

基准标志物在前列腺癌图像引导放疗中的应用

张静¹, 范学武², 田龙¹, 赵鑫¹, 胡逸民³

1. 河北北方学院附属第一医院放疗科, 河北 张家口 075000; 2. 河北省人民医院心血管内科导管室, 河北 石家庄 050000; 3. 国家癌症中心/国家肿瘤临床医学研究中心/中国医学科学院北京协和医学院肿瘤医院放疗科, 北京 100021

【摘要】在前列腺癌(PCa)图像引导放疗(IGRT)中,传统的体表标志线联合基于骨骼或软组织的校准可获得相对理想的靶区和危及器官剂量;然而当进行立体定向放疗时,传统方法不可靠。经手术置入或天然基准标志物(FM)可替代传统方法为PCa IGRT提供高精度靶区位置验证。本研究从FM特性、置入、临床应用和增益等方面对其进行综述,发现目前商用FM种类繁多并各具特点,置入后安全性和稳定性良好,对提高PCa IGRT疗效具有重要意义。

【关键词】前列腺癌;基准标志物;图像引导放疗;综述

【中图分类号】R737.25;R811.1

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2023)04-0397-06

Application of fiducial marker in image-guided radiotherapy of prostate cancer

ZHANG Jing¹, FAN Xuewu², TIAN Long¹, ZHAO Xin¹, HU Yimin³

1. Department of Radiotherapy, the First Affiliated Hospital of Hebei North University, Zhangjiakou 075000, China; 2. Cardiology Catheter Room, Hebei General Hospital, Shijiazhuang 050000, China; 3. Department of Radiotherapy, Cancer Hospital, Chinese Academy of Medical Sciences and Peking Union Medical College/National Clinical Research Center for Cancer/National Cancer Center, Beijing 100021, China

Abstract: Relatively ideal target and organs-at-risk doses can be achieved using traditional body surface marker line combined with bone or soft tissue calibration in image-guided radiotherapy (IGRT) of prostate cancer (PCa). However, the traditional method is not reliable when stereotactic radiotherapy is carried out. Surgically implanted or natural fiducial marker (FM) can replace the traditional method to provide high-precision positioning verification for PCa IGRT. The review on FM characteristic, implantation, clinical application and gain shows that there are many types of commercial FM with different characteristics, exhibiting high safety and stability after implantation, which is of great significance to improve the efficacy of PCa IGRT.

Keywords: prostate cancer; fiducial marker; image-guided radiotherapy; review

前言

前列腺癌(Prostate Cancer, PCa)是男性常见肿瘤,通常采用根治性外照射放疗,包括调强放疗、容积旋转调强放疗和立体定向放疗(Stereotactic Body Radiotherapy, SBRT)等^[1-5]。图像引导技术能显著提高各类型放疗中靶区位置验证精度,从而优化靶区适形度和剂量均匀性。PCa图像引导放疗(Image

Guided Radiotherapy, IGRT)的实施具有重要临床价值和意义^[6-8]。传统PCa IGRT依靠的是体表标志线和基于骨骼或软组织的校准,该方法在常规分次放疗中具有可行性^[9-10]。但是,在低分次大分割的SBRT中,传统方法无法提供足够精确的靶区定位从而确保高剂量梯度。因此,采用精确定位靶区的基准标志物(Fiducial Marker, FM)替代传统方法进行IGRT是大势所趋。

目前,基于FM校准的PCa IGRT在国外已成熟应用,但国内鲜有报道和综述。Sparwasser等^[10]认为,FM提高了PCa IGRT疗效并改善了预后。本研究对近年来国内外FM在PCa IGRT中的应用(包括FM特性、置入、临床应用和增益)进行了综述,以期让更多放疗从业者了解、应用该项技术,从而创造更多临床价值。

【收稿日期】2022-10-26

【基金项目】张家口市重点研发计划(1921002B)

