泌尿系统肿瘤 DOI：10.13406/j.cnki.cyxb.003521

3D影像配准联合AI电磁导航技术对前列腺穿刺活检的临床效果观察

陈江川，张 翾，李昌龙，张家模
（重庆医科大学附属永川医院泌尿外科，重庆 402160）

【摘 要】**目的**：观察经会阴3D影像配准联合AI电磁导航下的mpMRI-TRUS影像融合活检在临床中的效果。**方法**：回顾性地分析选取2022年1月至2024年2月于重庆医科大学附属永川医院接受前列腺穿刺活检的患者178例作为研究对象，根据穿刺方法的不同分为经直肠认知组及经会阴AI组，比较2种穿刺方式对有临床意义的前列腺癌（clinically significant prostate cancer，csPCa）检出率和并发症的差异，使用多变量Cox分析确定csPCa检出率的影响因素。**结果**：94例患者和84例患者分别接受了经会阴AI融合和经直肠认知融合活检。在csPCa检测方面，经会阴AI融合活检优于经直肠认知融合活检（67.0% vs. 53.5%，*P*=0.048））。在多变量回归分析中，年龄、PI-RADS评分>3和经会阴穿刺途径是csPCa的显著预测因素。经会阴活检的尿潴留率高于经直肠活检（18.5% vs. 4.7%，*P*=0.009）。**结论**：AI导航融合活检的csPCa检出率比经直肠认知融合活检更优。此外，经会阴活检发生感染并发症的风险较小。

【关键词】前列腺穿刺；电磁导航；影像配准；mpMRI-TRUS
【中图分类号】R737.25 【文献标志码】A 【收稿日期】2024-03-11

Clinical effect of 3D image registration combined with AI electromagnetic navigation in prostate biopsy

Chen Jiangchuan, Zhang Xuan, Li Changlong, Zhang Jiamo
(*Department of Urology, Yongchuan Hospital Affiliated to Chongqing Medical University*)

【**Abstract**】***Objective***: To investigate the clinical effect of mpMRI-TRUS image fusion biopsy under transperineal 3D image registration combined with AI electromagnetic navigation. ***Methods***: A retrospective analysis was performed for 178 patients who underwent prostate biopsy in Yongchuan Hospital Affiliated to Chongqing Medical University from January 2022 to February 2024, and according to the puncture method, they were divided into transrectal cognitive group and transperineal AI group. The two puncture methods were compared in terms of the detection rate of clinically significant prostate cancer (csPCa) and complications, and the multivariate *Cox* analysis was used to determine the influencing factors for the detection rate of csPCa. ***Results***: A total of 94 patients underwent transperineal AI fusion biopsy, and 84 patients underwent transrectal cognitive fusion biopsy. Transperineal AI fusion biopsy was superior to transrectal cognitive fusion biopsy in identifying csPCa (67.0% vs. 53.5%, *P*=0.048). The multivariate regression analysis showed that age, PI-RADS score>3, and transperineal puncture were significant predictive factors of csPCa. Transperineal biopsy had a significantly higher urinary retention rate than with transrectal biopsy (18.5% vs. 4.7%, *P*=0.009). ***Conclusion***: AI-guided fusion biopsy has a better detection rate of csPCa than transrectal cognitive fusion biopsy, and in addition, transperineal biopsy has a relatively low risk of infectious complications.

【**Key words**】prostate puncture; electromagnetic navigation; image registration; mpMRI-TRUS

前列腺癌（prostate cancer，PCa）是最常见的实体癌之一，估计男性发病率为22%，仅次于肺癌[1]。近年来，我国前列腺癌的发病率和病死率均呈现明显的持续增长趋势，且我国多数地区新确诊的患者中晚期比例高于欧美国家，这将对我国前列腺癌患者的治疗效果及长期生存产生直接影响[2]。提高PCa的早期诊断率是临床诊疗中面临的重要问题。前列腺穿刺活检是确诊PCa的金标准[3]。目前，经直肠超声（transrectal ultrasonography，TRUS）引导的经会阴和经直肠系统活检（systematic biopsy，SB）是获

