

鼻咽癌放疗中摆位误差及解剖结构变化对剂量学的影响

蒋璐¹, 邱小平¹, 单国平², 李剑龙², 邵凯南², 杜锋磊², 李玉成¹

1. 南华大学核科学技术学院, 湖南 衡阳 421001; 2. 浙江省肿瘤医院加速器物理室, 浙江 杭州 311400

【摘要】目的:研究鼻咽癌患者放疗过程中,摆位误差和解剖结构的变化所引起的危及器官的剂量学变化,从而为下一步的自适应放疗提供一定依据。**方法:**随机选取10例进行调强放射治疗的鼻咽癌患者,在放射治疗过程中选取6次进行千伏级锥形束CT(kV-CBCT)在线引导体位校正,统计整个疗程的摆位误差数据。将每次获得的CBCT图像与CT图像进行中心点的图像配准,并将移位数据带入其中,得到患者治疗时的真实位置,通过模拟计算在保持原始照射条件不变的情况下,在CBCT图像上重新计算,重新勾画靶区及危及器官,然后通过形变配准进行剂量的叠加,比较腮腺、脊髓、脑干等危及器官的剂量学变化。**结果:**(1)10例鼻咽癌患者在放射治疗过程中一共进行了60次的CBCT扫描,其摆位误差数据在X,Y,Z轴分别为:(-0.883±2.084),(0.567±1.320),(-0.233±1.661)mm,其中X轴方向90%≤3mm,Y轴方向98.3%≤3mm,Z轴方向98.3%≤3mm。(2)正常组织的平均剂量偏差:脑干D_{max}(最大剂量)为1.32%(-11.29%~9.62%),脊髓D_{max}为3.353%(-4.25%~13.88%),左腮腺V₃₀(3 000 cGy的剂量所占的体积)为6.777%(-57.95%~112.33%),右腮腺V₃₀为19.937%(-72.56%~177.98%),左腮腺D_{mean}(平均剂量)为4.022%(-17.73%~42%),右腮腺D_{mean}为7.634%(-19.86%~39.95%)。**结论:**在患者治疗过程中,摆位误差和解剖结构的变化影响危及器官的受量。在适当进行CBCT扫描和在线摆位校正后,通过形变配准和剂量叠加对患者实际受照剂量进行模拟。经研究发现在疗程后半段,患者危及器官尤其是腮腺的剂量与原治疗计划有一定偏差。对患者的剂量追踪可提供患者个性化适合计划调整的时间节点,具有重要的临床参考价值。

【关键词】锥形束CT;鼻咽癌;摆位误差;图像配准;形变剂量;

【中图分类号】R739.6

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2017)04-0344-07

Influence of anatomical changes and setup error on radiotherapy dosimetry in patients with nasopharyngeal carcinoma

JIANG Lu¹, QIU Xiaoping¹, SHAN Guoping², LI Jianlong², SHAO Kainan², DU Fenglei², LI Yucheng¹

1. School of Nuclear Science and Technology, University of South China, Hengyang 421001, China; 2. Accelerator Physics Laboratory, Zhejiang Cancer Hospital, Hangzhou 311400, China

Abstract: Objective To study the dosimetric changes in the organs-at-risk (OAR) caused by setup errors and anatomical changes in patients receiving radiotherapy for nasopharyngeal carcinoma (NPC) and provide evidence for further adaptive radiotherapy. **Methods** Ten NPC patients undergoing intensity-modulated radiotherapy (IMRT) were selected randomly for analysis. In 6 sessions of IMRT, kV-cone beam CT (CBCT)-guided position correction was performed and the set-up errors of the entire treatment course of treatment were recorded. After registration between the original CT and CBCT images by incorporating the shift data, the actual position of the patient was obtained during the therapy. Using the parameters identical to those in the original IMRT, simulated delineation of the target areas and OAR was performed on the CBCT images, and the deformable registration was used to calculate the accumulative doses to compare the dosimetric variations in the OAR including the parotid glands, spinal cord, and brainstem. **Results** A total of 60 CBCT scans were performed in the 10 NPC patients during the course of radiotherapy, and the mean setup errors in the X, Y, and Z axis were (-0.883±2.084), (0.567±1.320), and (-0.233±1.661) mm, respectively; the setup errors in the X, Y, and Z axis were no greater than 3 mm in 90.0%, 98.3%, and 98.3% of the scans, respectively. The mean deviation of the maximum dose (D_{max}) was 1.320% (-11.290%~9.620%) in the brainstem and 3.353% (-4.250%~13.880%) in the spinal cord-D_{max}; the volume covered by 3 000 cGy (V₃₀) was 6.777% (-57.950%~112.330%) in the left and 19.937% (-72.560%~177.980%) in the right parotid gland; the mean dose (D_{mean}) was 4.022% (-17.730%~42.000%) in the left and 7.634%

