

利用多次采集计划CT和锥形束CT评价前列腺癌靶区运动相关性

田龙¹, 闫洁诚¹, 李明辉², 胡逸民², 张遵浩³

1. 河北北方学院附属第一医院放疗科, 河北 张家口 075000; 2. 中国医学科学院北京协和医科大学肿瘤医院肿瘤研究所放疗科, 北京 100021; 3. 河北医科大学第一医院放疗科, 河北 石家庄 050000

【摘要】目的:利用多次采集计划CT(MAPCT)和锥形束CT获取前列腺癌患者靶区治疗前和治疗中位移数据,评价治疗前、治疗中靶区各向运动之间相关性,从而为优化靶区计划设计提供数据支持。**方法:**筛选12例前列腺癌患者,于靶区内植金标记物,接受3次治疗前MAPCT扫描和10次治疗中锥形束CT扫描,利用两种扫描数据评价治疗前、治疗中靶区各向运动相关性。**结果:**治疗前、治疗中位移在左右、头脚方向上相关性系数 R 分别为0.559、-0.326,中度,弱相关,结果不具有统计学意义;前后方向 R 为0.883,强相关,结果具有统计学意义。**结论:**可以利用治疗前MAPCT预估前后方向上治疗中靶区位移量,从而优化前列腺癌放疗计划。

【关键词】前列腺癌;多次采集计划CT;锥形束CT;内植标记物;相关性

【中图分类号】R812

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2021)02-0172-06

Evaluating the correlation between pre- and in-treatment target displacements in prostate cancer radiotherapy by multiple acquisition planning CT and cone-beam CT

TIAN Long¹, YAN Jiecheng¹, LI Minghui², HU Yimin², ZHANG Zunhao³

1. Department of Radiotherapy, the First Affiliated Hospital of Hebei North University, Zhangjiakou 075000, China; 2. Department of Radiotherapy, Cancer Institute, Cancer Hospital, Chinese Academy of Medical Sciences and Peking Union Medical College, Beijing 100021, China; 3. Department of Radiotherapy, the First Hospital of Hebei Medical University, Shijiazhuang 050000, China

Abstract: Objective To evaluate the correlation between the dimensional target displacements before and during treatment for prostate cancer using target displacement data obtained by multiple acquisition planning CT and cone-beam CT, thereby providing some data support for the optimization of treatment planning. **Methods** Gold implants were implanted in the target areas of 12 prostate cancer patients. Each patient underwent 3 pre-treatment multiple acquisition planning CT scans and 10 in-treatment cone-beam CT scans. The correlation of pre- and in-treatment dimensional target displacements was evaluated by the data obtained in scanning. **Results** The correlation coefficient R of the displacements in left-right and superior-inferior directions before and during treatment was 0.559 and -0.326, respectively, which indicated moderate and weak correlations, without statistical significance. However, the correlation in anterior-posterior direction was relatively strong and statistically significant, with the coefficient R of 0.883. **Conclusion** Pre-treatment multiple acquisition planning CT can be used to predict the in-treatment target displacements in anterior-posterior direction, thereby optimizing the radiotherapy plan of prostate cancer.

Keywords: prostate cancer; multiple acquisition planning CT; cone-beam CT; implanted marker; correlation

前言

前列腺癌主要治疗手段为手术,其他还包括放疗、化疗及综合治疗^[1-2]。对于一些不适合手术的患

者,基于图像引导技术(Image Guide Radiotherapy, IGRT)的容积旋转调强放疗(Volume Modulated Arc Therapy, VMAT)是众多方法中上乘之选^[3-4]。

目前,虽然VMAT技术尚未在国内各级医院普及,但基于锥形束CT(Cone-Beam CT, CBCT)的IGRT已经得到广泛应用^[5-6]。作为一种相对可靠的IGRT技术,CBCT能够在分次治疗前,在同计划CT校准基础上对患者体位进行修正,从而降低误差,保证治疗质量^[7]。已有文献证明,通过CBCT对靶区位

