

鼻咽癌放疗旋转与平移误差的相关性

黄家文,张梅芳,刘利彬,傅万凯,杨海松,张秀春

福建省肿瘤医院/福建医科大学附属肿瘤医院放射治疗中心, 福建 福州 350014

【摘要】目的:研究放射治疗摆位时旋转、平移误差的相关性,探索减少分次放疗摆位误差的方法,以提高肿瘤放疗摆位的稳定性与精确性。**方法:**收集2015年7月至2017年12月期间接受调强放疗的70位鼻咽癌患者,按首次摆位旋转误差值进行分类:将旋转误差 $<2^\circ$ 设为对照组;旋转误差 $\geq 2^\circ$ 设为研究组。所有病例连续1周行锥形束CT扫描。首次放疗前对校正前、后分别进行一次锥形束CT扫描。**结果:**对照组首次摆位测得X、Y、Z方向校正前、后误差为:(1.05 ± 0.73)、(1.20 ± 0.74)、(1.44 ± 1.20) mm;(0.43 ± 0.29)、(0.41 ± 0.25)、(0.39 ± 0.30) mm。研究组首次摆位测得X、Y、Z方向校正前、后误差为:(1.17 ± 0.91)、(1.61 ± 1.27)、(1.43 ± 0.82) mm;(0.62 ± 0.35)、(0.83 ± 0.39)、(0.77 ± 0.44) mm。校正前摆位误差无显著性差异($P>0.05$);校正后研究组摆位误差显著大于对照组($P<0.05$)。对照组首次摆位、分次间摆位通过率为:88.57%、82.86%、71.43%和97.10%、97.10%、94.86%。研究组首次摆位、分次间摆位通过率为:71.43%、60.00%、68.57%和89.71%、82.29%、83.43%。放疗前首次摆位X、Y轴方向摆位误差通过率对照组高于研究组($P<0.05$),Z轴无显著性差别($P>0.05$);分次间摆位X、Y、Z轴方向摆位误差通过率对照组都高于研究组($P<0.05$)。在X、Y、Z方向上研究组外放边界较对照组分别增大0.84、1.19、1.30 mm。旋转误差分布结果显示 R_x 与Z轴有强相关,与Y轴中等相关; R_y 与X、Y、Z轴均为中等相关; R_z 与X轴有强相关,与Y轴中等相关。**结论:**放射治疗过程中旋转误差对平移误差影响较大,旋转误差较大时平移误差也较大,尤其在放疗过程中分次间误差显著增大。减少旋转误差能有效地提高鼻咽癌放疗摆位精确度与稳定性。

【关键词】鼻咽癌;调强放射治疗;锥形束CT;旋转误差;平移误差;稳定性

【中图分类号】R739.63

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2018)12-1365-06

Correlation between rotational errors and translational errors in intensity-modulated radiotherapy for nasopharyngeal carcinoma

HUANG Jiawen, ZHANG Meifang, LIU Libin, FU Wankai, YANG Haisong, ZHANG Xiuchun

Radiation Therapy Center, the Affiliated Cancer Hospital of Fujian Medical University/Fujian Provincial Cancer Hospital, Fuzhou 350014, China

