

基于锥形束CT图像引导技术研究腹围对结直肠癌放疗摆位误差的影响

吴迪^{1,2,3}, 薛涛^{1,2,3}, 李坤^{1,2,3}, 张恒^{1,2,3}, 王华庆^{1,2,3}, 王辉^{1,2,3}

1. 天津市人民医院/南开大学第一附属医院肿瘤诊疗中心, 天津 300121; 2. 南开大学人民医院转化医学研究院, 天津 300121; 3. 天津市中西医结合肿瘤研究所, 天津 300121

【摘要】目的:通过建立模型用腹围筛选出摆位偏移量可能较大的患者,进而采取个性化方案去解决此类患者摆位误差上的问题,以确保治疗的有效性。**方法:**选取天津市人民医院2021年5月~2023年6月收治的81例患者为研究对象。分析患者左-右、头-脚、腹-背3个方向摆位误差和腹围的相关性,然后对腹围与相关性显著的方向进行线性回归,建立线性回归模型。最后以摆位误差0.7 cm为临界值将81例患者分为摆位正常组和摆位异常组,绘制受试者工作特征(ROC)曲线,通过计算最大约登指数来确定最佳截断值用以诊断摆位容易异常的患者。**结果:**首先对腹围和各个方向进行相关性分析得出,腹围和头-脚方向摆位误差的相关性系数为0.406 2,相关性具有统计学意义,呈正相关。腹围和左-右和背-腹方向的相关性系数分别为-0.117 5、-0.067 47,相关性不具有统计学意义($P>0.05$)。然后建立腹围和头-脚方向的线性回归模型,结果为 $R^2=0.165$,回归系数 $B=0.008$ ($t=3.951, P<0.01$),模型构建良好。最后进行ROC曲线分析得出,曲线下面积为0.715,95%置信区间为0.57~0.86,最大约登指数为0.478,对应最佳截断值为87 cm,灵敏度为0.875,特异性为0.603。**结论:**腹围的大小对患者头-脚方向摆位误差是否异常具有诊断效果,腹围大于87 cm的患者在放疗过程中摆位容易出现异常,反映为头-脚方向的摆位误差最大。建议对腹围大于87 cm的患者进行个性化靶区外放,或者每日进行CBCT以纠正摆位误差,以保证靶区覆盖度,确保治疗的有效性。

【关键词】直肠癌;摆位误差;锥形束CT;调强放疗;腹围

【中图分类号】R318;R811.1

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2025)07-0872-06

Exploring the effects of abdominal circumference on setup errors in colorectal cancer radiotherapy using CBCT-guided techniques

WU Di^{1,2,3}, XUE Tao^{1,2,3}, LI Kun^{1,2,3}, ZHANG Heng^{1,2,3}, WANG Huaqing^{1,2,3}, WANG Hui^{1,2,3}

1. Department of Oncology, Tianjin Union Medical Center/The First Affiliated Hospital of Nankai University, Tianjin, 300121, China; 2. Institute of Translational Medicine, Tianjin Union Medical Center of Nankai University, Tianjin 300121, China; 3. Tianjin Cancer Institute of Integrated Traditional Chinese and Western Medicine, Tianjin 300121, China

Abstract: Objective By establishing a model to screen out patients with potentially large positional deviations based on their abdominal circumference, personalized solutions can be taken to address setup errors in these patients and ensure treatment efficacy. **Methods** A total of 81 patients treated at Tianjin People's Hospital from May 2021 to June 2023 were selected as the study subjects. The correlations between setup errors in the lateral, longitudinal, and vertical directions and abdominal circumference were analyzed. Subsequently, linear regression was performed for the direction with a significant correlation to abdominal circumference to establish a linear regression model. Finally, the 81 patients were divided into a normal setup group and an abnormal setup group with 0.7 cm as the critical value. A receiver operating characteristic (ROC) curve was plotted, and the maximum Youden index was calculated to determine the optimal cutoff value for identifying patients prone to abnormal setup. **Results** The correlation analysis of abdominal circumference and setup errors in various directions showed that the correlation coefficient between abdominal circumference and longitudinal direction positioning error was 0.406 2, and the correlation was statistically significant and positively correlated. The correlation coefficients for abdominal circumference and the lateral as well as longitudinal directions were -0.117 5 and -0.067 47, respectively, with P values

【收稿日期】2024-12-20

【基金项目】肿瘤学重点学科项目(TJYXZDXK-053B)

