

DOI:10.3969/j.issn.1005-202X.2023.12.001

医学放射物理

食管癌个体化临床靶区-计划靶区外扩边界剂量研究及摆位误差分析

齐英男, 麦秀滢, 姜晓勃, 刘红冬, 朱文龙, 赵磊, 迟锋

华南恶性肿瘤防治全国重点实验室, 广东省恶性肿瘤临床医学研究中心, 中山大学肿瘤防治中心放疗科, 广东 广州 510060

【摘要】目的:研究食管癌放疗个体化临床靶区(CTV)-计划靶区(PTV)外扩边界剂量及摆位误差,在合理的剂量要求下提高放疗治疗精度。**方法:**选取2021年6月到2022年6月中山大学肿瘤防治中心黄埔院区收治的54例食管癌患者为研究对象,所有患者分次内均行锥形束CT(CBCT)图像扫描,共收集1 283次CBCT图像。在患者放疗前进行CBCT扫描,将CBCT图像与计划CT图像匹配,得到腹背方向(VRT)、头脚方向(LNG)、左右方向(LAT)、旋转横断位(Roll)、旋转矢状位(Pitch)、旋转冠状位(YAW)6个方向的误差。同时分别对54例患者前5次6个维度方向摆位误差计算出均值,利用单样本 t 检验方法,与全分次摆位误差进行比较,判断差异性。并利用公式(外放边界= $2.5\sum+0.7\delta$)计算出PTV外放边界。将计算得出的外扩边界分为5组:A组(所有方向均外扩5 mm),B组(LAT方向外扩7.9 mm,其它方向5 mm),C组(LNG方向外扩11.03 mm,其它方向5 mm),D组(VRT方向外扩6.36 mm,其它方向5 mm),E组(LAT方向外扩7.9 mm,LNG方向外扩11.03 mm,VRT方向外扩6.36 mm)对10例患者进行模拟计划制作。**结果:**通过统计学分析得出54例患者六维方向前5次误差均值与全分次误差差异性占比,54例患者6个维度方向共324个方向,其中192个方向(59.26%)差异没有统计学意义($P>0.05$)。其中LAT方向占比总病例数64.81%;LNG方向占比总病例数57.41%;VRT方向占比总病例数51.85%;Pitch方向占比总病例数64.81%;Roll方向占比总病例数57.41%;YAW方向占比总病例数59.26%。计算出CTV-PTV外扩边界为LAT=7.90 mm,LNG=11.03 mm,VRT=6.36 mm。运用统计学分析对比5组外扩边界下各危及器官及靶区覆盖率,结果均无统计学意义($P>0.05$)。**结论:**采用食管癌放疗前5次摆位误差预测后续摆位误差具有一定可行性,食管癌放疗合理的个体化外扩边界在不增大危及器官受照量的同时可以减少治疗分次间脱靶率,为食管癌靶区外扩提供参考,为精准治疗提供重要依据。

【关键词】食管癌;六维方向;剂量学;靶区个体化外扩;误差分析

【中图分类号】R318

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2023)12-1453-06

Individualized CTV-to-PTV margin dose and analysis of positioning errors in esophageal cancer

QI Yingnan, MAI Xiuying, JIANG Xiaobo, LIU Hongdong, ZHU Wenlong, ZHAO Lei, CHI Feng

State Key Laboratory of Oncology in South China, Guangdong Provincial Clinical Research Center for Cancer, Department of Radiotherapy, Sun Yat-sen University Cancer Center, Guangzhou 510060, China

Abstract: Objective To analyze the individualized CTV-to-PTV margin dose and positioning errors in radiotherapy for esophageal cancer for improving the treatment accuracy while meeting dose requirements. **Methods** Fifty-four esophageal cancer patients admitted to Sun Yat-sen University Cancer Center at Huangpu District from June 2021 to June 2022 were enrolled. All of the patients underwent CBCT scans in each fraction, and a total of 1 283 CBCT images were collected. The image registration between CBCT image before radiotherapy and planning CT image was carried out to obtain errors in vertical (VRT), longitudinal (LNG), lateral (LAT), Roll, Pitch, and YAW directions. The mean values of six-dimensional positioning errors in the first 5 fractions were calculated, and the results were compared with the total fractional errors using the single sample t -test method for determining the differences. The CTV-to-PTV margin was calculated with the formula (margin= $2.5\sum+0.7\delta$), and the calculated margins were divided into 5 groups: Group A (5 mm expansion in all directions), Group B (7.9 mm expansion in LAT direction, and 5 mm expansion in other directions), Group C (11.03 mm expansion in