【作者简介】张静,硕士,主管护师,研究方向:放疗护理学, E-mail: zjxhtl@126.com

【通信作者】田龙,硕士,主任研究员,研究方向:肿瘤放射治疗物理学, E-mail: 1277473912@qq.com

1 FM 特性

1.1 FM 类型

目前商用FM主要产自比利时IBA公司,分为金属和非金属两类。金属FM包括:①圆柱体黄金FM

(图1a),规格为(3×Φ0.8、1.2 mm),共两种,其中Φ为直径。②线性黄金FM(图1b),规格为(5×Φ0.35、0.50、0.75、1.15 mm),共4种。非金属FM包括:碳FM(图1c),哑铃状,规格为(3×Φ1 mm),其中Φ为最大横径。

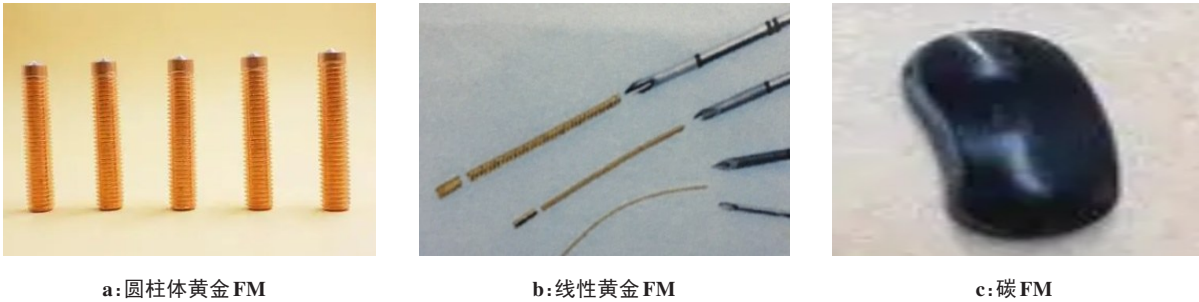


图1 商用FM分类

Figure 1 Types of commercial fiducial marker (FM)

1.2 FM 成像

已有相关研究对各类FM成像进行详细分析,对上述7种FM联合RANDO高精度仿真人体(比利时IBA公司)骨盆进行Synergy Platform锥形束CT(Cone Beam CT, CBCT)(瑞典医科达公司)扫描,评价FM信噪比(Signal-to-Noise Ratio, SNR)、成像剂量、伪影和剂量扰动^[11]。在Pelvic常规扫描模式下(管电压:120 kV,总管电流:1 689.6 mAs,滤过板F₁,准直器S₂₀)发现:①按照SNR由高至低排列,可视性良好的FM依次为圆柱体黄金FM(Φ1.2 & 0.8 mm)和线性黄金FM(Φ1.15 & 0.75 & 0.50 mm),可视性较

差的FM依次为线性黄金FM(Φ0.35)和碳FM。FM可视性见图2,其中,图2e黑圈为Φ0.35 mm平片。②碳FM可视性在穿骨平片中不佳,但在穿软组织平片中较好(图2c~d,其中,图2c黑圈为穿骨平片,图2d白圈为穿软组织平片)。③在保证SNR前提下,FM的伪影和剂量扰动由高至低依次为圆柱体黄金FM(Φ1.2 & 0.8 mm)、线性黄金FM(Φ0.35 & 1.15 & 0.75 & 0.50 mm)、碳FM。④在保证SNR前提下,FM成像剂量(管电流)由高至低依次为碳FM、线性黄金FM(Φ0.35 & 0.50 mm)、圆柱体黄金FM(Φ0.8 mm)、线性黄金FM(Φ0.75 & 1.15 mm)、圆柱体黄金FM(Φ1.2 mm)。