【收稿日期】2020-05-02

【基金项目】张家口市重点研发计划(1921002B)

【作者简介】田龙,硕士,主管技师,主要从事放射治疗研究,E-mail: 1277473912@qq.com

移修正,初始治疗计划剂量与质量验证所计算的靶区中心区域最大剂量差已减小至3.5 cGy以下^[8]。

尽管基于CBCT图像引导的VAMT技术日益成熟,但依然存在如下两个问题:(1)计划CT优化。多次采集计划CT(Multiple Acquisition Planning CT, MAPCT)同单次采集计划CT相比,MAPCT采用新型扫描、采集、计算方法,优化了放疗计划,提高了图像引导校准精度,尤其在靶区、器官边缘,接合部等剂量陡变区域^[8]。MAPCT同4DCT相比,4DCT适合分次内显著移动器官,例如胸部,上腹部肿瘤等,而MAPCT更适合分次内移动不显著,分次间位移较显著器官,例如盆部及某些转移瘤等。目前国内尚无MAPCT介绍和应用研究。(2)靶区运动评价。受盆腔内多个器官影响,前列腺容易发生位移^[9-10]。因此需要对治疗前、治疗中靶区位移进行评价,从而优化放疗计划^[11]。目前国内对治疗前、治疗中前列腺癌靶区运动评价研究较少。

本试验利用MAPCT和CBCT分别计算并评价了治疗前和治疗中靶区位移,之后量化两者相关性,以期通过治疗前靶区位移预估治疗中靶区位移,从而为优化放疗计划和保护危及器官提供数据支持。

1 方法

1.1 病例选择

招募2018年8月~2019年8月间,于河北北方学院附属第一医院放疗科收治的不适合手术的T₄N₀₋₁M_{0-1c}期前列腺癌患者12名(中位年龄68.5岁,范围58~72岁)。纳入标准:①肿瘤侵及直肠等多个器官,无法手术;②身体质量指数(Body Mass Index, BMI)介于18~25之间;③除前列腺特异性抗原(Prostate Specific Antigen, PSA)外,其他生理、生化指标正常。排除标准:①患有前列腺肥大、严重钙化;②患有直肠息肉、痔疮(不利于标志物植入);③患有其他不利于治疗的疾病。患者Gleason评分^[12]≤6分1例、7分2例、≥8分9例。所有患者自愿签署知情同意书,本试验经过河北北方学院附属第一医院医学伦理委员会审核批准。

1.2 试验设备与器材

(1)具有图像引导功能可执行VMAT治疗的医科达Synergy加速器(瑞典医科达公司);(2)飞利浦Big Bore大孔径CT(德国飞利浦公司);(3)Visicoil helical线性金标记物(比利时IBA公司,直径1 mm,长度3 mm)。

1.3 标记物植入

治疗开始前,采用经直肠超声引导术(Trans-rectal Ultrasound Guidance, TUG)^[13]和细针抽吸术(Fine

Needle Aspiration, FNA)^[14-15]将3枚标记物植入前列腺癌靶区不同层面,三维空间间距≥15 mm。

1.4 初始计划CT扫描

采用仰卧位行盆腔部扫描,除前列腺外其他区域扫描层厚3 mm,前列腺区域0.5 mm,以保证靶区分辨率。要求膀胱、直肠完全排空,历次治疗状态同上。初始计划CT扫描仅为治疗用。