作者介绍：陈江川，Email：vikey_stefanie@sina.com，研究方向：泌尿系肿瘤及微创手术。
通信作者：张家模，Email：zhangjiamo168@163.com
基金项目：重庆市科卫联合资助项目（编号：2022MSXM108）；重庆市永川区自然科学基金资助项目（编号：2022yc-jckx20054）。
优先出版：https://link.cnki.net/urlid/50.1046.R.20240627.1628.024（2024-06-30）

取前列腺组织以诊断PCa的两种最常用的方法[4]。近年来前列腺多参数磁共振成像（multi-parametric magnetic resonance imaging，mpMRI）已成为提高前列腺癌检测准确性的有力工具[5]。mpMRI上的可疑病变可以指导有针对性地活检，并可以更好地检测PCa，尤其是具有临床意义的前列腺癌（clinically significant prostate cancer，csPCa），由此产生了新的靶向活检（targeted biopsy，TB）技术，既往的研究表明基于认知mpMRI与TRUS融合的SB+TB前列腺活检技术在PCa的检出率要优于单纯SB技术，但该技术难度大，学习曲线长，对卫星小病灶的检测极具挑战性，漏诊的可能性也较大[6]。

随着AI软件及图像融合处理软件的优化，为3D影像配准联合电磁导航技术在前列腺穿刺活检中带来了潜在的应用空间，现已有国外团队最新报道了使用3D影像配准联合电磁导航技术进行mpMRI-TRUS影像融合引导前列腺穿刺，取得了较好的效果[7]，国内目前暂无关于3D影像配准联合AI电磁导航下的mpMRI-TRUS影像融合（AI软件融合）与认知mpMRI与TRUS融合（认知融合）的对比报道，本研究旨在比较2种方式的优劣。

1 资料与方法

1.1 研究对象

回顾性收集2022年1月至2024年2月重庆医科大学附属永川医院前列腺穿刺患者184例，纳入标准：①直肠指检（digital rectal examination，DRE）发现前列腺可疑结节，任何总前列腺特异性抗原（total prostate specific antigen，tPSA）值；②经直肠前列腺超声（transrectal ultrasonography，TRUS）或mpMRI发现可疑病灶，任何PI-RAS任何tPSA值；③tPSA >10 μg/L；④tPSA 4~10 μg/L且f/tPSA小于0.16或前列腺抗原密度（prostate specific antigen density，PSAD）大于0.15 ng/mL^2[8]。排除标准：①处于急性感染期、发热期；②有高血压危象；③处于心脏功能不全失代偿期；④有严重出血倾向的疾病；⑤处于糖尿病血糖不稳定期；⑥有严重的内、外痔，肛周或直肠病变[9]。根据穿刺方法分为经直肠认知融合活检（经直肠认知组）和经会阴3D影像配准联合AI电磁导航下的mpMRI-TRUS影像融合活检（经会阴AI组）。本研究通过重庆医科大学附属永川医院伦理委员会批准，获得了所有患者的知情同意。

1.2 方法

1.2.1 一般资料 记录患者年龄、前列腺体积、PSA值、DRE异常比例、首次活检比例、前列腺影像报告和数据系统（PI-RADS）分值、穿刺针数。

1.2.2 影像学处理 所有入组患者活检前均在本院放射科使用3.0 T MRI（西门子，德国）行mpMRI检查。检查内容包括前列腺T2加权（T2WI）、表观弥散系数（ADC），扩散加权成像（DWI）。图像分析由1位经验丰富的放射科医生进行。根据标准化前列腺成像报告和数据系统（PI-RADS）第2版标准评分系统，对可疑病变进行1至5的可能性评分。

1.2.3 围手术期处理 所有患者均在术前1日晚餐前使用复方聚乙二醇电解质散行肠道准备1次，术前1 h使用左氧氟沙星注射液500 mg静脉滴入预防感染，术后若出现发热或尿路感染则继续使用抗生素3~5 d，术后若出现尿潴留情况，需使用Fr16尿管行导尿处理。

