

# 锥形束 CT 预测前列腺癌靶区运动的研究

宋 晓, 田 龙, 武雪亮, 张 帆

(河北北方学院附属第一医院 放疗科, 河北 张家口, 075000)

**摘要:** **目的** 分析前列腺癌首次放疗前和代表相对计划 CT 分次间靶区位移的分次放疗前锥形束 CT(CBCT)校准数据之间的关系,以期预测分次间靶区位移。**方法** 选取 16 例前列腺癌患者为研究对象,记录其首次放疗前 CBCT 校准位移值和分次放疗前 CBCT 校准位移平均值,分析两者之间的相关性并初步建立分析、预测靶区运动的一元回归方程模型。**结果** 16 例患者首次放疗前左右、头脚、腹背方向的 CBCT 校准位移绝对值为  $(0.384 \pm 0.270)$ 、 $(0.980 \pm 0.570)$ 、 $(2.462 \pm 1.105)$  mm, 平均分次放疗前 CBCT 校准位移绝对值为  $(0.719 \pm 0.464)$ 、 $(1.387 \pm 0.757)$ 、 $(2.884 \pm 1.607)$  mm。首次放疗前 CBCT 校准位移绝对值和平均分次放疗前 CBCT 校准位移绝对值在左右方向上呈弱相关( $r=0.359$ ,  $P>0.05$ ), 在头脚方向上呈弱相关( $r=-0.326$ ,  $P>0.05$ ), 在腹背方向上呈强相关( $r=0.833$ ,  $P<0.01$ )。**结论** 临床仅可应用腹背方向上首次放疗前 CBCT 校准位移预测分次间靶区位移(背向),但试验过程仍需优化。

**关键词:** 前列腺癌; 内植标记物; 锥形束 CT; 相关性; 预测; 靶区运动

中图分类号: R 812; R 737.25 文献标志码: A 文章编号: 1672-2353(2021)13-024-04 DOI: 10.7619/jcmp.20210805

## Study on cone beam CT in predicting the movement of prostate cancer target

SONG Xiao, TIAN Long, WU Xuiliang, ZHANG Fan

(Department of Radiotherapy, First Affiliated Hospital of Hebei Northern University, Zhangjiakou, Hebei, 075000)

**Abstract: Objective** To analyze the relationship between the calibration data of cone beam CT (CBCT) before first radiotherapy and the data representing the target fractional displacement before fractional radiotherapy for treatment of prostate cancer, so as to predict the target fractional displacement. **Methods** Sixteen patients with prostate cancer were selected. CBCT calibration displacements before first radiotherapy and mean values of fractional radiotherapy were recorded. The correlation between the mean value and calibration displacement value was analyzed. Then a regression equation model was established initially to analyze and predict the target movement. **Results** The absolute mean values of CBCT calibration displacement before first radiotherapy were  $(0.384 \pm 0.270)$  mm in directions of left-right,  $(0.980 \pm 0.570)$  mm in head-feet directions,  $(2.462 \pm 1.105)$  mm in anterior-posterior directions for all the patients, and were  $(0.719 \pm 0.464)$  mm,  $(1.387 \pm 0.757)$  mm,  $(2.884 \pm 1.607)$  mm, respectively before fractional radiotherapy. There was a weak correlation between absolute mean value of CBCT calibration displacement before first radiotherapy and absolute mean value for fractional radiotherapy in directions of left-right and head-feet directions( $r=0.359$ ,  $-0.326$ ,  $P>0.05$ ), and strong correlation between absolute mean value for fractional radiotherapy of CBCT calibration displacement and absolute mean value before first radiotherapy in anterior-posterior directions( $r=0.833$ ,  $P<0.01$ ). **Conclusion** CBCT calibration displacement before first radiotherapy in anterior-posterior directions could be used to predict the target displacement of fractional radiotherapy (posterior direction). It is necessary to optimize the experiment process.