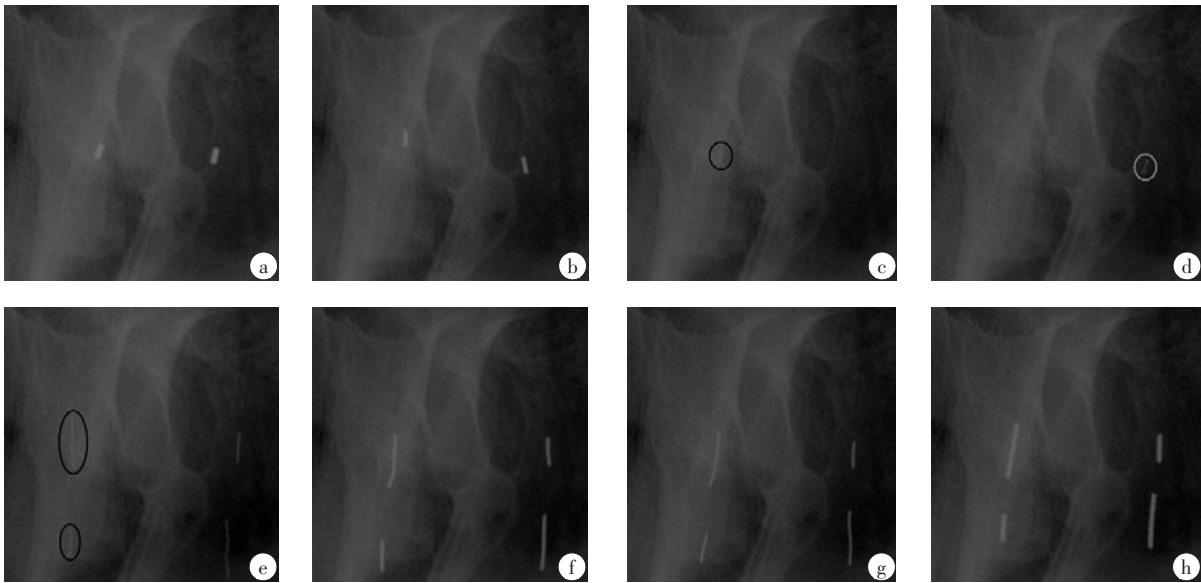


图2 FM 可视性(SNR)

Figure 2 FM visibility (SNR)

a~b: 圆柱体黄金FM(图a为Φ1.2 mm FM影像,图b为Φ0.8 mm FM影像);c~d: 碳FM(图c为FM同骨组织重叠影像,图d为FM同软组织重叠影像);e~h: 线性黄金FM(图e为Φ0.35 mm FM影像、图f为Φ0.50 mm FM影像、图g为Φ0.75 mm FM影像、图h为Φ1.15 mm FM影像)

在选择FM时,首先要保证可视性,其次降低造成FM质心计算误差的伪影和影响FM周围组织剂量均匀性的扰动^[11]。多数研究认为该扰动较小,Newhauser等^[12]发现质子束放疗中FM扰动导致周围组织剂量降低85%并形成剂量冷点。最后降低患者额外辐照剂量,即成像剂量。通过权衡所有因素,最适合的FM为线性黄金FM($\Phi 0.5\text{ mm}$)。Janardanan等^[13]使用更高SNR和更低伪影与剂量扰动的铂金代替黄金FM,并取得理想的结果。

随着磁共振(Magnetic Resonance, MR)技术在PCa放疗中广泛应用,对FM的非金属性提出了要求。尽管多数研究已证明黄金FM在仅基于MR的PCa放疗中应用的可行性^[14-17],但碳FM显然是更好