1.2.4 穿刺方法 2个组别患者均采用SB+TB模式进行活检，SB穿刺按照系统穿刺模式取12针活检，TB穿刺每个穿刺位置取2~3针活检。所有组别患者均使用截石位，会阴部局部麻醉下操作，穿刺过程由1名前列腺穿刺经验丰富的泌尿外科医生完成。经直肠认知组病例在穿刺前由泌尿科医生和放射科医生会一起将可疑癌症病变位置标注在mpMRI图像。穿刺过程中前后移动超声探头（卡本，深圳）以在TRUS横向图像上找到与mpMRI图像上相同的部分，将超声图像与mpMRI图像上的靶点进行认知融合，然后将穿刺针经直肠垂直刺入前列腺，进行靶点活检，每个靶向目标取2~3针组织。如果活检针不能准确到达可疑病灶，应记住偏差，调整穿刺针进入方向。靶向穿刺完成后，再行12针的系统穿刺。经会阴AI组使用VENUS多模态影像融合超声诊断系统（卡本，深圳），该系统可将多模态影像2D-3D联动与AI配准并带有电磁导航穿刺针（图1），预先将mpMRI图像拷贝至该系统，麻醉后将直肠探头轻柔推入肛门，使用其自带的软件实现mpMRI图像与实时TRUS的融合并标注靶向及系统穿刺位置（图2），按照融合图像的位置，行经会阴穿刺，每个靶向点穿刺2~3针，系统穿刺点共计12针。术中使用系统自带的实时针尖导航修正穿刺位置（图3）。术后观测2组患者的csPCa检出率，及血尿、尿潴留、尿路感染等并发症的发生率。

1.2.5 病理检查 所有活检标本均行病理学检查，根据2014年国际学会分级泌尿病理学共识会议指南，csPCa被定义为Gleason评分≥3+4或Gleason分级组≥2。

1.3 统计学方法

使用SPSS 22.0软件进行统计分析。定量数据呈正态分布时以均数±标准差（$\bar{x} \pm s$）表示，采用t检验，呈偏态分布时以中位数（四分位距）即$M_d(P_{25}, P_{75})$表示。使用卡方检验比较认知组和AI组的患者特征。使用卡方检验或Fisher确切概率比较2个队列之间的csPCa症检出率及并发症发生率。根据PI-RADS评分进行亚组分析。使用多变量Cox比例风险回归模型来确定复发的影响因素。检验水准α=0.05。

