. The setup error of nasopharyngeal carcinoma patients gradually increases with the neck down. The nasopharyngeal and cervical regions need to be expanded in segments when patients are immobilized individually.

Keywords: nasopharyngeal carcinoma; individualized immobilization; multiple regions of interest; setup error

前言

鼻咽癌是一种发生在鼻咽上皮的非淋巴细胞癌,有明显的区域性,好发于东亚和东南亚地区;中国人鼻咽癌发病率约为10万分之3,是白种人的7倍^[1-2]。由于鼻咽部隐秘复杂,手术较困难,且对放疗敏感,因此放疗成为鼻咽癌患者首选治疗方式^[3]。调强放疗(Intensity-Modulated Radiotherapy, IMRT)是目前主流的高精度放疗技术,可产生高度适形的放疗计划,肿瘤接受高剂量照射同时降低对周围正常组织的照射剂量^[4],可使早期鼻咽癌患者5年局部区域无复发生存率从73.0%~84.0%上升为93.5%~100.0%^[5-8]。精确的照射离不开精确的摆位,IMRT技术对鼻咽癌放疗摆位精度要求更高^[9]。鼻咽癌放疗中,常规需照射鼻咽和颈部淋巴结区域,通常采用标准头枕加热塑颈肩膜进行头颈固定,但由于颈部活动度大,摆位重复性较差^[10]。近年来发泡胶个体化塑形加热塑颈肩膜的新型固定方式逐步应用于临床,以提高鼻咽癌放疗摆位的重复性,减小摆位误差。采用新型固定方式行锥形束计算机断层扫描(Cone-Beam Computed Tomography, CBCT)摆位验证时,常选择全兴趣区(ROI_{PTV})进行配准;然而在放疗过程中,由于鼻咽部并非解剖学上的刚性结构,患者肿瘤消退/体重减轻以及姿势改变等因素都会导致靶区精确配准存在困难,且 ROI_{PTV} 配准无法准确将这种局部偏差校准到定位CT位置^[11-15]。有研究报道头颈部在常规固定方式下,采用仅包含第5、6、7颈椎结构的局部兴趣区($ROI_{\text{颈5}}$ 至 $ROI_{\text{颈7}}$)进行图像配准,得到的摆位误差与采用 ROI_{PTV} 时的差异存在统计学意义,且由该配准误差计算的靶区外扩,在腹背(AP)方向超过0.7 cm^[16]。目前针对新型固定方式的鼻咽癌患者,行CBCT摆位校准时采用何种ROI进行图像配准以纠正摆位,并如何指导头颈部靶区外扩未见报道。因此,本研究使用发泡胶个体化塑形加热塑颈肩膜的新型固定方式,按骨性结构进行颈部分段,获取全 ROI_{PTV} 和7个局部ROI,分析鼻咽癌患者在放疗中不同ROI的动度变化。

1 材料与方法

1.1 研究对象

随机选取2020年8月至2022年6月在重庆大学附属肿瘤医院进行鼻咽癌放疗的患者43例,其中男性28例,女性15例。年龄13~77岁,平均年龄51.9岁,中位年龄52岁(伦理编号:CZLS2022256-A)。所有患者均采用发泡胶个体化塑形联合头颈肩热塑膜进行体位固定。

1.2 新型体位固定

将透明的“工”形条置于碳素头颈肩板上,并将防水布袋平铺于上。发泡胶个体化塑形流程如下:先将B料(复合聚醚类多元醇)倒入A料(异氰酸聚亚甲基聚亚苯基酯)中,混合均匀后倒入防水布袋(图1)。嘱患者脱去衣物仰卧于颈肩板和防水布袋上,患者两外耳孔和床的距离尽量保持一致,听眦线垂直于床面。患者双肩放松自然下垂,双手置于体侧,头颈肩和躯干呈一条直线。两名放疗师用手移动防水布袋,使混合液充分接触包裹人体,直至混合液完全发泡膨胀并冷却固定成型,对患者肩部和颈部位置的发泡胶进行塑形、修整。将头颈肩热塑膜置于水温70℃的恒温水箱中软化至透明后取出,覆盖并贴合患者头颈肩部,对眉弓、鼻尖、下颌、锁骨等体表标记处进行塑形并与发泡胶结合固定,冷却20 min。个体化塑形结束后,在模具上贴上胶布,标记患者姓名、制模方式、制模日期,完成制模。