的选择。Carl等^[18]讨论了用于治疗尿路梗阻的镍钛支架作为标志物的可行性,镍钛支架在CT、CBCT和MR图像上均不产生伪影和剂量扰动,具有一定应用价值。对于不宜接受FM置入术的患者,O'Neill等^[19]讨论了天然FM,即前列腺钙化点作为FM的可行性,钙化点在CT、CBCT和MR图像上均具有较好可视性,但存在辨识、匹配和校准难度。图3a~b为CT和CBCT平片,图中高亮度放射状影为FM,不规则高亮度影为钙化点;图3c为MR T_2^* 加权图像(T_2^* Weighted Image, T_2^* WI),规则无信号区为相应FM,不规则无信号区为相应钙化点。显然,单独基于钙化点进行IGRT校准或3种图像融合后配准均存在一定难度。



图3 不同图像上的钙化点
Figure 3 Calcifications in different images

2 FM 置入

2.1 FM 置入方法

通过超声引导下经直肠(Trans-Rectal Ultrasound, TRUS)或会阴(Trans-Perineal Ultrasound, TPUS)的细针抽吸术完成FM置入。多数研究选择TRUS穿刺^[20-22],只有直肠病变或不宜直肠穿刺患者才会选择TPUS,这是因为TRUS穿刺难度小,成功率高。TRUS穿刺前需要做好充足准备,包括直肠灌肠、局部麻醉、标志物消毒、预防性抗生素和相关护理等。采用Philips iU22彩色多普勒超声诊断仪,端扫式9-4 v直肠探头,探头频率为2~10 MHz;操作时嘱患者侧卧,双腿屈曲,双手抱膝,采用利多卡因对直肠肛管进行局麻并建立静脉通道,采用5 mL注射器和PTC-B 18G针头(日本八光公司)随超声探头进入直肠,穿直前壁刺入前列腺体将高温消毒后的FM置入^[23]。图4中,白色轮廓为膀胱壁,红色轮廓为前列腺,直肠中粗高亮度影为超声探头,细低亮度影为穿刺针。另外,若患者无法接受置入术,也可采用无风险和成本的钙化点作为天然FM,但临床价值有

限。多数研究认为置入FM数量以3枚为宜,若可视性不理想再置入第4枚^[20-23]。处于不同层面且间距 $\geq 15\text{ mm}$ 的3枚FM相互影响极小,并能准确量化靶区各向位移和旋转。

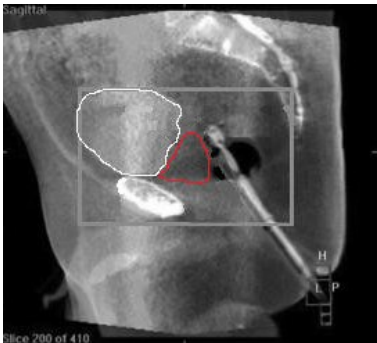


图4 FM置入
Figure 4 FM implantation

2.2 FM 置入安全性

FM置入过程中可不使用局麻。Igdem等^[24]在未使用局麻情况下,使用Wong-Baker疼痛量表评价患

者疼痛,发现超过70%的患者低于2分(轻度疼痛),所有患者平均分也低于2分;50%的患者认为该疼痛小于病理穿刺活检,40%的患者认为相同,只有10%的患者认为更疼痛。当然,采用局麻后上述评分显著下降。因此,即便在未采用局麻情况下,FM的置入过程也是可耐受的。

FM置入可能导致的并发症包括直肠或尿道出血、尿道感染、置入部位炎症和水肿。Kumar等^[25]针对135名3枚FM置入的PCa患者进行回顾性分析,发现直肠出血5例(3.70%)、尿道出血20例(14.81%)、尿路感染3例(2.22%)、置入部位炎症和水肿0例(0.00%),并发症总概率约为20%~30%,与活检并发症概率相当。其中直肠和尿道出血未加任何干预自愈,尿道感染采用预防性抗生素治疗后痊愈,置入部位炎症和水肿未经发现便已消退。总之,FM置入并发症对其应用和IGRT影响较小。

Rahman等^[26]比较了TRUS和TPUS并发症概率,发现TRUS穿刺感染率显著高于TPUS,尤其在直肠未完全排空情况下。TRUS穿刺难度小,成功率高;因此,在预防性抗生素能有效抑制感染前提下,TRUS仍是首选方法。