2 结 果

2.1 一般资料

按照制定的纳入及排除标准，共有178例男性连续纳入本研究，其中经直肠认知活检组84例，经会阴AI活检组94

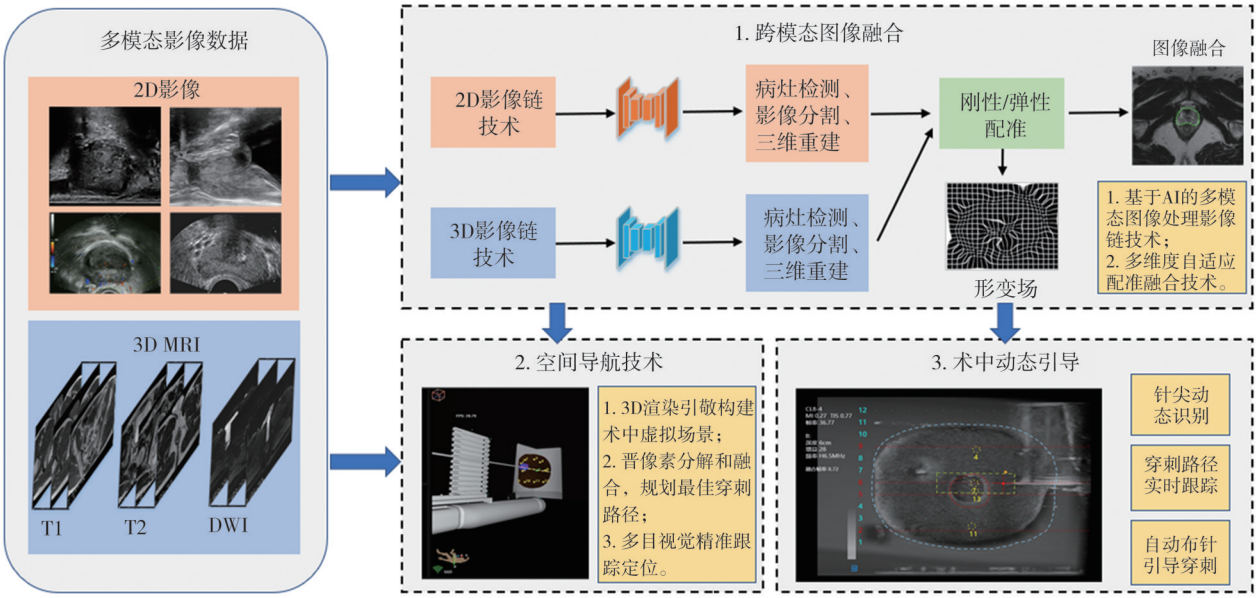
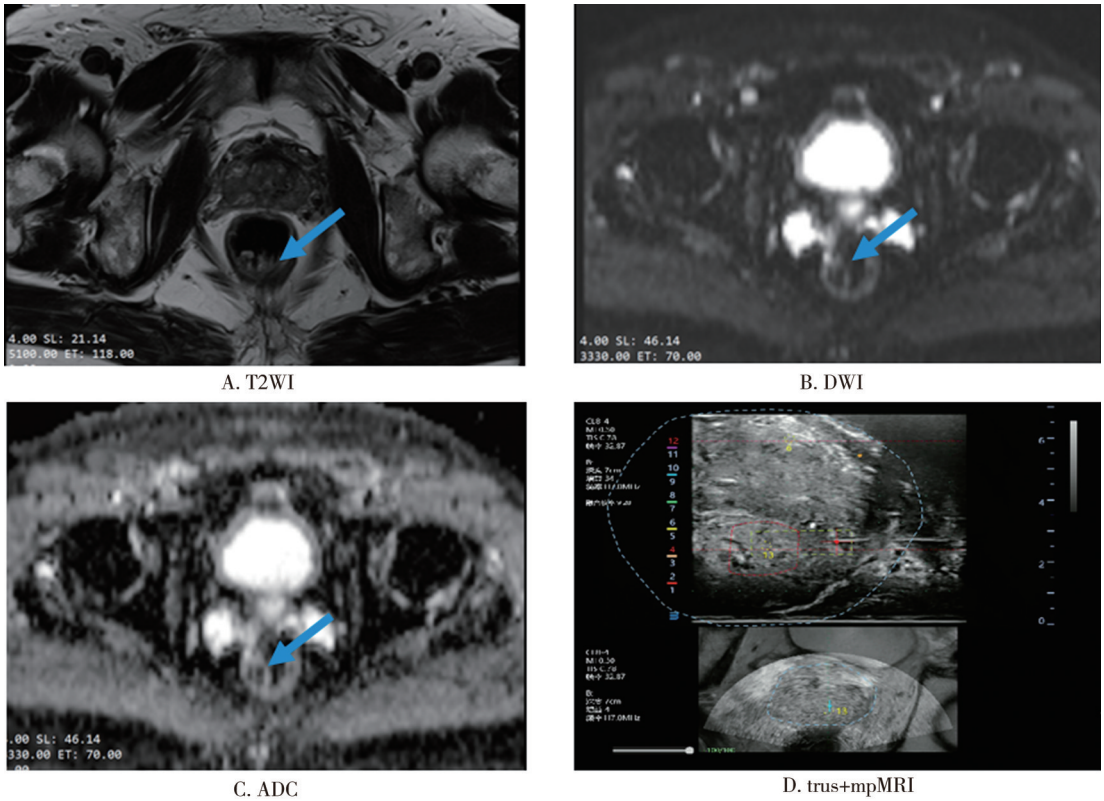


图1　3D影像配准联合AI电磁导航技术路线



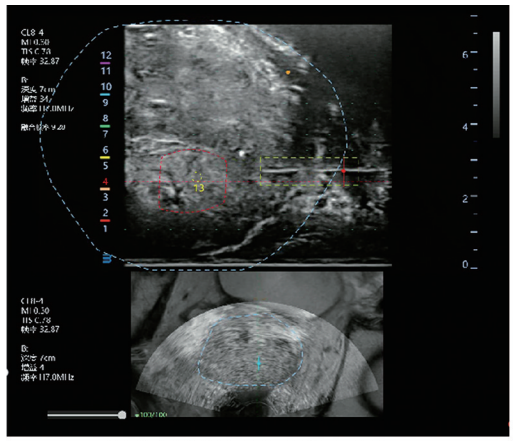
注：中央腺体在T2WI上呈高低混杂信号。前列腺病外周带T2WI信号弥漫减低，中部7-10点方向可见结节状DWI高信号（A、B、C图中箭头所标识），ADC低信号，trus+mpMRI可见融合图像上靶点位置