**Key words:** prostate cancer; implant markers; cone beam CT; correlation; prediction; target movement

现今,精确放疗已成为业内主导<sup>[1]</sup>,针对前列腺癌的容积旋转调强放疗(VMAT)已被证实是有效的治疗手段<sup>[2-3]</sup>。在前列腺癌 VAMT 中,提高靶区输出剂量能显著提高治疗效果,但直肠、膀胱等因素可影响前列腺癌靶区位置稳定性,从而降低靶区剂量准确性,并导致正常组织、器官损伤。联合使用内植标记物的前列腺癌图像引导技术是解决上述问题的有效方法<sup>[4]</sup>,其中锥形束 CT(CBCT)技术相对成熟<sup>[5]</sup>。多数医院放疗科以代表相对计划 CT 分次间靶区位移的 CBCT 校准位移作为摆位修正标准<sup>[6]</sup>。尽管 CBCT 具有上述优势,但基层医院在繁重的临床工作中和有限的治疗条件下无法对所有患者进行规定次数的放疗前 CBCT 扫描。本研究记录了 16 例前列腺癌患者首次放疗前和规定分次放疗前 CBCT 校准数据,分析两者之间的相关性,并建立预测模型,以期应用首次放疗前 CBCT 校准位移预测分次放疗前 CBCT 校准位移即分次间靶区位移,并应用预测结果优化未来放疗设计计划和保护危及器官。

## 1 对象和方法

### 1.1 研究对象

选取 2018 年 3 月—2019 年 8 月本院放疗科收治的前列腺癌患者 16 例(年龄 51~73 岁,中位年龄 62.7 岁)为研究对象, Gleason 评分<sup>[7-8]</sup>  $\leq 6$  分 8 例, 7 分 4 例,  $\geq 8$  分 4 例。纳入标准: ① 未接受过其他治疗者; ② 体质量指数 18~25 kg/m<sup>2</sup>, 且无腹腔积液者; ③ 除前列腺外,其他生殖泌尿系统器官和功能均正常者; ④ 除前列腺特异性抗原外,肝、肾功能,血、尿常规,心电图等其他检查结果均正常者。排除标准: ① 前列腺肥大,严重钙化者; ② 直肠息肉、痔疮(不利于标记物植入)患者; ③ 合并其他不利于放疗的疾病者。所有患者自愿签署知情同意书,本研究经过本院医学伦理委员会审核批准。

### 1.2 设备与方法

1.2.1 设备: 配备 KV 级 CBCT 的医科达 Synergy 加速器(医科达,瑞典), Visicoil helical 线性金标记物(IBA, 比利时,直径 1 mm,长度 3 mm)。

1.2.2 标记物植入方法: 治疗开始前,采用经直肠超声引导术<sup>[9]</sup>和细针抽吸术<sup>[10]</sup>将 3 枚标记物植入前列腺癌患者靶区不同层面,且间距  $\geq 15$  mm。

1.2.3 计划 CT 扫描: 患者取仰卧位行盆部扫描,除前列腺区域层厚 0.5 mm 外,其他区域层厚

3 mm,以保证靶区分辨率。要求膀胱、直肠完全排空,历次治疗状态相同。

1.2.4 计划设计: 采用 Monaco 计划系统,影像学检查可见前列腺(精囊腺视情况而定)及包膜肿瘤区域定义为大体肿瘤体积(GTV);影像学检查可见盆腔肿大淋巴结定义为盆腔阳性淋巴结 GTV(GTV<sub>nd</sub>);前列腺(精囊腺视情况而定)和相关淋巴结引流区定义为临床肿瘤体积(CTV);CTV 边界基础上外扩 0.8 cm(后方 0.5 cm,以保护直肠)定义为计划肿瘤体积(PTV)。PTV 处方为 67.5 Gy 共 25 次,每周 5 次。危及器官剂量限定: 直肠受到 50 Gy 剂量照射体积( $V_{50}$ )  $\leq 40\%$ ; 膀胱  $V_{50} \leq 30\%$ ; 小肠  $V_{50} \leq 5\%$ , 最大点剂量( $D_{max}$ )  $\leq 52$  Gy; 股骨头  $V_{50} \leq 5\%$ ,  $D_{max} \leq 52$  Gy。治疗模式选择 Pareto 模式下 1F2A(一野二弧),每弧最大子野数为 100。