2.3 FM置入稳定性

FM置入后,其稳定性很重要。首先,不得将FM置入紧邻尿道区域,避免尿道破裂和因排尿导致的FM丢失。其次,不得将FM置入紧邻前列腺包膜区域,避免FM滑入包膜而丢失。通常使用分次内标志物间距(Inter-Marker Distance, IMD)标准差来评价FM稳定性。多数研究发现各种情况下IMD标准差均极小并可忽略。笔者研究发现IMD标准差最大为 ± 0.39 mm, Tiberi等^[27]研究发为 ± 0.21 mm,均不超过 ± 0.5 mm。总之,FM置入后稳定性良好,自发性位移对IGRT影响极小。由于FM形状(圆柱体、线性、哑铃状),FM置入后也未发现自发性旋转。

3 FM临床应用

3.1 FM联合机载验证设备的应用

加速器机载验证设备包括兆伏级电子射野影像装置(Electronic Portal Imaging Device, EPID)和千伏级CBCT。闫洁诚等^[28]探讨了FM联合EPID应用的可行性,发现仅能提供2D图像的EPID必须采集两次不同角度平片才能完成CT的3D空间验证,而且兆伏级图像质量不高,FM辨识困难。因此,国内外研究均以FM联合CBCT与CT校准为主。田龙等^[23]进行了IGRT中基于FM同基于骨骼或软组织CBCT校准精度的比较,发现基于FM的CBCT校准精度显著高于后两者。造成分次间PCa靶区位移和旋转原因

包括:①摆位误差;②其他脏器运动和充盈度变化;③放疗、雄激素剥夺治疗等因素导致的萎缩。基于骨骼或软组织的CBCT校准能显著降低摆位误差,但基于骨骼校准无法发现②和③,基于软组织校准无法准确量化②和③中的位移和旋转误差。相比基于骨骼或软组织的校准,基于FM的校准能更准确地量化上述3种误差。基于骨骼或软组织时,PCa靶区95%处方剂量覆盖不足,而基于FM的覆盖良好,且有助于进一步缩小计划靶区(Planning Tumor Volume, PTV)边界。

3.2 FM联合MR的应用

3.2.1 FM在PCa CT-MR图像融合和IGRT中的应用

MR图像软组织分辨率远高于CT图像,基于MR的放疗计划中靶区和危及器官(Organ-at-Risk, OAR)勾画更精准。计划完成后,需通过CT-MR图像融合技术将MR图像上勾画的轮廓转移至CT图像,这是因为MR本身无法提供用于剂量计算的电子密度。同前所述,基于骨骼或软组织的图像融合效果不理想,FM仍是最佳选择。田龙等^[29]探讨并量化了FM在PCa CT-MR图像融合中应用的可行性。图5为PCa靶区同一层面轴位图像。CT图像中高亮度放射状影为两枚FM(蓝色箭头), T_2^* WI规则无信号区为两枚FM(蓝色箭头)。 T_2^* WI中FM准确辨识率为96.67%,非常适合用于CT-MR图像融合;在IGRT中,还可进行基于FM的CBCT与CT或MR校准。