图2　AI图像融合

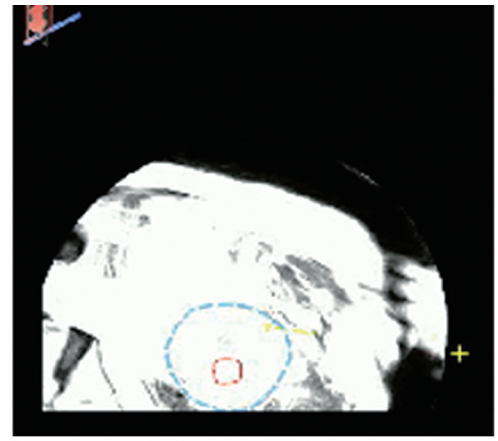
例（表1）。比较2组的中位年龄、PSA水平、前列腺体积和PI-RADS评分等均无明显差异（P>0.05）。经会阴AI组的活检针数中位数数量高于经直肠认知组（24 vs. 18，P<0.001）。

2.2　csPCa检出率比较

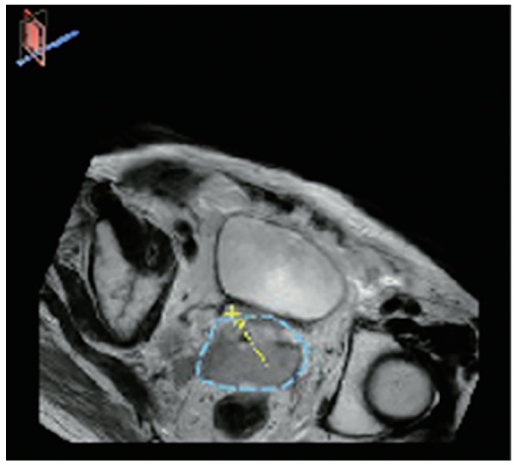
2组之间的总csPCa检出率（PI-RAS1-5分，表2），经会阴AI组高于经直肠认知组（67% vs. 53.5%，P=0.048），AI组在PI-RADS评分为1至4分患者的穿刺活检肿瘤阳性率均高于认知组（P<0.05），在PI-RADS评分为5的组别中csPCa检出率无明显差异（76.7% vs. 83.9%，P=0.575）。



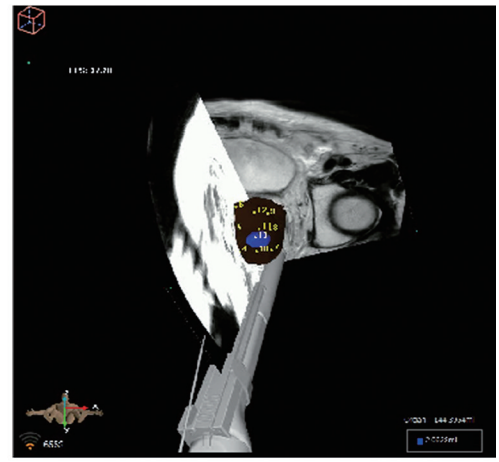
A. 可见前列腺靶点标准及针尖追踪



B. 可见前列腺及盆腔三维重建图



C. 可见前列腺及盆腔三维重建图



D. 电磁导航体表穿刺点显示

图3　电磁导航及针尖引导

表1　2组间一般资料对比[n,%;$\bar{x}\pm s$;M_d(P_{25},P_{75})]

项目	认知组(n=84)	AI组(n=94)	t/χ^2值	P值
年龄(岁)	65.29±11.12	66.49±10.93	0.423	0.745
直肠质检			0.374	0.682
异常	62(73.8)	70(74.5)		
正常	22(26.2)	24(25.5)		
活检次数(次)			0.443	0.441
首次活检	80(95.2)	84(89.4)		
重复活检	4(4.8)	10(10.6)		
tPSA(ng/mL)	12.57(8.59,15.28)	11.64(7.22,14.12)	0.462	0.613
前列腺体积(mL)	46.22(32.41,57.71)	48.4(35.1,60.92)	0.358	0.402
tPSAD	0.18(0.12,0.33)	0.18(0.13,0.37)	0.187	0.792
PI-RAS分数			0.058	0.427
1~2	6(7.1)	8(8.5)		
3	11(11.9)	12(12.8)		
4	37(45.2)	45(48.9)		
5	30(35.7)	23(23.4)		
TB+SB穿刺针数	18(16,22)	24(23,28)	4.474	<0.001
TB	4(3,5)	7(5,7)	4.652	<0.001
SB	13(11,18)	18(17,21)	4.067	<0.001
病变位置			0.249	0.458
前部	31(35.7)	18(38.3)		
后部	27(64.3)	29(61.7)		