【收稿日期】2023-08-30

【基金项目】国家自然科学基金(81874220);广东省食管癌研究所科技计划(M202222)

【作者简介】齐英男,研究方向:放射治疗技术,E-mail: qiyn@sysucc.org.cn

【通信作者】迟锋,副主任,研究方向:放射治疗技术,E-mail: chifeng@sysucc.org.cn

LNG direction, and 5 mm expansion in the other directions), Group D (6.36 mm expansion in VRT direction, and 5 mm expansion in the other directions), and Group E (7.9 mm expansion in LAT direction, 11.03 mm expansion in LNG direction, and 6.36 mm expansion in VRT direction). Simulation planning was conducted for 10 patients. **Results** The proportions of differences between the mean values of six-dimensional errors in the first 5 fractions and the total fractional errors in 54 patients were analyzed. There was no significant difference in 192 out of the 324 directions in 54 patients, accounting for 59.26% ($P>0.05$). Among them, the LAT, LNG, VRT, Pitch, Roll and YAW directions accounted for 64.81%, 57.41%, 51.85%, 64.81%, 57.41% and 59.26% of the total cases. The calculated CTV-to-PTV margin was 7.90, 11.03 and 6.36 mm in LAT, LNG and VRT directions. The statistical analysis showed that the differences in the coverage rates of organs-at-risk and target areas among the 5 groups of CTV-to-PTV margins were trivial ($P>0.05$). **Conclusion** Using the positioning errors in the first 5 fractions of radiotherapy for esophageal cancer to predict subsequent positioning errors is feasible. The reasonable individualized margin in radiotherapy for esophageal cancer can reduce the inter-fractional off-target rate without increasing the dose delivered to organs-at-risk. The study provides a reference for the target volume margin of esophageal cancer and an important basis for precision treatment.

Keywords: esophageal cancer; six-dimensional direction; dosimetry; individualized target volume margin; error analysis

前言

在我国每年新发的恶性肿瘤患者中,食管癌的死亡率位列第4^[1]。食管癌患者确诊时,多数已发展至中晚期,主要治疗措施为放疗^[2-4]。随着现代医学技术的发展,放疗技术逐渐精确化,可通过精确定位、计划及治疗来最大程度杀灭人体靶区的肿瘤细胞,并降低放疗对人体正常组织的负面影响^[5-6]。在实际放疗过程中,靶区受照射剂量的分布与治疗计划中的分布并非完全一致,其原因在于放疗过程中摆位误差的存在^[7-8]。摆位误差具体为患者实际放疗时躯体位置与治疗计划预估位置之间的差异,摆位误差可能导致患者靶区和正常区域受照射剂量出现差异,导致患者靶区漏照或导致正常区域受照剂量增加,不利于肿瘤控制^[9-10]。这就要求定位及摆位更加精确,但定位及摆位误差只能减小不可能完全消除^[11]。减少摆位误差引起的实际照射剂量分布与计划不一致的解决办法之一是对照射边界进行外扩,随着锥形束CT(CBCT)技术广泛应用于确定临床靶区(CTV)-计划靶区(PTV)的外放边界大小,目前对于癌症放疗CTV-PTV的外放边界大小尚未有明确的规定^[12-13]。合理的外放边界不仅可以使治疗的精度提高,而且可以降低不必要的照射剂量。但每次治疗前均进行CBCT扫描很可能导致危及器官剂量超量。对于前列腺癌患者,日常CBCT的使用可能会导致继发性肿瘤的发生概率上升2%~21%^[14]。对于头颈部肿瘤,在每次治疗前均进行CBCT扫描很可能导致脊髓剂量超量^[15]。在实际治疗中,多数病人分次间的摆位误差值在某些方向上数值接近,并且高频出现,当未进行CBCT扫描时,会造成靶区的移位以及危及器官受照剂量增加,因此需要准确预测患

者每次治疗时的摆位误差。只有当预测的患者摆位误差较大时才安排CBCT扫描,从而兼顾减小摆位误差和减少患者受到的额外辐射剂量的需求^[16]。若进行前5次摆位误差分析,将尽可能纠正或减少后续分次的放疗误差。吴润叶等^[17]利用鼻咽癌前5次CBCT误差值均值作为预测值,对第6次治疗时进行校对。孔玲玲等^[18]利用乳腺癌前5次CBCT误差均值校正后续治疗误差,提高治疗精度。王伟等^[19]探讨基于连续CBCT校正所得摆位误差预测后续疗程摆位误差的可行性。李庆等^[20]研究鼻咽癌前3次CBCT扫描得到的摆位误差可以用来预测后续治疗的摆位误差并在后续治疗中进行校正。本文将放疗前5次误差进行运算分析,对比全分次误差,进行差异性比较,同时配准CBCT图像得到误差值,根据实际治疗的摆位误差计算出实际CTV-PTV外放距离,并将计算得出的外放距离应用于模拟计划设计,为临床提供重要参考。

