

肩膀位置移动对头颈部肿瘤放疗的影响

吴哲¹ 庞亚² 陈晓梅¹ 王东¹ 明智¹ 刘可¹ 晏军¹

¹(自贡市第一人民医院肿瘤科 自贡 643000)

²(自贡市第一人民医院护理部 自贡 643000)

摘要 分析头颈部肿瘤放射治疗摆位过程中肩膀位置移动对靶区和危及器官的剂量学影响。选取14例不同类型头颈部肿瘤患者,通过放疗计划系统在原始定位CTs(o-CTs)的基础上,使肩膀位置向头-脚(SI)、腹-背(AP)、左-右(LR)6个方向均分别移动3 mm、6 mm和15 mm,产生252(14×6×3=252)个新的CTs(n-CTs),设定移动后新的组织密度为1 g/cm³,同时考虑骨组织的移动。将治疗用的放疗计划(o-plan)复制到n-CTs上重新计算,得到252个新计划(n-plan)。研究固定野调强放疗(Intensity modulated radiation therapy, IMRT)、容积弧形调强(Volume modulated arc therapy, VMAT)方式下o-plan与n-plan靶区 $D_{95\%}$ 和危及器官 D_{max} 的差异,对比肩膀位置移动对靶区和脊髓的剂量变化。肩膀位置移动对头颈部肿瘤靶区和危及器官影响客观存在,特别是VMAT方式下肩膀朝头(S)方向移动15 mm影响最大。靶区位置越靠近肩膀,影响越严重;VMAT方式下肩膀朝脚(I)方向移动3 mm、6 mm、15 mm脊髓剂量增加较大,最大分别达到了72.8 cGy、100 cGy和212 cGy; n-plan与o-plan做3D γ 通过率(3%/3 mm)分析,结果除向头方向移动15 mm外均在95%以上。放疗技师在头颈部肿瘤放疗摆位时应当注意肩膀轻贴热塑模具,防止病人耸肩,物理师在计划设计时应考虑危及器官剂量限量留有足够余量,防止摆位带来的剂量超量。

关键词 肩膀位移, 头颈部肿瘤, 放射治疗, 靶区, 危及器官

中图分类号 R318, R815.6

DOI: 10.11889/j.1000-3436.2021.rj.39.030301

Effect of shoulder position shift on radiotherapy for head and neck cancer

WU Zhe¹ PANG Ya² CHEN Xiaomei¹ WANG Dong¹ MING Zhi¹ LIU Ke¹ YAN Jun¹

¹(Department of Oncology, Zigong First People's Hospital, Zigong 643000, China)

²(Department of Nursing, Zigong First People's Hospital, Zigong 643000, China)

ABSTRACT To analyze the dosimetric effects of shoulder position shift on target volumes and organs at risk (OARs) during radiotherapy for head and neck cancer, 14 patients with different types of head and neck cancer were selected. Based on original positioning CTs (o-CTs), the shoulder position was moved toward the superior inferior (SI) direction, anterior posterior (AP) direction, and the left right (LR) direction by 3 mm, 6 mm, and 15 mm, then 252 new CTs (n-CTs) were produced. After setting the movement, the new adipose tissue density was set to 1 g/cm³, and the movement of the bone tissue was also considered. The original plan (o-plan) on the o-CT was copied to the n-

第一作者: 吴哲,男,1991年9月出生,2018年于重庆大学获硕士学位,核科学与技术专业,现为自贡市第一人民医院放疗室医学物理师,从事放射物理工作

通信作者: 晏军,主任医师, E-mail: wuzhecqu@163.com

收稿日期: 初稿 2020-10-09; 修回 2020-11-25

First author: WU Zhe (male) was born in September 1991, and obtained his master's degree from Chongqing University in 2018, majoring in nuclear science and technology. Now he works in the Department of Radiation Oncology of Zigong First People's Hospital as a medical physicist, engaging in medical physics of radiation therapy