1.3 图像配准和数据采集

使用飞利浦大孔径CT(Brilliance, CT Big Bore, Philips, Cleveland, OH)进行鼻咽癌患者定位扫描,扫描范围为眉弓上1 cm至锁骨下1 cm,层厚3 mm。扫描完成后将图像传送至Eclipse治疗计划系统,由物理师制定计划,并在Varian IX加速器上执行。患者每周行一次kV级CBCT图像验证,使用常规 ROI_{PTV} 进行配准并治疗,配准区域:前界至下颌骨、鼻尖前缘,后界至枕骨和棘突后缘,上界自图像起始区域,下界至第七颈椎下缘,左右界至两侧耳内缘^[17]。每位患者扫描3~7次不等,共计224次CBCT图像。治

疗结束后在医科达(MOSAIQ)系统中获取患者的离线CBCT影像,分别进行不同局部靶区的配准:从图像起始处至寰枢椎,包含枕骨、蝶骨、鼻尖前缘软组织区域为ROI_{蝶寰};寰枢椎至嘴唇前缘区域为ROI_{寰枢椎};第3颈椎及下颌骨区域为ROI_{颈3};第四颈椎为ROI_{颈4};第5颈椎为ROI_{颈5};第六颈椎为ROI_{颈6};第七颈椎为ROI_{颈7}(图1)。因六维床对旋转误差的校

正,有助于进一步提高线性误差校正精度^[18],本研究针对所有CBCT图像,分别选取上述ROI,采用灰度匹配算法^[19],与定位CT进行六维离线配准。记录上述所有ROI在头脚(SI)、左右(LR)、AP以及Pitch(绕X轴旋转)、Yaw(绕Y轴旋转)、Roll(绕Z轴旋转)方向的摆位误差。

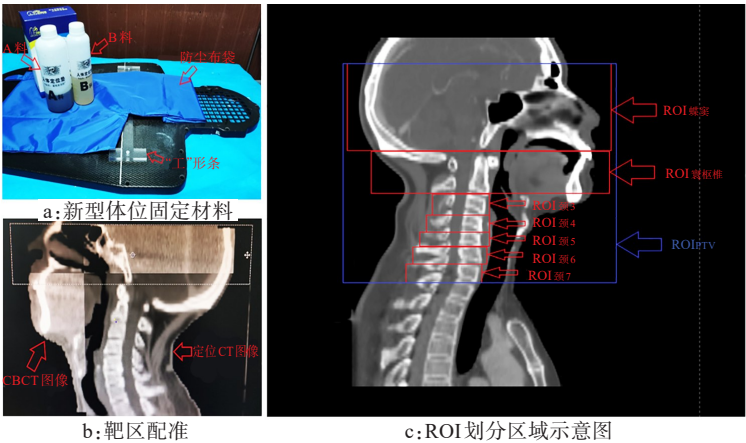


图1 个体化体位固定和配准流程
Figure 1 Individualized immobilization and registration process

1.4 统计学方法

对所有数据在SI、LR、AP方向上的三维误差进行分析^[20]。在 Graphpad prism 8.3.0 软件中,采用 Spearman 法对 8 个 ROI 之间的相关性进行分析。计算临床靶区 (Clinical Target Volume, CTV) 与计划靶区 (Planning Target Volume, PTV) 之间的边界外放值,计算公式如下^[21]:

$$M=2.5\Sigma+0.7\sigma$$

其中, Σ 为 SI、LR 和 AP 方向上系统误差的标准差; σ 为 SI、LR 和 AP 方向上随机误差的标准差。

2 结果

2.1 不同 ROI 下的摆位误差各区间占比分析

8 个 ROI 在 SI、LR、AP 方向的摆位误差如图 2 所示。224 次 CBCT 中,不同局部 ROI 下的摆位误差在各方向上的误差分布范围存在差异,鼻咽癌常规摆位误差阈值为 0.3 cm,ROI_{PTV} 在 3 个方向摆位误差 0.3 cm 内的百分比均大于 90%。在 SI 方向,ROI_{颈7} 摆位误差在 0.3 cm 内的占比为 89.74%,其余 ROI 均为 90% 以上。在 LR 方向,随着颈段往上,摆位误差在 0.3 cm 内的占比增加,ROI_{颈7}、ROI_{颈6}、ROI_{颈5} 摆位误差在 0.3 cm 内的占比分别为 76.78%、81.70% 和 85.26%,其余 ROI 占比均大于 90%。在 AP 方向,仅 ROI_{寰枢椎}、