1 资料与方法

1.1 研究对象

选取中山大学肿瘤防治中心黄埔院区2021年6月~2022年6月就诊的食管癌调强放疗患者54例。其中,男41例,女13例;年龄18~60岁;54例患者均为鳞癌。每例患者治疗次数为20~28次,共得到CBCT图像1283次。纳入标准:(1)全部患者完善相关检查,符合食管鳞癌的诊断标准^[21];(2)具有调强放疗适应证,卡氏(KPS)评分>70分者。排除标准:(1)具有语言、肢体、认知障碍者;(2)年龄>60岁者,或<18岁者;(3)肿瘤病史者。

1.2 研究设备

医科达 Infinity 直线加速器, Monaco 计划系统,

GE Discovery16 排大孔径 CT 模拟定位机,真空袋 1.2 m。

1.3 定位及计划设计

患者上衣全脱,穿轻薄睡裤,自然仰卧位,双手自然置于体侧,告知患者手抓取舒适的位置,将真空袋抽气至定形,将病人置于 CT 床正中间,标记好剂量参考点,CT 摆位线后实施定位扫描。扫描范围第一颈椎至第二腰椎下缘,扫描层厚为 5 mm,并将图像传至 Monaco 计划系统进行计划设计。医生在 CT 图像勾画靶区,物理师根据医生要求做出最优计划。

1.4 治疗计划实施

医生认可计划以后,物理师首先进行 QA,计划通过验证之后,实施治疗。首次治疗医生、物理师在场确认后可进行放疗。每次治疗之前进行 CBCT 扫描,参数设置为:S20,100 kV,10 mAs,扫描角度为 360°,选取合理的匹配范围,先进行自动灰度配准,并结合手动细微匹配直至满意位置,得到 6 个维度方向误差值,如误差超过 5 mm 需得到医生确认。6 个维度方向分别为腹背方向(VRT)、头脚方向(LNG)、左右方向(LAT)、旋转横断位(Roll)、旋转矢状位(Pitch)、旋转冠状位(YAW)。

1.5 应用不同的外扩边界模拟制作放疗计划

首先利用公式^[22-23](外放边界=2.5 Σ +0.7 δ)计算出 PTV 外放边界,系统误差(Σ)= $\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n x_i$,随机误差

$$(\delta)=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [x_i - \Sigma]^2}{n}}$$

,系统误差为个体患者误差平均值的标准差,随机误差为个体患者误差标准差的均方根值。将外扩边界分为 5 组:A 组(3 个方向均外扩 5 mm),B 组(LAT 方向根据计算值外扩,其它方向外扩 5 mm),C 组(LNG 方向根据计算值外扩,其它方向外扩 5 mm),D 组(VRT 方向根据计算值外扩,其它方向外扩 5 mm),E 组(3 个方向均根据计算值外扩)对 10 例食管癌患者进行模拟计划优化,根据 DVH 图得到各组肺 V_5 、 V_{20} ,心脏 V_{30} ,脊髓最大剂量(D_{\max})和靶区覆盖率等。

1.6 统计学方法

采用 SPSS25 统计学软件进行数据分析。将 1 283 次摆位误差数据进行正态性检验,不符合正态分布的数据用 $M(Q_1, Q_3)$ 表示。将每例病人摆位误差分别进行正态性检验,采用单样本 t 检验,计算出每例患者前 5 次摆位误差平均数,将得出的平均数作为检验水准,与全分次误差值进行差异性分析。同时将剂量学数据进行正态性检验和方差齐性检验,符合正态分布的采用单因素方差分析,不符合正态分

布的采用非参数性 Kruskal-Wallis H 检验,对比各组肺 V_5 、 V_{20} ,心脏 V_{30} ,脊髓 D_{\max} 和靶区覆盖率的差异性。

2 结果

2.1 前 5 次误差与全分次误差差异性占比

通过单样本 t 值检验得出,54 例患者(每例患者 6 个方向)共 324 个方向,其中 192 个方向(59.26%)差异没有统计学意义($P>0.05$)。LAT 方向占比总病例数 64.81%;LNG 方向占比总病例数 57.41%;VRT 方向占比总病例数 51.85%;Pitch 方向占比总病例数 64.81%;Roll 方向占比总病例数 57.41%;YAW 方向占比总病例数 59.26%,如图 1 所示。