Corresponding author: YAN Jun, professor of medicine, E-mail: wuzhecqu@163.com

Received 09 October 2020; accepted 25 November 2020

CTs and recalculated to obtain 252 new plans (n-plans). The differences between the o-plan and n-plan target volumes and OARs in field-fixed intensity modulated radiotherapy and the volumetric modulated arc intensity (VMAT) were studied, and the dose changes of the target volume $D_{95\%}$ and spinal cord $D_{\max}$ were compared with the movement of the shoulder position. It was proved that the effects of the shoulder position shift on the target volume and OARs for head and neck cancers are substantial, especially a 15 mm shift toward the superior direction had the greatest influence, reaching 4.16% (VMAT). The closer the target area is to the shoulder, the more serious the impact. The spinal cord dose increased greatly, reaching a maximum of 72.8 cGy, 100 cGy and 212 cGy (VMAT), respectively, for shift of 3 mm, 6 mm, and 15 mm towards the inferior direction. The o-plan and p-plan were analyzed using a 3D γ passing rate (3%/3 mm), that was more than 95% except for the 15 mm shift towards the superior direction. Radiotherapy technicians should pay attention to ensure that the shoulder is lightly touching the thermoplastic mold during radiotherapy positioning for head and neck tumors to prevent patients from shrugging their shoulders. The OAR dose limit should be considered in the planning design, and a sufficient margin should be left to prevent the excessive dose caused by the positioning.

KEYWORDS Shoulder position shift, Head and neck tumor, Radiotherapy, Target volume, Organs at risk

CLC R318, R815.6

放射治疗过程中的摆位误差会对放射治疗精度造成影响,进而会影响最终的放疗疗效甚至安全^[1]。头颈部肿瘤涉及的危及器官较多,靶区与危及器官紧邻,对误差精度的要求更加严格。在头颈部肿瘤放疗中,通常采用头架、头枕和头颈肩模具组合使用作为体位固定装置,该装置对保持体位一致性起到了重要的作用。为了进一步减小治疗误差,又开发出了锥形束CT (Cone beam computer tomography, CBCT) 和电子射野影像系统 (Electronic portal imaging device, EPID)^[2] 等图像引导放疗技术,以降低一些摆位误差对剂量的影响,但是仍有一些问题有待解决,例如肩膀的位置移动,在摆位过程中,或多或少都存在肩膀位置的移动,例如患者两边的肩膀朝左-右(LR)方向、腹-背(AP)方向、头-脚(SI)方向移动,这些移动往往不是自主发生的,很难凭肉眼判断。肩膀位置移动造成了头颈部肿瘤计划设计的剂量与实际投照剂量不一致。医生、物理师、放疗技师需要判断肩膀位置移动对靶区和危及器官造成的剂量学影响,来评估实施治疗前是否需要重新摆位。国外学者^[3-5]报道在头颈部肿瘤放疗过程中,肩膀位置移动超过了1 cm。头颈部肿瘤病理类型种类较多,具备各自的生物学行为特点,不同的疾病分期和病理类型包括的靶区范围稍有不同,但大致包括原发病灶、阳性淋巴结区、高危和低危转移区。本文针对不同病理类型以及不同分期的头颈部肿瘤设计VMAT (Volumetric modulated arc therapy) 和 IMRT (Intensity

modulated radiotherapy) 放射治疗计划。研究肩膀位置朝不同方向移动后靶区和危及器官的剂量学变化,并分析三维 γ 通过率,旨在为放疗临床工作者提供参考。

1 材料和方法

1.1 研究对象与一般资料

选取既往在自贡市第一人民医院肿瘤科治疗的14例头颈部肿瘤患者,包括下咽癌1例、舌癌4例、喉癌4例、鼻咽癌5例。肿瘤原发灶均经病理证实,KPS评分均在70分以上。筛选数据经医院伦理委员会审批。使用头颈肩热塑模及专用碳纤维板和枕头固定患者,统一取仰卧位,在CT模拟定位机下增强扫描,CT扫描层厚3 mm,获得CT影像后,通过专用网络传输至Eclipse v13.6放疗计划工作站,由高年资医生在计划系统上进行靶区和危及器官的勾画,再由物理师在计划系统设计放疗计划。靶区类型包括:66~70 Gy的原发病灶PTV1;66~70 Gy的淋巴结区PGTV2;59~63 Gy的高危预防区PTV3;50~54 Gy的低危预防区PTV4;部分涉及多靶区的采用同步推量。其中7例设计VMAT计划,7例设计9野IMRT计划,资料如表1所示。VMAT为两个共面全弧,IMRT为9野共面,角度均分别为0°、30°、70°、120°、160°、200°、240°、280°和320°。所有计划均是基于瓦里安Trilogy加速器,射线质为6 MV X射线。