ROI_{颈3} 摆位误差基本均在 0.3 cm 内,占比分别为 94.64% 和 96.88%。

以 ROI_{蝶寰} 为参考,将所有局部 ROI 的摆位误差减去 ROI_{蝶寰} 的摆位误差,以进一步确定鼻咽部摆位误差纠正后,照射范围内其他区域的相对动度,结果见图 3。在 SI 和 LR 方向,ROI_{颈3} 的摆位误差均在 0.3 cm 内。在 SI 方向,所有 ROI 摆位误差在 0.3 cm 内的占比均大于 90%。在 LR 方向,随着颈段往上,摆位误差在 0.3 cm 内的占比增加,ROI_{颈7} 和 ROI_{颈6} 在 0.3 cm 内的摆位误差占比分别为 80.35% 和 89.73%,其余 ROI 占比均为 90% 以上。在 AP 方向,越远离鼻咽部,摆位误差在 0.3 cm 内的占比越低,ROI_{颈4}、ROI_{颈5}、ROI_{颈6} 和 ROI_{颈7} 摆位误差在 0.3 cm 内的占比分别为 85.27%、78.57%、58.94% 和 57.14%,其余 ROI 占比均大于 90%。

2.2 不同 ROI 下摆位误差之间的相关性分析

不同 ROI 下的摆位误差在 SI、LR、AP 方向的相关性见图 4。在不同方向上,随颈段往下局部 ROI 与 ROI_{PTV} 摆位误差的相关性均有减弱趋势:在 SI 方向,ROI_{蝶寰}、ROI_{寰枢椎}、ROI_{颈3}、ROI_{颈4} 与 ROI_{PTV} 的相关性均呈显著正相关 ($R=0.94, 0.95, 0.90, 0.83$);在 LR 方向,ROI_{颈3} 与 ROI_{PTV} 的相关性最强 ($R=0.91$);在 AP 方向,ROI_{寰枢椎}、ROI_{颈3} 与 ROI_{PTV} 呈显著正相关 ($R=0.88, 0.90$)。