1.2.5 CBCT 扫描和校准: 患者于首次放疗前和本院规定的每周一、三、五分次放疗前接受 CBCT 扫描。① 扫描,按照顺时针方向,机架由  $-180^\circ \sim 180^\circ$  进行  $360^\circ$  扫描,采用 Prostate M15 常规扫描模式(管电压 120 kV,总管电流 1 689.6 mAs,时间 2 min,总成像剂量 32.2 mGy,总平片数 660)。② 校准,采用基于内植标记物手动登记校准,计算 CBCT 重建的 3 枚内植标记物中心点坐标相对计划 CT 重建的坐标在左右、头脚、腹背 3 个方向上位移<sup>[4-5]</sup>,同时利用该值进行摆位修正。

### 1.3 统计学分析

记录 16 例患者首次放疗前 CBCT 校准数据和每例患者所有规定分次放疗前 CBCT 校准数据并计算平均值。采用 SPSS 19.0 软件处理数据。对 16 例患者 3 个方向上首次放疗前 CBCT 校准位移和所有规定分次放疗前 CBCT 校准位移平均值进行 Shapiro-Wilk 正态分布检验,检验标准为  $P > 0.20$ 。若计量资料符合正态分布,以  $(\bar{x} \pm s)$  表示,并采用 Pearson 法分析,计算 3 个方向上两计量资料的相关性系数  $r$  ( $r$  绝对值  $0 \sim < 0.1$  为无相关性,  $0.1 \sim < 0.4$  为弱相关,  $0.4 \sim < 0.6$  为中度相关,  $0.6 \sim 1.0$  为强相关<sup>[11]</sup>);显著性检验采用双侧检验( $\alpha = 0.05$ ),以  $P < 0.05$  为差异有统计学意义,对差异有统计学意义的结果进行一元回归分析。

## 2 结果

### 2.1 首次放疗前 CBCT 校准位移绝对值

每例患者 3 个方向上首次放疗前 CBCT 校准

位移绝对值的正态分布检验结果显示,左右、头脚、腹背方向的校准位移绝对值均符合正态分布 ( $P>0.20$ )。见表 1。

### 2.2 分次放疗前 CBCT 校准位移平均绝对值

每例患者 3 个方向上所有规定分次放疗前 CBCT 校准位移平均绝对值的正态分布检验结果显示,左右、头脚、腹背方向上校准位移平均绝对值均符合正态分布 ( $P>0.20$ )。见表 2。

表 1 首次放疗前 CBCT 校准位移绝对值

方向	患者编号																P
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
左右	0.027	0.100	0.153	0.230	0.760	0.817	0.490	0.407	0.657	0.363	0.513	0.093	0.342	0.227	0.381	0.415	0.475
头脚	0.203	0.783	0.793	0.677	1.453	1.750	1.257	1.740	0.330	0.163	1.243	1.383	1.022	0.989	1.193	1.210	0.309
腹背	0.807	1.997	3.293	2.650	4.360	3.950	2.633	2.440	2.930	2.253	1.110	1.117	2.441	2.182	1.176	3.022	0.787

表 2 规定分次放疗前 CBCT 校准位移平均绝对值

方向	患者编号																P
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
左右	0.800	0.650	0.437	0.440	0.833	2.017	0.550	0.340	0.507	0.577	1.100	0.380	0.734	0.527	0.852	0.700	0.364
头脚	1.260	0.917	1.340	0.810	0.667	1.760	2.360	0.857	1.313	3.263	1.263	0.833	1.461	0.911	1.819	1.482	0.709
腹背	2.348	1.873	3.730	2.677	6.347	5.217	2.757	1.147	3.757	1.577	1.453	1.727	2.438	3.203	1.826	1.605	0.509

表 3 首次放疗前 CBCT 校准位移与规定分次放疗前 CBCT 校准位移平均值的相关性分析

方向	首次放疗前 CBCT 校准位移/mm	分次放疗前 CBCT 校准位移平均值/mm	r	P
左右	0.384 ± 0.270	0.719 ± 0.464	0.359	0.159
头脚	0.980 ± 0.570	1.387 ± 0.757	-0.326	0.301
腹背	2.462 ± 1.105	2.884 ± 1.607	0.833	0.001