表1 14例头颈部肿瘤患者基本信息
Table 1 Basic information of 14 head & neck cancer patients

编号 No.	癌症类型 Cancer type	放疗方式 RT type	靶区类型 Target type	处方剂量 / Gy Prescription dose	分期 TNM staging
p1	喉癌 Larynx cancer	IMRT	PTV4	50.00	T3N2M0
p2	舌癌 Tongue cancer	IMRT	PTV4	50.14	T3N1M0
p3	喉癌 Larynx cancer	VMAT	PTV3	60.00	T3N2M0
p4	舌癌 Tongue cancer	VMAT	PTV4	50.00	T2N1M0
p5	舌癌 Tongue cancer	IMRT	PTV3/4	59.36/50.96	T3N2M0
p6	舌癌 Tongue cancer	IMRT	PTV1/2/3	69.96/69.96/59.40	T2N2M0
p7	下咽癌 Hypopharynx cancer	VMAT	PTV3/4	60.00/54.00	T2N0M0
p8	喉癌 Larynx cancer	VMAT	PTV1/3	69.96/59.40	T3N1M0
p9	鼻咽癌 Nasopharynx cancer	IMRT	PTV1/2/3/4	69.96/64.00/60.06/54.12	T3N2M0
p10	鼻咽癌 Nasopharynx cancer	IMRT	PTV1/3/4	69.96/59.40/54.12	T3N1M0
p11	鼻咽癌 Nasopharynx cancer	IMRT	PTV1/2/3	69.96/69.96/60.72	T2N2M0
p12	喉癌 Larynx cancer	VMAT	PTV1/3/4	69.96/59.40/54.12	T3N1M0
p13	鼻咽癌 Nasopharynx cancer	VMAT	PTV1/3/4	69.96/59.40/54.12	T2N2M0
p14	鼻咽癌 Nasopharynx cancer	VMAT	PTV1/2/3/4	69.96/69.96/59.40/50.16	T2N2M0

1.2 影像配准

为了获取肩膀位置移动的大小，选取实际临床工作的若干幅头颈部肿瘤患者 CBCT 图像。对 CBCT 图像与定位 CT 进行配准，以第二到第七颈椎（C2~C7）为中心，由于 CBCT 的视野（Field of view, FOV）较小，无法获取肱骨头及肩膀外侧比较全面的肩膀图像，故测量肩胛骨等比较明显的结构的位置移动距离。发现 SI 方向、AP 方向、LR 方向肩膀位置移动主要集中在 0~6 mm（约占 75%），少数在 10 mm（约占 6%）以上，如图 1 所示。

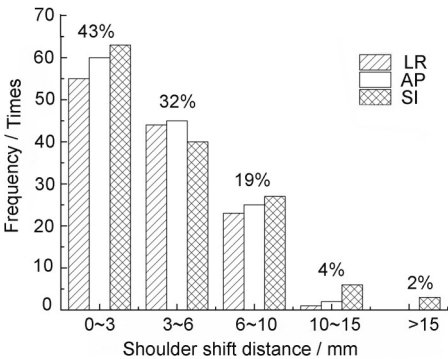
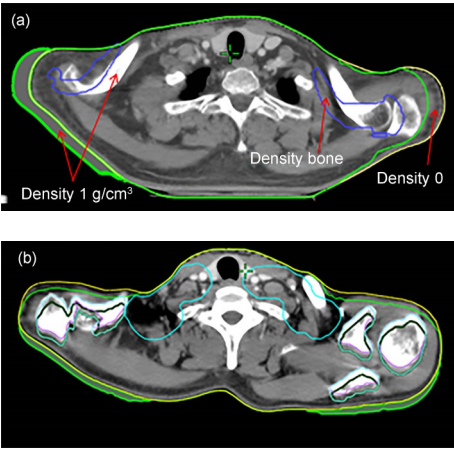


图1 肩膀位置移动统计
Fig.1 Shoulder position shift statistics

1.3 肩膀位置移动

为了模拟摆位过程中的肩膀位置移动，在计划系统原始定位 CT（o-CT）基础上，利用“结构边界”功能外扩或者收缩肩膀位置。如图 2 所示，

肩膀轮廓外扩时，新的组织密度设置为 1 g/cm³；肩膀轮廓收缩时，轮廓外的组织不会参与剂量计算，床板支撑结构除外。此外，肩膀位置移动时，肱骨头、肩胛骨、锁骨等骨组织也朝着相同方向移动，移动后新的骨头位置设置骨头密度，原来位置设置 1 g/cm³，如图 2（a）所示。以影像配准结果为依据，使肩膀朝着 SI 方向、AP 方向、LR 方向分别移动 3 mm、6 mm 和 15 mm，得到新的 CT（n-CT）。图 2（a）、（b）、（c）展示了肩膀朝右（R）、背（P）、头（S）方向移动，向其他方向移动同理。每例病人肩膀朝 6 个方向分别移动 3 mm、6 mm、15 mm，得到 18 个 n-CT。所有病例最终得到 252 个 n-CT（14×6×3=252）。将原始治疗计划（o-plan）复制到 n-CT 上重新计算^[6]，得到肩膀位置移动后的新计划（n-plan）。