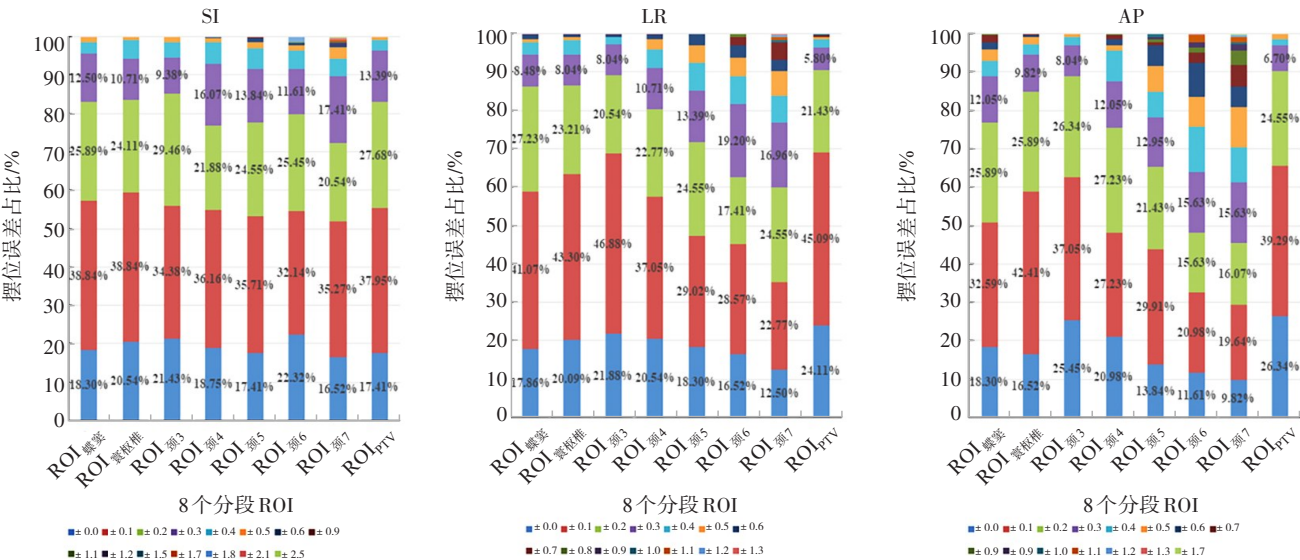


图2 在SI、LR、AP方向的摆位误差各区间百分比

Figure 2 Percentages of setup errors in SI, LR and AP directions

各区域数值,如 ± 0.1 表示摆位误差为0.1cm和-0.1cm的个数。

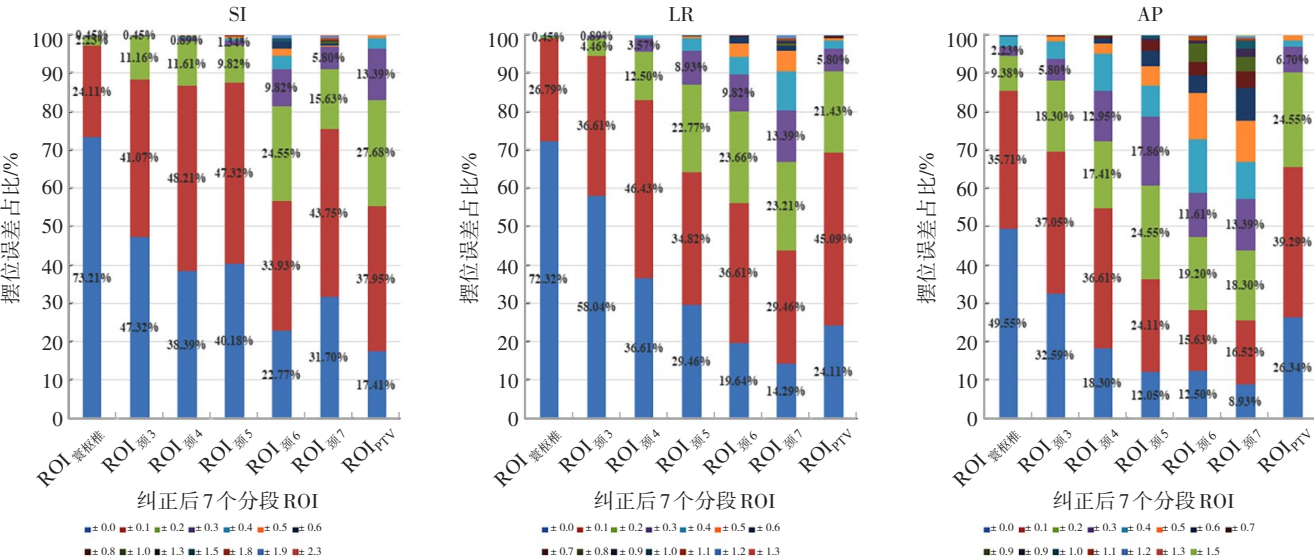


图3 校准后照射范围内其他区域的残余偏差占比

Figure 3 Percentages of residual deviations in other ROI within the irradiation range after calibration

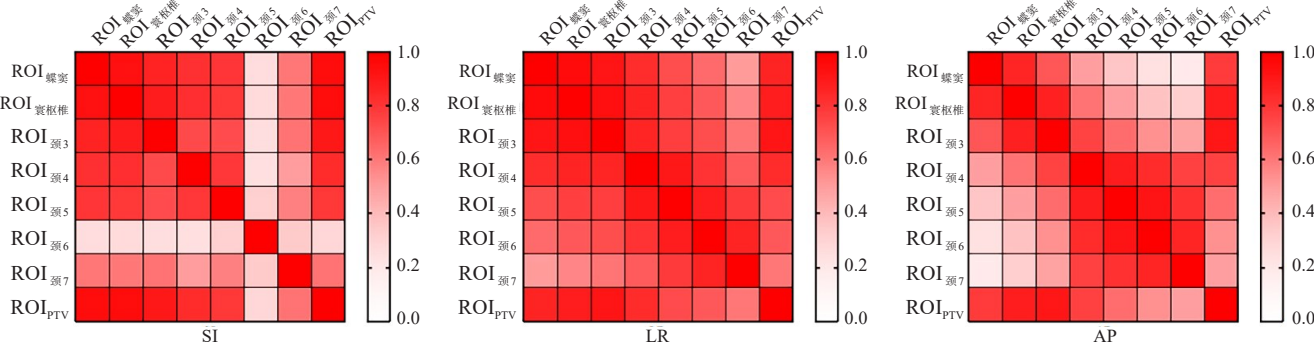


图4 ROI在SI、LR、AP方向的摆位误差相关性

Figure 4 Correlations of setup errors with various ROI in SI, LR, and AP directions

部分相邻的局部ROI之间,摆位误差也存在显著相关性:在SI方向,ROI_{颈6}与ROI_{颈7}的相关性最强($R=0.34$);在LR方向,ROI_{蝶窦}、ROI_{颈3}与ROI_{寰椎}均呈显著正相关($R=0.95, 0.94$),ROI_{颈4}、ROI_{颈6}与ROI_{颈5}均呈显著正相关($R=0.90, 0.88$),ROI_{颈7}与ROI_{颈6}的相关性最强($R=0.86$);在AP方向,ROI_{蝶窦}与ROI_{寰椎}的相关性最强($R=0.85$),ROI_{颈4}、ROI_{颈6}与ROI_{颈5}均呈显著正相关($R=0.89, 0.91$),ROI_{颈7}与ROI_{颈6}的相关性最强($R=0.85$)。