1.5 计划设计

计划系统采用Monaco计划系统。影像学可见前列腺(精囊腺视情况而定)及包膜肿瘤区域定义为大体肿瘤体积(Gross Tumor Volume, GTV);影像学可见盆腔肿大淋巴结定义为盆腔阳性淋巴结GTV(lymph node GTV, GTV_{nd});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(Clinical Target Volume, CTV);CTV边界基础上外扩0.8 cm(后方向为0.5 cm,以保护直肠)定义为计划肿瘤体积(Planning Target Volume, PTV),PTV处方为67.5 Gy/25次,每周5次,共5周。危及器官剂量限定:直肠受到50 Gy剂量照射体积(V₅₀)≤40%,膀胱V₅₀≤30%,小肠V₅₀≤5%、D_{max}≤52 Gy,股骨头V₅₀≤5%、D_{max}≤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。

1.6 MAPCT扫描及数据处理

正式治疗开始前第一、二、三天分别进行一次MAPCT扫描,条件同初始计划CT扫描。使用体素匹配软件MIM Maestro(美国MIM软件公司)对3次MAPCT扫描图像进行两两配对和基于骨骼登记匹配。例如,第一天获得的MAPCT图像同第二天、第三天获得的MAPCT图像进行基于骨骼登记匹配,记录不同MAPCT图像上代表靶区位置的3枚内植标记物中心点在左右、前后、头脚方向上位移。第一、二、三天MAPCT扫描左右方向上靶区中心点位移如式(1)、式(2)、式(3)所示^[8]:

$$D_{LR/t1} = \frac{d_{m/day1-2} + d_{m/day1-3}}{2} \quad (1)$$

$$D_{LR/t2} = \frac{d_{m/day2-1} + d_{m/day2-3}}{2} \quad (2)$$

$$D_{LR/t3} = \frac{d_{m/day3-1} + d_{m/day3-2}}{2} \quad (3)$$

其中,d_{m/dayx-y}代表第x天相比于第y天MAPCT基于骨骼登记匹配的靶区位置在左右方向上位移。相同方法分别计算出前后、头脚两个方向上靶区中心点位移。每位患者左右、前后、头脚3个方向上各采集3个数据,所有患者共108个数据。

1.7 CBCT校准及数据处理

正式治疗开始后每位患者共接受10次分次治疗

前CBCT扫描(每周两次)。每位患者每次扫描图像分别同第一、二、三次MAPCT扫描图像基于骨骼进行登记匹配校准。计算每个方向上CBCT扫描分别同3次MPACT校准后的10次位移平均值。每位患者左右、前后、头脚3个方向上各采集并计算3个数据,所有患者共108个数据。

1.8 相关性和统计学分析

采用SPSS 19.0软件进行数据分析。(1)连续变量:对3个方向上靶区MAPCT登记匹配位移平均值和CBCT校准位移平均值进行Shapiro-Wilk正态分布检验,检验标准为 $P>0.2$ 。(2)若计量资料符合正态分布,则以均数±标准差表示,并采用Pearson法分析,计算3个方向上两

个计量资料相关性系数 $R^{[16]}$ (R 绝对值为0~0.1为无相关性,0.1~0.4为弱相关,0.4~0.6为中度相关,0.6~1为强相关)。显著性检验采用双侧检验,检验水平为 $\alpha=0.05$,即 $P<0.05$ 为结果具有统计学意义。(3)对具有统计学意义的结果进行一元回归分析。

2 结果

2.1 MAPCT登记匹配位移

12名患者3次MAPCT扫描靶区中心点分别在3个方向上位移平均值如表1所示。正态分布检验结果显示左右、前后、头脚方向上位移平均值均符合正态分布($P>0.2$)。

表1 12名患者左右、前后、头脚方向上3次MAPCT登记匹配位移平均值(mm)
Tab.1 Mean of 3 multiple acquisition planning CT (MAPCT) registration match displacements in 3 directions for all patients (mm)

方向	患者编号												P值
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
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	0.475
前后	0.807	1.997	3.293	2.650	4.360	3.950	2.633	2.440	2.930	2.253	1.110	1.117	0.787
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	0.309