Abstract: Objective To study the correlation between rotational errors and translational errors in the intensity-modulated radiotherapy (IMRT) of nasopharyngeal carcinoma (NPC), and explore the method to reduce the setup error of fractionated radiotherapy for improving the stability and accuracy of patient positioning in radiotherapy. **Methods** Seventy patients receiving IMRT for NPC between July 2015 and December 2017 were enrolled in this study. According to the rotational errors at the first setup, the patients were assigned into control group (rotational errors $<2^\circ$) and study group (rotational error $\geq 2^\circ$). All patients received cone beam CT for a week. Before the first radiotherapy, cone beam CT was performed before and after correction. **Results** The first setup errors in X, Y, Z directions before and after correction were (1.05 ± 0.73), (1.20 ± 0.74), (1.44 ± 1.20) mm and (0.43 ± 0.29), (0.41 ± 0.25), (0.39 ± 0.30) mm in control group; (1.17 ± 0.91), (1.61 ± 1.27), (1.43 ± 0.82) mm and (0.62 ± 0.35), (0.83 ± 0.39), (0.77 ± 0.44) mm in study group. There was no significant difference in the setup error before correction ($P>0.05$). After correction, the setup errors of study group were significantly greater than those of control group ($P<0.05$). Significant differences were found in the passing rates of the first setup errors in X and Y directions which were higher in control group than in study group (88.57% vs 71.43%, 82.86% vs 60.00%, all $P<0.05$), not in the passing rates of the first setup errors in Z direction (71.43% vs 68.57%, $P>0.05$). The passing rates of the setup errors in fractionated radiotherapy in control group were 97.10%, 97.10%, 94.86%, respectively, significantly higher than 89.71%, 82.29%, 83.43% in study group ($P<0.05$). MPTV in X, Y, and Z directions in control group were increased by 0.84,

【收稿日期】2018-08-16

【基金项目】国家临床重点专科项目(2012);福建省临床重点专科建设项目(2013)

【作者简介】黄家文,研究方向:肿瘤放射治疗,E-mail: 54018028@qq.com

1.19, and 1.3 mm, compared with those values in control group. The analysis of rotational errors showed that R_x was strongly correlated with the Z axis, moderately correlated with the Y axis, and that R_y was moderately correlated with the X, Y, and Z axes, and that R_z had a strong correlation with the X axis and a moderate correlation with the Y-axis. **Conclusion** Rotational errors have remarkable effects on the translational errors during radiotherapy. When the rotational error is large, the translational error is also large. Reducing the rotational error can effectively improve the accuracy and stability of patient positioning in radiotherapy for NPC.

Keywords: nasopharyngeal carcinoma; intensity-modulated radiotherapy; cone beam CT; rotational error; translational errors; stability

前言

随着计算机三维成像技术的飞速发展,图像引导放疗(Image-Guided Radiotherapy, IGRT)技术^[1]得以实现并应用于临床。IGRT是继三维适形放疗和调强放疗(Intensity-Modulated Radiotherapy, IMRT)之后的放疗技术。近年来随着IGRT技术在肿瘤放射治疗中的普遍应用,尤其是锥形束CT技术的应用,放射治疗摆位精确度已迈上新的台阶,使得靶区与周围正常组织之间的剂量梯度变化更加显著,从而更好地保护周围正常组织器官,大大提高患者的生存质量。但在实际放疗中有很多因素影响着放疗精确度^[2-3],即使通过IGRT校正,也还会存在剩余摆位误差^[4],尤其是存在旋转角度时,误差的影响因素更多,校正过程也更加复杂,锥形束CT有较高的多余照射剂量^[5-6],于患者不利,但不可能每次放疗前都进行锥形束CT校正。不少学者认为旋转误差对靶区剂量分布影响较小,甚至可以忽略不计,但笔者在长期实践中发现平移误差大的病例常常伴有较为明显的旋转误差。因此,本研究主要针对鼻咽癌放射治疗线性摆位误差与旋转角度之间的相关性进行探讨。

1 资料与方法

1.1 临床资料

收集2016年7月至2017年12月期间,在福建省肿瘤医院接受ELEKTA AXESSE™直线加速器IMRT治疗的鼻咽癌病人,共70例(表1),所有病例均有病理证实,其中非角化性未分化型65例(92.9%),分化型非角化癌5例(7.1%);年龄31~67岁,平均年龄54岁,中位年龄49岁;男性48例,女性22例;根据2008广州分期^[7]标准,Ⅰ期9例(12.9%)、Ⅱ期40例(57.1%)、Ⅲ期21例(30.0%)。所有患者卡氏评分(Karnofsky Performance Status, KPS)≥80。

