

## 基于MRI的前列腺癌放疗中标志物手动辨识与定位评价

### Manual identification and localization evaluation of marker in prostate cancer radiotherapy based on magnetic resonance imaging

Zhang Wang, Liu Xiao, Yang Haifang, Tian Long, Hu Yimin

引用本文:

张旺, 刘肖, 杨海芳, 等. 基于MRI的前列腺癌放疗中标志物手动辨识与定位评价[J]. 国际放射医学核医学杂志, 2022, 46(12): 724-729. DOI: 10.3760/cma.j.cn121381-202111003-00241

Zhang Wang, Liu Xiao, Yang Haifang, et al. Manual identification and localization evaluation of marker in prostate cancer radiotherapy based on magnetic resonance imaging[J]. *International Journal of Radiation Medicine and Nuclear Medicine*, 2022, 46(12): 724-729. DOI: 10.3760/cma.j.cn121381-202111003-00241

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202111003-00241>

## 您可能感兴趣的其他文章

### Articles you may be interested in

#### 前列腺癌容积旋转调强放疗中标志物可探测性研究

Research on detectability of markers in volume-modulated arc therapy for prostate cancer

国际放射医学核医学杂志. 2021, 45(12): 767-772 <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202102024-00123>

#### 前列腺癌miRNA生物标志物及其与辐射敏感性的研究进展

Research progress in miRNA biomarkers of prostate cancer and radiosensitivity

国际放射医学核医学杂志. 2017, 41(3): 227-231 <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2017.03.013>

#### 磁共振弹性成像技术在肿瘤中的应用及研究进展

Application and research progress of magnetic resonance elastography in cancer

国际放射医学核医学杂志. 2019, 43(2): 171-175 <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2019.01.013>

#### 放疗在低负荷转移性前列腺癌中的应用价值

Application of radiotherapy in low burden metastatic prostate cancer

国际放射医学核医学杂志. 2021, 45(8): 507-514 <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202005013-00064>

#### 基于骰骨MRI的糖尿病足影像组学特征

Radiomic features of diabetic foot based on cuboid magnetic resonance imaging

国际放射医学核医学杂志. 2021, 45(12): 759-766 <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202011036-00122>

#### 单光子核素标记的PSMA小分子抑制剂在前列腺癌中的临床应用进展

Research progress in the clinical application of single photon nuclide-labeled PSMA small molecule inhibitors in prostate cancer

国际放射医学核医学杂志. 2020, 44(11): 709-716 <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-201908025-00091>

·临床研究·

# 基于MRI的前列腺癌放疗中标志物 手动辨识与定位评价

张旺<sup>1</sup> 刘肖<sup>1</sup> 杨海芳<sup>1</sup> 田龙<sup>2</sup> 胡逸民<sup>3</sup><sup>1</sup>唐山市人民医院放射治疗中心, 唐山 063000; <sup>2</sup>河北北方学院附属第一医院放疗科, 张家口 075000; <sup>3</sup>中国医学科学院肿瘤医院放疗科, 北京 100021通信作者: 田龙, Email: [zjkxhtl@126.com](mailto:zjkxhtl@126.com)

**【摘要】目的** 评价基于MRI的前列腺癌放疗中黄金基准标志物(GFM)手动辨识和定位方法的效能。**方法** 纳入2019年6月至2021年6月于唐山市人民医院接受治疗的16例前列腺癌患者进行前瞻性研究, 年龄(58.5±4.1)岁, 每例患者均置入了3枚GFM后接受放疗定位CT扫描, 然后采用单独序列(SS)法和组合序列(CS)法对所有患者进行MRI检查。由5名放疗医师分别对2种序列法获得的所有图像进行GFM手动辨识和定位。计算单个GFM中心( $C_{sGFM}$ )坐标均值和3枚GFM空间质心( $C_{mGFM}$ )坐标均值, 并采用Bland-Altman分析法分别评价2种序列法定位的一致性。通过与CT定位比较并计算GFM的标志物间距(IMD), 评价2种序列法定位的准确度, 组间比较采用配对样本 $t$ 检验。**结果** SS法GFM辨识阳性率为79.17%(38/48), CS法为93.75%(45/48)。(1)一致性结果。SS法中, 每名放疗医师计算的GFM中心坐标同所有GFM的 $C_{sGFM}$ 坐标均值在左右、头脚、腹背3个方向上的95%一致性界限(LoA)范围分别为-1.46~0.97 mm、-1.06~1.73 mm、-1.96~1.12 mm; CS法中分别为-0.79~1.09 mm、0.10~1.47 mm、-0.87~1.40 mm。SS法中, 每名放疗医师计算的3枚GFM空间质心坐标同所有患者的 $C_{mGFM}$ 坐标均值在左右、头脚、腹背3个方向上的95%LoA范围分别为-1.38~0.94 mm、-1.60~1.07 mm、-1.07~1.75 mm; CS法中分别为-0.57~0.76 mm、-0.71~0.98 mm、-1.16~0.76 mm。(2)准确度结果。与CT定位比较, SS法中IMD为(0.59±0.39) mm, 显著大于CS法中的(0.32±0.17) mm, 且差异有统计学意义( $t=-1.89$ ,  $P=0.027$ )。**结论** 基于MRI的2种GFM手动辨识和定位方法的效能均可满足临床要求, 其中CS法GFM手动辨识的阳性率、定位一致性和准确度均优于SS法。