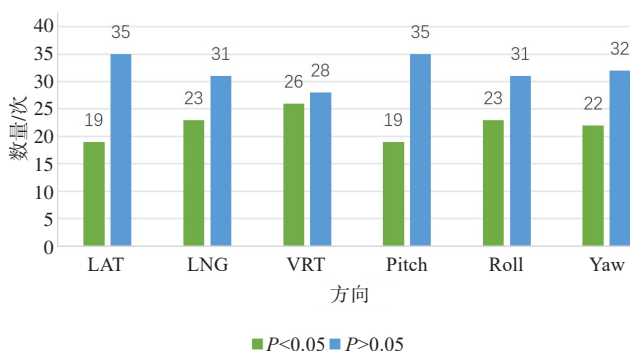


图1 前5次误差与全分次误差差异性占比

Figure 1 Proportions of differences between the errors in the first 5 fractions and the total fractional errors

2.2 CTV-PTV 外扩结果

计算出 PTV 外扩边界为 LAT(7.90 mm), LNG(11.03 mm),VRT(6.36 mm)。

2.3 各方向误差分布情况

通过 1 283 次 CBCT 图像配准,得到摆位误差 LAT 为 0.50 (-1.40, 2.40) mm, LNG 为 -2.85 (-5.90, -0.20) mm, VRT 为 -0.50 (-2.00, 0.90) mm;Roll 为 0.30° (-0.50°, 1.20°), Pitch 为 1.20° (0.50°, 2.00°), YAW 为 0.10° (-0.50°, 0.60°)。其中整体数据 5 mm 以内误差占总分次 82%。LAT 方向 5 mm 以内误差占总分次 87%;LNG 方向 5 mm 以内误差占总分次 63%;VRT 方向 5 mm 以内误差占总分次 94%;Roll 方向 2° 以内误差占总分次 82%;Pitch 方向 2° 以内误差占总分次 75%;YAW 方向 2° 以内误差占总分次 94%。各区间误差分布如图 2 所示。

2.4 不同外扩边界剂量差异

参考计算得出的外扩边界,得出 A、B、C、D、E 5 组不同外扩边界条件下,靶区覆盖率及危及器官剂量。通过分析得出,5 组不同外扩边界模拟制作的治

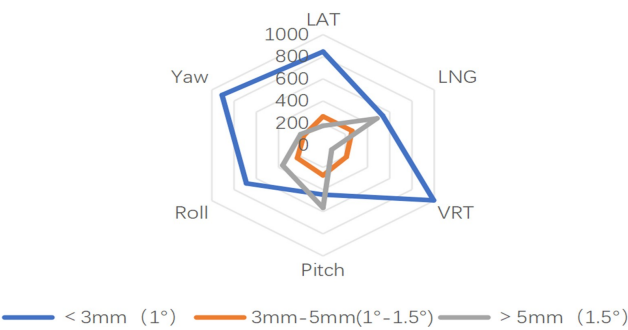


图2 各区间误差分布
Figure 2 Error distribution in each interval

疗计划肺 V_5 、 V_{20} ,心脏 V_{30} ,脊髓 D_{max} 和靶区覆盖率均无统计学意义($P>0.05$)。各组间剂量统计表如表1所示。

3 讨论

在食管癌患者接受放疗的过程中,患者自身的影响因素如食管蠕动、呼吸运动、心脏搏动等会导致内靶区位移,进而影响靶区受照射剂量分布^[24-25]。放疗过程中不仅需要保障靶区照射剂量,还需积极降

表1 10例计划在不同外扩边界下靶区和危及器官剂量统计结果($\bar{x}\pm s$)
Table 1 Dosimetric comparison of target areas and organs-at-risk in radiotherapy planning with different margins for 10 cases (Mean±SD)