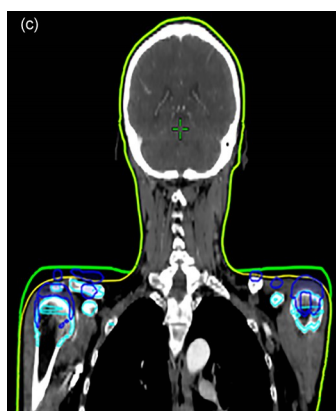


图2 肩膀位置移动:(a)朝R方向移动;(b)朝P方向;(c)朝S方向移动

Fig.2 Shoulder position shift: (a) in the direction of R; (b) in the direction of P; (c) in the direction of S

1.4 γ 通过率

运用PTW VeriSoft v7.1 软件分析计划验证通过率, 分析肩膀移动后的 n-plan 和定位 CT 的 o-plan 的差异, 设置的标准为 3%/3 mm^[7]。最终的 γ 通过率是指靶区和危及器官上的点通过标准的百分比, 通过标准的 γ 通过率越高, 意味着 n-CT 与 o-CT 重复性越好。本研究 95% 为计划通过阈值。

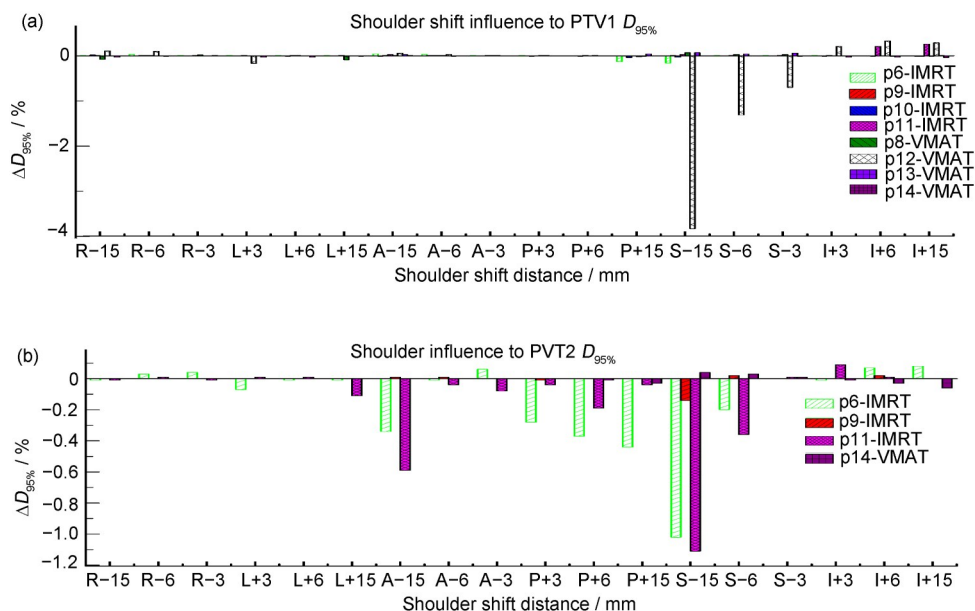
2 结果

2.1 靶区参数变化

肩膀位置移动导致靶区 $D_{95\%}$ (95% 靶区体积达到的处方剂量) 剂量变化定义如式 (1)。

$$\Delta D_{95\%}(\%) = \left(\frac{D_{n-plan, 95\%}}{D_{o-plan, 95\%}} - 1 \right) \times 100 \quad (1)$$