### 2.4 一元回归分析

2.4.1 模型汇总:  $r = 0.833$ , 值接近 1;  $r^2 = 0.694$ , 调整后的  $r^2$  为 0.633, 值均较大; 标准估计的误差为 0.158, 值较小。由此说明,模型拟合优度较高。模型残差正态性检验结果显示,分次放疗前腹背方向上 CBCT 校准数据平均值的标准化残差直方图(图 1)左右两侧较对称,标准化残差 P-P 图(图 2)散点基本靠近斜线。总之,残差正态性检验结果较好;模型残差独立性检验结果显示  $DW = 1.952$ , 查表得显著水平为 0.05, 样本容量  $n = 12$ , 解释变量数目  $K = 1$  时,检验下限  $DL = 0.697$ , 检验上限  $DU = 1.023$ 。  $DU < DW < 4 \cdot DU$ , 残差独立,无自相关,通过检验。由此说明,被解释变量可以被模型解释的部分较多,不能被解释的部分较少(信息丢失较少),再次说明模型拟合优度较高。

2.4.2 系数: 常量非标准化回归系数(B)为 -0.096, 标准误差(SE)为 0.683,  $P = 0.001$ ; 自

### 2.3 相关性分析

16 例患者左右、头脚、腹背方向首次放疗前与规定分次放疗前 CBCT 校准位移的相关性分析显示,左右、头脚方向的结果均为弱相关 ( $r = 0.359$ 、 $-0.326$ ,  $P>0.05$ ), 因此无法应用左右、头脚方向首次放疗前 CBCT 校准位移预测分次间靶区位移,而腹背方向的结果为强相关 ( $r = 0.833$ ,  $P<0.01$ ), 可进行一元回归分析。见表 3。

变量 B 为 1.211, SE 为 0.255,  $P < 0.001$ 。由此说明,构成模型系数均具有统计学意义。

2.4.3 预测模型: 设腹背方向上首次放疗前 CBCT 校准位移为自变量 X, 腹背方向上规定分次放疗前 CBCT 校准位移平均值为因变量 Y, 得到预测模型  $Y = -0.096 + 1.211X$ 。

## 3 讨论

目前,关于 KV 级 CBCT 校正应用于前列腺癌调强放疗<sup>[12]</sup>、VMAT<sup>[13]</sup>、体部立体定向消融放疗<sup>[14]</sup>等各种模式放疗前的理论研究已相当广泛,临床应用也相对成熟。尽管各种模式放疗前校正已成熟并普及,但由于不同医院实施流程的差异,尤其是基层医院很难对所有患者进行规定次数的分次放疗前 CBCT 校正,必然会因未能充分预测靶区移位方向和幅度而导致疗效差异,并增加危及器官的风险。本研究通过对前列腺癌患者首次放疗前和规定分次放疗前KV级CBCT位移校准