靠下的颈段如ROI_{颈6}和ROI_{颈7}在各方向上,与ROI_{PTV}和其他局部ROI的摆位误差均呈弱相关:在SI

方向,ROI_{颈6}与其余所有ROI的相关性均较弱, R 范围为0.24~0.34;在AP方向,ROI_{颈7}与ROI_{蝶窦}、ROI_{寰椎}、ROI_{颈3}、ROI_{PTV}的相关性均较弱, R 范围为0.19~0.49。

2.3 靶区外放

不同ROI下的靶区外放见表1。ROI_{颈7}在SI、LR、AP方向的外放值均最大,分别为0.95、0.85、1.01 cm。在其余细分的局部ROI中,除ROI_{颈6}在AP方向的外放值为0.91 cm外,其余ROI的外放值均为0.39~0.69 cm。与细分的局部ROI相比,ROI_{PTV}在SI与AP方向的外放值均最小,分别为0.39 cm和0.38 cm。

表1 靶区外放(cm)
Table 1 Target margins (cm)

指标	方向	ROI _{蝶窦}	ROI _{寰椎}	ROI _{颈3}	ROI _{颈4}	ROI _{颈5}	ROI _{颈6}	ROI _{颈7}	ROI _{PTV}
Σ	SI	0.13	0.12	0.13	0.13	0.14	0.17	0.30	0.12
	LR	0.14	0.14	0.12	0.16	0.19	0.22	0.26	0.13
	AP	0.18	0.13	0.17	0.16	0.21	0.28	0.31	0.12
σ	SI	0.13	0.13	0.14	0.16	0.16	0.27	0.28	0.13
	LR	0.15	0.15	0.14	0.17	0.20	0.23	0.28	0.14
	AP	0.17	0.15	0.13	0.18	0.24	0.30	0.33	0.12
靶区外放	SI	0.42	0.39	0.42	0.44	0.46	0.61	0.95	0.39
	LR	0.46	0.46	0.40	0.52	0.62	0.71	0.85	0.42
	AP	0.57	0.43	0.52	0.53	0.69	0.91	1.01	0.38

3 讨论

鼻咽癌是常见的恶性肿瘤之一,2020年全球肿瘤统计报告新发鼻咽癌13万例,死亡8万例^[22]。放疗是目前治疗鼻咽癌的重要手段,主要通过给予准确的剂量,达到根治肿瘤并减少对周围正常组织损伤的目的^[23]。鼻咽癌放疗涉及脑干、晶体、腮腺、脊髓等耐受剂量极低的敏感器官,因此确保其摆位准确性对于提高放疗疗效具有重要临床意义^[24]。

放疗过程中,鼻咽癌患者的肿瘤缩小和自身身体形态改变都会影响放疗摆位误差^[16],为此,本研究将感兴趣区细分进行数据分析,发现采用新型固定方式,AP方向上的摆位误差相比LR和SI方向仍稍大(如ROI_{颈5}在AP方向上的摆位误差超过0.3 cm的占比为21.87%,而LR和SI方向分别为14.74%和8.49%)。解剖学上蝶窦与脑干在AP方向进行连接,而鼻咽癌的肿瘤区域(Gross Tumor Volume, GTV)通常位于蝶窦附近。有研究表明,当蝶窦从治疗开始的前3~5次连续摆位误差均超过0.2 cm/2°时,为保证

治疗安全建议重新制定计划^[25-27],因此进行鼻咽癌放疗摆位时,要特别注意AP方向的摆位偏差。

鼻咽癌放疗常规需照射颈部淋巴结,研究发现在颈部尤其是ROI_{颈6}和ROI_{颈7}的摆位误差很大。ROI_{颈6}在AP、LR、SI方向摆位误差超过0.3 cm的占比分别为36.15%、18.30%和8.48%,ROI_{颈7}分别为38.84%、23.22%和10.26%,而其余ROI摆位误差超过0.3 cm的占比基本在20%以内。ROI_{颈6}和ROI_{颈7}更靠近胸椎,受锁骨、肩部等影响较大,因而较其他局部ROI存在更明显的摆位误差。有研究表明,治疗过程中,患者耸肩和肩部下沉都会对邻近靶区造成影响^[28];此外,发泡胶防水布袋表面是光滑的,发泡胶成型后,肩部区域存在一个斜坡,患者仰卧时会下滑。纠正鼻咽部的摆位误差后,对其余局部ROI的残余摆位误差进一步分析,结果发现在SI方向,ROI_{颈6}和ROI_{颈7}的残余摆位误差超过1.0 cm的占比分别为1.78%和1.8%,LR方向ROI_{颈7}的占比为1.34%,AP方向ROI_{颈6}的占比为1.34%,ROI_{颈7}的占比为1.35%。