2.2 CBCT校准位移

12名患者在左右、前后、头脚方向上CBCT校准位移平均值如表2所示。正态分布检验结果显示左

右、前后、头脚方向上校准位移平均值均符合正态分布($P>0.2$)。总之,上述计量资料均可以利用Pearson法进行相关性分析。

表2 12名患者左右、前后、头脚方向上CBCT校准位移平均值(mm)
Tab.2 Mean of 3 cone-beam CT (CBCT) calibration displacements in 3 directions for all patients (mm)

方向	患者编号												P值
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
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	0.364
前后	2.347	1.873	3.730	2.677	6.347	5.217	2.757	1.147	3.757	1.577	1.453	1.727	0.509
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	0.709

2.3 相关性分析

12名患者左右、前后、头脚方向上MAPCT登记匹配位移平均值和CBCT校准位移平均值相关性分析结果如表3所示。其中左右、头脚方向上结果分别为中度和弱相关, $P>0.05$,不具有显著性和统计学意义,因此无法利用该方向上MAPCT登记匹配位移数据预估治疗中靶区位移量;前后方向上结果为强相关, $P<0.01$,在0.01检验水平(双侧)上具有显著性和统计学意义,可以进行一元回归分析。

2.4 一元回归分析

2.4.1 一元回归模型 设自变量 X 为前后方向上MAPCT登记匹配位移平均值,因变量 Y 为前后方向上CBCT校准位移平均值,通过一元回归分析得到回归方程: $Y=-0.096$ (常量)+ 1.211 (系数) X ,常量标准误差=0.683,系数标准误差=0.255。模型检验 $P=0.001$,在0.05的检验水准下,认为使用此模型是合适的,但仍需适用性检验。

2.4.2 适用性检验 (1)残差正态性检验 标准化残差

表3 左右、前后、头脚方向上MAPCT登记匹配位移平均值和CBCT校准位移平均值相关性分析结果(mm, $\bar{x} \pm s$)

Tab.3 Correlation analysis of mean MAPCT registration match displacements and CBCT calibration displacements in 3 directions (mm, Mean±SD)

方向	MAPCT登记匹配	CBCT校准位移	R值	P值
左右	0.384±0.270	0.719±0.464	0.559	0.059
前后	2.462±1.105	2.884±1.607	0.833	0.001**
头脚	0.980±0.570	1.387±0.757	-0.326	0.301

**：在0.01水平(双侧上)显著相关

直方图如图1所示,从图1可以看出,左右两侧不完全对称。标准化残差P-P图如图2所示,从图2来看,散点并没有全部靠近斜线。总之,残差正态性结果不是最好的,但仍可考虑接受。