1.2 设备与器材

ELEKTA AXESSE™直线加速器机载锥形束CT,

扫描系统软件版本为XVI Release 4.5.1b141; PHILIPS BRILLIANCE大孔径CT模拟机;放射治疗计划系统 Monaco 5.00.02; MOSAIQ Version 2.41.01J0治疗验证系统;HexaPOD evo碳素板六维床;Klarity头颈肩形状记忆热塑网膜及配套专用固定底板。

1.3 设置参数

扫描参数:滤线器F0、准直器S20;曝光条件:100 KV、10 mAs;扫描角度:260°~100°,顺时针旋转200°弧形扫描;图像分辨率为512×512,3 mm高分辨重建。骨匹配方式,匹配区域(Clipbox)范围:上界包括眼眶上缘,前界包括上颌骨前缘或鼻尖,后界包括枕骨后缘,下界至第4颈椎下缘,左、右界至双侧乳突外缘。

1.4 扫描方法与数据采集

患者首先通过PHILIPS大孔径CT获取定位图像,由主管医师勾画靶区后传输到计划系统进行放疗计划设计,生成参考图像(Reference)后将其发送至XVI验证系统。患者首次放疗前都进行锥形束CT扫描,通过XVI将获得的X线容积图像与参考图像进行自动匹配,获得X(左右)、Y(头脚)、Z(前后)、 R_x (绕X旋转)、 R_y (绕Y轴旋转)、 R_z (绕Z轴旋转)的摆位误差,其结果为首次摆位误差。根据放疗前首次摆位旋转误差值进行分组(首次旋转误差仅作为分组依据,不进行分析),将任意轴位旋转误差(R_x 、 R_y 、 R_z)<2°设为对照组,共35例;任意轴位旋转误差(R_x 、 R_y 、 R_z)≥2°设为研究组,共35例。然后通过XVI在线自动校正,校正后再次扫描,获得 X_1 、 Y_1 、 Z_1 方向平移误差,同时将校正后的中心点重新标记于网状头颈肩膜,用于日后治疗摆位。放疗开始后第一周连续进行锥形束CT验证扫描,扫描所获取的锥形束CT图像通过XVI进行自动骨配准(不包含旋转误差校正),获得X、Y、Z方向线性摆位误差,分别标记为 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_5 、…、 Z_5 。锥形束CT配准后,其平移误差小于2 mm则视为通过验证,反之则为不通过。

1.5 统计学方法

采用 IBM SPSS 19 统计学软件进行数据分析。① 根据 Rosenthal 等^[8]推荐的定义,把摆位误差分为系统误差和随机误差。系统误差反映实际治疗和模拟定位间的差异,为所有分次摆位误差的平均值,用 \bar{x} 表示;随机误差反映分次放疗之间的差异,为所有分次摆位误差的标准差,用 s 表示。② 将对照组与研究组放疗摆位误差按独立样本均数进行 t 检验, $P<0.05$ 为差异有统计学意义。③ 将对照组与研究组放疗摆位误差 $<2\text{ mm}$ 定义为摆位通过,误差 $\geq 2\text{ mm}$ 则不通过。用 χ^2 检验比较两组间放疗摆位通过率, $P<0.05$ 为差异有统计学意义。④ 根据 Van Herk^[9]提供的扩边公式 $MPTV=2.5\Sigma+0.7\delta$ 得出外放边界。旋

转误差与平移误差相关性强度自定义为: $<20\%$ 为弱相关性、 $20\%\sim 50\%$ 为中等相关性、 $>50\%$ 为强相关性。

2 结果

2.1 首次摆位校正前后误差分析

对 70 例鼻咽癌患者进行首次摆位 CBCT 扫描和校正后扫描,共获得 140 组摆位误差数据,为对照组与研究组首次摆位校正前、后误差结果(表 1)。首次摆位校正前 X、Y、Z 轴位上平移误差两组之间并无显著性差别($P<0.05$);校正后对照组的摆位误差结果均明显缩小,但研究组在 X、Y、Z 轴位上平移误差显著大于对照组,具有统计学意义($P<0.05$)。