病例	肺 V_{20}/cm^3	肺 V_5/cm^3	脊髓 D_{max}/cGy	心脏 V_{30}/cm^3	靶区覆盖率/%
1	17.86±2.70	43.39±2.07	4 042.20±22.89	0.48±0.59	97.73±0.24
2	19.55±1.61	55.17±1.73	4 446.78±24.01	27.61±1.39	94.13±0.61
3	21.29±1.11	47.72±1.12	3 964.58±22.14	4.47±0.34	97.31±0.24
4	17.56±1.07	46.23±1.72	3 723.24±62.45	21.93±1.58	92.83±0.72
5	21.04±2.43	56.77±3.24	4 046.20±28.12	21.01±1.26	96.25±0.68
6	16.25±1.06	38.00±0.97	4 435.24±20.04	12.30±2.67	88.97±0.87
7	4.50±0.51	12.98±0.98	4 450.72±75.61	2.05±0.78	95.02±1.21
8	15.79±0.42	49.84±1.32	3 236.62±16.71	14.42±1.79	97.19±0.35
9	4.57±0.88	22.08±1.59	4 460.78±12.51	1.24±0.35	96.34±1.35
10	22.34±1.89	55.26±2.34	4 455.52±32.09	28.59±2.92	94.65±0.43

低周围正常组织照射剂量以预防不良反应发生。摆位误差越小,治疗效果越好^[26]。为保证实际治疗中靶区稳定,CTV受照射剂量达到要求,在制定放疗计划时需进行合理的靶区外放。食管癌由CTV外放到PTV时,既要考虑呼吸运动引起的靶区运动,又要考虑放射治疗时分次间摆位误差,因此靶区的体积就会增大。随着靶区体积的增大,正常组织、肺和脊髓的受照量也会相应升高^[27]。

3.1 摆位误差分析

通过数据得出食管癌6个维度方向摆位误差,LNG方向误差明显高于其他两个方向误差。其中LNG方向5 mm以上误差占总次数的37%,均高于LAT方向18%、VRT方向6%。旋转Pitch方向误差明显高于其他两个方向,对比各个患者间摆位误差发现,LNG方向的均值均大于其他方向。结果提示对于食管癌放疗体位固定,控制LNG方向的体位移动以及Pitch方向旋转误差还需进一步提升,考虑将进一步完善食管癌体位固定。不同肿瘤的部位在摆位

误差、随机误差和肿瘤靶区活动范围具有一定差异^[28]。按照分段式分类固定:颈段、胸段、胸下段,可通过限制腋下以及裆部间接限制病人LNG方向的位移。同时,进一步控制体位的稳定性,可以减小治疗时摆位误差,增加重复性,使靶区覆盖率更优,并减小危及器官的受照量。

3.2 个体化CTV-PTV外扩剂量研究

临床上通常通过CBCT验证,以及CTV-PTV外扩来实现精准放疗。但在临床实际中发现,放疗过程中靶区和危及器官将会受到呼吸、心跳等各种器官运动影响,甚至会因为紧张焦虑导致体位变化。这些因素都将导致治疗靶区的偏移和正常组织的照射量增加,因此如何准确计算外扩距离尤为关键。本研究发现食管癌摆位误差在LNG方向误差和Pitch旋转方向的误差均高于其他方向,而通常临床上食管癌各个方向CTV-PTV外放边界为5 mm,这就很有必要寻求更为合适的CTV-PTV外放边界值。已经有研究显示食管癌均匀外放5 mm时,尚不能确保90%

患者95%内靶区体积达到处方剂量,仅有23%患者的95%内靶区体积达到处方剂量^[29]。当外放边界过小时,若治疗前未进行CBCT验证,将大大增加靶区偏移的可能。这时可以通过适当增加LNG方向外扩边界,相应降低LAT以及VRT方向的外扩边界。若外扩较大的PTV能够确保95%肿瘤靶区接受处方剂量放疗,但将增加周围正常组织放射性损伤的风险^[30]。由于患者个体间存在习惯性差异,所有方向均外扩相同的值已经不满足于临床要求。通过上述研究发现,不同组外扩边界制作的治疗计划危及器官和靶区覆盖率无统计学差异($P>0.05$)。因此根据不同需求,制定合理的个体化外扩边界将降低脱靶率的同时确保危及器官受照剂量不超标。制作个体化外放边界可以更大程度上减少CBCT使用次数,减少患者不必要的受照剂量。本文通过分析大量摆位误差得到真实的外放边界,这提醒对于外放边界的计算应该参考临床的摆位误差,合理的外放边界将使靶区的处方剂量达到要求,也将减少危及器官的受照量。因此,CTV-PTV的外扩边界精确度尤为重要。