表2 各组csPCa检出率比较（*n*;*n*,%）

PI-RAS	认知组		AI组		χ^2值	*P*值
	n	csPCa(*n*,%)	*n*	csPCa(*n*,%)		
1~2	6	1(16.7)	8	3(37.5)		0.042[a]
3	11	4(36.3)	12	7(58.3)	5.483	0.038
4	37	17(45.9)	45	33(66.7)	4.033	0.044
5	30	23(76.7)	23	20(83.9)	0.356	0.575
1~3	17	5(29.4)	20	10(50.0)	4.368	0.045
4~5	67	40(59.7)	68	53(77.9)	4.485	0.043
1~5	84	45(53.5)	94	63(67.0)	4.072	0.048

注：a，Fisher确切概率法

2.3 csPCa检出率的单因素和多因素Cox回归分析

在单变量回归分析中，年龄、PI-RADS评分>3、经会阴途径、前部目标病变位置和TB穿刺是csPC的显著预测因素（表3、4）。在多变量回归分析中，将csPCa检出情况作为因变量（1=检出，0=未检出），年龄、PI-RADS评分>3、经会阴途径、TB穿刺仍然是csPCa的重要预测因素（表5）。

表3 csPCa检出率Cox回归分析赋值表

相关因素	变量	赋值
年龄	X_1	实测值
活检次数	X_2	1=首次，0=非首次
tPSA	X_3	实测值
直肠指检	X_4	1=异常，0=正常
PI-RAS 评分	X_5	1=PI-RADS>3，0=PI-RADS<3
穿刺途径	X_6	1=经会阴，0=经直肠
穿刺模式	X_7	1=TB，0=SB
病变位置	X_8	1=前部，0=后部

2.4 术后并发症比较

2组均未出现Clavien-Dindo≥3种并发症（表6）。经会阴AI组有15例男性，经直肠认知组有4例男性出现急性尿潴留（17.8% vs. 4.7%，*P*=0.008）。给予保留导尿处理，并给予坦索罗辛0.2 mg/qd，3 d后拔除尿管，患者排尿良好。直肠认知组中的1例患者（1.2%）于术后第2天出现发热，血培养示大肠杆菌，给予氨曲南1 500 mg tid 静脉滴注7 d。经会阴AI组尿路感染发生概率显著低于经直肠活检组（21.4% vs. 11.7%，*P*=0.033）。

3 讨 论

当前我国前列腺癌发病率逐年提高，前列腺穿刺技术进步在检出率的提高中起到了关键作用。多项不同活检技术的比较研究均表明SB-TB优于传统SB活检。然而，当涉及SB-TB的各个模式之

表4 csPCa检出率单因素Cox回归分析

自变量	*β*	*SE*	*Wald* χ^2	*P*	*HR*	95%CI	
						下限	上限
年龄	1.512	0.280	0.289	0.003	0.985	1.033	1.240
活检次数	−0.497	0.350	2.017	0.156	0.608	0.307	1.208
tPSA	0.623	0.418	1.513	0.252	1.647	0.743	3.637
直肠指检	0.415	0.453	0.837	0.368	1.516	0.866	3.271
PI-RAS 评分	1.015	0.339	8.524	0.003	2.772	1.372	12.457
穿刺途径	1.021	0.347	8.536	0.003	2.597	1.478	5.533
穿刺模式	1.045	0.424	7.018	0.004	2.045	1.652	3.252
病变位置	1.312	0.487	8.442	0.004	2.548	0.927	3.672

表5 csPCa检出率的多因素Cox回归分析

自变量	*β*	*SE*	*Wald* χ^2	*P*	*HR*	95%CI	
						下限	上限
年龄	1.246	0.266	0.273	0.002	1.032	1.012	1.169
PI-RADS 评分	1.107	0.672	8.798	0.004	5.772	1.172	16.252
穿刺途径	1.251	0.346	10.215	0.006	3.685	1.327	4.684
穿刺模式	1.232	0.385	8.211	0.005	3.045	1.493	4.266