【作者简介】吴迪, 硕士, 物理师, 研究方向: 肿瘤放射物理, E-mail: wudi163163@163.com

【通信作者】王辉, 博士, 主任医师, 研究方向: 肿瘤放射治疗, E-mail: ezxwanghui@163.com

greater than 0.05, indicating no statistical significance. A linear regression model was established for abdominal circumference and longitudinal direction, and the results showed an R^2 of 0.165, with a regression coefficient B of 0.008 ($t=3.951$, $P<0.01$), indicating that the model was well constructed. ROC curve analysis showed an area under the curve of 0.715, with a 95% confidence interval of 0.57-0.86 and a maximum Youden index of 0.478. The corresponding optimal cutoff value was determined to be at 87 cm, with sensitivity at 0.875 and specificity at 0.603. **Conclusion** The abdominal circumference is significant to diagnose whether the longitudinal setup error is abnormal. Patients with an abdominal circumference greater than 87 cm are more likely to experience abnormal positioning during radiotherapy, which is reflected in the longitudinal setup errors being the largest. It is recommended to provide individualized target area margins for patients with an abdominal circumference greater than 87 cm, or perform daily cone-beam computed tomography to correct setup errors, thereby ensuring target coverage and treatment efficacy.

Keywords: rectal cancer; setup error; cone-beam computed tomography; intensity-modulated radiotherapy; abdominal circumference

前言

过去几十年来,放射治疗技术发生了巨大变化,从简单的适形放疗技术到三维适形放疗,再到容积调强放射治疗,随着治疗技术的发展,对摆位误差精度的要求也越来越高,靶区也需要更精细的划分。如果放疗没有按照计划精准进行,肿瘤的切除和副作用就无法预测,从而导致急性或慢性副作用,这就强调了精准定位和精准摆位以减少摆位误差的必要性^[1]。因此,近些年的研究都在努力减少放射治疗中的各种潜在误差,以确保照射剂量的准确^[2-3]。直肠癌是世界第三高发恶性肿瘤,每年新增病例80万例^[4-5],治疗方法主要包括手术切除、化疗和放疗^[6]。研究发现肥胖个体更容易患有结直肠癌^[7-8],而随着人民生活水平的提高,现代的饮食习惯导致肥胖的发生率越来越高,患有结直肠癌的肥胖患者也越来越多。近些年来,关于摆位误差的研究主要倾向于对于各个部位靶区外放范围的确定^[9-11]和对摆位误差影响因素[定位方式、体质量指数(Body Mass Index, BMI)、性别、年龄]的探讨^[12-14]。大部分研究者对于摆位误差影响因素的研究限于将患者分为两组,经过 t 检验发现两组差异具有统计学意义,而对于各种因素的影响程度和临界值没有定义。本研究选择更能直接反应患者个体生理特征的腹围作为参数,而且创新性地利用受试者工作特征曲线(Receiver Operating Characteristic, ROC)确定腹围的临界值,并以此为标准来甄选患者。进而判断腹部肥胖患者是否需要调整肿瘤临床靶区(Clinical Target Volume, CTV)到计划靶区(Planning Target Volume, PTV)的外扩范围或者是否需要进行治疗的锥形束CT(Cone Beam CT, CBCT)来纠正体位。本研究的目的是经过对患者的筛选,可以相对准确地找出容易移位的学生,然后采取个性化方案去解决不同学生可能面临的摆位误差问题,以保证靶区覆盖度,确保治疗的有效性。

1 资料与方法

1.1 一般临床资料

本研究方案已获得天津市人民医院医学伦理委员会批准(伦理审批号:2024B159)。试验开始前每个志愿者均被告知本研究的目的和意义,并签署知情同意书。本研究共纳入天津市人民医院2021年5月~2023年6月期间接受手术和不接受手术的81例结直肠癌患者数据。年龄40~92岁,平均年龄(63.02±10.33)岁。平均腹围为(86.3±10.61)cm,基本数据见表1。

表1 临床基本资料[n=81,例(%)]

Table 1 Basic clinical information [n=81, cases (%)]

类别	数据
性别	
男	51(63.0)
女	30(37.0)
诊断	
直肠癌术前	41(50.6)
直肠癌术后	34(42.0)
直肠癌根治放疗	6(7.4)
腹围	
I(<75 cm)	12(14.8)
II(76~85 cm)	31(38.3)
III(86~95 cm)	18(22.2)
IV(96~105 cm)	18(22.2)
V(>106 cm)	2(2.5)