式中: $D_{n-plan, 95\%}$ 表示肩膀位置移动后新计划 95% 靶区体积达到的处方剂量; $D_{o-plan, 95\%}$ 为原始计划上 95% 靶区体积达到的处方剂量。总结肩膀位置移动对 PTV1/2/3/4 $D_{95\%}$ 影响, 如图 3 所示。图 3 中横坐标 “-” 表示朝 R、A、S 方向移动。“+” 表示朝 L、P、I 方向移动。从图 3 可以看出, PTV1 $D_{95\%}$ 变化最大的是病人 p12-VMAT, 肩膀朝头 (S) 方向移动 15 mm, $D_{95\%}$ 减少 3.83%, 主要是因为此病人是喉癌, 靶区 PTV1 下界达到了 C6 水平, 其他方向 (RL、AP、I) 靶区影响甚微, 均在 0.5% 以内; PTV2 $D_{95\%}$ 变化较大的是 p6-IMRT 和 p11-IMRT, 病人 p6 是舌癌, PTV2 为锁骨上区淋巴结转移, 病人 p11 是鼻咽癌, PTV2 为淋巴结转移区 (跨度 C2-T3), 肩膀朝 S 方向移动 15 mm, $D_{95\%}$ 减少达到 1.11%, 其他方向移动距离均在 0.6% 以内; PTV3 $D_{95\%}$ 变化较大的是 p12-VMAT (喉癌)、p3-VMAT (喉癌)、p6-IMRT (舌癌), 肩膀朝 S 方向移动 15 mm, $D_{95\%}$ 减少最大达到了 3.99%, 这三个病人的靶区 PTV3 均是靠近肩膀水平, 故影响比其他的 (如鼻咽癌靶区 PTV3) 大; PTV4 $D_{95\%}$ 变化较大的是 p14-VMAT (鼻咽癌)、p1-IMRT (喉癌)、p7-VMAT (下咽癌), 肩膀朝 S 方向移动 15 mm, $D_{95\%}$ 减少最大达到了 4.16%。此外, PTV4 比 PTV1/2/3 受影响更大, 从图 3 中看出, 其他方向其他移动距离, $D_{95\%}$ 变化半数达到了 0.5% 以上。主要是因为 PTV4 靶区的范围基本上是在肩膀水平上, 所以 PTV4 受肩膀影响最大。



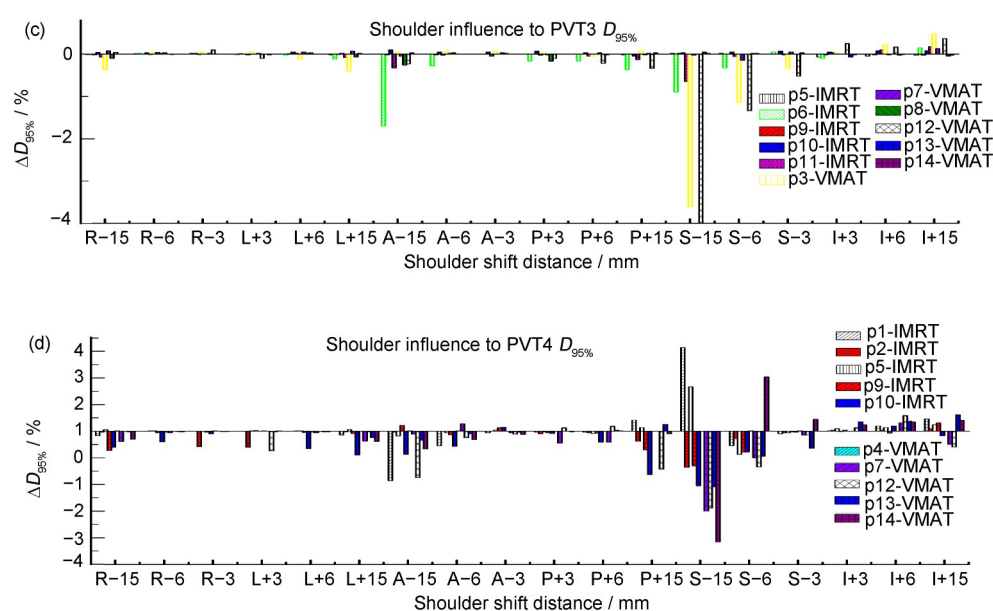


图3 肩膀位置移动对PTV1 (a)、PTV2 (b)、PTV3 (c)和PTV4 (d) $D_{95\%}$ 的影响(彩色见网络版)
 Fig.3 Effect of shoulder position movement on PTV1 (a), PTV2 (b), PTV3 (c) and PTV4 (d) $D_{95\%}$ (color online)

2.2 脊髓剂量变化

总结所选头颈部肿瘤患者肩膀朝各个方向移动 3 mm、6 mm、15 mm，后共 252 个 n-plan 与对应的 o-plan 脊髓剂量最大值 ($D_{\max}$) 的差值如图 4 所示，脊髓剂量增加较大的是肩膀朝脚 (I) 方向移动 3 mm、6 mm、15 mm，脊髓剂量分别增加了

72.8 cGy、100 cGy 和 212 cGy。

2.3 γ 通过率结果

总结 n-plan 与对应 o-plan 的 γ 通过率，如表 2 所示，IMRT 和 VMAT 计划组 γ 通过率最低的是肩膀朝头方向移动 15 mm，分别为 $(94.7 \pm 1.5)\%$ 和 $(94.1 \pm 2.1)\%$ 。