表1 首次摆位校正前/后误差对比分析(mm)
Tab.1 Comparison of the first setup errors before and after correction (mm)

Group	First setup error before correction			First setup error after correction		
	X	Y	Z	X ₁	Y ₁	Z ₁
Control	1.05±0.73	1.20±0.74	1.44±1.20	0.43±0.29	0.41±0.25	0.39±0.30
Study	1.17±0.91	1.61±1.27	1.43±0.82	0.62±0.35	0.83±0.39	0.77±0.44
P value	0.525	0.100	0.963	0.013*	0.003*	0.000*

Compared with control group, * $P<0.05$

2.2 分次间校正后摆位误差分析

对照组与研究组分次间校正后摆位误差见表 2, 研究组 X、Y、Z 轴位上 1~5 分次间平移误差均显著大于对照组,具有统计学意义($P<0.05$)。

表2 分次间校正后对照组与研究组摆位误差比较(mm)
Tab.2 Comparison of the setup errors in fractionated radiotherapy between control group and study group (mm)

Fraction	Control group			Study group		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	0.44±0.30	0.43±0.22	0.38±0.27	0.64±0.36*	0.70±0.45*	0.75±0.36*
2	0.60±0.53	0.73±0.54	0.70±0.51	0.89±0.60*	1.07±0.75*	1.07±0.74*
3	0.77±0.63	0.80±0.52	0.87±0.67	1.15±0.71*	1.19±0.85*	1.33±0.71*
4	0.73±0.58	0.80±0.57	0.89±0.68	1.17±0.79*	1.23±0.90*	1.31±0.98*
5	0.68±0.45	0.73±0.57	1.02±0.90	1.06±0.77*	1.20±0.90*	1.37±0.74*

Compared with control group, * $P<0.05$

2.3 首次摆位与分次摆位结果分析

对照组与研究组在放疗前首次和放疗分次摆位中的通过率的比较见表 3。35 例对照组放疗前首次摆位误差 $\geq 2\text{ mm}$ 分别出现 4、6、10 次,通过率为 88.57%、82.86%、71.43%,放疗过程连续 5 次锥形束

CT 扫描,获得 175 组数据,其中摆位误差 $\geq 2\text{ mm}$ 分别出现 4、4、9 次,摆位通过率分别为:97.10%、97.10%、94.86%;研究组分别出现 10、14、11 次,通过率为 71.43%、60.00%、68.57%,放疗分次摆位时分别出现 18、31、29 次,摆位通过率为 89.71%、82.29%、

83.43%。放疗前首次摆位在X、Y轴上对照组的摆位通过率高于研究组,具有统计学意义($P<0.05$)。Z轴方向上无明显差别,无统计学意义($P>0.05$)。而在分

次放疗摆位过程中X、Y、Z轴方向上对照组的摆位通过率均高于研究组,有统计学意义($P<0.05$)。

表3 放疗首次和放疗分次摆位中的通过率的比较($\geq 2\text{mm}$)

Tab.3 Comparison of passing rates in the first and fractionated radiotherapy ($\geq 2\text{ mm}$)

Group	First setup error before radiotherapy			Setup error in fractionated radiotherapy		
	X	Y	Z	X	Y	Z
Control	4/35	6/35	10/35	4/175	4/175	9/175
Study	10/35	14/35	11/35	18/175	31/175	29/175
χ^2 value	3.21	4.48	0.07	9.51	23.14	11.81
P value	0.05*	0.02	0.20	0.00	0.00	0.00

* Critical value which may be related to the small sample size.