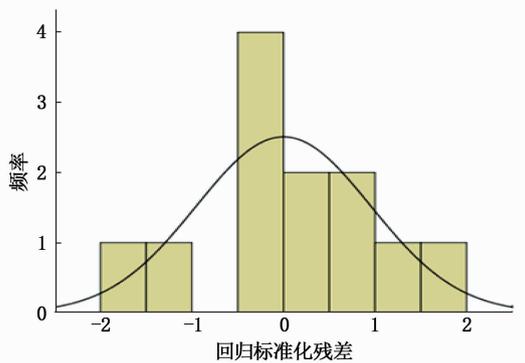


图 1 标准化残差直方图

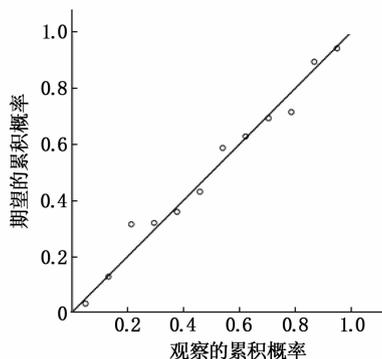


图 2 标准化残差 P-P 图

均值进行相关性分析,初步建立了靶区移位方向和幅度的一元回归分析、预测模型,研发出一种相较传统校准方法更加便捷、准确的全新校准方法。

本研究结果显示,左右方向上位移均非常小,且呈弱相关,差异无统计学意义( $P > 0.05$ ),运动无规律可循。同样的结果也出现在其他随机试验<sup>[4-6]</sup>中,这说明虽无法掌控和量化左右方向运动规律,但历次随机试验数据均对试验整体影响不大,或可作为经验数据直接使用,但仍需验证。本研究还显示,头脚方向上位移较大,且呈弱相关,差异无统计学意义( $P > 0.05$ ),运动无规律可循。分析原因,可能是传递至盆腔的腹内压(IAP)导致膀胱和前列腺头脚向压力变化和位移。此外,腹背方向上位移最大,且呈强相关,结果差异有统计学意义( $P < 0.01$ ),校准数据表明靶区均背向运动,造成该结果的原因为直肠肌肉张力<sup>[15-16]</sup>。直肠不随意肌包括内括约肌和直肠纵肌,内括约肌的主要功能为通过持续不自主弱收缩关闭肛门而避免粪便泄漏,直肠纵肌的主要功能为向下参与构成联合纵肌协助括约肌收缩。

内括约肌收缩易受外界短暂性刺激而增强,例如胃肠胀气和稀薄大便刺激直肠壶腹可引起反射性收缩增强。更重要的是,该肌具有消化道环肌固有特性,即易痉挛。持续性刺激均可引起痉挛,例如药物灌肠、肛隐窝炎、痔核、痢疾、直肠炎以及交感神经过度刺激。持续性痉挛将会使该肌组织结构发生改变,导致永久性挛缩,即内括约肌失弛缓症。内括约肌受到短暂性或持续性刺激导致张力变化,会对 CBCT 校准和前列腺癌靶区腹背方向位移造成显著影响,即收缩导致背向运动。总之,前列腺癌患者放疗前尽量避免上述刺激,有相关陈旧病史患者应尽量治愈后再行放疗,同时进行适当的适应性训练,减轻心理压力,以防交感神经过度紧张。

应用腹背方向上首次放疗前 CBCT 位移校准幅度预测同方向上规定分次放疗前 CBCT 位移校准幅度具有可行性,如果加大样本量进一步验证其适用性,将有可能在临床实践中通过预估位移校准幅度来修正 PTV 靶区边界,优化未来放疗设计计划,并保护危及器官。尤其对于分次间位移幅度显著大于分次内位移幅度的病灶如前列腺癌等,可以用预估位移校准幅度作为摆位修正标准参考,有望在减少分次间 CBCT 扫描次数的同时较好地预测,并消除靶区移位方向和幅度引入的误差,提高病灶放疗精准度。

本试验尚需进一步改进并深入研究:①需扩大样本容量;②需优化扫描硬件,CBCT 扫描单位时间内获取平片数量越多,平片分辨率越高,反向投影重建精度就越高,此后校准精度就越高,但如何在确保较高分辨率前提下提高单位时间平片数量尚未得到解决;③需优化校准软件,与本研究所采用的 XVI 登记匹配校准软件(医科达,瑞典)相比,MIM Maestro 体素登记匹配校准软件(MIM,美国)能够显著削弱背景噪音影响,提高标记物中心点坐标计算精度,该软件的应用效果已被其他相关试验<sup>[17]</sup>验证,对优化本试验结果必定有所帮助;④本试验仅考虑了平移位移,未考虑旋转误差,未来试验需应用六维床对平移位移和旋转误差进行综合、系统的研究。

综上所述,本研究通过分析前列腺癌患者首次放疗前和分次放疗前 CBCT 校准位移平均值,建立并遴选具有临床价值的预测模型,即腹背方向上首次放疗前 CBCT 校准位移与分次间靶区位移(背向)的预测模型,从而使得在该方向上应用治疗前数据预测治疗中靶区位移成为可能,为减少治疗误差提供了重要的临床数据参考。但在尚无相似研究可供参考的情况下,临床仍需提高软、

(下转第 31 面)

临床可将钼靶 X 线摄影与超声造影联合应用于 DCIS 诊断,以提高诊断准确性。

### 参考文献

[1] GUO Z Z, FENG W, LIU H F, *et al.* Value of multimodality imaging in diagnosing primary small cell carcinoma of breast[J]. *Chin Med J (Engl)*, 2019, 132(10): 1250-1252.