1.2 体位固定与扫描

在进行计算机断层扫描(Computer Tomography, CT)定位之前,所有患者都被告知要排空大便,并在排空膀胱后饮用一定量的水。患者仰卧于体架板上,选用B型头枕,双手交叉抱肘上举置于前额,采用体膜热塑膜进行固定。在病人身体表面上腹水平勾画3个标记(一个正面,两个侧面),以固定病人与热塑膜和床板的位置,提高日常摆位的可重复性。使用3.75 mm层厚进行扫描,曝光条件为管电

压 120 kV,管电流设置为自动,范围 100~500 mA,扫描范围为第一腰椎到股骨中段,在肿瘤位置做好参考标记,扫描完成后将影像数据传输至计划系统,分别由医生和物理师进行靶区勾画和计划设计。

1.3 图像扫描和数据记录

81 例患者在放疗前进行放疗前复位,所有患者进行 CBCT 验证(第一次治疗之前扫一次,之后每周一次),本研究只记录了第一次治疗之后的 3 次摆位误差数据,原因是第一次治疗需要从参考点移床至等中心点,而参考点标记法中不同参考点位置的选取会对摆位误差产生一定的影响^[15],考虑到这部分误差不是技术员摆位引起,所以本研究选择不记录第一次治疗的摆位误差数据。

CBCT 的扫描参数为 M20、扫描电压 120 V,电流 1 056 mAs,扫描角度 360°,图像分辨率为 512×512。由一名医生将 CBCT 获得的图像与计划参考图像进行对比,采用基于灰度的自动配准,以确定与邻近骨组织和软组织的相应平移。然后自动移床修正左-右(Lateral)、头-脚(Longitudinal)、胸-背(Vertial)方向平移摆位误差,并记录数据。

定位前对患者腹围进行测量,患者采取站立位,双肩自然放松,双手臂自然下垂,使用软尺以肚脐位置为准绕脐一周,软尺与地面平行时记录腹围数据,并将腹围作为连续变量进行分析。

1.4 统计学方法

数据收集及数据计算均在 Excel 中完成,运用 SPSS 统计学软件进行相关性分析、线性回归分析和 ROC 曲线分析。计数资料以例(%)表示;采用 Kolmogorov-Smirnov 法检验数据的正态分布,满足正态分布和方差齐性的计量资料采用均数±标准差表示。通过将摆位误差的负值转换为正值,计算了 3 个平移方向上摆位误差的平均绝对偏移量,皮尔逊相关性分析用于分析 3 个方向摆位误差和腹围的关系,结果以皮尔逊系数表示,然后对腹围与相关性显著的方向进行线性回归,结果以带有 95% 置信区间(95% Confidence Interval, 95%CI)的非标准化回归系数(B)表示,拟合优度以决定系数(R^2)表示。

放射肿瘤学中的靶区勾画指南^[16]定义直肠癌靶区 CTV 外放到 PTV 的范围最小为 0.5~1.0 cm,具体的外扩范围应根据各个机构自己的摆位水平决定,本机构目前采用 0.7 cm 进行靶区外放,所以本研究以 0.7 cm 为临界值,判断 3 个方向摆位误差是否超出临界值,超出临界值的数据编码为 1,视为摆位异常组。没超出临界值的数据定义编码为 0,视为摆位正常组,进而进行 ROC 曲线分析,以分析腹围在预测超出临界值(即超出 PTV)方面的有效性。数据以曲线下面积(AUC)、标准误和 95%CI 表示。通过使用 ROC

曲线坐标点计算最大约登指数来确定最佳临界点,并计算所确定临界点的灵敏度和特异性。 $P < 0.05$ 被视为差异显著,拒绝零假设。

2 结果

2.1 各个方向平均摆位误差情况分析

图 1~图 3 为所有患者的 3 次摆位数据,患者左-右方向摆位误差(0.20 ± 0.11) cm 和头-脚方向摆位误差(0.42 ± 0.21) cm 与胸-背方向摆位误差(0.15 ± 0.07) cm 相比,左-右方向和头-脚方向的移位比胸-背方向更大,头-脚方向移位最大。