2.4 两组间MPTV扩边结果对照

结果见表4。研究组MPTV值在X、Y、Z方向上较对照组与研究组在分次放疗中MPTV扩边对比

对照组分别增大了0.84、1.19、1.30 mm。

表4 对照组与研究组在分次放疗中MPTV扩边对比结果(mm)

Tab.4 Comparison of MPTV between control group and study group in fractionated radiotherapy (mm)

Group	Σ			δ			MPTV		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
Control	0.195	0.265	0.257	1.002	0.997	1.206	1.19	1.36	1.62
Study	0.320	0.328	0.370	1.734	1.676	1.796	2.06	2.55	2.92

Σ : Standard deviation of systematic error; δ : Standard deviation of random error; MPTV: External expansion boundary value

2.5 平移误差与旋转误差分布相关性结果分析

放疗分次中摆位误差 $\geq 2\text{ mm}$ 与 R_x 、 R_y 、 R_z 的相关性分布结果:研究组35例患者连续5次扫描得到525个误差值,有一个旋转 $\geq 2^\circ$ 且有一个(或几个)平移误差 $\geq 2\text{ mm}$ 有113个。根据结果提示 $R_x\geq 2^\circ$ 的48个数据中,X、Y、Z平移误差 $\geq 2\text{ mm}$ 分别有6(12.50%)、17(35.42%)、25(52.08%)个,可见 R_x 与Z轴有较强相关性,与Y轴中等相关性,与X轴弱相关性。 $R_y\geq 2^\circ$ 的42个数据中,X、Y、Z平移误差 $\geq 2\text{ mm}$ 分别有19(40.48%)、17(35.42%)、15(35.71%)个,可见 R_y 与X、Y、Z轴均为中等相关性。 $R_z\geq 2^\circ$ 的23个数据中,X、Y、Z轴平移误差 $\geq 2\text{ mm}$ 分别有15(65.22%)、6(26.09%)、2(8.70%)个,可见 R_z 与X轴有较强相关性,与Y轴中等相关性,与Z轴为弱相关性。

3 讨论

放疗摆位误差是指患者实际放射治疗时体位位置与计划设计时体位位置之间的差异。摆位误差分

为系统误差和随机误差^[10],系统误差的存在会导致等剂量曲线整体移离靶区;而随机误差主要由患者位置及器官运动所致,随机误差在治疗过程中随机分布,会使靶区边缘剂量变得模糊^[14]。通过ELEKTA AXESSE™锥形束技术在线校正,可以尽可能地减少误差,但在旋转误差的校正过程常常产生二次误差。摆位误差是放疗精确性与重复性的重要影响因素之一,即使是固定较好,摆位误差较为稳定的头颈部肿瘤也难以避免^[11-13]。旋转误差对头颈部肿瘤的影响大于胸腹部,因其结构复杂,周围有脑干、脊髓等重要器官相毗邻;照射野形状不规则,靶区剂量分布要求更高。尤其是IMRT剂量梯度很高,使得摆位误差对剂量分布变化的影响更加明显^[15]。头颈部体位固定相对较好,所以平移误差比较稳定。但因头部外形呈类圆形,旋转误差相对胸腹并没有明显优势。廖希一^[16]研究认为旋转误差会影响靶区及危及器官的受照剂量。因此,确定旋转角度与平移误差的相互关系及影响程度非常重要。对35

例旋转角 $\geq 2^\circ$ 的病例组进行仔细观察发现参考图像与锥形束CT所获得的图像存在差异,大部分均存在患者顶枕骨与头枕贴合不良,其原因主要有:患者头型与头枕不符;CT模拟定位师与加速器治疗师之间摆位技巧不一致;网膜制作与首次治疗时间间隔过长,期间患者体质量^[17]及肿瘤大小有明显变化。经调查发现确实存在部分患者在制作完网膜后,未按照流程进行放疗,期间进行多次化疗后才转入放疗流程,致使患者身体状况发生变化。