3.3 前5次误差与全分次误差差异性

每次行CBCT扫描可以进一步提高治疗精度,但是会增加病人的辐射剂量。临床中存在每周行一次CBCT扫描的患者,病灶因多种误差引起的偏移靶区可能性将大大提高。丘敏敏等^[31]将盆腔肿瘤放疗误差数据集视为高斯混合形式分布的前提下,通过统计建模方法求解其GMM模型分布函数,实现对误差数据分布规律的定量描述和预测分析,为临床摆位和治疗误差控制提供参考。本文研究发现,通过前5次摆位误差分析,可以对后续摆位误差进行预测并可有效减小摆位误差,也可指导治疗师及时修改患者的固定方式,必要时甚至可以调整、修改和优化治疗计划。摆位误差虽然存在随机性、不确定性,但这可能是由于患者习惯性动作或固定方式不合理导致固定误差出现。通过本文研究发现,在一定程度上可以根据前几次摆位误差预测后续摆位误差。临床中已有诸多研究者利用模型进行误差预测,本文通过前5次误差分析,得出前5次误差均值与后续全分次误差差异性不明显,为减少CBCT使用次数提供参考,同时降低患者不必要的受照剂量。

3.4 本研究的局限性

本研究还存在一定的局限性。因为未将食管癌患者进行分段研究,只是将全部食管癌病例纳入研究;同时未将病人年龄、体质量、性别等可能造成摆位误差的影响因素加以考虑。进行差异性分析时,仅选取前5次摆位误差进行研究略显不足,最好能够

进行分段递增式研究,全面观察每段的摆位误差结果并进行差异性研究。模拟验证制作计划时,选取的计划数量较少,后续研究将增加模拟验证计划数量。

综上所述,食管癌放疗的精准性由多种因素决定,根据摆位误差可以回顾性总结分析固定方式是否合理,靶区外扩边界是否合理,以及出现的误差是否可以进行预测性干预等。同时个体化外扩边界可以根据不同患者制定,这些都将使临床受益。

【参考文献】

- [1] 贺宇彤,李道娟,梁迪,等. 2013年中国食管癌发病和死亡估计[J]. 中华肿瘤杂志, 2017, 39(4): 315-320.
He YT, Li DJ, Liang D, et al. Estimated of esophageal cancer incidence and mortality in China, 2013[J]. Chinese Journal of Oncology, 2017, 39(4): 315-320.
- [2] 曲日初. 血清微小RNA-451对食管癌放疗效果评估价值[J]. 肿瘤学杂志, 2019, 25(10): 896-899.
Qu RC. Value of serum micro RNA-451 in efficacy evaluation for patients with esophageal cancer undergoing radiochemotherapy[J]. Journal of Chinese Oncology, 2019, 25(10): 896-899.
- [3] 张丽,汪志,崔珍珍,等. 简化适形调强技术与调强适形放疗在胸段食管癌放疗中的剂量学比较[J]. 安徽医学, 2018, 39(9): 1048-1051.
Zhang L, Wang Z, Cui ZZ, et al. Dosimetric comparison between simplified intensity-modulation radiotherapy and intensity-modulation radiotherapy for patients with thoracic esophageal carcinoma[J]. Anhui Medical Journal, 2018, 39(9): 1048-1051.
- [4] 陈晨,李超,吴翠娥,等. 食管癌放疗后局部复发再程调强放疗的疗效和安全性分析[J]. 安徽医学, 2019, 40(4): 399-402.
Chen C, Li C, Wu CE, et al. Analysis of the efficacy and safety of intensity modulated radiotherapy for local recurrence of esophageal cancer after radiotherapy[J]. Anhui Medical Journal, 2019, 40(4): 399-402.
- [5] 孔雁,高红梅. 食管癌放射治疗10年生存分析及不同治疗方式的疗效比较[J]. 肿瘤防治研究, 2015, 42(1): 56-61.
Kong Y, Gao HM. Long outcome of radiotherapy for esophageal carcinoma and efficacy comparison of different treatment methods[J]. Cancer Research on Prevention and Treatment, 2015, 42(1): 56-61.
- [6] 程欣宇,吴慧,张瑞瑞,等. 307例II-III期食管癌同期放化疗预后分析[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2018, 27(2): 140-144.
Cheng XY, Wu H, Zhang RR, et al. Analysis of outcomes and prognostic factors in 307 stages II-III esophageal cancer patients treated with concurrent chemoradiotherapy[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2018, 27(2): 140-144.
- [7] 李庆. 老年食管癌在调强放射治疗中摆位误差的研究[J]. 肿瘤学杂志, 2018, 24(8): 832-837.
Li Q. Study on set-up errors in intensity-modulated radiotherapy for elderly patients with esophageal cancer[J]. Journal of Chinese Oncology, 2018, 24(8): 832-837.
- [8] 胡志纲,张红,任建,等. 130例放疗病人摆位误差分析[J]. 现代肿瘤医学, 2015, 23(17): 2500-2502.
Hu ZG, Zhang H, Ren J, et al. Analysis of setup errors for 130 patients treated with radiotherapy[J]. Journal of Modern Oncology, 2015, 23(17): 2500-2502.
- [9] 时勇,朱建国,张琳,等. 基于CBCT研究中上段食管癌放疗摆位误差及CTV外放边界确定[J]. 中华肿瘤防治杂志, 2019, 26(8): 545-548.
Shi Y, Zhu JG, Zhang L, et al. Analysis of the upper and middle segment esophageal setup errors and planning target margin based on CBCT for esophageal radiation with thermoplastic film immobilized[J]. Chinese Journal of Oncology Prevention and Treatment, 2019, 26(8): 545-548.
- [10] 田翠孟,张云泉,刘桂梅,等. 肺癌放疗两种体膜使用方式的摆位误差分析[J]. 中国医疗设备, 2015, 30(12): 120-122.
Tian CM, Zhang YQ, Liu GM, et al. Analysis of set-up errors of two