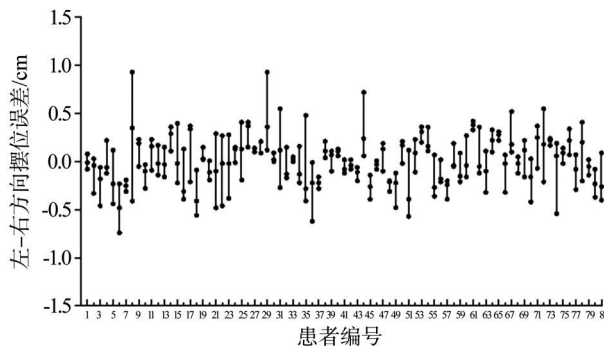


图 1 左-右方向的摆位误差情况
Figure 1 Setup errors in the lateral direction

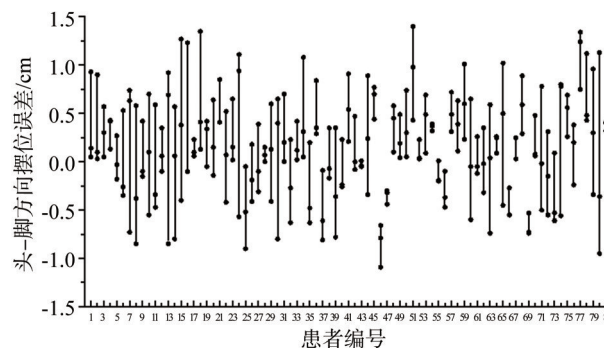


图 2 头-脚方向的摆位误差情况
Figure 2 Setup errors in the longitudinal direction

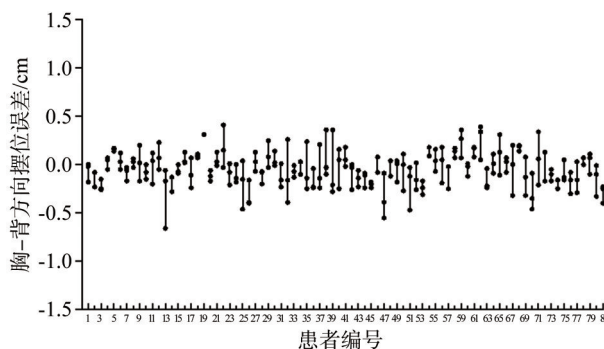


图 3 胸-背方向的摆位误差情况
Figure 3 Setup errors in the vertical direction

2.2 腹围和各个方向摆位误差的相关性分析

腹围和头-脚方向的摆位误差呈弱正相关,相关性系数为0.406 2,相关性具有统计学意义($P<0.05$);腹围与左-右和胸-背方向的相关性系数分别为-0.117 5、-0.067 47,相关性不具有统计学意义($P>0.05$),见图4。

2.3 腹围和头-脚方向的线性回归模型

如表2所示,因腹围与左-右方向和胸-背方向摆位误差的相关性没有统计学意义,所以只对头-脚方向摆位误差作为因变量进行线性回归分析,腹围作为自变量。结果显示方差膨胀因子(Variance Inflation Factor, VIF)=1,数据不存在共线性问题。德斌-沃森指数(D-W)数值为2.091,说明模型不存在自相关性,模型构建良好。统计量 $F=15.609$, $P<0.01$,说明回归模型有意义。模型 R^2 值为0.165,意味着腹围可以解释头-脚方向摆位误差的16.5%的变化原因。腹围的回归系数B为0.008($t=3.951$, $P<0.01$),95%CI

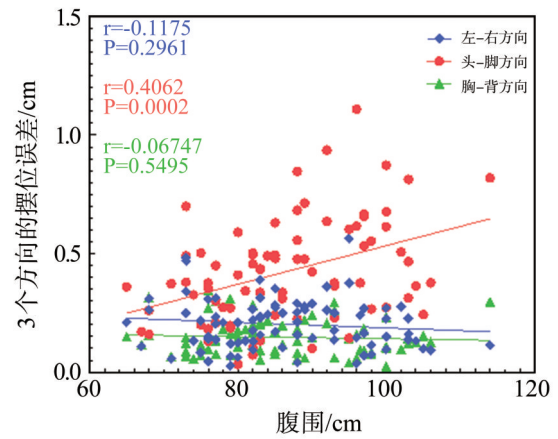


图4 皮尔逊相关性分析($n=81$)

Figure 4 Pearson correlation analysis ($n=81$)

为0.004~0.012,说明腹围会对头-脚方向的摆位误差产生显著的正向影响关系。

表2 腹围与头-脚方向摆位误差的线性回归分析($n=81$)

Table 2 Linear regression analyses of abdominal circumference and setup errors in the longitudinal direction ($n=81$)