为了尽可能减少体重变化、配准区域以及校正旋转误差等因素对摆位误差数据的干扰,本研究对70例患者放疗计划执行过程中进行连续五次锥形束CT验证,全部采用较为稳定可靠的全鼻咽部区骨匹配^[18-20]方式进行配准,且旋转误差不进行校正。首次摆位误差X、Y、Z方向都没有明显的差异,而不少研究认为旋转误差对靶区剂量影响不大^[21-22],这很容易产生旋转角度与平移误差没有明显关联的错觉。校正后摆位误差结果显示研究组中校正后的误差在X、Y、Z方向上均显著大于对照组,分析认为校正前由于总体摆位误差较大,掩盖了旋转误差对平移误差的影响,校正后对照组的摆位误差范围降至0.0~0.8 mm,研究组由于受到旋转角度的影响,虽有减小,但明显高于旋转角度较小的对照组。其后的5次锥形束CT验证中研究组的摆位误差依旧大于对照组,说明旋转角度误差与平移误差有关且有一定的规律,即 R_x 旋转越大,Z、Y轴平移误差越显著; R_y 旋转越大,X、Y、Z轴平移误差均有增大; R_z 旋转越大,X轴平移误差越显著。研究结果与申红峰等^[23]和郑祖安等^[24]研究结果相仿,即X与yaw存在中等正相关;Y与pitch、yaw均存在较弱负相关;Z与pitch存在较强负相关。通过首次旋转误差可以预测后续分次间的平移误差趋势,说明旋转误差大的病例其系统误差也将比较大。当旋转误差较大时,原本较小的系统平移误差通过旋转误差使平移误差明显扩大,而旋转误差较小时,平移误差对其影响几乎为零。因此减少摆位时的旋转误差,可以提高摆位精确度,使放疗摆位重复性大幅提升。

MPTV分析结果显示在校正后的放疗计划分次实施过程中,研究组MPTV达到并超过2 mm,而对照组均小于2 mm,可见旋转角度的大小可影响平移误差,从而影响靶区的剂量分情况。有研究表明摆位误差 < 2 mm对靶区影响不明显^[25-26],Gutfeld等^[27]研究发现旋转误差 $> 2^\circ$ 会使靶区剂量发生3%~5%的变化。也就是说误差 $> 2^\circ$ 或 > 2 mm就可能使靶区漏照或者邻近组织器官误照。所以旋转误差 $> 2^\circ$ 时应及时校

正,避免出现漏照或误照。

目前,福建省肿瘤医院对首次摆位旋转误差较大的病例通过六维床或网膜局部重塑,近期统计分析显示各轴位相对较稳定。但六维床操作较为繁琐,设备昂贵,不易普及;网膜局部重塑精度较难控制,耗时费力,并一定程度上影响其它病人的正常治疗。在以后的研究将继续探讨简单有效地纠正旋转误差的方法。

综上所述,旋转角度的大小会严重影响线性摆位误差的大小,从而使靶区剂量分布受到影响,甚至可能导致放射治疗的失败。及时有效地校正旋转误差可以提高放疗摆位精确度。在IMRT中出现旋转误差较大时,只纠正平移误差不纠正旋转误差是不够的,应先进行旋转角误差校正,然后重新扫描验证平移误差并加以校正。