【收稿日期】2017-02-12

【基金项目】浙江省自然科学基金(LY17H180006)

【作者简介】蒋璐,在读硕士研究生,研究方向:医学物理,E-mail:1139592052@qq.com

【通信作者】邱小平,硕士生导师,E-mail:nh6651@163.com

(-19.860%-39.950%) in the right parotid gland. **Conclusion** The set-up errors and anatomical changes of the NPC patients affect the dose in the OAR during IMRT. A dose deviation from the planned dose in the OAR (especially the parotid glands) occurs during the latter half of IMRT sessions, and dose tracking during IMRT provides evidence for determining the time points for individualized adjustment of the treatment plan.

Keywords: cone beam CT; nasopharyngeal carcinoma; set-up error; image registration; deformation dose

前言

鼻咽癌是我国常见的头颈部恶性肿瘤之一,临床上常采用放射治疗的方式对患者进行治疗,然而随着治疗疗程的深入,患者体质量的变化,器官和靶区的萎缩缩小都会造成肿瘤靶区及危及器官解剖结构和位置关系发生变化。解剖学变化导致正常组织危及器官的实际剂量与计划剂量的差异可达15%^[1],通过每周重复CT可观察到腮腺的平均剂量增加10%^[2],在整个治疗过程中,患者进行治疗时,由于解剖结构的变化,约有65%的病人可以从自适应计划过程中获益^[3],Yang^[4]通过研究129位鼻咽癌患者后得出再计划能显著的提高患者的生存率以及生活质量。除了解剖结构的变化对靶区以及危及器官造成影响,其中摆位误差也是影响其重要的一个因素,由于解剖结构的变化和摆位误差的影响,很可能会引起靶区的欠量以及危及器官的超量,从而造成肿瘤局部控制率下降,以及正常组织并发症的上升。因此,在治疗实施前,如何获取患者实际的解剖和位置信息显得尤为重要^[5]。

人体为非刚性结构,由于治疗过程中解剖结构的改变,若以原始CT影像作为计划的物理模型显然会引起很大剂量误差,而且随着图像引导放射治疗(Image Guide Radiation Therapy, IGRT)的快速发展,锥形束CT(Cone beam Computer Tomography, CBCT)扫描技术已经成为许多医院必不可少的影像功能,它能反映出患者治疗时靶区与危及器官的真实状态和位置,减少患者治疗时的摆位误差。若以CBCT作为计划的物理模型对患者的实际治疗过程进行模拟或剂量追踪,可以相对准确地估计出患者的实际受照剂量,对患者的治疗效果的评估具有重要意义。在鼻咽癌放疗患者的剂量追踪时,最重要的是准确还原出每个患者分次治疗的实际受照剂量,并通过相对可靠的形变配准过程,将每次照射剂量进行叠加。

本研究利用CBCT进行在线摆位校正,并利用CBCT图像采集中心和在线摆位位移作为配准依据,利用RayStation计划系统提供的刚性配准、形变配准、剂量计算与叠加等功能,力求在一定程度上准确

还原出患者的实际受照剂量。该结果可以为临床医师对鼻咽癌放疗患者的治疗效果和正常器官的保护提供重要的参考。

1 资料与方法

1.1 研究材料

(1)随机选取我院自2015年12月起接受调强放射治疗的10例鼻咽癌患者,5男5女。患者均为非角化性癌,其中2例为分化型,8例为未分化型。病人临床分期情况如下:T2N2M0,1例;T3N2M0,5例;T4N2M0,3例;T4N3M0,1例。实验前告知患者该实验的目的及意义并征得患者的同意。

(2)GE lightspeed RT模拟定位机以及Philips Brilliance CT Big Bore模拟定位机用于放疗前的模拟定位,并提供高质量的横断面CT影像资料。

(3)RayStation v4.5.1.14的计划系统,该系统用于计划的制定、图像的融合配准、形变配准、危及器官的自动勾画、剂量的追踪等。

(4)Varian Trilogy直线加速器OBI系统,该系统由加速器机载的CBCT和图像处理软件组成。

1.2 方法与步骤

1.2.1 图像的获取及靶区的勾画 随机选取10例鼻咽癌患者,使用GE或Philip模拟定位机进行CT扫描,扫描时,患者使用头颈肩热塑体模固定,扫描层厚为3 mm,扫描后将CT图像传至Raystation计划系统中,由经验丰富的医生在CT上进行靶区以及危及器官的勾画,其中GTVnx为鼻咽部原发肿瘤部位及其侵犯的范围,GTVnd为颈部转移淋巴结肿瘤,危及器官的勾画主要有脑干、脊髓、腮腺、视神经、视交叉、垂体、晶体等。