指标	非标准化系数		标准化系数Beta	t	P 值	B 的95%置信区间		共线性统计	
	B	标准误				下限	上限	容差	VIF
常数	-0.280	0.179	-	-1.562	0.122	-0.636	0.077	-	-
腹围	0.008	0.002	0.406	3.951	0.000	0.004	0.012	1	1
R^2					0.165				
F 值					$F=15.609$, $P<0.01$				
D-W值					2.091				

2.4 头-脚方向摆位误差超出临界值情况及腹围在预测方面的有效性

根据之前定义的0.7 cm靶区外扩临界值将患者分为摆位正常组和异常组。摆位正常组的平均腹围为(85.42±10.2) cm,摆位异常组的平均腹围为(94.38±12.1) cm,差异具有统计学意义($P<0.05$)。

图5为腹围预测患者头-脚方向摆位异常的ROC曲线,图中直观展示了曲线下面积(AUC),此外,图中还标记了最大约登指数(Youden Index),这一指标帮助确定了最佳截断值(Cut-off value)(即在预测头-脚摆位误差方面,腹围达到何种程度时最能准确区分摆位异常和摆位正常)。通过分析计算,确定了腹围预测摆位误差的最佳截断值为87 cm,并计算了其相应的灵敏度和特异性,分别为0.875和0.603,从而全面评估了腹围在诊断头-脚方向摆位异常方面的价值。腹围在判断患者头-脚方向摆位误差是否存在异常方面具有一定的诊断效能。

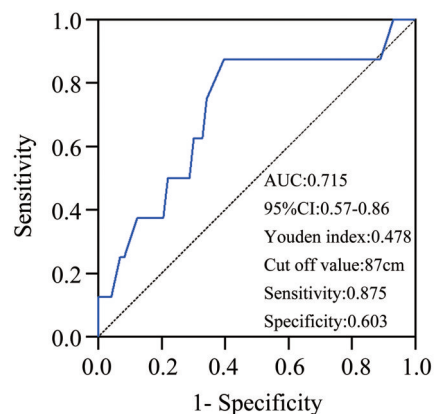


图5 腹围预测摆位误差异常情况的ROC曲线

Figure 5 ROC curve for identifying abnormal setup errors based on abdominal circumference

3 讨论

近年来,伴随着科技的进步,现代放疗技术如容积调强放疗,调强放疗及影像引导放疗的应用显著

提高了放射治疗靶区的适形性,也减少了危及器官的剂量,但是对于治疗的精准也有了更高的要求,而摆位误差是影响放疗计划准确性和放疗预后疗效的关键因素,摆位误差的大小会造成潜在的漏靶风险,从而导致PTV真正接受的剂量降低^[17]。ICRU 24号报告指出当照射靶区内的剂量覆盖偏离5%时,原发灶靶区的失控概率和产生并发症的概率都会随着剂量偏移相应增加^[18]。

本研究基于CBCT影像验证系统测试了腹围对于直肠癌患者摆位误差大小的影响,研究发现腹围对头-脚方向摆位误差影响最大,呈弱正相关,相关性系数为0.406($P < 0.05$),而对于左-右方向和胸-背方向摆位误差的相关性没有统计学意义。经分析发现可能是以下两个原因:(1)患者由于腹围大引起皮肤褶皱、腹部膨胀等,呼吸运动,肠道蠕动以及膀胱的充盈程度不同都会引起腹部的膨胀,进而造成腹部正面的横向标记线沿着头-脚方向移动,而纵向的标记线则不会随着腹围的波动沿着左-右方向移动。同时腹部的波动对于两侧的标记线的影响比较小,因为两侧的皮肤不会伴随腹部的波动而大幅度变化。所以当腹部因各种原因膨胀时,头-脚方向的摆位误差也就较为明显,而左-右方向和胸-背方向的摆位误差相对较小。(2)当患者手臂上举时,会对皮肤表面标记线位置的皮肤进行牵拉,由于大腹围患者皮肤松弛,腹部正面的横向标记线会随着牵拉沿着头-脚方向移动,而腹部正面的纵向标记线和腹部两侧纵向标记线不会随着手臂上举沿着左-右方向和胸-背方向进行牵拉,所以当手臂上举发生牵拉时,发生头-脚方向的移动较大,而左-右方向和胸-背方向的移动较小。在纳入研究的患者里,有很大一部分患者的偏移量大于0.7 cm的外扩范围,想要精确治疗只能靠每日进行CBCT验证,才能确保摆位的可重复性,否则可能有必要扩大CTV-PTV的外扩范围。虽然CBCT可以纠正这种偏移,但目前很少有机构能够对所有患者每日都进行CBCT去验证治疗位置,而且高频率的CBCT不仅增加了患者的治疗费用,还大大加大了技术人员的工作量。对所有患者进行高频率的CBCT,还会使体位重复性较好、摆位误差较小的患者受到很多不必要的CBCT照射,同样如果对所有患者都进行扩大CTV-PTV的外扩范围,也会因扩大靶区而造成周围危及器官剂量的增加。所以这就体现了筛选出摆位容易异常患者的重要性,本研究结果显示,当患者腹围超过87 cm时,容易引起摆位误差异常,只需要对此类患者进行高频率的CBCT验证或者扩大靶区范围,以确保治疗的有效性。这样既能解决体位重复性差患者的摆位误差问题,又能避免体位重复性好的患者受到额外剂量,还减少了技术