【参考文献】

- [1] 戴建荣, 胡逸民. 图像引导放疗的实现方式[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2006, 15(2): 132-135.
- [2] DAI J R, HU Y M. Implementation of image guided radiotherapy[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2006, 15(2): 132-135.
- [3] ASTREINIDOU E, BEL A, RAAIJMAKERS C P, et al. Adequate margins for random setup uncertainties in head-and-neck IMRT[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2005, 61(3): 938-944.
- [4] 于金明, 袁双虎. 图像引导放射治疗研究及其发展[J]. 中华肿瘤杂志, 2006, 28(2): 81-83.
- [5] YU J M, YUAN S H. Research and advancement of image-guided radiotherapy[J]. Chinese Journal of Oncology, 2006, 28(2): 81-83.
- [6] LETOURNEAU D, MARTINEZ A A, LOCKMAN D, et al. Assessment of residual error for online cone-beam CT-guided treatment of prostate cancer patients[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2005, 62(4): 1239-1246.
- [7] MORIN O, GILLIS A, CHEN J, 等. 兆伏级锥形束CT系统说明及IGRT临床应用介绍[J]. 中国癌症杂志, 2006, 16(6): 513-524.
- [8] MORIN O, GILLIS A, CHEN J, et al. Megavolt cone beam CT system description and clinical application of IGRT[J]. China Oncology, 2006, 16(6): 513-524.
- [9] MA Z D, LANGEN K M, MEEKS S L, et al. Evaluation of image-guidance protocols in the treatment of head and neck cancers[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2007, 67(3): 670-677.
- [10] 潘建基. 鼻咽癌'92分期修订工作报告[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2009, 18(1): 2-6.
- [11] PAN J J. Nasopharyngeal carcinoma'92 stage revision report[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2009, 18(1): 2-6.
- [12] ROSENTHAL S A, GALVIN J M, GOLDWEIN J W, et al. Improved methods for determination of variability in patient positioning for radiation therapy using simulation and serial portal film measurements[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 1992, 23(3): 621-625.
- [13] VAN HERK M. Errors and margins in radiotherapy[J]. Semin Radiat Oncol, 2004, 14(1): 52-64.
- [14] HURKMANS C W, REMEIJER P, LEBESQUE J V, et al. Set-up verification using portal imaging: review of current clinical practice[J]. Radiother Oncol, 2001, 58(2): 105-120.
- [15] 周军, 谭亚军. IGRT技术治疗鼻咽癌摆位误差影响PTV勾画的分