**【关键词】** 前列腺肿瘤; 磁共振成像; 放射疗法; 定位标记**基金项目:** 张家口市重点研发计划(1921002B)DOI: [10.3760/cma.j.cn121381-202111003-00241](https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202111003-00241)

## Manual identification and localization evaluation of marker in prostate cancer radiotherapy based on magnetic resonance imaging

Zhang Wang<sup>1</sup>, Liu Xiao<sup>1</sup>, Yang Haifang<sup>1</sup>, Tian Long<sup>2</sup>, Hu Yimin<sup>3</sup><sup>1</sup>Radiotherapy Center, Tangshan People's Hospital, Tangshan 063000, China; <sup>2</sup>Department of Radiotherapy, the First Affiliated Hospital of Hebei North University, Zhangjiakou 075000, China; <sup>3</sup>Department of Radiotherapy, Cancer Hospital, Chinese Academy of Medical Sciences, Beijing 100021, ChinaCorresponding author: Tian Long, Email: [zjkxhtl@126.com](mailto:zjkxhtl@126.com)

**【Abstract】Objective** To evaluate the effectiveness of manual identification and localization methods of gold fiducial marker (GFM) in prostate cancer radiotherapy based on MRI. **Methods** Sixteen patients with prostate cancer who were treated in Tangshan People's Hospital from June 2019 to June 2021 were included in this prospective study. The age of patients was (58.5±4.1) years. All the patients received radiotherapy localization CT scan after the implantation of three GFMs.

Single-sequence (SS) and combined sequence (CS) method were used for MRI scanning for all the patients. All GFMs on the images obtained by the two sequencing methods were manually identified and located by five radiologists. The average coordinates of a single GFM center ( $C_{sGFM}$ ) and three GFM space centroids ( $C_{mGFM}$ ) were calculated. The consistency of the two sequencing methods was evaluated using Bland-Altman method. Sequencing accuracy was determined by comparison with CT localization and calculation of the inter-marker distance (IMD) of GFM. The difference between groups was analyzed by paired sample *t* test. **Results** The positive rate of GFM identification by SS method was 79.17% (38/48), and that of CS method was 93.75% (45/48). (1) In SS method, the range of 95% limit of agreement (LoA) between the GFM central coordinate calculated by each radiologist and the mean value of  $C_{sGFM}$  coordinates in left-right, superior-inferior, and anterior-posterior directions were  $-1.46-0.97$ ,  $-1.06-1.73$ , and  $-1.96-1.12$  mm, respectively; in CS method, the values were  $-0.79-1.09$ ,  $0.10-1.47$ , and  $-0.87-1.40$  mm, respectively. In SS method, the 95%LoA of the three GFM space centroid coordinates calculated by each radiologist and the mean value of  $C_{mGFM}$  coordinates in left-right, superior-inferior, and anterior-posterior directions were  $-1.38-0.94$ ,  $-1.60-1.07$ , and  $-1.07-1.75$  mm, respectively; in CS method, the values were  $-0.57-0.76$ ,  $-0.71-0.98$ , and  $-1.16-0.76$  mm, respectively. (2) For accuracy, compared with CT localization, the IMD in SS method was  $(0.59\pm 0.39)$  mm, which was significantly higher than that in CS method  $(0.32\pm 0.17)$  mm. The difference was statistically significant ( $t=-1.89$ ,  $P=0.027$ ). **Conclusion** The effectiveness of two manual identification and localization methods of GFM based on MRI can meet the clinical requirement. The positive rate, localization consistency and accuracy of CS method are superior to those of SS method.