人员的工作量。

Amini等^[19]的研究表明,BMI ≥ 30 kg/m²的患者发生移位 ≥ 0.7 cm的风险是正常人的5倍。而需要CTV-PTV外扩多大范围,才能既涵盖这些摆位误差保证靶区覆盖的同时又能最大限度地保护正常组织,也是笔者接下来要研究的重点。刘平等^[11]发现直肠癌患者的摆位误差主要发生在头-脚方向,通过位置验证发现头-脚方向摆位误差最大,摆位误差为(2.245 \pm 0.709) cm;左-右方向次之,摆位误差为(0.623 \pm 0.203) cm;胸-背方向最小,摆位误差为(0.492 \pm 0.163) cm。罗翼等^[20]也发现了类似的结果,盆腔肿瘤患者的摆位误差以头-脚方向为主,摆位误差为(0.336 \pm 0.366) cm;左-右方向和胸-背方向分别为(0.211 \pm 0.267) cm、(0.140 \pm 0.192) cm,笔者的研究结果与既往的研究结果基本保持一致,摆位误差均以头-脚方向为主。

王抒等^[21]的研究发现BMI及腹围是影响摆位误差的重要因素,BMI及腹围越大,摆位差异越明显。其研究将患者以BMI 24.0 kg/m²、腹围90 cm为临界,将患者分为两组,经过 t 检验发现差异具有统计学意义,BMI ≥ 24.0 kg/m²的患者头-脚及左-右方向摆位误差更大,腹围 ≥ 90 cm的患者前-后、头-脚及左-右方向摆位误差均更大,但是该研究并没有说明为何以这两个数值作为临界值去分组。而本研究的独特贡献在于,不仅探索了腹围和摆位误差之间的相关性和线性回归模型,而且还通过二分类ROC曲线分析的方法,准确确定了腹围的临界值,并以此为标准来甄选患者群体。其他研究者大部分都选用BMI对摆位误差进行分析^[22-24],而本研究将焦点集中在更能直接反应个体生理特征的腹围上。因为依据脂肪沉积的部位不同,肥胖可分为中心型和周围型两种类型,中心型肥胖的患者皮肤褶皱更容易移动,但这类患者的BMI未必显著增高,鉴于此,本研究选择腹围作为评估指标进行研究。此外,本研究直接测量了每个患者的真实腹围,而不是像Wu等^[25]通过CT图像回顾测量各项身体参数的做法。

本研究的局限性是只选择了腹围作为诊断参数,诊断效果一般,可以综合考虑一些其他因素,比如BMI、胸围、臀围、年龄等,进行一个多因素联合诊断预测模型。而且本研究纳入了连续的患者,所以患者腹围数据分布不够均衡,比如腹围最小的I组和最大的V组的患者数量相对较少,采用分层抽样法筛选病人可能会提供更准确的分析,但相应地也需要更大的患者数量。进一步研究多因素对于摆位误差的综合预测,并预测其可能对于病人造成的剂量学影响将是接下来研究的一个方向。

4 结论

本文通过对腹围与相关性显著的摆位误差方向进行线性回归,建立线性回归模型,然后通过ROC曲线分析的方法,得出了腹围对患者头-脚方向的摆位误差是否异常具有诊断效果的结论,并确定了腹围的临界值为87 cm。当患者的腹围大于87 cm时(由于每个机构摆位水平不一致,所以可能腹围的临界值会稍有不同),就需要在危及器官剂量允许范围内适当增加CTV-PTV外扩范围,保证PTV有足够的范围覆盖摆位误差,或者对此类患者每日进行CBCT验证纠正体位误差,以确保治疗的有效性。