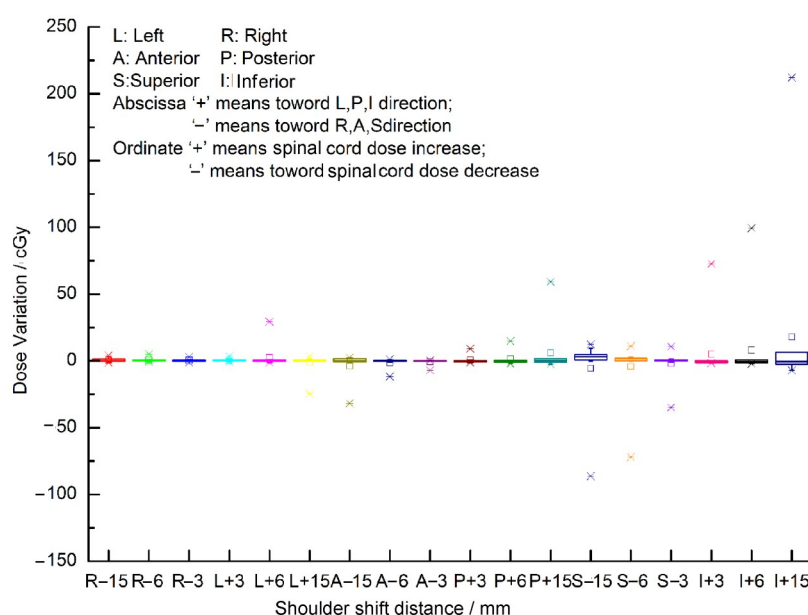


图4 脊髓最大剂量变化(彩色见网络版)
 Fig.4 Spinal cord maximum dose variation (color online)

表2 肩膀移动后 n-plan 与对应 o-plan 计划 γ 通过率
Table 2 γ passing rate of n-plan and o-plan after shoulder movement ($\bar{x}(s)$, %), 3%/3 mm

治疗	移动	移动距离 Shift distance / mm					
方式 Radiotherapy type	方向 Shift direction	-15	-6	-3	3	6	15
IMRT	RL	98.2(1.2)	98.9(1.0)	98.9(1.1)	98.7(1.1)	98.5(1.3)	98.1(1.2)
	AP	96.4(1.2)	98.7(0.9)	99.4(0.9)	99.6(0.9)	98.8(0.9)	96.8(1.3)
	SI	94.7(1.5)	98.5(0.8)	99.4(0.8)	99.3(1.1)	98.8(1.2)	96.3(1.5)
VMAT	RL	98.4(0.7)	98.8(0.9)	98.7(0.7)	99.3(0.9)	99.1(0.9)	98.5(0.7)
	AP	96.7(0.8)	98.8(0.6)	99.2(0.7)	99.1(0.9)	98.6(0.6)	97.1(0.8)
	SI	94.1(2.1)	97.5(1.3)	98.4(1.2)	98.7(1.1)	98.3(1.3)	96.5(1.9)

注：表中负数表示 R、S、A 方向；正数表示 L、I、P 方向。

Note: Negative numbers in the table represent R, S and A directions; positive numbers represent the L, I, and P directions.

3 讨论

放射治疗过程中，患者体位一致性是影响精准放疗疗效的重要因素。头颈肩热塑模具提高了头颈部肿瘤放疗的精度，但是肩膀位置移动对靶区和危及器官的影响难以预料。实际身体的移动情况、解剖的复杂性等造成了研究的困难。近年来，通过改变定位 CT 身体轮廓来研究剂量学的文献被广泛报道^[8-13]。Chow 等^[8]通过在前列腺癌患者腹部及左右两个侧面方向均匀缩小身体轮廓模拟体重减小，进而研究靶区及直肠、膀胱、股骨头等部位的剂量变化；Astrid 等^[9]通过胰腺癌定位 CT 与 CBCT 影像配准，得到身体轮廓改变位置，再有目的地针对改变位置外扩或收缩身体轮廓模拟解剖结构改变。文献 [10-12] 以前列腺和头颈部肿瘤为例，通过改变身体轮廓模拟解剖部位改变、体重改变（增加或减小），进而研究相关剂量变化。这些报道^[8-13]的身体轮廓改变方式虽然与实际临床情况存在差异，却是研究此类剂量学问题的重要方法。本研究在定位 CT 基础上改变身体轮廓方向模拟肩膀位置移动，以实际临床影像配准的肩膀位置移动大小为依据，采用国外报道的方法论^[13]，针对不同病理类型、不同处方剂量展开研究。图 1 的肩膀位置移动的统计影像配准的结果与 Neubauer 等^[5]报道不同，其中肩膀位移 2~6 mm 占 85%，10 mm 以上位移占 2%。本研究采用的 CBCT 由于 FOV 较小，获取影像测量肩膀位置移动方法较为粗糙，测量结果与文献 [5] 的结果相比偏大。