**【 Key words 】** Prostate neoplasms; Magnetic resonance imaging; Radiotherapy; Fiducial markers

**Fund program:** Zhangjiakou Key Research and Development Plan (1921002B)

DOI: [10.3760/cma.j.cn121381-202111003-00241](https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202111003-00241)

基于 CT 和内置黄金基准标志物 (gold fiducial marker, GFM) 的前列腺癌图像引导放疗 (image-guided radiotherapy, IGRT) 已被证明显著提高了前列腺癌的治疗精准度和效果<sup>[1-2]</sup>。但是, 由于 CT 图像的软组织分辨率较低, 在一定程度上影响了靶区勾画的准确度; 而 MRI 图像凭借其优良的软组织分辨率已成为取代 CT 的最佳选择, 相关研究也已成为热点<sup>[3-5]</sup>。

目前, 关于 MRI 在前列腺癌 IGRT 中的应用研究主要集中在 CT 与 MRI 图像的融合<sup>[5]</sup>, 以及利用 MRI 图像生成合成 CT 图像<sup>[6-7]</sup>。基于 MRI 图像的 GFM 辨识和定位的研究极少, 仅有的研究主要集中在基于 MRI 图像的 GFM 自动辨识和定位。尽管在理想状态下 GFM 自动辨识和定位具有较高的阳性率 (84%~96%) 和准确度, 但在临床实践中, 钙化和出血点的存在对其造成了较大的影响<sup>[8-12]</sup>。而手动辨识和定位在 CT 图像的辅助下受钙化和出血点的影响较小。目前尚无关于单独基于 MRI 图像的 GFM 手动辨识和定位的相关研究。因此, 本研究评价和量化了单独基于 2 种 MRI 序列法图像

的 GFM 手动辨识和定位的可行性及其临床价值, 并进一步优化基于 MRI 的前列腺癌 IGRT。

## 1 资料与方法

### 1.1 研究对象

纳入 2019 年 6 月至 2021 年 6 月于唐山市人民医院接受治疗的 16 例前列腺癌患者进行前瞻性研究, 年龄 ( $58.5\pm 4.1$ ) 岁, 其中, 7 例 Gleason 评分<sup>[13]</sup>  $\leq 6$  分、4 例 7 分、5 例  $\geq 8$  分。纳入标准: (1) 接受外照射放疗; (2) 身体质量指数为  $18\sim 25$  kg/m<sup>2</sup>。排除标准: (1) 前列腺严重钙化或出血; (2) 严重直肠息肉或痔疮。本研究获得了唐山市人民医院医学伦理委员会批准 (批号: 20190129), 所有患者均于治疗前签署了知情同意书。

### 1.2 GFM 置入

所有患者于放疗前均排空膀胱及直肠, 应用荷兰 Philips 公司 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), 经直肠超声引导术 (对直肠肛管进行局麻并建立静脉通道, 探头插入直肠并抵近前列腺)<sup>[14]</sup> 和细针穿刺

抽吸术(采用5 ml注射器和18 G针头随超声探头进入直肠,经过直前壁穿刺入前列腺体)将3枚比利时IBA Visicoil helical线性GFM(高5.0 mm,底面直径1.0 mm)置入靶区不同层面,且保持间距 $\geq 15$  mm。GFM编号规则:沿头脚方向依次编号为1、2、3,若在同一层面则沿左右方向再次编号。

### 1.3 CT检查

对GFM位置稳定且身体置于定位状态下真空塑形垫上的患者,在统一定位条件下,应用荷兰Philips公司Big Bore大孔径CT采集盆腔轴位CT平扫图像,扫描参数:管电压120 kV、管电流300 mA、层厚3 mm、采集矩阵512 $\times$ 512,分辨率0.98 mm $\times$ 0.98 mm。CT图像用于标志物间距(inter-marker distance, IMD)计算参考和辅助GFM辨识。

### 1.4 MRI检查

对GFM位置稳定且身体置于定位状态下真空塑形垫上的患者,在统一定位条件下,应用美国GE公司SIGNA Voyager 1.5T MRI并通过3种序列采集盆腔轴位图像。(1)平衡稳态自由进动序列(balanced steady-state free precession, bSSFP):该序列最先获取;(2)T1加权双相位扰相梯度回波序列(spoiled gradient-recalled echo, SPGR):该序列在bSSFP后立即获取(最大时差 $\leq 5$  min);(3)双相位梯度回波序列(gradient-recalled echo, GRE):该序列在检查结束前获取(于SPGR后获取,最小时差 $\geq 15$  min)。3种序列的详细参数见表1。