- 析[J]. 国际检验医学杂志, 2014(6): 771-772.
- ZHOU J, TAN Y J. Analysis of the effect of placement error on PTV delineation in the treatment of nasopharyngeal carcinoma with IGRT[J]. International Journal of Laboratory Medicine, 2014(6): 771-772.
- [12] 邵国梅. 应用机载千伏级CBCT研究鼻咽癌IMRT的摆位误差及其对受照剂量的影响[D]. 苏州: 苏州大学, 2010.
- TAI G M. Using airborne kilovolt CBCT to study the positioning error of nasopharyngeal carcinoma IMRT and its effect on irradiation dose[D]. Suzhou: Suzhou University, 2010.
- [13] KAM M K, CHAU R M, SUEN J, et al. Intensity modulated radiotherapy in nasopharyngeal carcinoma: dosimetric advantage over conventional plans and feasibility of dose escalation[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2003, 56(1): 145-157.
- [14] 倪千喜. 调强放射治疗中摆位误差对鼻咽癌患者所受剂量的影响[J]. 医疗装备, 2017, 30(12): 7-9.
- NI Q X. Effect of positioning error in IMRT on dose of patients with nasopharyngeal carcinoma[J]. Chinese Journal of Medical Device, 2017, 30(12): 7-9.
- [15] HONG T S, TOME W A, CHAPPELL R J, et al. The impact of daily setup variations on head-and-neck intensity-modulated radiation therapy[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2005, 61(3): 779-788.
- [16] 廖希一. 应用IGRT机载千伏级锥形束CT研究头颈部肿瘤调强放疗的摆位误差[D]. 福州: 福建医科大学, 2009.
- LIAO X Y. The positioning error of IMRT for head and neck tumors was studied by IGRT airborne kilovolt cone beam CT[D]. Fuzhou: Fujian Medical University, 2009.
- [17] 叶森林, 梁廷, 荣知璧. 应用OBI系统分析鼻咽癌调强放疗的摆位误差[J]. 医疗卫生装备, 2012, 33(3): 64-65.
- YE S L, LIANG T, RONG Z B. Setup error analysis with on board imager system for nasopharyngeal carcinoma treated by intensity modulated radiotherapy[J]. Chinese Medical Equipment Journal, 2012, 33(3): 64-65.
- [18] 许峰, 王瑾, 柏森, 等. 应用锥形束CT分析肿瘤放疗中分次间及分次内摆位误差[J]. 癌症, 2008, 27(10): 1111-1116.
- XU F, WANG J, BAI S, et al. Interfractional and intrafractional setup errors in radiotherapy for tumors analyzed by cone-beam computed tomography[J]. Chinese Journal of Cancer, 2008, 27(10): 1111-1116.
- [19] 许愿. 鼻咽癌IMRT基于图像匹配对摆位误差影响的研究[D]. 苏州: 苏州大学, 2013.
- XU Y. Study on effects of image registration on setup errors for nasopharyngeal carcinoma undergoing intensity-modulated radiation therapy (IMRT)[D]. Suzhou: Soochow University, 2013.
- [20] 马广栋, 李承军, 付敬国, 等. 不同解剖区域配准方法对鼻咽癌体位误差的影响[J]. 医疗卫生装备, 2011, 32(7): 63-64.
- MA G D, LI C J, FU J G, et al. Multiple regions-of-interest analysis of setup errors of nasopharyngeal carcinoma radiotherapy[J]. Chinese Medical Equipment Journal, 2011, 32(7): 63-64.
- [21] 张利文, 石锦平, 谢秋英, 等. 等中心偏移误差对容积调强放疗计划的剂量影响[J]. 肿瘤预防与治疗, 2012, 25(3): 160-163.
- ZHANG L W, SHI J P, XIE Q Y, et al. The dose impact of the isocenter offset errors on the plan for volumetric modulated arc therapy[J]. Journal of Cancer Control and Treatment, 2012, 25(3): 160-163.
- [22] 郑茁, 陈传本, 陈荔莎, 等. 头颈部肿瘤摆位误差对调强放疗计划的影响[J]. 中国癌症防治杂志, 2011, 3(3): 214-217.
- ZHENG Z, CHEN C B, CHEN L S, et al. The impact of setup errors on treating head and neck cancer with intensity modulated radiation therapy[J]. Chinese Journal of Cancer Prevention and Treatment, 2011, 3(3): 214-217.
- [23] 申红峰, 王小深, 欧光明, 等. 基于图像引导下头颈部肿瘤放射治疗患者摆位误差的相关性分析[J]. 中国医学装备, 2016, 13(10): 22-24.
- SHEN H F, WANG X S, OU G M, et al. Research on correlation of setup errors for head and neck cancer patients with radiotherapy based on image guidance[J]. China Medical Equipment, 2016, 13(10): 22-24.
- [24] 郑祖安, 付秀根, 钟伟伟, 等. 面颈部肿瘤影像引导精确放射治疗摆位误差的研究[J]. 中华肿瘤防治杂志, 2012, 19(20): 1554-1556.
- ZHENG Z A, FU X G, ZHONG W W, et al. Study on the setting error of precise radiotherapy guided by facial and cervical tumor imaging[J]. Chinese Journal of Cancer Prevention and Treatment, 2012, 19(20): 1554-1556.
- [25] 潘建基, 潘才住, 陈传本, 等. 摆位系统误差对鼻咽癌调强放疗剂量的影响[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2007, 16(5): 394-396.
- PAN J J, PAN C Z, CHEN C B, et al. Effects of positioning system error on dose of IMRT for nasopharyngeal carcinoma[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2007, 16(5): 394-396.
- [26] XING L, LIN Z X, DONALDSON S S, et al. Dosimetric effects of patient displacement and collimator and gantry angle misalignment[J]. Radiother Oncol, 2000, 56(1): 97-108.
- [27] GUTFELD O, KRETZLER A E, KASHANI R, et al. Influence of rotations on dose distribution in spinal stereotactic body radiotherapy (SBRT)[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2009, 73(5): 1596-1601.

(编辑: 谭斯允)