1.2.2 计划设计 根据医生给定的靶区处方和危及器官的限制条件制定一个九野共面的调强计划,给野角度分别为200°、240°、280°、320°、0°、40°、80°、120°、160°。优化方式采用DMPO方法,其中左右腮腺 $V_{30}<50\%$, $D_{mean}<3\ 000\text{ cGy}$,脊髓 $D_{max}<4\ 500\text{ cGy}$,脑干 $D_{max}<5\ 400\text{ cGy}$,视交叉 $D_{max}<5\ 400\text{ cGy}$,视神经 $D_{max}<5\ 400\text{ cGy}$,晶体 $D_{max}<600\text{ cGy}$,眼球 $D_{mean}<1\ 000\text{ cGy}$,下颌骨 $D_{mean}<6\ 000\text{ cGy}$,根据上面的临床目标,设置合理的限制参数进行计算和优化,待满足以上的临

床目标并经医生确认后,用于患者的实际治疗。

1.2.3 摆位校准以及图像的获取 根据放疗医生的处方要求,鼻咽癌患者疗程共计接受30次放疗,每周照射5次,持续6周。患者每周进行一次进行kV-CBCT扫描和体位校正,该次治疗前,利用加速器上安装的X线球管形成的锥形束对患者进行扫描,加速器机角旋转 200° 来获取图像,然后将重建后的CBCT图像与计划CT在OBI系统中进行在线自动配准,再由经验丰富的医生以及技师根据骨性结构进行手动配准^[6],如图1所示。加速器系统在该次治疗前根据配准的位移数据对治疗中心进行校正,从而减少摆位误差对治疗计划执行效果的影响。

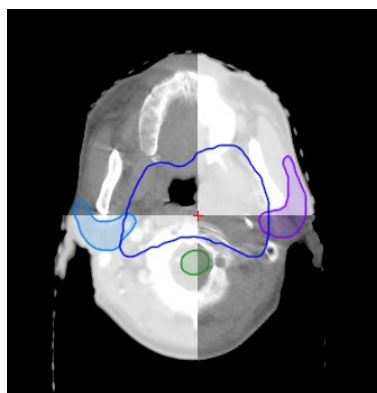


图1 在线配准

Fig.1 Online registration

1.2.4 正常组织的勾画 将扫描CBCT图像传输至RayStation计划系统中,然后把原始CT与CBCT根据骨性结构标志进行刚性配准,再将原CT上感兴趣的区域(如腮腺、脑干、脊髓)拷贝到CBCT上,并由医生对这些感兴趣区域进行修改或重新勾画,医生勾画的标准参照2010鼻咽癌调强放疗靶区及剂量设计指引专家共识^[7]。

1.2.5 模拟计算摆位误差与解剖结构引起的剂量学变化 在RayStation计划系统中使用Image Registration(图像配准)模块中的基于感兴趣点(Point of Interest based, POI based)功能,将CBCT与计划CT进行中心点配准,再通过手动工具输入摆位校正的差值,模拟出患者治疗时的位置以及正常组织的真实状态和形态。针对每名患者在不同放射治疗阶段获取的CBCT图像,在保持原计划各参数不变的条件下,在获取的CBCT图像上进行剂量计算,得到对患者该次放疗中实际受照剂量的相对准确估计。

1.2.6 剂量的形变叠加 CBCT图像与计划CT图像进行刚性配准的基础上,通过RayStation计划系统中的混合式形变配准方法进行剂量的叠加^[8]。形变配

准的结果见图2,它给出了两幅图像上各个体积元素之间的映射关系。通过这种映射关系可以将CBCT上的剂量分布变换到计划CT上。

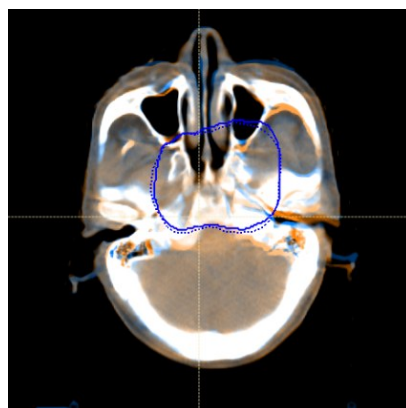


图2 形变配准

Fig.2 Deformation registration

每个患者可获得6个CBCT图像,经计算后得到6次的剂量,可以近似认为每周的分次剂量与该周CBCT图像上计算的剂量一致。将每周CBCT上的剂量分布变换到计划CT并叠加,得出患者最终的累积剂量。