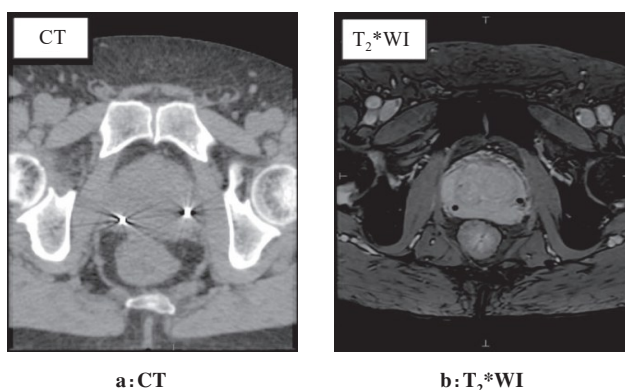


图5 FM在CT-MR图像融合中应用
Figure 5 Application of FM in CT-MR image fusion

3.2.2 FM在仅基于MR的PCa IGRT中的应用

由于MR无法提供用于剂量计算的电子密度,所以在合成CT(synthetic CT, sCT)出现前,只能通过CT-MR图像融合和CT电子密度进行放疗计划和剂量计算。仅基于MR图像和软件生成的sCT的出现使得剂量计算成为可能,从而脱离CT真正实现仅基于MR的PCa IGRT。此时,FM仅用于IGRT中CBCT同MR的

校准。田龙等^[29]探讨并量化了FM在仅基于MR的PCa IGRT中应用的可行性,发现在仅基于由平衡稳态自由进动序列、T₁加权双相位扰相梯度回波序列和双相位梯度回波序列组成的合成序列图像中,FM手动辨识准确率为93.75%。同CT相比,合成序列图像上FM IMD平均值为(0.32±0.17) mm。仅基于MR的合成序列图像中FM辨识和定位准确度足以媲美CT,并可以用于之后的CBCT与MR的校准中。

3.3 FM联合TPUS的应用

与CBCT等分次治疗间靶区位置验证方法不同,TPUS作为一种简易且经济的软组织成像方法已用于PCa IGRT分次治疗内靶区位置验证中。冀鑫等^[30]使用Elekta机载Clarity软组织超声成像系统和EPID系统对PCa患者进行了治疗中实时连续成像,评价并比较了TPUS和EPID两种方法PCa靶区实时位置验证效能,发现TPUS和EPID位置验证数值在左右、头脚、腹背3个方向上具有中度以上相关性,3个方向上TPUS位置验证数值显著性小于EPID。相比较EPID,TPUS包括图像质量在内的综合优势更明显,更适合用于治疗中前列腺癌靶区实时位置验证。

4 FM临床增益

FM最直接的临床增益莫过于对靶区位置的纠正,包括纠正摆位误差、其他脏器运动和充盈度变化和前列腺萎缩导致的靶区位移和旋转。通过准确地发现、判断和量化靶区变化,保证分次内放疗准确性并为分次间自适应放疗计划更改和优化提供数据支持。其次,通过纠正靶区位置优化了靶区剂量学各项指标:①提高PTV95%处方剂量覆盖率;②通过对腹背、头脚和左右方向位置变化的回顾性分析,计算PTV边界缩小量并重新评估OAR剂量和毒性;③提高PTV剂量和OAR之间剂量梯度,为SBRT的实施提供高精度定位和剂量学保证。O'Neill等^[19]和Salonee等^[20]发现,FM的应用使得PTV边界缩减达7 mm,从而降低了胃肠道剂量和毒性,5年内生存率、器官毒性和生活质量均优于未应用FM组,但泌尿系统毒性和预后两组差异不大。

5 结论

商用FM种类繁多且各具特点,需要根据不同设备和患者条件选择最合适的FM,一般推荐使用线性黄金FM(5×Φ0.5 mm);FM的置入首选TRUS,其过程是可耐受且安全的,并具有良好的稳定性。FM在临床上应用以联合CBCT校准为主;随着MR技术的发展,FM联合MR的应用也逐渐广泛和深入;FM的应用创造了一定临床增益,特别是为SBRT的实施提