【参考文献】

- [1] Malicki J. The importance of accurate treatment planning, delivery, and dose verification[J]. *Rep Pract Oncol Radiother*, 2012, 17(2): 63-65.
- [2] Delaney G, Jacob S, Featherstone C, et al. The role of radiotherapy in cancer treatment: estimating optimal utilization from a review of evidence-based clinical guidelines[J]. *Cancer*, 2005, 104(6): 1129-1137.
- [3] 窦建建, 金昌洙. 直肠癌调强放疗危及器官照射剂量与其解剖结构的关系[J]. *世界最新医学信息文摘(电子版)*, 2019, 19(19): 38-39.
Dou JJ, Jin CZ. The relationship between the dose of rectal cancer and intensity-modulated radiotherapy and the dose of organs and its anatomical structure[J]. *World Latest Medicine Information*, 2019, 19(19): 38-39.
- [4] Jemal A, Siegel R, Ward E, et al. Cancer statistics, 2008[J]. *CA Cancer J Clin*, 2008, 58(2): 71-96.
- [5] 中国医师协会外科医师分会, 中华医学会外科学分会胃肠外科学组, 中华医学会外科学分会结直肠外科学组, 等. 中国结直肠癌肝转移诊断和综合治疗指南(2023版)[J]. *消化肿瘤杂志(电子版)*, 2023, 15(2): 86-99.
Chinese College of Surgeons, Chinese Medical Doctor Association; Chinese Society Gastrointestinal Surgery, Chinese Society of Surgery, Chinese Medical Association; Chinese Society of Colorectal Surgery, Chinese Society of Surgery, Chinese Medical Association, et al. China guideline for diagnosis and comprehensive treatment of colorectal liver metastases(2023 edition) [J]. *Journal of Digestive Oncology (Electronic Version)*, 2023, 15(2): 86-99.
- [6] Chul PH, Park HC. Radiation therapy for colorectal cancer[J]. *J Korean Med Assoc*, 2010, 53(7): 592-602.
- [7] Karahalios A, English DR, Simpson JA. Weight change and risk of colorectal cancer: a systematic review and meta-analysis[J]. *Am J Epidemiol*, 2015, 181(11): 832-845.
- [8] Chen Q, Wang J, Yang JH, et al. Association between adult weight gain and colorectal cancer: a dose-response meta-analysis of observational studies[J]. *Int J Cancer*, 2015, 136(12): 2880-2889.
- [9] 苏洁洪, 魏夏平, 周子涵, 等. Halcyon直线加速器在鼻咽癌放疗中靶区外放边界及摆位误差分析[J]. *中国医学物理学杂志*, 2023, 40(12): 1459-1462.
Su JH, Wei XP, Zhou ZH, et al. Target volume margins and positioning errors in radiotherapy for nasopharyngeal carcinoma using Halcyon linear accelerator[J]. *Chinese Journal of Medical Physics*, 2023, 40(12): 1459-1462.
- [10] 黄啸天, 张俊, 周云峰, 等. 方差分析法在肺癌立体定向放射治疗摆位误差及计划靶区外放边界中的应用[J]. *中国医学物理学杂志*, 2017, 34(6): 579-584.
Huang XT, Zhang J, Zhou YF, et al. Setup errors and planning target volume margins in stereotactic body radiation therapy for lung cancer calculated with analysis of variance[J]. *Chinese Journal of Medical Physics*, 2017, 34(6): 579-584.
- [11] 刘平, 李玉锋, 陈成成, 等. CBCT X射线图像引导技术在直肠癌IMRT放疗中的应用[J]. *临床医学进展*, 2023, 13(10): 15864-15869.
Liu P, Li YF, Chen CC, et al. Application of CBCT X-ray image-guided technique in IMRT radiotherapy for rectal cancer[J]. *Advances in Clinical Medicine*, 2023, 13(10): 15864-15869.
- [12] 余璇, 李承军, 王亮和, 等. 体质量监测对乳腺癌根治术后放疗摆位误差的影响研究[J]. *医疗卫生装备*, 2021, 42(11): 47-50.
Yu X, Li CJ, Wang LH, et al. Influence of body mass monitoring on radiotherapy positioning error after radical mastectomy for breast cancer[J]. *Chinese Medical Equipment Journal*, 2021, 42(11): 47-50.
- [13] 李玉敏, 郑亚琴, 王帆. 体质量指数对乳腺癌患者放疗摆位误差的影响[J]. *肿瘤研究与临床*, 2018, 30(5): 330-332.