2 结果

2.1 摆位误差分析

10位患者一共进行60次的CBCT扫描以及摆位校正,图3为每次摆位校正后得到的三维方向上的摆位误差大小。其中X方向指左右方向,左正右负;Y方向指前后方向,前正后负;Z方向指头脚方向,头正脚负。

以上数据经处理得出X方向的平均摆位误差为 (-0.883 ± 2.084) mm, Y方向的平均摆位误差为 (0.567 ± 1.320) mm, Z方向的平均摆位误差为 (-0.233 ± 1.661) mm, 60次的摆位误差中X轴方向 $90\% \leq 3$ mm, Y轴方向 $98.3\% \leq 3$ mm, Z轴方向 $98.3\% \leq 3$ mm。头脚方向摆位误差最小,其次是前后方向,摆位误差最大的是左右方向。

2.2 危及器官解剖结构的变化

在鼻咽癌患者中,危及器官解剖结构变化较大的主要是腮腺,脑干和脊髓基本无明显变化。图4是10位患者在治疗过程中左右腮腺体积的相对变化,在每位患者6周共30次治疗疗程中,每周随机选取一天进行CBCT扫描获取图像,总计6次。

图4可以看出随着治疗的深入,左右腮腺体积逐渐减小,大约照射到第3周的时候下降的较为明显,左、右腮腺体积在放疗结束时分别减少 $34.88\% \pm$

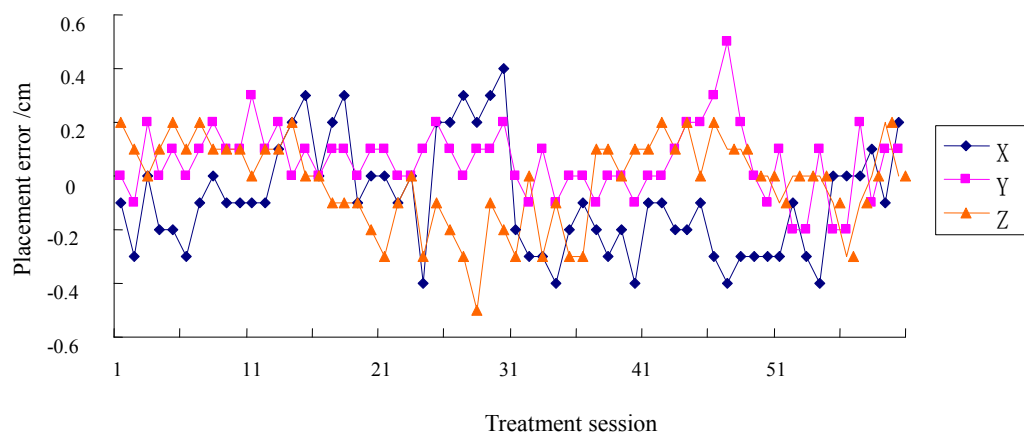


图3 10位患者三维方向摆位误差

Fig.3 Setup errors in the X, Y and Z axis in the 10 NPC patients in the total of 60 treatment sessions