供了高精度定位和剂量学保证。总之,FM技术具有一定临床意义,值得推广。

【参考文献】

- [1] Susan E, Steck SE, Joseph L, et al. Recreational and occupational physical activity in relation to prostate cancer aggressiveness: the North Carolina-Louisiana Prostate Cancer Project (PCaP)[J]. Cancer Causes Control, 2022, 33(6): 875-887.
- [2] Liu C, Jiang S, Xie H, et al. Long non-coding RNA AC245100.4 contributes to prostate cancer migration *via* regulating PAR2 and activating p38-MAPK pathway[J]. Med Oncol, 2022, 39(5): 94.
- [3] Sentana-Lledo D, Sartor O, Balk SP, et al. Immune mechanisms behind prostate cancer in men of African ancestry: a review[J]. Prostate, 2022, 82(8): 883-893.
- [4] Gao Z, Jia X, Xing J, et al. LXA4 enhances prostate cancer progression by facilitating M2 macrophage polarization *via* inhibition of METTL3[J]. Int Immunopharmacol, 2022, 107(7): 108586.
- [5] Bittner NH, Cox BW, Davis B, et al. ACR-ABS-ASTRO practice parameter for transperineal permanent brachytherapy of prostate cancer[J]. Am J Clin Oncol, 2022, 45(6): 249-257.
- [6] Fu Z, Jia B. Advances in the role of heat shock protein 90 in prostate cancer[J]. Andrologia, 2022, 54(4): e14376.
- [7] Yamaguchi M, Yoshiike K, Watanabe H, et al. The marine factor 3, 5-dihydroxy-4-methoxybenzyl alcohol suppresses growth, migration and invasion and stimulates death of metastatic human prostate cancer cells: targeting diverse signaling processes[J]. Anti-Cancer Drug, 2022, 33(5): 424-436.
- [8] Dong X, Xue H, Mo F, et al. Modeling androgen deprivation therapy-induced prostate cancer dormancy and its clinical implications[J]. Mol Cancer Res, 2022, 20(5): 782-793.
- [9] Preisser F, Heinze A, Pompe RS, et al. Impact of positive surgical margin length and Gleason grade at the margin on oncologic outcomes in patients with nonorgan-confined prostate cancer[J]. Prostate, 2022, 82(9): 949-956.
- [10] Sparwasser P, Haack M, Brandt MP, et al. Smartglass augmented reality-assisted targeted prostate biopsy using cognitive point-of-care fusion technology[J]. Int J Med Robot Comp, 2022, 18(3): e2366.
- [11] 田龙, 席强, 宋晓. 膀胱CBCT图像中标记物选取的研究[J]. 癌症进展, 2016, 14(10): 973-976.
Tian L, Xi Q, Song X. Marker selection in CBCT image of bladder[J]. Oncology Progress, 2016, 14(10): 973-976.
- [12] Newhauser W, Fontenot J, Koch N, et al. Monte Carlo simulations of the dosimetric impact of radiopaque fiducial markers for proton radiotherapy of the prostate[J]. Phys Med Biol, 2007, 52(11): 2937-2952.
- [13] Janardanan N, Szanto J, Vandervoort E, et al. Feasibility, detectability, and experience with platinum seed internal fiducial markers for CT-MRI fusion and real-time tumor tracking during stereotactic ablative radiation therapy[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2012, 84(3): S821.
- [14] Muinck KD, Pathmanathan AU, Andreychenko A, et al. Fiducial marker based intra-fraction motion assessment on cine-MR for MR-linac treatment of prostate cancer[J]. Phys Med Biol, 2019, 64(7): 07NT02.
- [15] Maspero M, Berg CA, Zijlstra F, et al. Evaluation of an automatic MR-based gold fiducial marker localisation method for MR-only prostate radiotherapy[J]. Phys Med Biol, 2017, 62(20): 7981-8002.
- [16] Shcherbakova Y, Mandijia S, Bartels LW, et al. Visualization of gold fiducial markers in the prostate using phase-cycled bSSFP imaging for MRI-only radiotherapy[J]. Phys Med Biol, 2019, 64(18): 185001.
- [17] Maspero M, Berg CA, Zijlstra F, et al. Evaluation of gold fiducial marker manual localisation for magnetic resonance-only prostate radiotherapy[J]. Radiat Oncol, 2018, 13(1): 105.
- [18] Carl J, Nielsen J, Holmberg M, et al. Clinical results from first use of prostate stent as fiducial for radiotherapy of prostate cancer[J]. Acta Oncol, 2011, 50(4): 547-554.
- [19] O'Neill A, Osman SO, Jain S, et al. Observed high incidence of prostatic calculi with the potential to act as natural fiducials for prostate image guided radiotherapy[J]. Technical Innovations & Patient Support in Radiation Oncology, 2019, 12(9): 35-40.
- [20] Salonee S, Kerri B, Mieke VH, et al. Guy's and St Thomas NHS