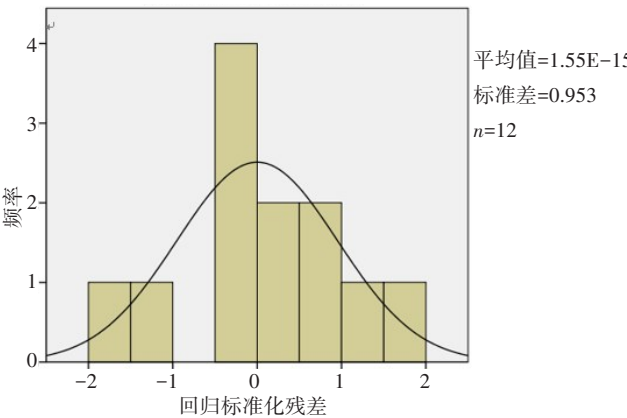


图1 标准化残差直方图

Fig.1 Standardized residuals histogram

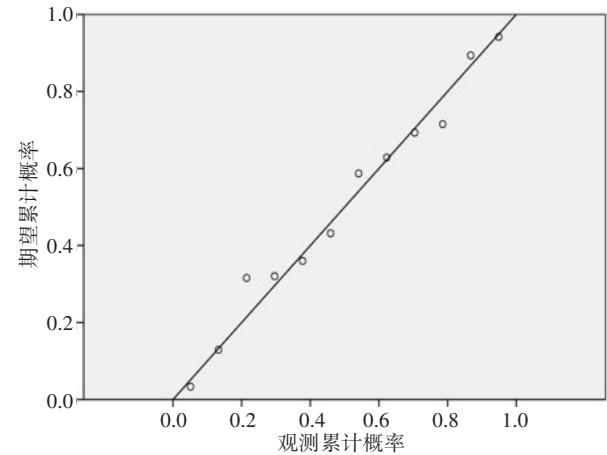


图2 标准化残差P-P图

Fig.2 Standardized residuals P-P diagram

(2)残差独立性检验。模型残差独立性检验结果:杜宾-瓦特森(Durbin Watson, DW)检验结果DW=1.952,经查表得:显著水平为0.05,样本数量n=12,

K=1时,下临界值DL=0.697,上临界值DU=1.023。DU<DW<4-DU,残差独立,无自相关,通过检验。

综上所述,可以证明模型适用性良好,可以利用前后方向上MAPCT登记匹配位移数据和模型预估前后方向上治疗中靶区位移量。

3 讨论

由表1结果可见:12位患者左右方向上MAPCT登记匹配位移总平均值为0.384 mm,前后方向为2.462 mm,头脚方向为0.981 mm,上述位移发生于正式分次治疗之前,通常被忽略,若仅以单次初始计划CT作为放疗计划设计基础和图像引导校准参考是不可靠的。在器官、靶区边缘,接合部等剂量陡变区域,忽略了分次治疗前靶区位移的单次初始计划CT不仅无法为放疗计划设计提供具有统计学意义的真实数据,而且容易造成之后图像引导校准误差。

目前,无论自适应放疗计划设计还是图像引导校准,仍需在单次初始计划CT基础上完成,因此在自适应放疗计划设计过程中需根据MAPCT获得的数据修正靶区位置,在图像引导校准时,也要考虑该数据影响,修正校准数值,从而降低误差。另外,同4DCT相比,MAPCT成本低,易开展,弥补了4DCT分次内无显著位移部位应用效果不佳的欠缺,而且未来适用部位可能会更多,因此MAPCT在分次内不显著位移肿瘤中的应用是非常有研究价值的。总之,未来借鉴4DCT图像融合技术,获得MAPCT融合图像,或许可以彻底取代单次初始计划CT,优化图像处理算法,或许可以在分次内显著位移肿瘤中获得同4DCT相当或更好的结果,但仍需深入研究。

由表2结果可见:12名患者左右方向上CBCT校准位移总平均值为0.719 mm,前后方向上为2.884 mm,头脚方向上为1.387 mm,其中前后方向上数值最高。造成MAPCT及CBCT前后方向数值最高的主要原因为直肠的前后方向形变。即便保持充盈状态不变,前列腺癌放疗中直肠形变仍然无法避免,尤其是前后方向上形变。造成直肠前后方向上形变原因有3点:(1)肌肉,直肠肌肉分为自主神经支配的不随意肌和躯体神经支配的随意肌(控便),其中自主神经支配的不随意肌收缩和舒张是造成直肠前后方向形变主要原因^[17],这在患者接受治疗初始阶段表现尤为明显,随着治疗熟稔,影响会下降^[18],数据可用B超或MRI弹性模量法测量^[19-20]。(2)腹内压,来自前后方向腹腔内压力,数据可用腹腔镜测量^[21]。(3)气体,消化功能不良或室内不适宜的室温导致患者直肠内充气,有患者报告了该现象。上述3点原因中,第一、二