本研究结果显示：肩膀位置移动对头颈部肿瘤靶区的影响主要取决于靶区位置，靶区位置越靠近肩膀，影响越大。当靶区有 69.96 Gy 的原发病灶 PTV1，且侵犯范围到了 C7 椎体时，喉癌影响较大达到 3.83%；当靶区有 66~70 Gy 的淋巴结区

PGTV2 时，舌癌、鼻咽癌影响较大达到 1.11%；当靶区有 59~63 Gy 的高危预防区 PTV3 时，喉癌影响较大达到 3.99%；当靶区有 50~54 Gy 的低危预防区 PTV4 时，下咽癌、鼻咽癌、喉癌影响较大达到 4.16%，移动距离越小，影响越小，此结果与 Neubauer 等^[14]的研究结论类似。肩膀位置在左右方向和腹部方向移动对脊髓剂量影响小于头脚方向。肩膀位置朝脚（I）方向移动 15 mm，脊髓 $D_{\max}$ 增加，最大达到 212 cGy，Neubauer^[13]报道了三例头颈部肿瘤患者，脊髓 $D_{\max}$ 同样在 I 方向移动 15 mm 时增加最大。 γ 通过率结果显示：肩膀朝头（S）方向移动 15 mm 的 γ 通过率小于 95%，其他方向移动的计划 γ 通过率结果均大于 95%。另外，针对 VMAT 计划，机架 360° 旋转过程中出束，剂量率、机架速度、多叶光栅运动等都在机架旋转过程中变化，而 IMRT 计划，只在设定的射野角度出束。结果显示，肩膀位置移动后 VMAT 会比 IMRT 影响更大，Pair 等^[6]报道每 1 cm 源皮距变化导致靶区平均剂量的改变：VMAT（3.6%）大于 IMRT（2.9%）。本研究也有类似的结论：如图 3 所示，对 PTV3 $D_{95\%}$ 影响，p3/12-VMAT 大于 p5/6/9/10/11-IMRT；对 PTV4 $D_{95\%}$ 影响，p14-VMAT 大于 p1-IMRT；对脊髓 $D_{\max}$ 影响，p12-VMAT（L+15 mm，212 cGy）大于 p6-IMRT（L+15 mm，32.8 cGy）； γ 通过率的影响也是 VMAT 大于 IMRT 计划（ $p < 0.05$ ，wilcoxon 秩和检验，SPSS22.0）。因此，VMAT 计划更应该重视肩膀位置移动对治疗精度的影响。

头颈部肿瘤靶区主要分为原发病灶 PTV1、淋巴结转移区 PTV2、高危转移区 PTV3、低危转移区 PTV4 等。尽管这些靶区的范围因人而异，极不固定，但本文尽量选取不同范围、不同类型的具有代表性的头颈部肿瘤展开讨论，因存在一定的局限性，如外扩产生新的组织密度设置为 1 g/cm³，

与真实的解剖结构有一定的差距（真实脂肪CT值在 $-190 \sim -30$ HU^[15]）。两边肩膀位置移动不一定沿同一方向进行（例如一边肩膀朝A，另一边朝P方向移动），或者肩膀可能朝多个方向移动（如同时向L、S方向移动），这些情况均没有考虑，肩膀移动引起的靶区和危及器官解剖结构变化不在本研究范围内。下一步，开展更多病例、更多类型头颈部肿瘤的研究；开展肩膀移动后VMAT和IMRT计划差异性的研究。

综上所述，肩膀位置移动对头颈部肿瘤靶区和危及器官影响客观存在，且在头-脚（SI）和腹-背（AP）方向的影响大于左-右（LR）方向。结合 γ 通过率分析可得，当肩膀位置向头方向移动在15 mm及以上， γ 通过率较低，技师在摆位时应该注意病人是否耸肩。为保证体位一致性，在CT定位和治疗摆位时均应嘱托患者肩膀轻贴热塑模具；物理师在计划设计时应当对危及器官剂量限量留有足够余地，防止摆位时因肩膀位置移动带来的危及器官超量。