### 1.5 一致性评价

由5名具有5年以上工作经验的放疗医师对每例患者bSSFP序列同一层面的轴位图像进行GFM手动辨识和定位,即单独序列(single sequence, SS)法。(1)单个GFM中心( $C_{sGFM}$ ):排除假阳性辨识的GFM,计算每枚正确辨识的GFM坐标均值,获取其 $C_{sGFM}$ 坐标,再计算5名放疗医师获取的该枚GFM的 $C_{sGFM}$ 坐标均值。应用SPSS 19.0

软件中Bland-Altman分析法评价5名放疗医师单独计算的GFM中心坐标同所有GFM的 $C_{sGFM}$ 坐标均值在左右、头脚、腹背3个方向上的95%一致性界限(limit of agreement, LoA)。(2)3枚GFM空间质心( $C_{mGFM}$ ):利用 $C_{sGFM}$ 坐标计算3枚GFM  $C_{mGFM}$ 坐标,再计算5名放疗医师获取的该例患者的 $C_{mGFM}$ 坐标均值。采用Bland-Altman分析法评价5名放疗医师单独计算的3枚GFM空间质心坐标同所有患者的 $C_{mGFM}$ 坐标均值在左右、头脚、腹背3个方向上的95%LoA,计算95%LoA最大范围,即上界与下界差值的绝对值。

分别使用SPGR和GRE序列同一层面的轴位图像进行基于bSSFP序列图像的GFM手动辨识和定位,即组合序列(combined sequence, CS)法。95%LoA最大范围的计算方法与上述SS法相同。

### 1.6 准确度评价

排除假阳性辨识的GFM,利用 $C_{sGFM}$ 坐标均值和同一坐标系下CT图像上GFM中心坐标,通过下述公式分别计算SS法和CS法图像与CT图像GFM的IMD。

$$IMD = \sqrt{(X_{MR} - X_{CT})^2 + (Y_{MR} - Y_{CT})^2 + (Z_{MR} - Z_{CT})^2}$$

式中, $X_{MR}$ 、 $Y_{MR}$ 、 $Z_{MR}$ 分别为MRI图像上GFM中心左右、头脚、腹背方向坐标, $X_{CT}$ 、 $Y_{CT}$ 、 $Z_{CT}$ 分别为CT图像上GFM中心左右、头脚、腹背方向坐标。应用SPSS 19.0软件对2种序列法与CT定位的比较结果进行统计学分析。符合正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,组间比较采用配对样本 $t$ 检验(方差齐)。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 GFM辨识

典型患者CT和3种MRI序列扫描图像见图1、2。其中,图1所示患者2枚GFM均正确辨识,

表1 bSSFP、SPGR和GRE 3种MRI序列的成像参数

Table 1 Imaging parameters of three MRI scanning sequences: balanced steady-state free precession, spoiled gradient-recalled echo and gradient-recalled echo

MRI序列	TE1/TE2/TR(ms)	翻转角度( $^{\circ}$ )	视野(mm $\times$ mm $\times$ mm)	采集矩阵	重建矩阵	重建体素(mm $\times$ mm $\times$ mm)	带宽(Hz)	采集时间(min)
bSSFP	1.98/-/3.96	40	250 $\times$ 250 $\times$ 90	252 $\times$ 234 $\times$ 90	512 $\times$ 512 $\times$ 90	0.5 $\times$ 0.5 $\times$ 1.0	945	4.5
SPGR	1.40/2.70/4.40	10	467 $\times$ 467 $\times$ 300	312 $\times$ 314 $\times$ 200	320 $\times$ 320 $\times$ 200	1 $\times$ 1 $\times$ 1	1 078	4.0
GRE	1.40/2.70/4.60	10	449 $\times$ 449 $\times$ 90	376 $\times$ 376 $\times$ 75	400 $\times$ 400 $\times$ 75	1.1 $\times$ 1.1 $\times$ 1.2	1 142	2.0

注: bSSFP为平衡稳态自由进动序列; SPGR为扰相梯度回波序列; GRE为梯度回波序列; MRI为磁共振成像; TE为回波时间; TR为重复时间; -表示无此项数据