表6 术后并发症情况（n,%）

项目	认知组n(%)	AI组n(%)	χ^2值	P值
肉眼血尿	0(0.0)	1(1.0)	–	1.000[a]
尿路感染	18(21.4)	11(11.7)	1.581	0.033
脓毒症	1(1.2)	0(0.0)	–	1.000[a]
穿刺部位疼痛	8(9.5)	6(6.4)	0.483	0.537
尿潴留	4(4.7)	12(12.7)	6.242	0.008
便血	3(3.5)	0(0.0)	–	1.000[a]

注：a，Fisher确切概率法

间的比较时，数据却很少。当前的SB-TB技术主要有2种：①认知融合配准，预先在mpMRI图像上标注可疑病变点，并在进行TRUS活检时瞄准这些点。操作员在脑海中分析图像并利用三维空间推理和TRUS图像中设定模式的识别来测量各种距离，从而定位目标点。就其检出率而言，基于认识融合的SB-TB活检优于单纯的SB前列腺活检[10]。②AI导航融合，前列腺mpMRI对于病灶有较高的敏感性，利用基于多模态影像的人工智能技术，对mpMRI图像中前列腺轮廓中的异常信号部分进行自动化检测、分割获得穿刺靶点区域，形成3D穿刺靶区，使用双平面经直肠超声探头，采集多序列前列腺超声图像，再将前列腺超声图像与mpMRI图像实时融合构建3D前列腺图像并标注穿刺靶点，穿刺过程中AI会自动识别针尖位置，实时将针尖位置反馈到3D图像中，即可实现2D-3D联动的针尖跟踪效果，提示最优穿刺路径，以更直观的方式完成导航。本研究中，2组均使用SB-TB模式穿刺，经会阴AI导航融合活检组的总csPCa检出率高于经直肠认知融合活检组（67.0% vs. 53.5%）。通过多变量回归分析，观察到年龄、PI-RADS评分>3、经会阴活检途径和TB穿刺是csPCa的独立预测因素。

在2017年Pepe P等[10]首先比较了经会阴AI软件融合与经直肠认知融合活检，该研究涉及约200名患者，经会阴AI软件融合csPCa的检出率更优，此外，其中20例被认知融合漏诊，只有4例被AI软件融合漏诊。在Siddiqui MM等[11]的单中心研究中，与经直肠融合方法相比，使用经会阴融合方法对csPCa的检出率更优（45.6% vs. 63.4%）。然而，在Baco E等[12]的报道中，对175例患者进行了分组穿刺。经会阴和经直肠方法之间表现出相似的敏感性和特异性。Tu X等[13]的另一项荟萃分析共计328例患者纳入研究，结果表明经会阴活检在csPCa的检出方面优于经直肠方法。与之前的研究相似，本研究的数据显示，经会阴AI组活检比经直肠认知组csPCa检出率更高。分析其可能的原因：①从解剖学角度来看，经会阴活检可以轻松评估前部或尖部病变[14]。②经会阴AI组采用了AI导航融合技术，对于操作者难度更低，穿刺准确性更高。③经会阴AI组活检穿刺针数多于直肠认知组，其采样数量同样对于检出率有正向影响。

前列腺癌卫星病灶（PI-RAS 1~3分）的漏诊在日常诊断中较为常见[15]，对多参数磁共振图像上前列腺病灶的人工识别和分割，尤其卫星小病灶的检测极具挑战性，由于大部分病灶由良性腺体和间质组成，不易准确对病灶进行勾勒，人工分割的不精准导致前列腺病灶的体积评估常小于真实的组织病理学体积。在认知融合穿刺过程中，靶向穿刺对于操作者经验要求极高，其本质还是基于对影像学理解上的自由手穿刺[16]，而AI导航组能够以更直观精确的方式进行穿刺，在Peter Fletcher的报道中，AI软件融合组在前列腺癌卫星病灶的检出率显著高于认知融合组[17]，本研究中AI软件融合组在前列腺PI-RAS评分1～3分的病灶中，检出率显著高于认知融合组，在PI-RAS评分为5的分组中，检出率无明显差异（76.7% vs. 83.9%）。