参考文献

- 惠华, 崔连环, 耿冲, 等. 头发对头颈部肿瘤精确放疗摆位误差影响[J]. 中华肿瘤防治杂志, 2018, **25**(3): 207-212.
HUI Hua, CUI Lianhuan, GENG Chong, *et al.* Effect of hair on placement error in precise radiotherapy of head and neck tumors[J]. Chinese Journal of Cancer Prevention and Treatment, 2018, **25**(3): 207-212.
- 刘利彬, 吴君心, 瞿宜艳, 等. 千伏级锥形束CT与兆伏级电子摄野影像系统在鼻咽癌影像引导放疗的对比研究[J]. 中国医学物理学杂志, 2012, **29**(6): 3721-3723. DOI: 10.3969/j.issn.1005-202X.2012.06.003.
LIU Libin, WU Junxin, QU Yiyang, *et al.* Research and compare the application of the electronic portal imaging device and conebeam CT in IGRT for the nasopharyngeal carcinoma patients[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2012, **29**(6): 3721-3723. DOI: 10.3969/j.issn.1005-202X.2012.06.003.
- Court L E, Wolfsberger L, Allen A M, *et al.* Clinical experience of the importance of daily portal imaging for head and neck IMRT treatments[J]. Journal of Applied Clinical Medical Physics, 2008, **9**(3): 26-33. DOI: 10.1120/jacmp.v9i3.2756.
- Gilbeau L, Octave-Prignot M, Loncol T, *et al.* Comparison of setup accuracy of three different thermoplastic masks for the treatment of brain and head and neck tumors[J]. Radiotherapy and Oncology, 2001, **58**(2): 155-162. DOI: 10.1016/S0167-8140(00)00280-2.
- Neubauer E, Dong L, Followill D, *et al.* Assessment of shoulder position variation and its impact on IMRT and VMAT doses for head and neck cancer[J]. Radiation Oncology, 2012, **7**(1): 19. DOI: 10.1186/1748-717x-7-19.
- Pair M L, Du W L, Rojas H D, *et al.* Dosimetric effects of weight loss or gain during volumetric modulated arc therapy and intensity-modulated radiation therapy for prostate cancer[J]. Medical Dosimetry, 2013, **38**(3): 251-254. DOI: 10.1016/j.meddos.2013.02.004.
- Hussein M, Clark C H, Nisbet A. Challenges in calculation of the gamma index in radiotherapy - Towards good practice[J]. Physica Medica, 2017, **36**: 1-11. DOI: 10.1016/j.ejmp.2017.03.001.
- Chow J C L, Jiang R Q. Dosimetry estimation on variations of patient size in prostate volumetric-modulated arc therapy[J]. Medical Dosimetry, 2013, **38**(1): 42-47. DOI: 10.1016/j.meddos.2012.05.005.
- Astrid V D H, Antonetta C H, Geertjan V T, *et al.* Dosimetric effects of anatomical changes during fractionated photon radiation therapy in pancreatic cancer patients[J]. Journal of Applied Clinical Medical Physics, 2017, **18**(6): 142-151. DOI: 10.1002/acm2.12199.
- Chow J C L, Jiang R Q. Comparison of dosimetric variation between prostate IMRT and VMAT due to patient's weight loss: patient and phantom study[J]. Reports of Practical Oncology & Radiotherapy, 2013, **18**(5): 272-278. DOI: 10.1016/j.rpor.2013.05.003.
- Chen C B, Fei Z D, Chen L S, *et al.* Will weight loss cause significant dosimetric changes of target volumes and organs at risk in nasopharyngeal carcinoma treated with intensity-modulated radiation therapy? [J]. Medical Dosimetry, 2014, **39**(1): 34-37. DOI: 10.1016/j.meddos.2013.09.002.
- Sun L Y, Kirkby C, Smith W. Dosimetric effect of body contour changes for prostate and head and neck volumetric modulated arc therapy plans[J]. Journal of Applied Clinical Medical Physics, 2019, **20**(4): 115-124. DOI: 10.1002/acm2.12571.
- Neubauer, E H. The effect of shoulder variation on IMRT and SmartArc for Head and Neck Cancer[D]. Houston: University of Texas, 2011. DOI: 10.1118/1.3611906.
- Neubauer E H, Dong L, Followill D. The effect of shoulder variation on IMRT and SmartArc for Head and Neck Cancer[J]. Medical Physics, 2011, **38**(6). DOI: 10.1118/1.3611906.
- Côté J A, Nazare J A, Nadeau M, *et al.* Computed tomography-measured adipose tissue attenuation and area both predict adipocyte size and cardiometabolic risk in women[J]. Adipocyte, 2016, **5**(1): 35-42. DOI: 10.1080/21623945.2015.1106057.