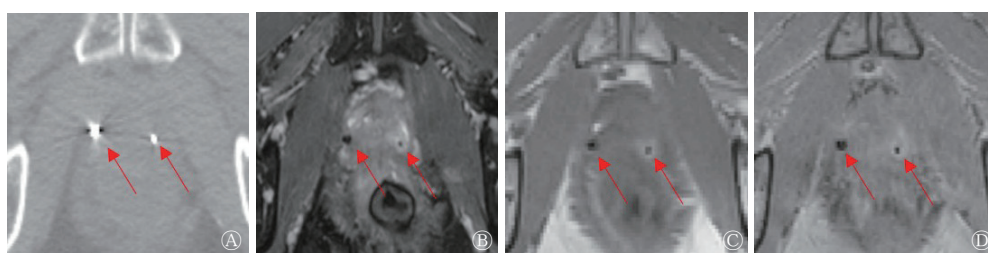


图1 前列腺癌患者(55岁)放疗中GFM置入后的CT和3种MRI序列扫描图像 A为CT轴位图像,放射状高亮度影为GFM(箭头所示);B~D分别为bSSEP、SPGR、GRE序列图像,无信号区为GFM(箭头所示)。GFM为黄金基准标志物;CT为计算机断层摄影术;MRI为磁共振成像;bSSEP为平衡稳态自由进动序列;SPGR为扰相梯度回波序列;GRE为梯度回波序列

Figure 1 CT and 3 kinds of MRI sequence scanning images of a prostate cancer patient (55 years old) in radiotherapy after gold fiducial marker implantation

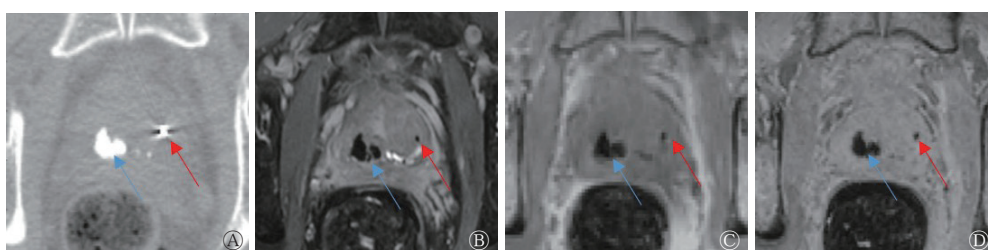


图2 前列腺癌患者(57岁)放疗中GFM置入后的CT和3种MRI序列扫描图像 A为CT轴位图像,左右两侧高亮度影分别为钙化点(蓝色箭头所示)和GFM(红色箭头所示);B~D分别为bSSFP、SPGR、GRE序列图像,左右两侧无信号区分别为钙化点(蓝色箭头所示)和GFM(红色箭头所示)。GFM为黄金基准标志物;CT为计算机断层摄影术;MRI为磁共振成像;bSSFP为平衡稳态自由进动序列;SPGR为扰相梯度回波序列;GRE为梯度回波序列

Figure 2 CT and 3 kinds of MRI sequence scanning images of a prostate cancer patient (57 years old) in radiotherapy after gold fiducial marker implantation

图2所示患者右侧GFM正确辨识,而左侧钙化点,在无CT辅助辨识情况下极易与GFM混淆,造成假阳性辨识。最终在CT辅助辨识下,SS法GFM辨识阳性率为79.17%(38/48),CS法为93.75%(45/48)。

## 2.2 一致性

排除假阳性辨识的GFM后,SS法中5名放疗医师单独计算的GFM中心坐标同所有GFM的 $C_{sGFM}$ 坐标均值在左右、头脚、腹背3个方向上的95%LoA范围分别为-1.46~0.97 mm、-1.06~1.73 mm、-1.96~1.12 mm;CS法中分别为-0.79~1.09 mm、-0.10~1.47 mm、-0.87~1.40 mm。SS法中5名放疗医师单独计算的3枚GFM空间质心坐标同所有患者的 $C_{mGFM}$ 坐标均值在左右、头脚、腹背3个方向上的95%LoA范围分别为-1.38~0.94 mm、-1.60~1.07 mm、-1.07~1.75 mm;CS法中分别为-0.57~0.76 mm、-0.71~0.98 mm、-1.16~0.76 mm。2种方法95%LoA最大范围均小于2 mm,说明其一致性在临床上均可接受;CS法中 $C_{sGFM}$ 和 $C_{mGFM}$ 95%LoA最大范围在3个方向上均小于SS法中的相应结果,说明其一致性优于

SS法。

## 2.3 准确度

与CT定位相比,SS法中IMD为 $(0.59 \pm 0.39)$  mm,CS法中为 $(0.32 \pm 0.17)$  mm,2种方法IMD均较小,因此其GFM定位准确度均可媲美CT。CS法中IMD明显小于SS法,且差异有统计学意义( $t = -1.89, P = 0.027$ ),这说明前者GFM定位准确度明显高于后者。