有研究表明,当摆位误差大于1 cm时,靶区平均剂量最大偏差可达16%^[29]。由此本研究建议可在防水布袋表面增加一些凸点设计,增加摩擦力;同时头颈部肿瘤患者进行体位固定和放疗摆位过程中,应关注患者肩部,避免出现耸肩的情况。

中国鼻咽癌患者放疗最新指南中,靶区勾画常规采用“GTV+0.5 cm+0.5 cm”的方式^[30]。本研究中,ROI_{PTV}计算的外扩值在SI和AP方向均比局部ROI小,且小于0.5 cm;而颈部ROI,特别是下颈部(ROI_{颈5}至ROI_{颈7}),外扩值几乎都超过0.5 cm,由此说明采用该发泡胶固定装置的鼻咽癌患者颈部动度仍较大,常规外扩方案不能完全满足颈部照射需求。许森奎等^[17]发现采用发泡胶对鼻咽癌患者进行体位固定的效果比常规固定方式更好,特别是在颈部固定上有明显改善,颈部外扩值基本控制在0.5 cm内。本研究与上述结果稍有不同,主要原因是存在配准范围的差异:许森奎等^[17]研究中ROI区域较小,且对颈部ROI并未详细划分;本研究中ROI_{PTV}配准区域更大,下界长达第七颈椎下缘,同时将颈部详细分段为每个颈椎的单独ROI。有研究表明不同ROI的选择产生的配准结果不同,且局部摆位误差范围大于整体摆位误差^[31]。Djordjevic等^[25]报道无图像引导时,CTV-PTV外扩范围为0.45~0.93 cm,而每日图像引导时为0.23~0.68 cm。本研究采用每周一次图像引导模式进行鼻咽癌放疗,ROI_{PTV}外扩为0.38~0.42 cm,局部ROI外扩为0.39~1.01 cm。因此鼻咽癌放疗时,每周一次的CBCT图像验证是需要的,且建议使用ROI_{PTV}进行图像配准。

进一步分析发现,ROI_{PTV}与ROI_{蝶窦}、ROI_{寰椎}、ROI_{颈3}在SI、LR、AP方向均存在显著相关,ROI_{蝶窦}、ROI_{寰椎}和ROI_{颈3}在上述平移方向的外扩也与ROI_{PTV}最接近。ROI_{颈6}与ROI_{颈7}明显与ROI_{PTV}的相关性更弱,且ROI_{颈6}与ROI_{颈7}区域在AP方向的外扩均超过0.90 cm。因此为更精确地利用CBCT图像引导鼻咽癌放疗摆位,本研究建议行摆位校准时ROI_{PTV}可不考虑将ROI_{颈6}与ROI_{颈7}纳入配准区域。此外,对于靠近下颈部、肩部等区域的靶区(在此区域内的转移淋巴结),应根据解剖位置的不同,采用个性化的CTV-PTV外扩边界,以减少整体靶区外扩对各区域剂量的影响^[32]。

本研究虽然对43例鼻咽癌患者进行靶区分段,收集了224次CBCT数据进行分析,但仍存在一定的局限性:只使用了一种体位固定方式,并未将其他体位固定方式(如标准头枕加热塑头颈肩膜、真空垫加热塑头颈肩膜)纳入研究,进行横向比较;此外,本实验只考虑头颈部肿瘤中的鼻咽癌,并未将其他肿瘤

(如舌癌、鼻腔鼻窦癌、喉癌等)纳入研究。后续会进一步对如何减小患者下颈部区域的摆位误差进行详细分析。

综上所述,鼻咽癌患者行放疗时,采用个体化塑形发泡胶加热塑膜的新型固定方式,照射范围内不同区域的摆位误差仍存在较大差异,可按不同颈段进行CTV-PTV外扩;此外,放疗前行CBCT验证时,图像配准范围不包括ROI_{颈6}、ROI_{颈7},更有利于放疗的精准实施。