- Foundation active surveillance prostate cancer cohort: a characterisation of a prostate cancer active surveillance database[J]. BMC Cancer, 2021, 21(1): 573.
- [21] Mason J, Henry A, Bownes P, et al. Error detection thresholds for routine real time *in vivo* dosimetry in HDR prostate brachytherapy[J]. Radiother Oncol, 2020, 149(5): 38-43.
- [22] Ishaq FU, Hervé L, Georgia T, et al. Trans-rectal ultrasound-guided autologous blood injection in the interprostato-rectal space prior to percutaneous MRI-guided cryoablation of the prostate[J]. Cardiovasc Intervent Radiol, 2018, 41(4): 653-659.
- [23] 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, Zhao X, Xi Q, et al. Comparison between CBCT calibrations based on skeleton vs implanted markers in image-guided radiotherapy for bladder cancer[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2019, 36(6): 647-652.
- [24] Igdem S, Akpınar H, Alco G, et al. Implantation of fiducial markers for image guidance in prostate radiotherapy: patient-reported toxicity [J]. Br J Radiol, 2009, 82(983): 941-945.
- [25] Kumar A, Griwan MS, Singh SK, et al. Is periprostatic nerve block a gold standard in case of transrectal ultrasound-guided prostate biopsy? [J]. Urol Ann, 2013, 5(3): 152-156.
- [26] Rahman IA, Nusaly IF, Syahrir S, et al. Optimizing biopsy strategy for prostate cancer: Bayesian framework of network meta-analysis and hierarchical summary receiver operating characteristic model for diagnostic accuracy[J]. Indian J Urol, 2021, 37(1): 20-31.
- [27] Tiberi DA, Carrier JF, Beauchemin MC, et al. Impact of concurrent androgen deprivation on fiducial marker migration in external beam radiation therapy for prostate cancer[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2012, 84(1): e7-12.
- [28] 闫洁诚, 田龙, 胡逸民. 膀胱癌放疗中两种图像引导方法校准精度比较[J]. 北京生物医学工程, 2021, 40(3): 303-308.
Yan JC, Tian L, Hu YM, et al. Comparing the calibration accuracy of two image guided methods in bladder cancer radiotherapy[J]. Beijing Biomedical Engineering, 2021, 40(3): 303-308.
- [29] 田龙, 范学武, 许蕊, 等. 对比T₂WI与T₂*WI用于前列腺癌放射治疗计划的效果[J]. 中国介入影像与治疗学, 2022, 19(4): 239-244.
Tian L, Fan XW, Xu R, et al. Comparison on T₂WI and T₂*WI for radiotherapy planning of prostate cancer [J]. Chinese Journal of Interventional Imaging and Therapy, 2022, 19(4): 239-244.
- [30] 冀鑫, 李珺, 庞永鹏, 等. 前列腺癌影像引导放疗中电子射野影像装置和经会阴超声实时位置验证方法比较[J]. 肿瘤学杂志, 2023, 29(1): 48-53.
Ji X, Li J, Pang YP, et al. Comparison of real time position verification of electronic portal imaging device versus trans-perineal ultrasound in image guided radiotherapy for prostate cancer [J]. Journal of Chinese Oncology, 2023, 29(1): 48-53.

(编辑:谭斯允)