## 3 讨论

本研究单独基于MRI图像进行了GFM手动辨识和定位,结果显示SS和CS2种序列法GFM辨识阳性率均较高,与CT定位相比,IMD均较小,准确度可媲美CT。这是因为本研究中选用的3种MRI序列各自具有不同特点:bSSFP序列通过脂肪抑制突出前列腺癌靶区边界,能获得比CT图像更高的软组织分辨率,临床上常用于前列腺癌靶区勾画<sup>[10]</sup>;SPGR序列通过对回波平均化处理,增强GFM无信号区信噪比,可用于区分GFM与钙化或出血点<sup>[12]</sup>;GRE序列由于采集时间短,

几乎不存在运动伪影,可用于优化 GFM 定位<sup>[12]</sup>。Gustafsson 等<sup>[11]</sup>关于 GFM 自动辨识的研究结果显示, GFM 辨识阳性率为 60.00%(27/45), IMD 为 (0.77±0.68) mm。由此可见,本研究结果与 GFM 自动辨识和定位相比更加精准。另外, MRI 图像几何失真和形变均较小。在本课题组其他试验中,采用上述 3 种 MRI 序列对线性测试假体进行了扫描,结果均显示图像线条笔直,仅见局部不连续和端面轻微不圆润,几何失真较小且不存在类似 CT 的放射性伪影;采用 MIM 6.6.8 软件分别测量了 CT 和 MRI 图像上勾画的前列腺癌靶区图像形变,结果显示 MRI 图像的豪斯多夫距离明显小于 CT 图像, Dice 系数和科恩的 Kappa 系数均显著大于 CT 图像,即 MRI 图像的形变显著小于 CT 图像<sup>[14]</sup>。

在 5 名放疗医师对 GFM 的手动辨识中,对于 SS 法中 10 枚和 CS 法中 3 枚辨识失败的 GFM,我们认为失败的原因可能包括以下几个方面。(1) bSSFP 序列的采集时间为 4.5 min 左右,期间存在较大运动伪影;(2) 单独基于 MRI 图像未能将 GFM 从钙化或出血点中辨识出来。其中,SS 法受以上 2 个原因的共同影响较大,而优化了 GFM 辨识的 CS 法所受的影响较小。为此,我们提出了以下一些解决措施。(1) 优化设备软、硬件:进一步缩短采集时间,降低图像几何失真和形变的影响。(2) 优化辅助序列:本研究中仅采用了 GRE 的一个回波图像,而本课题组的其他试验结果显示,多回波序列图像可能对 GFM 辨识有所帮助。多回波序列图像中回波时间增加, GFM 无信号区均匀增大,从而提高了其与钙化或出血点的辨识度<sup>[14]</sup>。(3) 完善放疗医师经验:本研究中 5 名放疗医师均具有丰富的 CT 靶区勾画经验,也参与过 CT 与 MRI 图像的融合工作。但本研究中 5 名放疗医师均是首次单独基于 MRI 图像进行 GFM 手动辨识和定位,缺乏相关经验。相信经过相关培训并丰富临床经验后,本研究结果会得到优化。(4) 优化辅助辨识手段:目前,最为有效的辅助辨识手段是 CT 辅助辨识<sup>[15-18]</sup>。GFM 在 CT 图像上表现为明显的放射状高亮度影,而钙化或出血点则表现为不规则且边缘光滑的高亮度影,因此在 CT 图像上二者极易辨识。本课题组其他试验还论证了 C 型臂 X 射线设备辅助辨识的可行性,结果显示,相比 CT, C 型臂 X 射线设备辅助辨识的准确度可以接受,具有一定的临

床应用价值<sup>[15]</sup>。未来将 C 型臂 X 射线设备与 CT 联合用于辅助辨识或许会使研究结果得到优化。

本研究结果显示,在定位一致性和准确度方面,CS 法优于 SS 法。我们认为原因如下。(1) CS 法中 GFM 辨识阳性率高,被剔除出整个计算过程的 GFM 少,因此其计算结果更客观真实,误差更小。(2) SPGR 和 GRE 序列的优化作用。比如, GRE 序列的采集时间短,显著降低了运动伪影,从而减少了计算误差。

综上,本研究单独基于 MRI 图像进行了 GFM 手动辨识和定位,结果具有一定的临床参考价值。其中,CS 法在 GFM 辨识阳性率和定位一致性上均优于 SS 法,且与 CT 定位相比,2 种序列法的 IMD 均较小,准确度可媲美 CT。本研究结果为进一步优化基于 MRI 图像的前列腺癌 IGRT 提供了重要的理论基础和数据支持。