【参考文献】

- [1] Chang ET, Ye W, Zeng YX, et al. The evolving epidemiology of nasopharyngeal carcinoma[J]. Cancer Epidemiol Biomark Prev, 2021, 30: 1035-1047.
- [2] Chen YP, Chan A, Le QT, et al. Nasopharyngeal carcinoma[J]. Lancet, 2019, 394(10192): 64-80.
- [3] 杨俊昌, 孙晓奕, 唐从森, 等. 鼻咽癌调强放疗后颈部递推剂量限制可行性研究[J]. 中华肿瘤防治杂志, 2020, 27(17): 1380-1386. Yang JC, Sun XY, Tang CS, et al. Dose limitation of posterior neck of intensity modulated radiotherapy for nasopharyngeal carcinoma[J]. Chinese Journal of Cancer Prevention and Treatment. 2020, 27(17): 1380-1386.
- [4] Wang ZH, Zhang SZ, Zhang ZY, et al. Protecting the oral mucosa in patients with oral tongue squamous cell carcinoma treated postoperatively with intensity-modulated radiotherapy: a randomized study[J]. Laryngoscope, 2012, 122(2): 291-298.
- [5] Chua DT, Ma J, Sham JS, et al. Improvement of survival after addition of induction chemotherapy to radiotherapy in patients with early-stage nasopharyngeal carcinoma: subgroup analysis of two phase III trials[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2006, 65(5): 1300-1306.
- [6] Xiao WW, Han F, Lu TX, et al. Treatment outcomes after radiotherapy alone for patients with early-stage nasopharyngeal carcinoma[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2008, 74(4): 1070-1076.
- [7] Song CH, Wu HG, Heo DS, et al. Treatment outcomes for radiotherapy alone are comparable with neoadjuvant chemotherapy followed by radiotherapy in early-stage nasopharyngeal carcinoma [J]. Laryngoscope, 2008, 118(4): 663-670.
- [8] 吴事海, 徐钢, 仝任翠, 等. 鼻咽癌调强放疗疗效及预后影响因素分析(附691例)[J]. 现代肿瘤医学, 2022, 30(5): 801-806. Wu SH, Xu G, Quan RC, et al. Analysis of the efficacy and prognostic factors of intensity-modulated radiotherapy for nasopharyngeal carcinoma (691 cases)[J]. Modern Oncology, 2022, 30(5): 801-806.
- [9] Zhang B, Mo Z, Du W, et al. Intensity-modulated radiation therapy versus 2D-RT or 3D-CRT for the treatment of nasopharyngeal carcinoma: a systematic review and meta-analysis[J]. Oral Oncol, 2015, 51(11): 1041-1046.
- [10] 熊咏超. 发泡胶联合头颈肩膜在头颈部肿瘤放疗中的应用及其摆位误差[J]. 医疗装备, 2016, 29(5): 14-15. Xiong YC. Application of styrofoam combined with head, neck and shoulder membrane in radiotherapy for head and neck tumors and its positioning error[J]. Medical Equipment, 2016, 29(5): 14-15.
- [11] Chen AM, Daly ME, Cui J, et al. Clinical outcomes among patients with head and neck cancer treated by intensity-modulated radiotherapy with and without adaptive replanning[J]. Head Neck-J Sci Spec, 2015, 36(11): 1541-1546.
- [12] Kranen SV, Beek SV, Rasch C, et al. Setup uncertainties of anatomical sub-regions in head-and-neck cancer patients after offline CBCT guidance[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2009, 73(5): 1566-1573.
- [13] Ahn PH, Ahn AI, Lee CJ, et al. Random positional variation among the skull, mandible, and cervical spine with treatment progression during head-and-neck radiotherapy[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2009, 73(2): 626-633.
- [14] Suzuki M, Nishimura Y, Nakamatsu K, et al. Analysis of interfractional set-up errors and intrafractional organ motions during IMRT for head and neck tumors to define an appropriate planning target volume (PTV) - and planning organs at risk volume (PRV) - margins [J].