点是无法避免的;第三点可以通过增加纳排标准项目和调节试验温度解决,也是接下来研究的重点。

由表3结果可见:(1)左右、头脚方向相关性较前后方向弱,结果没有统计学意义,靶区位移原因需深入研究。(2)结合表1、2结果及讨论,前后方向不仅位移大,且相关性强,结果均具有统计学意义,说明相同方向直肠形变量对治疗前、治疗中前列腺靶区前后方向位移影响大且相对规律。虽然通过一元回归分析获得了相应预估模型,但如表2讨论所述,试验未量化肌肉和腹内压对直肠前后方向的形变。未来试验中,需量化二者影响,计算MAPCT同二者相关性,CBCT同二者相关性并进行多元回归分析,修改回归模型,使得预估更加直接和真实。

总之,试验通过MAPCT数据优化了放疗计划设计,降低了图像引导校准误差;通过模型预估CBCT校准位移,即治疗中靶区位移,降低正常组织损伤。但是,试验仍存在局限:(1)样本容量较少,(2)MAPCT扫描次数较少,在未来试验中需加以改进。

4 结论

通过优化的计划CT—MAPCT,量化MAPCT登记匹配位移同CBCT校准位移相关性,为优化治疗计划设计和保护危及器官提供了可靠数据支持。本试验依然有待改进,包括样本容量及MAPCT扫描次数相对较少,未能测评肌肉及腹内压影响等,在未来试验中需要解决。

【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与新认识[J]. 四川医学, 2015(3): 427-430.
LIU W S, SONG Z F, LU B, et al. Current situation and new understanding of radiotherapy for prostate cancer[J]. Sichuan Medical Journal, 2015(3): 427-430.
- [2] 李文超,陈明.生物体液MicroRNA在前列腺癌诊断中的研究进展[J]. 东南大学学报(医学版), 2016, 35(3): 440-442.
LI W C, CHEN M. Progress of MicroRNA in biological fluid in the diagnosis of prostate cancer[J]. Journal of Southeast University (Medical Edition), 2016, 35(3): 440-442.
- [3] 黄思娟,何立儒,孙文钊,等. Monaco不同设计模式及不同调强放疗技术对前列腺癌的剂量学比较[J]. 广东医学, 2018, 39(15): 2312-2315.
HUANG S J, HE L R, SUN W Z, et al. Dosimetric comparison of prostate cancer with different design modes and intensity-modulated radiotherapy technologies in Monaco[J]. Guangdong Medical Journal, 2018, 39(15): 2312-2315.
- [4] 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.
TIAN L, XI Q, ZHAO X, et al. Comparison of positioning errors between two methods of image-guided radiotherapy for prostate cancer[J]. Oncology Progress, 2019, 17(5): 552-554.
- [5] 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.
TIAN L, XI Q, ZHAO X, et al. Comparison of CT calibration between bone based and implant based cone beam in image guided radiotherapy for bladder cancer[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2019, 36(6): 647-652.
- [6] 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.
TIAN L, XI Q, ZHAO X, et al. Comparison of cone beam computed tomography calibrations based on soft tissue grey value and implanted markers in image-guided radiotherapy for bladder cancer[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2018, 35(1): 31-35.
- [7] 张祥斌,李光俊,张英杰,等.基于形变配准算法评估前列腺癌分次间剂量的可行性研究[J]. 中国医学物理学杂志, 2019, 36(9): 995-1000.
ZHANG X B, LI G J, ZHANG Y J, et al. Feasibility study on the evaluation of prostate cancer interval dose based on deformation registration algorithm[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2019, 36(9): 995-1000.
- [8] 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.
- [9] 李克新,鞠永健,曹丽媛,等.前列腺癌患者定位与调强放疗时膀胱充盈程度不一致对剂量学参数的影响[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2019, 39(3): 192-196.
LI K X, JU Y J, CAO L Y, et al. The dosimetric effect of inconsistency of bladder filling states between CT simulation and IMRT treatment for prostate cancer patients[J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 2019, 39(3): 192-196.
- [10] 周解平,彭昭,宋宇宸,等.基于危及器官DVH预测模型的前列腺癌自动计划研究[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2019, 28(7): 536-542.
ZHOU J P, PENG Z, SONG Y C, et al. The study of automatic treatment planning of prostate cancer based on DVH prediction models of organs at risk[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2019, 28(7): 536-542.
- [11] 何强,王学涛,李欣,等.基于多模态特征和多分类器融合的前列腺癌放疗中直肠并发症预测模型[J]. 南方医科大学学报, 2019, 39(8): 972-979.
HE Q, WANG X T, LI X, et al. Prediction of rectal toxicity of radiotherapy for prostate cancer based on multi-modality feature and multi-classifiers[J]. Journal of Southern Medical University, 2019, 39(8): 972-979.
- [12] 化宏金,张智弘.基于前列腺癌Gleason评分系统的新分级系统[J]. 中华病理学杂志, 2016, 45(7): 495-497.
HUA H J, ZHANG Z H. A new grading system based on Gleason scoring system for prostate cancer[J]. Chinese Journal of Pathology, 2016, 45(7): 495-497.
- [13] 阿汉别克·阿扎帕.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]. 中国保健营养, 2019(29): 303.
AHANBEK·AZAPA. Exploration of the application of trans-rectal prostate individualized puncture in the diagnosis of prostate cancer[J]. China Health Care & Nutrition, 2019(29): 303.
- [14] 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.
LI M X, ZHANG Z F, LI X, et al. Methods for improving paraffin embedding technique of prostate puncture tissue[J]. Chinese Journal of Pathology, 2018, 47(12): 959-960.
- [15] 闫楠,高屏,孙健伟,等.超声引导下前列腺穿刺活检与前列腺癌根