**利益冲突** 所有作者声明无利益冲突

**作者贡献声明** 张旺负责研究过程的实施、试验的开展、论文的撰写;刘肖负责数据的获取与分析;杨海芳负责研究命题的提出和设计;田龙负责论文的起草和最终版本的修订;胡逸民负责论文的审阅

## 参 考 文 献

- [1] 田龙, 闫洁诚, 胡逸民, 等. 前列腺癌容积旋转调强放疗中标志物可探测性研究[J]. 国际放射医学核医学杂志, 2021, 45(12): 767-772. DOI: 10.3760/cma.j.cn121381-202102024-00123.  
Tian L, Yan JC, Hu YM, et al. Research on detectability of markers in volume-modulated arc therapy for prostate cancer[J]. Int J Radiat Med Nucl Med, 2021, 45(12): 767-772. DOI: 10.3760/cma.j.cn121381-202102024-00123.
- [2] 田龙, 闫洁诚, 李明辉, 等. 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[J]. 中国医学物理学杂志, 2021, 38(2): 172-177. DOI: 10.3969/j.issn.1005-202X.2021.02.009.  
Tian L, Yan JC, Li MH, et al. Evaluating the correlation between pre-and in-treatment target displacements in prostate cancer radiotherapy by multiple acquisition planning CT and cone-beam CT[J]. Chin J Med Phys, 2021, 38(2): 172-177. DOI: 10.3969/j.issn.1005-202X.2021.02.009.
- [3] 姜玲, 周海中. 前列腺特异性膜抗原核素显像及治疗在分化型甲状腺癌中的应用进展[J]. 国际放射医学核医学杂志, 2022, 46(8): 497-501. DOI: 10.3760/cma.j.cn121381-202109013-00205.  
Jiang L, Zhou HZ. Application progress of PSMA in the imaging and treatment of differentiated thyroid cancer[J]. Int J Radiat