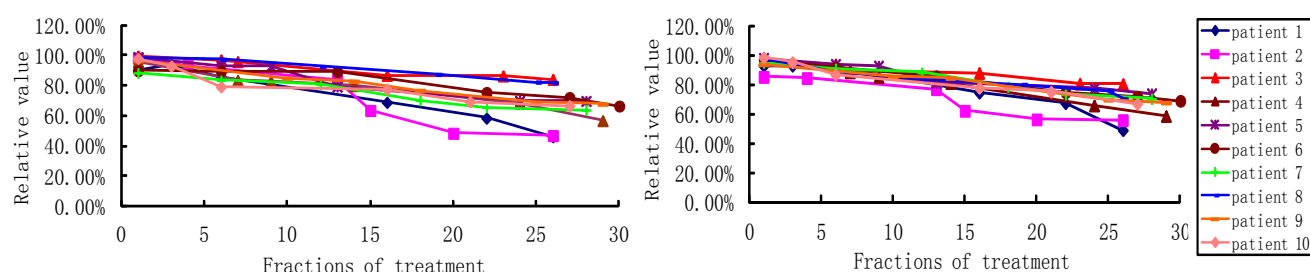


图4 左腮腺(左图)、右腮腺(右图)的体积变化

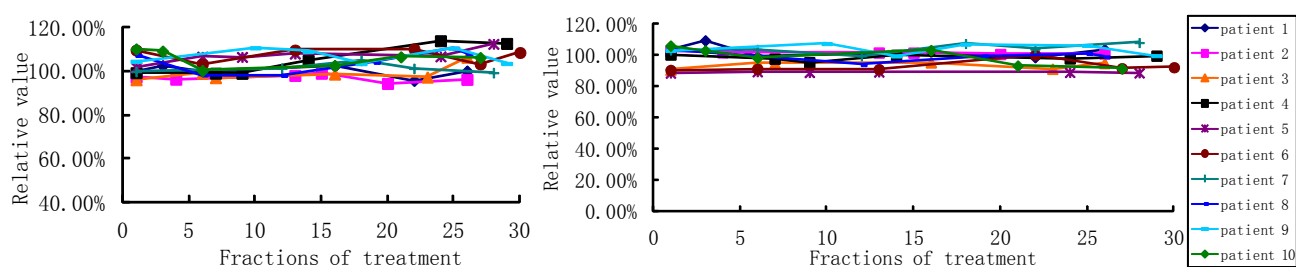
Fig.4 Volume changes of the left and right parotid glands

12.68%和 $33.58\% \pm 9.21\%$,左腮腺体积最高可减少53.83%,右腮腺体积最高可减少50.74%,通过观察腮腺的解剖结构位置,我们发现当靶区靠近腮腺一侧时,此侧腮腺受照后体积下降的较为明显。

2.3 分次剂量实施中引起的危及器官的剂量学变化

图5 脊髓(左图)、脑干(右图)剂量指标 D_{max} 变化情况

在分次剂量实施中,脊髓 D_{max} 的变化相对脑干 D_{max}

图5 脊髓(左图)、脑干(右图)剂量指标 D_{max} 变化情况Fig.5 D_{max} changes in the spinal cord (left) and the brainstem (right)

变化波动较大,并且分次剂量相对原计划略有升高。

图6分别为10例患者腮腺体积与实施剂量随治疗次数增加的变化图,V-L为左腮腺体积,V-R为右腮腺体积, D_{mean} -L为左腮腺 D_{mean} 的分次剂量, D_{mean} -R为右腮腺 D_{mean} 的分次剂量, V_{30} -L为左腮腺 V_{30} 的分次剂量, V_{30} -R为右腮腺的 V_{30} 的分次剂量。

检查对照患者每周获取的CBCT图像发现,当靶区靠近一侧腮腺时,随着治疗的深入,腮腺体积逐渐下降,此侧腮腺逐渐向靶区凹陷,甚至有一部分处于靶区中。从图6可以看出,同侧腮腺的平均剂量和 V_{30} 的变化趋势是一致的,大约照射15~25次之间的时候,腮腺体积缩小较快并且 D_{mean} 和 V_{30} 分次剂量增加较大。