- body membrane usage methods in radiotherapy for lung cancers[J]. China Medical Devices, 2015, 30(12): 120-122.
- [11] 肖锋, 孙朝阳, 胡明民, 等. 三维适形及调强放疗摆位误差分析[J]. 中国医学物理学杂志, 2008, 25(3): 641-642.
- Xiao F, Sun CY, Hu MM, et al. Analyzing of set-up errors in three-dimensional conformal and intensity modulated radiotherapy [J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2008, 25(3): 641-642.
- [12] 赵晨辉, 韦义, 牛晓娜, 等. 肿瘤认识存在的问题及其对策思考[J]. 医学与哲学, 2015, 36(20): 1-4.
- Zhao CH, Wei Y, Niu XN, et al. A novel strategy towards the understanding of cancer[J]. Medicine & Philosophy, 2015, 36(20): 1-4.
- [13] 魏展福, 叶必云, 莫伟, 等. 千伏级CBCT引导下胸部肿瘤放疗中摆位误差及其外放边界分析[J]. 影像技术, 2015, 27(4): 55-56.
- Wei ZF, Ye BY, Mo W, et al. Analysis of positioning errors and external radiation boundaries in kilovolt level CBCT guided thoracic tumor radiotherapy[J]. Image Technology, 2015, 27(4): 55-56.
- [14] Altunbas C, Zheng D, Weiss E, et al. SU-FF-T-490: the effect of daily cone beam CT imaging dose on the secondary cancer risk for patients receiving prostate IMRT treatments[J]. Med Phys, 2009, 36(6 Part 16): 2636.
- [15] Spezi E, Downes P, Jarvis R, et al. Patient-specific three-dimensional concomitant dose from cone beam computed tomography exposure in image-guided radiotherapy[J]. Int J Radiat Oncol, 2012, 83(1): 419-426.
- [16] 高翔, 宋双, 张伟, 等. 基于深度学习方法的放疗患者摆位误差预测[J]. 北京生物医学工程, 2020, 39(4): 380-388.
- Gao X, Song S, Zhang W, et al. Prediction of setup errors for patients treated with radiotherapy based on deep learning method[J]. Beijing Biomedical Engineering, 2020, 39(4): 380-388.
- [17] 吴润叶, 高黎, 李明辉, 等. 应用非每日锥形束CT校位减少摆位误差对鼻咽癌调强放疗剂量影响[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2011, 20(5): 379-383.
- Wu RY, Gao L, Li MH, et al. Using non-daily cone-beam computed tomography reduce dosimetric effect of set-up errors in intensity-modulated radiotherapy for nasopharyngeal cancer [J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2011, 20(5): 379-383.
- [18] 孔玲玲, 程健, 李宝生, 等. 保留乳房术后放疗锥形束CT引导系统摆位误差预测的可行性研究[J]. 中华肿瘤防治杂志, 2013, 20(12): 949-952.
- Kong LL, Cheng J, Li BS, et al. Feasibility study on positioning error prediction of cone beam CT guided radiotherapy system after breast preservation surgery[J]. Chinese Journal of Cancer Prevention and Treatment, 2013, 20(12): 949-952.
- [19] 王伟, 李建彬, 徐敏, 等. 锥形束CT引导全乳调强放疗摆位误差自适应的预测与校正[J]. 中华肿瘤杂志, 2016, 38(3): 197-201.
- Wang W, Li JB, Xu M, et al. Cone beam CT-derived adaptive radiotherapy for setup error assessment and correction in whole breast intensity modulated radiotherapy[J]. Chinese Journal of Oncology, 2016, 38(3): 197-201.
- [20] 李庆, 尹龙斌, 谢慧轻, 等. 鼻咽癌调强放疗中摆位误差的变化趋势: 基于千伏级锥形束CT的前瞻性研究[J]. 放射学实践, 2017, 32(8): 870-875.
- Li Q, Yin LB, Xie HQ, et al. Trends of inter-fractional setup errors in intensity-modulated radiotherapy for nasopharyngeal carcinoma: a prospective study based on kilovoltage cone-beam computed tomography[J]. Radiologic Practice, 2017, 32(8): 870-875.