- Med Nucl Med, 2022, 46(8): 497–501. DOI: [10.3760/cma.j.cn121381-202109013-00205](https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202109013-00205).
- [4] 高金龙, 王海峰, 李娜, 等. 自 MR-T2 图像勾画肝细胞癌患者放疗靶区精度研究[J]. 实用肝脏病杂志, 2021, 24(4): 565–568. DOI: [10.3969/j.issn.1672-5069.2021.04.028](https://doi.org/10.3969/j.issn.1672-5069.2021.04.028).
- Gao JL, Wang HF, Li N, et al. Target delineation accuracy of tumors for radiotherapy based on MR-T2 image in patients with hepatocellular carcinoma[J]. J Pract Hepatol, 2021, 24(4): 565–568. DOI: [10.3969/j.issn.1672-5069.2021.04.028](https://doi.org/10.3969/j.issn.1672-5069.2021.04.028).
- [5] 柏正璐, 李军, 田书畅. CT-MR 图像融合在脑胶质瘤术后放疗中的应用[J]. 中国医疗设备, 2020, 35(12): 20–23. DOI: [10.3969/j.issn.1674-1633.2020.12.006](https://doi.org/10.3969/j.issn.1674-1633.2020.12.006).
- Bai ZL, Li J, Tian SC. Application of CT-MR image fusion in postoperative radiotherapy for gliomas[J]. China Med Devices, 2020, 35(12): 20–23. DOI: [10.3969/j.issn.1674-1633.2020.12.006](https://doi.org/10.3969/j.issn.1674-1633.2020.12.006).
- [6] Persson E, Gustafsson C, Nordström F, et al. MR-OPERA: a multicenter/multivendor validation of magnetic resonance imaging-only prostate treatment planning using synthetic computed tomography images[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2017, 99(3): 692–700. DOI: [10.1016/j.ijrobp.2017.06.006](https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2017.06.006).
- [7] Tyagi N, Fontenla S, Zhang J, et al. Dosimetric and workflow evaluation of first commercial synthetic CT software for clinical use in pelvis[J]. Phys Med Biol, 2017, 62(8): 2961–2975. DOI: [10.1088/1361-6560/aa5452](https://doi.org/10.1088/1361-6560/aa5452).
- [8] Ghose S, Mitra J, Rivest-Hénault D, et al. MRI-alone radiation therapy planning for prostate cancer: Automatic fiducial marker detection[J]. Med Phys, 2016, 43(5): 2218–2228. DOI: [10.1118/1.4944871](https://doi.org/10.1118/1.4944871).
- [9] Fernandes CD, Dinh CV, Steggerda MJ, et al. Prostate fiducial marker detection with the use of multi-parametric magnetic resonance imaging[J]. Phys Imag Radiat Oncol, 2017, 1: 14–20. DOI: [10.1016/j.phro.2017.02.001](https://doi.org/10.1016/j.phro.2017.02.001).
- [10] Sanders JW, Venkatesan AM, Levitt CA, et al. Fully balanced SSFP without an endorectal coil for postimplant QA of MRI-Assisted Radiosurgery (MARS) of prostate cancer: a prospective study[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2021, 109(2): 614–625. DOI: [10.1016/j.ijrobp.2020.09.040](https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2020.09.040).
- [11] Gustafsson C, Korhonen J, Persson E, et al. Registration free automatic identification of gold fiducial markers in MRI target delineation images for prostate radiotherapy[J]. Med Phys, 2017, 44(11): 5563–5574. DOI: [10.13140/RG.2.2.22225.43367](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.22225.43367).
- [12] Maspero M, Van Den Berg CAT, 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. DOI: [10.1088/1361-6560/aa875f](https://doi.org/10.1088/1361-6560/aa875f).
- [13] 苑克慧, 胡蓉蓉, 姚树林, 等. 巨大多房前列腺囊腺瘤<sup>18</sup>F-FDG PET/CT 显像一例[J]. 国际放射医学核医学杂志, 2021, 45(5): 338–341. DOI: [10.3760/cma.j.cn121381-202006034-00059](https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202006034-00059).
- Yuan KH, Hu RR, Yao SL, et al. <sup>18</sup>F-FDG PET/CT imaging of giant multilocular prostatic cystadenoma: a case report[J]. Int J Radiat Med Nucl Med, 2021, 45(5): 338–341. DOI: [10.3760/cma.j.cn121381-202006034-00059](https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202006034-00059).
- [14] 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. DOI: [10.13929/j.issn.1672-8475.2022.04.011](https://doi.org/10.13929/j.issn.1672-8475.2022.04.011).
- Tian L, Fan XW, Xu R, et al. Comparison on T2WI and T2\*WI for radiotherapy planning of prostate cancer[J]. Chin J Interv Imaging Ther, 2022, 19(4): 239–244. DOI: [10.13929/j.issn.1672-8475.2022.04.011](https://doi.org/10.13929/j.issn.1672-8475.2022.04.011).
- [15] 牛向欣, 赵明娟, 田龙, 等. C 臂 X 线辅助前列腺癌内置金标志物辨识的可行性研究[J]. 中国医疗设备, 2022, 37(6): 85–88. DOI: [10.3969/j.issn.1674-1633.2022.06.020](https://doi.org/10.3969/j.issn.1674-1633.2022.06.020).
- Niu XX, Zhao MJ, Tian L, et al. Feasibility study of C-arm X-ray-assisted identification of implanted gold fiducial marker in prostate cancer[J]. China Med Devices, 2022, 37(6): 85–88. DOI: [10.3969/j.issn.1674-1633.2022.06.020](https://doi.org/10.3969/j.issn.1674-1633.2022.06.020).
- [16] 梁晓秋, 曹凌玲, 陈溢旭. 经直肠超声造影引导前列腺穿刺活检诊断前列腺癌[J]. 中国介入影像与治疗学, 2020, 17(2): 93–97. DOI: [10.13929/j.issn.1672-8475.2020.02.008](https://doi.org/10.13929/j.issn.1672-8475.2020.02.008).
- Liang XQ, Cao LL, Chen YX. Contrast-enhanced transrectal ultrasonography in guiding prostate biopsy for diagnosis of prostate cancer[J]. Chin J Interv Imaging Ther, 2020, 17(2): 93–97. DOI: [10.13929/j.issn.1672-8475.2020.02.008](https://doi.org/10.13929/j.issn.1672-8475.2020.02.008).
- [17] Nyholm T, Nyberg M, Karlsson MG, et al. Systematisation of spatial uncertainties for comparison between a MR and a CT-based radiotherapy workflow for prostate treatments[J/OL]. Radiat Oncol, 2009, 4: 54[2021-11-01]. <https://doi.org/10.1186/1748-717x-4-54>. DOI: [10.1186/1748-717x-4-54](https://doi.org/10.1186/1748-717x-4-54).
- [18] Kassim I, Joosten H, Barnhoorn JC, et al. Implications of artefacts reduction in the planning CT originating from implanted fiducial markers[J]. Med Dosim, 2011, 36(2): 119–125. DOI: [10.1016/j.meddos.2010.02.002](https://doi.org/10.1016/j.meddos.2010.02.002).

(收稿日期: 2021-11-02)