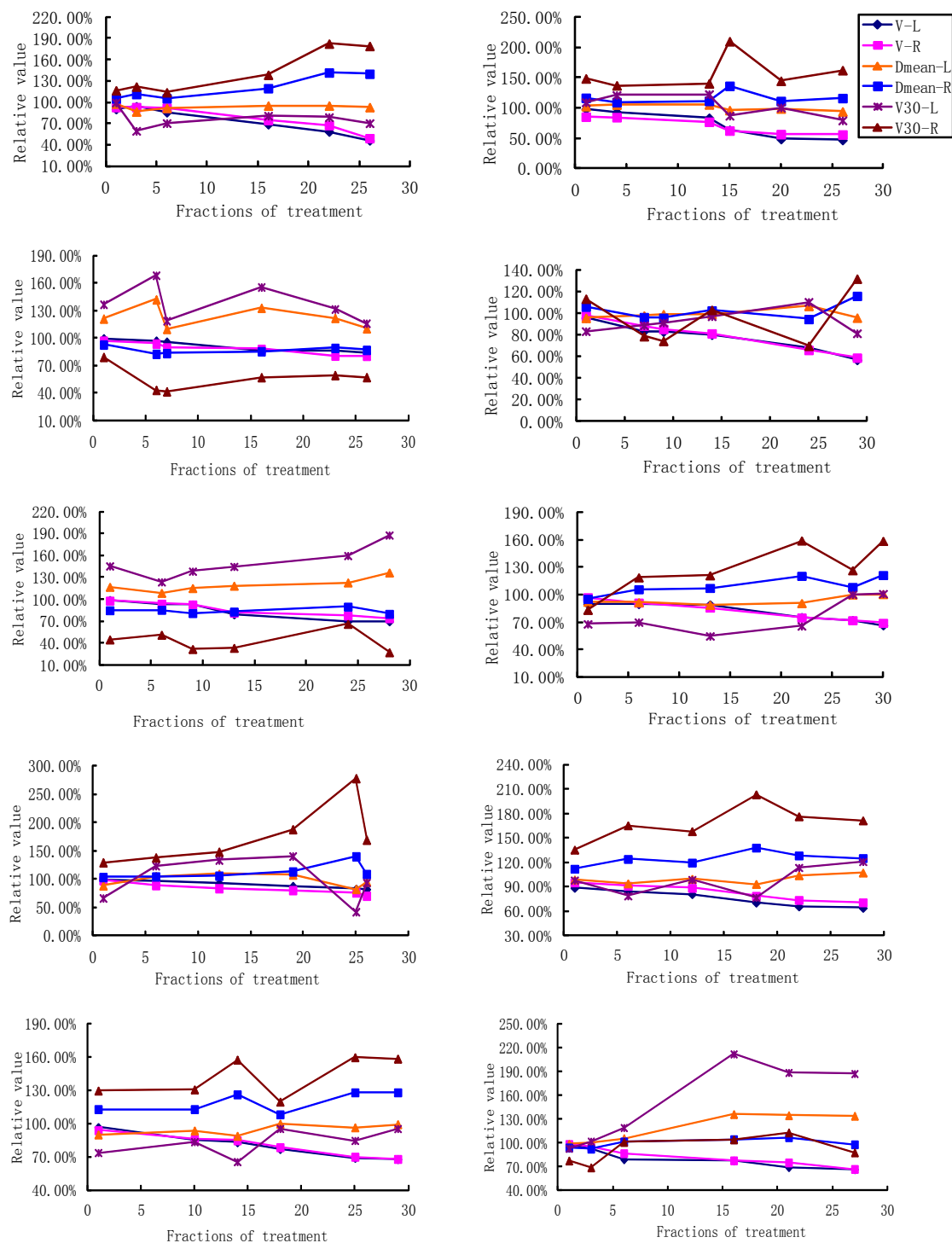


图6 10例患者腮腺体积与实施剂量随治疗次数增加的变化图

Fig.6 Changes of parotid gland volume and delivered dose in the 10 patients during the treatment

2.4 各危及器官的累积剂量

通过形变配准将各次的剂量进行叠加,表1是累积剂量与计划剂量的比较。

表1显示了腮腺、脊髓、脑干的累积剂量与计划剂量的差异。与原计划相比,累积剂量中有4例患者的脊髓剂量有所增加,有3例患者脑干剂量有所增加,大部分反而有所降低;左右腮腺剂量相对变化较

大, D_{mean} 与 V_{30} 基本有所增加,尤其患者10的左腮腺 V_{30} 增加了25.72%,右腮腺 V_{30} 增加了14.59%。

3 讨论

由于调强放射治疗陡峭的剂量分布,摆位误差能引起危及器官的剂量分布变化。本研究中通过CBCT进行的在线体位校正获取的移动床值大小,得

表1 危及器官的累积剂量与计划剂量的比较(%)

Tab. 1 Comparison of accumulated dose and planned dose in the OAR (%)

Patient	R-P V_{30}	L-P V_{30}	R-P D_{mean}	R-P V_{mean}	Spinal cord D_{max}	Brainstem D_{max}
Patient 1	0.85	1.20	1.78	2.17	2.57	0.57
Patient 2	3.35	20.71	1.47	5.18	2.27	1.23
Patient 3	2.91	6.77	-1.05	-2.50	-1.96	-4.23
Patient 4	1.35	-2.87	0.93	1.51	-1.11	-3.36
Patient 5	0.54	1.66	0.61	-0.37	-3.20	-3.81
Patient 6	0.84	5.33	1.01	3.69	-2.00	-3.09
Patient 7	0.21	-2.03	2.15	4.62	1.09	-3.02
Patient 8	2.03	3.39	-0.37	0.65	4.47	2.57
Patient 9	1.95	3.49	0.34	-0.13	-1.95	-1.85
Patient 10	11.05	25.72	6.69	14.59	-0.94	-2.65

OAR: Organ-at-risk; R-P: Right parotid gland; L-P: Left parotid gland; the data were calculated by (accumulated dose-planned dose)/planned dose \times 100%.