[2] 段晶玲, 边立会, 杨扬, 等. ZNF146 在乳腺导管内瘤肌上皮细胞中的表达及临床意义[J]. *诊断病理学杂志*, 2018, 25(2): 129-132, 136.

[3] 周涵霄, 王宏桥. 术前粗针活检低估的乳腺导管内原位癌的超声、钼靶及临床病理特征分析[J]. *中国临床医学影像杂志*, 2019, 30(4): 257-260.

[4] 彭竹琴, 杨智. 乳腺钼靶 X 线联合血清 CA153、CEA 及 OPN 水平检测对乳腺癌早期诊断灵敏度和准确率的影响[J]. *中国妇幼保健*, 2018, 33(20): 4779-4782.

[5] ZHAN J, DING H. Application of contrast-enhanced ultrasound for evaluation of thyroid nodules[J]. *Ultrasonography*, 2018, 37(4): 288-297.

[6] 马发鹏, 常宝, 王时茂, 等. 乳腺导管原位癌 X 线特征与病理核分级及不同肿瘤因子表达相关性[J]. *放射学实践*, 2020, 35(6): 731-735.

[7] 吴朋, 郭宏兵, 李勇, 等. 钙化与非钙化乳腺导管原位癌的影像表现及病理特点[J]. *解放军医药杂志*, 2015, 27(12): 51-58.

[8] 王林. 乳腺导管内癌病理特征与超声造影的相关性探讨[J]. *世界最新医学信息文摘*, 2018, 18(40): 142-142.

[9] CHONG Y, LEE Y S, KIM T J, *et al.* Fine needle aspiration of spindle cell ductal carcinoma in situ of the breast: a case report and the use of ancillary tests for the differential diagnosis of metaplastic carcinoma[J]. *Cytojournal*, 2017, 14: 23.

[10] GUPTA S K, DOUGLAS-JONES A G, FENN N, *et al.* The clinical behavior of breast carcinoma is probably determined at the preinvasive stage (ductal carcinoma in situ)[J]. *Cancer*, 1997, 80(9): 1740-1745.

[11] 荣小翠, 康一鹤, 吴勇超, 等. 不同亚型乳腺导管原位癌与 X 线摄影和临床病理特征的相关性研究[J]. *重庆医学*, 2019, 48(13): 2245-2249.

[12] 蔡李芬, 朱晓萍. 乳腺导管内癌与浸润性导管癌临床病理特征比较[J]. *浙江医学*, 2019, 41(18): 2013-2016.

[13] 冯红梅, 郭彩平, 徐志锋, 等. 乳腺 X 线摄影和 MRI 直方图在鉴别乳腺纤维腺瘤和浸润性导管癌中的价值[J]. *医学影像学杂志*, 2017, 27(1): 75-78.

[14] 田萍, 徐华军, 张惠美, 等. 钼靶 X 线及临床特征与早期三阴乳腺癌复发的相关性分析[J]. *实用放射学杂志*, 2019, 35(3): 391-395.

[15] MARGOLIS R, WESSNER C, STANCZAK M, *et al.* Monitoring progression of ductal carcinoma in situ using photoacoustics and contrast-enhanced ultrasound[J]. *Transl Oncol*, 2019, 12(7): 973-980.

[16] 赵晓娟, 袁建军, 王琦, 等. 超声造影和增强 MSCT 诊断小肝癌的价值比较[J]. *郑州大学学报: 医学版*, 2017, 52(4): 501-504.

[17] 韩丕华, 宋张骏, 杨晓民, 等. 超声造影对乳腺腋窝淋巴结的诊断价值分析[J]. *实用临床医药杂志*, 2019, 23(16): 93-96.

[18] 孙琳, 孙晓枫, 王卉, 等. 超声及钼靶 X 线对乳腺导管内癌与乳腺浸润性导管癌的诊断价值[J]. *现代肿瘤医学*, 2019, 27(22): 4089-4093.

[19] 任静, 翁萍, 吐尔逊纳依, 等. 乳腺导管内癌的病理特征与超声造影的相关性[J]. *实用医学杂志*, 2017, 33(1): 121-124.