- Radiother Oncol, 2006, 78(3): 283-290.
- [15] Zhang L, Garden AS, Lo J, et al. Multiple region-of-interest analysis of setup uncertainties for head-and-neck cancer radiotherapy[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2006, 64(5): 1559-1569.
- [16] Zhong RM, Song Y, Yan YY, et al. Analysis of which local set-up errors can be covered by a 5-mm margin for cone beam CT-guided radiotherapy for nasopharyngeal carcinoma[J]. Brit J Radiol, 2018, 91(1088): 20160849.
- [17] 许森奎,姚文燕,胡江,等. 鼻咽癌发泡胶个体化塑形与标准化头枕放疗体位固定精确度比较[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2015, 24(2): 196-199.
- Xu SK, Yao WY, Hu J, et al. The research of accuracy immobilized using individualized polyurethane scaling agent compared to positioning foam with standard plastics pillow in the radiotherapy of nasopharyngeal carcinoma [J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2015, 24(2): 196-199.
- [18] 张丙新,石祥礼,梁广立,等. 三维床与六维床对肺癌图像引导放疗摆位误差校正能力的比较[J]. 重庆医学, 2022, 51(10): 1710-1713.
- Zhang BX, Shi XL, Liang GL, et al. Comparison of setup error correction ability between three-dimensional bed and six dimensional bed in image-guided radiotherapy for lung cancer[J]. Chongqing Medicine, 2022, 51(10): 1710-1713.
- [19] 赵夫群. 基于灰度信息的图像配准方法研究[J]. 计算机与数字工程, 2019, 47(10): 2568-2572.
- Zhao FQ. Image registration method based on gray information[J]. Computer and Digital Engineering, 2019, 47(10): 2568-2572.
- [20] 薛文凤. 三维空间坐标的旋转算法[J]. 电脑编程技巧与维护, 1995, 6: 59-60.
- Xue WF. Rotation algorithm for 3D spatial coordinates[J]. Computer Programming Skills and Maintenance, 1995, 6: 59-60.
- [21] Marcel VH, Peter R, Coen R, et al. The probability of correct target dosage: dose-population histograms for deriving treatment margins in radiotherapy[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2000, 47(4): 1121-1135.
- [22] Sung H, Ferlay J, Siegel RL, et al. Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries[J]. CA Cancer J Clin, 2021, 71(3): 209-249.
- [23] Luk PP, Selinger CI, Cooper WA, et al. Clinical utility of *in situ* hybridization assays in head and neck neoplasms[J]. Head Neck Pathol, 2019, 13(3): 397-414.
- [24] 牛保龙,曲宝林,金丽媛,等. 发泡剂泡沫垫与头颈肩低温热塑膜在放疗治疗中体位固定稳定性的比较[J]. 中国医学装备, 2017, 14(7): 32-36.
- Niu BL, Qu BL, Jin LY, et al. Comparison of stability for immobilization of position between pad of styrofoam and low temperature thermoplastic film of neck and shoulder in radiotherapy [J]. China Medical Equipment, 2017, 14(7): 32-36.
- [25] Djordjevic M, Sjolhm E, Tullgren O, et al. Assessment of residual setup errors for anatomical sub-structures in image-guided head-and-neck cancer radiotherapy[J]. Acta Oncologica, 2014, 53(5): 646-653.
- [26] Stoll M, Giske K, Debus J, et al. The frequency of re-planning and its variability dependent on the modification of the re-planning criteria and IGRT correction strategy in head and neck IMRT[J]. Radiat Oncol, 2014, 9(1): 175.
- [27] Pang PP, Hendry J, Cheah SL, et al. An assessment of the magnitude of intra-fraction movement of head-and-neck IMRT cases and its implication on the action-level of the imaging protocol[J]. Radiother Oncol, 2014, 112(3): 437-441.
- [28] 吴哲,庞亚,陈晓梅,等. 肩膀位置移动对头颈部肿瘤放疗的影响[J]. 辐射研究与辐射工艺学报, 2021, 39(3): 53-59.
- Wu Z, Pang Y, Chen XM, et al. Effect of shoulder position shift on radiotherapy for head and neck cancer[J]. Journal of Radiation Research and Radiation Processing, 2021, 39(3): 53-59.
- [29] 宋健. 鼻咽癌调强放疗中影响靶区体积的摆位误差分析[J]. 中国医师进修杂志, 2020, 43(6): 6.
- Song J. Analysis of placement error affecting target volume in intensity-modulated radiotherapy for nasopharyngeal carcinoma[J]. Chinese Journal of Postgraduates of Medicine, 2020, 43(6): 6.
- [30] 中国医师协会放射肿瘤治疗医师分会, 中华医学会放射肿瘤治疗学分会. 中国鼻咽癌放射治疗指南(2022版)[J]. 中华肿瘤防治杂志, 2022, 9: 611-622.
- Radiation Oncology Therapy Physician Branch of Chinese Medical Doctor Association, Radiation Oncology Therapy Branch of Chinese Medical Association. Guidelines for radiotherapy for nasopharyngeal carcinoma in China (2022 edition)[J]. Chinese Journal of Cancer Prevention and Treatment, 2022, 9: 611-622.
- [31] 赖建军,俞玉凤,王佳浩,等. 头颈部肿瘤放射治疗不同解剖区域位置精度分析[J]. 浙江医学, 2018, 40(13): 1469-1471.
- Lai JJ, Yu YF, Wang JH, et al. Positional accuracy of various anatomical regions in head and neck cancer radiotherapy[J]. Zhejiang Medicine, 2018, 40(13): 1469-1471.
- [32] 游雁,李赓. 鼻咽癌调强放射治疗提高摆位误差精度的进展[J]. 临床医学研究与实践, 2020, 5(30): 193-195.
- You Y, Li G. Advances of intensity modulated radiation therapy for nasopharyngeal carcinoma to improve the accuracy of positioning error [J]. Clinical Research and Practice, 2020, 5(30): 193-195.

(编辑:谭斯允)