出患者左右、前后、头脚方向的平均摆位误差分别为: $(-0.883\pm 2.083\ 8)$ 、 $(0.567\pm 1.319\ 6)$ 、 $(-0.233\pm 1.660\ 8)$ mm,平均误差控制在5 mm内。Den等^[9]研究的头颈部肿瘤的左右、前后、头脚方向摆位误差分别为 (0.14 ± 0.14) 、 (0.18 ± 0.21) 、 (0.17 ± 0.19) cm,本研究中的摆位误差比其研究小,说明在研究中利用头颈肩模具摆位的重复性较好,误差较小^[10]。

本研究通过对鼻咽癌放疗患者的剂量追踪模拟,并以形变配准的方式将剂量叠加起来,评估出患者实际治疗过程中由于摆位误差与解剖结构变化共同引起危及器官剂量分布的变化。研究发现随着治疗过程的深入,腮腺的体积逐渐缩小,左、右腮腺体积在放疗结束时分别减少了 $(34.88\pm 12.68)\%$ 、 $(33.58\pm 9.21)\%$ 。黄慧娴等^[11]研究得出的左、右腮腺结束后体积分别减少 $(39.8\pm 14.4)\%$ 、 $(37.4\pm 15.5)\%$,与本研究结果基本一致。左右腮腺的平均剂量偏差:左腮腺 V_{30} 为 $6.777\%(-57.95\%\sim 112.33\%)$,右腮腺 V_{30} 为 $19.937\%(-72.56\%\sim 177.98\%)$,左腮腺 D_{mean} 为 $4.022\%(-17.73\%\sim 42\%)$,右腮腺 D_{mean} 为 $7.634\%(-19.86\%\sim 39.95\%)$ 。左右腮腺的 D_{mean} 与 V_{30} 的剂量变化很大一部分取决于靠近靶区的远近程度,当一侧腮腺靠近靶区时,该侧腮腺的 V_{30} 与 D_{mean} 明显高于另一侧,除此以外,患者脸部轮廓的消瘦程度也影响着腮腺所受的剂量,很多时候由于患者脸部轮廓内缩导致腮腺向高剂量区移动甚至进入靶区,大大的增加了腮腺的受量。此外,脊髓和脑干的体积均无明显变化,脑干 D_{max} 与脊髓 D_{max} 的平均剂量偏差分别

为 $1.32\%(-11.29\%\sim 9.62\%)$ 、 $3.35\%(-4.25\%\sim 13.88\%)$,由于脊髓位于髓腔关节处,灵活性较大,其偏差主要来源于患者摆位时颈部的旋转误差。因此可以通过在放疗期间进行在线的体位校准,减少摆位误差,降低脊髓的剂量。例如Han等^[12]对脊髓进行研究发现,若不进行摆位校正,脊髓 D_{max} 平均增加 $7.6\%(3.3\%\sim 15.5\%, P<0.05)$ 。

通过本研究对患者治疗过程的发现,危及器官(主要为腮腺、脊髓以及脑干)的受量与计划剂量不一致,有些甚至超出剂量限值范围。这种现象可能是由于各种系统误差以及随机误差,尤其是摆位误差以及解剖结构的改变。业内公认的解决方法是采用自适应放疗,即在放疗中段某些时间节点对剩余分次治疗计划进行调整甚至重新计划,提高后续放疗的精准性。周祥等^[13]通过研究11例鼻咽癌患者,发现照射25次时调整放疗计划能够显著较少腮腺所受剂量;Wang等^[14]认为放疗25次后再计划能提高靶区剂量,减少危及器官的剂量。

在本研究中,通过研究分析各个患者整个过程中所受实际剂量与计划剂量的差异,大约在放疗15~25次期间,腮腺的体积和剂量变化较大,因此,如果能在该区间的某个节点进行剂量的叠加,比较实际剂量与计划剂量之间的差异,通过及时修改治疗计划,以保证患者最终接受的剂量与计划剂量一致,提高患者的生存质量。施林心^[15]已经初步论证了鼻咽癌离线自适应对腮腺受量的减少具有一定的作用。通过分析这10位患者可以看出,适合进行再计

划的时间节点分别为22次、15次、16次、24次、24次、22次、18次、25次、14次、16次。不同患者进行再计划的节点是不同的,具有个体差异性,需要通过类似本研究采用的剂量追踪方法,对患者的实际受照剂量进行相对准确的模拟后才能得出。