Li YM, Zheng YQ, Wang F. Effect of body mass index on placement error in radiotherapy of patients with breast cancer[J]. *Cancer Research and Clinic*, 2018, 30(5): 330-332.
- [14] 陈建俊. 基于电子射野影像系统分析食管癌放疗摆位误差的影响因素[J]. *临床医药实践*, 2024, 33(10): 751-753.
Chen JJ. Analysis of factors influencing setup errors in esophageal cancer radiotherapy based on electronic portal imaging systems[J]. *Proceeding of Clinical Medicine*, 2024, 33(10): 751-753.
- [15] 刘培, 朱建国, 王云刚, 等. 胸中上段食管癌锥形束CT两处参考点标记位置摆位误差研究[J]. *中华肿瘤防治杂志*, 2017, 24(7): 464-467.
Liu P, Zhu JG, Wang YG, et al. Setup errors by CBCT with selecting two different reference point marking positions for super and middle part of esophageal carcinoma in chest[J]. *Chinese Journal of Cancer Prevention and Treatment*, 2017, 24(7): 464-467.
- [16] Fokas E, Gani C, Valentini V, et al. Rectal cancer[M]//Grosu AL, Nieder C, Nicolay NH. Target Volume Definition in Radiation Oncology. Cham: Springer International Publishing, 2023: 231-241.
- [17] 曾自力, 林锋, 谭勇. 摆位误差对直肠癌术后调强放射治疗剂量学影响的研究[J]. *中国辐射卫生*, 2021, 30(4): 517-523.
Zeng ZL, Lin F, Tan Y. Dosimetric effects study of set-up error in postoperative intensity modulated radiotherapy of rectal cancer[J]. *Chinese Journal of Radiological Health*, 2021, 30(4): 517-523.
- [18] 胡逸民. 肿瘤放射物理学[M]. 北京: 原子能出版社, 2003: 613-615.
Hu YM. Radiation oncology physics[M]. Beijing: Atomic Energy Press, 2003: 613-615.
- [19] Amini A, DeWitt PE, Vinogradskiy Y, et al. Should we customize PTV expansions for BMI? Daily cone beam computerized tomography to assess organ motion in postoperative endometrial and cervical cancer patients[J]. *Rep Pract Oncol Radiother*, 2016, 21(3): 195-200.
- [20] 罗翼, 胡项英, 廖志春, 等. 应用正态分布方法研究各部位肿瘤放射治疗摆位误差及PTV的外放边界[J]. *医疗装备*, 2019, 32(1): 22-24.
Luo Y, Hu XY, Liao ZC, et al. The normal distribution method is used to analyze the setup error of radiotherapy and the external boundary of PTV[J]. *Medical Equipment*, 2019, 32(1): 22-24.
- [21] 王抒, 高彩霞, 陈伟平, 等. 锥形束CT引导下盆腔肿瘤调强放疗摆位误差及影响因素分析[J]. *中国医疗器械信息*, 2024, 30(20): 4-6.
Wang S, Gao CX, Chen WP, et al. Analysis of setup errors and affected factors in intensity modulated radiation therapy of pelvic tumor with CBCT guidance[J]. *China Medical Device Information*, 2024, 30(20): 4-6.
- [22] Lin LL, Hertan L, Rengan R, et al. Effect of body mass index on magnitude of setup errors in patients treated with adjuvant radiotherapy for endometrial cancer with daily image guidance[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2012, 83(2): 670-675.
- [23] Kim H, Beriwal S, Huq MS, et al. Evaluation of set-up uncertainties with daily kilovoltage image guidance in external beam radiation therapy for gynaecological cancers[J]. *Clin Oncol (R Coll Radiol)*, 2012, 24(2): e39-e45.
- [24] Bray TS, Kaczynski A, Albuquerque K, et al. Role of image guided radiation therapy in obese patients with gynecologic malignancies [J]. *Pract Radiat Oncol*, 2013, 3(4): 249-255.
- [25] Wu WC, Chang YR, Lai YL, et al. Impact of body-mass factors on setup displacement during pelvic irradiation in patients with lower abdominal cancer[J]. *Radiol Oncol*, 2019, 53(2): 256-264.

(编辑:薛泽玲)