治术后病理Gleason评分的对比分析[J]. 中国医药指南, 2018, 16(11): 129-130.

YAN N, GAO P, SUN J W, et al. Comparison of Gleason score between ultrasonic guiding biopsy specimens and prostatectomy specimens[J]. Guide of China Medicine, 2018, 16(11): 129-130.

[16] 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, 32(12): 190-194.

LI X M, JIANG W H. Research on linear correlation and dependence measure[J]. Mathematics in Practice and Theory, 2006, 32(12): 190-194.

[17] 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]. 中国全科医学, 2016, 19(21): 2591-2595.

YAN H W, JIN X C, YANG G Q, et al. Evaluation of intra-fraction setup error and margin in VMAT for prostate cancer by cone beam CT[J]. Chinese General Practice, 2016, 19(21): 2591-2595.

[18] 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.

LIU Y P, XU J, ZHANG L S, et al. Analysis of position change between and within fractionated radiotherapy of prostate cancer[J].

Chinese Journal of Radiation Oncology, 2016, 25(11): 1199-1203.

[19] 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.

CHEN K, WANG Q, LI Y H. Effect of muscle relaxation on early postoperative recovery of patients undergoing laparoscopic prostatectomy[J]. Anhui Medical and Pharmaceutical Journal, 2019, 23(9): 1762-1765.

[20] 仲荣洲, 褚立希, 王陶黎, 等. 改良Ashworth屈肘肌张力评估与肱二头肌B超测量值相关分析[J]. 中国临床医学, 2017, 24(3): 387-390.

ZHONG R Z, CHU L X, WANG T L, et al. Biceps muscle tone evaluation: correlation between the elbow flexor tension by Ashworth value and the measurement of biceps muscle by B-ultrasound[J]. Chinese Journal of Clinical Medicine, 2017, 24(3): 387-390.

[21] 覃仕瑞, 张寅, 李红菊, 等. 摆位误差对前列腺癌靶区和危及器官剂量分布的影响研究[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2019, 28(1): 37-40.

QIN S R, ZHANG Y, LI H J, et al. Study on the effect of positioning error on dose distribution of prostate cancer target area and organs at risk[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2019, 28(1): 37-40.

(编辑: 薛泽玲)