[20] 葛继元, 钱超颖, 罗一烽. 钼靶 X 线摄影联合增强磁共振成像在乳腺导管原位癌诊断中的价值[J]. *实用临床医药杂志*, 2020, 24(8): 18-22.

[21] LI J, YUAN M X, YANG L, *et al.* Correlation of contrast-enhanced ultrasound features with prognostic factors in invasive ductal carcinomas of the breast[J]. *Jpn J Radiol*, 2020, 38(10): 960-967.

(本文编辑: 周娟)

(上接第 27 面)

硬件水平或借鉴其他试验部分方法不断优化和完善试验,从而进一步提高结果准确性。

### 参考文献

[1] 刘武松, 宋争放, 卢冰, 等. 前列腺癌放疗技术的现状及新认识[J]. *四川医学*, 2015, 36(3): 427-430, 431.

[2] 田龙, 李明辉, 胡逸民. 利用 EPID 图像金球位置自动跟踪算法研究[J]. *中国医学物理学杂志*, 2014, 31(4): 5038-5042.

[3] 赵宪芝, 张火俊. 立体定向放疗在前列腺癌治疗中的研究进展[J]. *中华泌尿外科杂志*, 2017, 38(12): 957-960.

[4] 田龙, 席强, 赵鑫, 等. 膀胱癌图像引导放疗中基于骨骼与基于内植标记物锥形束 CT 校准比较[J]. *中国医学物理学杂志*, 2019, 36(6): 647-652.

[5] 田龙, 席强, 赵鑫, 等. 膀胱癌图像引导放疗中基于软组织灰度值与基于内植标记物的锥形束 CT 校准比较[J]. *中国医学物理学杂志*, 2018, 35(1): 31-35.

[6] 田龙, 席强, 赵鑫, 等. 前列腺癌图像引导放疗中两种引导方法摆位误差的比较[J]. *癌症进展*, 2019, 17(5): 552-554, 588.

[7] 曹登峰. 前列腺腺癌 gleason 评分及其应用[J]. *中华病理学杂志*, 2014, 43(3): 145-148.

[8] 化宏金, 张智弘. 基于前列腺癌 gleason 评分系统的新分级系统[J]. 2016, 45(7): 495-497.

[9] 史建华, 刘瑞强, 尹茂轩, 等. 经直肠前列腺个体化穿刺在前列腺癌诊断中的应用探索[J]. *黑龙江医药*, 2017, 30(4): 903-904.

[10] 李明显, 张志发, 李晓, 等. 前列腺穿刺组织石蜡包埋技术的改进方法[J]. *中华病理学杂志*, 2018, 47(12): 959-960.

[11] 李秀敏, 江卫华. 相关系数与相关性度量[J]. *数学的实践与认识*, 2006, 36(12): 188-192.

[12] 董晓庆, 胡杰, 陆春花, 等. 前列腺癌图像引导放射治疗精准度评估[J]. *中国医学物理学杂志*, 2016, 33(7): 658-663.

[13] 阎华伟, 金献测, 杨桂强, 等. 锥形束 CT 评价前列腺癌容积调强弧形放射治疗分次间摆位误差及外放边界研究[J]. 2016, 19(21): 2591-2595.

[14] 刘跃平, 许晶, 张连胜, 等. 前列腺癌大分割精确放疗分次治疗间和分次治疗内位置变动分析[J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2016, 25(11): 1199-1203.

[15] 熊家伟, 王秀云, 汪佳旭, 等. 前列腺癌诊断的最新进展[J]. *中华医学超声杂志: 电子版*, 2019, 16(6): 470-473.

[16] 陈珂, 王青, 李元海. 肌松程度对机器人辅助腹腔镜下前列腺癌根治术病人早期术后恢复的影响[J]. *安徽医药*, 2019, 23(9): 1762-1765.

[17] TANABE Y, ISHIDA T, ETO H, *et al.* Evaluation of the correlation between prostatic displacement and rectal deformation using the Dice similarity coefficient of the rectum[J]. *Med Dosim*, 2019, 44(4): e39-e43.

(本文编辑: 陆文娟)