总之,通过利用kV级CBCT进行适当扫描,可以减少摆位误差引起的剂量学差异;通过在CBCT图像上进行剂量重建再计算后进行剂量累积,可以得到解剖结构的变化引起的剂量差异,其中腮腺的体积随着治疗次数的增加,缩小的最快,剂量变化最显著,为了减少腮腺的受量,提高患者生活质量,推荐选择合适的时间节点进行再计划。本研究也为实施自适应放疗的临床应用提供了依据。

【参考文献】

- [1] LEE C, LANGEN K M, LU W, et al. Assessment of parotid gland dose changes during head and neck cancer radiotherapy using daily megavoltage computed tomography and deformable image registration [J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2008, 71(5): 1563-1571.
- [2] BARKER J L, GARDEN A S, ANG K K, et al. Quantification of volumetric and geometric changes occurring during fractionated radiotherapy for head-and-neck cancer using an integrated CT/linear accelerator system[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2004, 59(4): 960-970.
- [3] AHN P H, CHEN C C, AHN A I, et al. Adaptive planning in intensity-modulated radiation therapy for head and neck cancers: single-institution experience and clinical implications[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2011, 80(3): 677-685.
- [4] YANG H, HU W, WANG W, et al. SU-E-T-550: Influence of the clinical outcome and quality of life by replanning during intensity-modulated radiation therapy for nasopharyngeal carcinoma[J]. *Med Phys*, 2012, 39(6): 3832.
- [5] SIEBERS J V, KEALL P J, WU Q, et al. Effect of patient setup errors on simultaneously integrated boost head and neck IMRT treatment plans[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2005, 63(2): 422-433.
- [6] The ICRU Report 83: prescribing, recording and reporting photon-beam intensity-modulated radiation therapy (IMRT) [J]. *Strahlenther Onkol*, 2012, 188(1): 97-99.
- [7] 中国鼻咽癌临床分期工作委员会. 2010鼻咽癌调强放疗靶区及剂量设计指引专家共识[J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2011, 20(4): 267-269.
- Chinese Nasopharyngeal Carcinoma Clinical Staging Working Committee. Expert consensus on target area and dose design guidelines for 2010 nasopharyngeal carcinoma patients with intensity modulated radiation therapy [J]. *Chinese Journal of Radiation Oncology*, 2011, 20(4): 267-269.
- [8] RayStation 4.0.2 user specifications[J].
- [9] DEN R B, DOEMER A, KUBICEK G, et al. Daily image guidance with cone-beam computed tomography for head-and-neck cancer intensity-modulated radiotherapy: a prospective study[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2010, 76(5): 1353-1359.
- [10] 罗晓丽, 王希成, 任萍. 头颈肩面罩在鼻咽癌调强治疗中的摆位误差分析[J]. *现代医院*, 2012, 12(2): 26-27.
- LUO X L, WANG X C, REN P. Analysis of the disposition error on head-neck- shoulder mask in intensify treatment of nasopharynx cancer [J]. *Modern Hospital*, 2012, 12(2): 26-27.
- [11] 黄慧娟. 鼻咽癌调强放疗期间自适应放疗计划时机的研究[D]. 南宁: 广西医科大学, 2014.
- HUANG H X. The optimal timing of replanning for intensity modulated radiation therapy nasopharyngeal carcinoma adaptive radiation therapy[D]. Nanning: Guangxi Medical University, 2014.
- [12] HAN C, CHEN Y J, LIU A, et al. Actual dose variation of parotid glands and spinal cord for nasopharyngeal cancer patients during radiotherapy[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2008, 70(4): 1256-1262.
- [13] 周祥, 张书旭. 鼻咽癌自适应放疗时腮腺保护的研究进展[J]. *中国医学物理学杂志*, 2016, 33(3): 258-261.
- ZHOU X, ZHANG S X. Nasopharyngeal carcinoma parotid gland protection intensity-modulated radiotherapy adaptive radiotherapy[J]. *Chinese Journal of Medical Physics*, 2016, 33(3): 258-261.
- [14] WANG W, YANG H, HU W, et al. Clinical study of the necessity of replanning before the 25th fraction during the course of intensity-modulated radiotherapy for patients with nasopharyngeal carcinoma [J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2010, 77(2): 617-621.
- [15] 施林心. 影像引导的自适应放疗在鼻咽癌治疗中的应用研究[D]. 合肥: 安徽医科大学, 2014.
- SHI L X. Application of image-guided adaptive radiotherapy in the treatment of nasopharyngeal carcinoma [D]. Hefei: Anhui Medical University, 2014.

(编辑:薛泽玲)