- [21] Kim S, Losina E, Solomom DH, et al. Effectiveness of clinical pathways for total knee and total hip arthroplasty: literature review[J]. Arthroplasty, 2003, 18(1): 69-74.
- [22] Van Herk M, Remeijer P, Lebesgue JV. Inclusion of geometrical uncertainties in treatment plan evaluation[J]. Int J Radiat Oncol, 2002, 52(5): 1407-1422.
- [23] Van Herk M. Errors and margins in radiotherapy[J]. Semin Radiat Oncol, 2004, 14(1): 52-64.
- [24] 白飞, 李捷, 张丽华, 等. 探讨老年食管癌放疗体位固定技术及靶区外放距离[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2016, 25(9): 948-949.
- Bai F, Li J, Zhang LH, et al. Exploring posture fixation techniques and target external radiation distance for elderly esophageal cancer radiotherapy[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2016, 25(9): 948-949.
- [25] 徐轶, 魏洁. 非手术食管癌精确放疗靶区勾画进展[J]. 安徽医药, 2018, 22(10): 1855-1859.
- Xu Y, Wei J. Development of the delineation of accurate radiotherapy target for non-surgical esophageal carcinoma [J]. Anhui Medical Journal, 2018, 22(10): 1855-1859.
- [26] 王颖, 陈飞. 头颈部面罩和胸部体罩固定对胸上段食管癌放疗剂量分布的影响[J]. 中国医学物理学杂志, 2022, 39(2): 157-161.
- Wang Y, Chen F. Effects of immobilizations with head and neck mask or chest body covering on dose distribution in the radiotherapy for upper thoracic esophageal carcinoma[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2022, 39(2): 157-161.
- [27] 徐晓捷, 张瑞英, 雷亚楠, 等. 用kV-CBCT对食管癌不同固定体位动态调强分次间摆位误差的研究[J]. 食管疾病, 2021, 3(1): 39-42.
- Xu XJ, Zhang RY, Lei YN, et al. Usage of kV-CBCT to measure the influence of different fixed positions on the setup errors of dynamic intensity modulation for esophageal cancer[J]. Journal of Esophageal Disease, 2021, 3(1): 39-42.
- [28] 张海琛, 石静滨, 郑进, 等. 非小细胞肺癌CT影像学病理相关性的临床研究[J]. 医学与哲学, 2015, 36(14): 54-56.
- Zhang HC, Shi JB, Zheng J, et al. The correlation of CT and pathology in origin site of non-small cell lung cancer [J]. Medicine and Philosophy, 2015, 36(14): 54-56.
- [29] Heijkoop ST, Langerak TR, Quint S, et al. Quantification of intra-fraction changes during radiotherapy of cervical cancer assessed with pre- and post-fraction Cone Beam CT scans[J]. Radiother Oncol, 2015, 117(3): 536-541.
- [30] 王晓踊, 刘晖, 谢丛华, 等. 应用锥形束CT对宫颈癌及子宫内膜癌术后放疗立置误差的研究[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2014, 34(7): 523-525.
- Wang XY, Liu H, Xie CH, et al. The setup errors in postoperative radiotherapy for endometrial and cervical cancer by cone beam CT[J]. Chinese Journal of Radiology Medicine and Protection, 2014, 34(7): 523-525.
- [31] 丘敏敏, 钟嘉健, 欧阳斌, 等. 基于高斯混合模型Varian Novalis TX直线加速器盆腔肿瘤放疗摆位误差分布预测模型的构建[J]. 中山大学学报(医学科学版), 2019, 40(2): 284-290.
- Qiu MM, Zhong JJ, Ouyang B, et al. Set-up errors distribution prediction model for pelvic tumors radiotherapy of Varian Novalis TX medical linear accelerator based on Gaussian mixtures[J]. Journal of Sun Yat-sen University (Medical Science), 2019, 40(2): 284-290.

(编辑:陈丽霞)