在本研究中，接受会阴活检的男性中术后尿潴留发生率高于经直肠组（12.7% vs. 4.7%），这与之前的文献相当[10-13]。与经直肠活检相比，尿潴留发生率较高的原因可能是活检穿刺针数增加导致前列腺组织水肿，腺体内压增高，造成尿流出道梗阻加重，从而引起急性尿潴留。虽然术前所有病例均进行了肠道准备及抗生素预防感染，经直肠穿刺组仍有1例患者发生了脓毒血症，与经直肠活检相比，经会阴穿刺可以明显减少穿刺术后感染发生率[18]，在最新的EAU指南建议首选经会阴途径进行前列腺活检[19]。本研究中使用的小样本量可以解释为什么经会阴活检和经直肠活检之间的脓毒症发生率没有显著差异。因此，需要进行更大规模的研究来评估经会阴和经直肠融合活检之间的脓毒症发生率问题。

综上所述，AI导航融合活检的csPCa检出率比经直肠认知融合活检更优。此外，经会阴活检发生

感染并发症的风险较小。本研究基于单中心样本量有限，未来将继续展开研究，弥补不足。

参 考 文 献

[1] 傅 强，韩邦旻，刘振湘，等. 前列腺穿刺活检专家共识[J]. 中华男科学杂志，2022，28(5)：462-470.

Fu Q，Han BM，Liu ZX，et al. Expert consensus on prostate biopsy[J]. Natl J Androl，2022，28(5)：462-470.

[2] 中国抗癌协会泌尿男生殖系统肿瘤专业委员会前列腺癌学组. 前列腺癌筛查中国专家共识(2021年版)[J]. 中国癌症杂志，2021，31(5)：435-440.

China expert consensus on prostate cancer screening(2021 edition)[J]. China Oncol，2021，31(5)：435-440.

[3] Goldberg H，Ahmad AE，Chandrasekar T，et al. Comparison of magnetic resonance imaging and transrectal ultrasound informed prostate biopsy for prostate cancer diagnosis in biopsy Naïve men：a systematic review and meta-analysis[J]. J Urol，2020，203(6)：1085-1093.

[4] 王林峰，罗生军，唐 伟. 经直肠和经会阴前列腺穿刺对前列腺癌诊断价值的比较[J]. 重庆医科大学学报，2023，48(8)：921-925.

Wang LF，Luo SJ，Tang W. A comparison of the diagnostic value of transrectal and transperineal prostate biopsies for prostate cancer[J]. Journal of Chongqing Medical University，2023，48(8)：921-925.

[5] Winoker JS，Wajswol E，Falagario U，et al. Transperineal versus transrectal targeted biopsy with use of electromagnetically-tracked MR/US fusion guidance platform for the detection of clinically significant prostate cancer[J]. Urology，2020，146：278-286.

[6] Bjurlin MA，Carroll PR，Eggener S，et al. Update of the standard operating procedure on the use of multiparametric magnetic resonance imaging for the diagnosis，staging and management of prostate cancer[J]. J Urol，2020，203(4)：706-712.

[7] Szabo RJ. “free-hand” transperineal prostate biopsy under local anesthesia：review of the literature[J]. J Endourol，2021，35(4)：525-543.

[8] 中国医促会泌尿健康促进分会，中国研究型医院协会泌尿外科专业委员会. 超声引导下经直肠前列腺穿刺安全共识[J]. 现代泌尿外科杂志，2018，23(11)：814-819.

Urological health promotion branch of china medical promotion association，Urology professional committee of china research hospital association. Safety consensus on ultrasound-guided transrectal prostate puncture [J]. J Mod Urol，2018，23(11)：814-819.

[9] Rosenkrantz AB，Verma S，Choyke P，et al. Prostate magnetic resonance imaging and magnetic resonance imaging targeted biopsy in patients with a prior negative biopsy：a consensus statement by AUA and SAR[J]. J Urol，2016，196(6)：1613-1618.

[10] Pepe P，Garufi A，Priolo GD，et al. Multiparametric MRI/TRUS fusion prostate biopsy：advantages of a transperineal approach[J]. Anticancer Res，2017，37(6)：3291-3294.

[11] Siddiqui MM，Rais-Bahrami S，Turkbey B，et al. Comparison of MR/ultrasound fusion-guided biopsy with ultrasound-guided biopsy for the diagnosis of prostate cancer[J]. JAMA，2015，313(4)：390-397.

[12] Baco E，Rud E，Eri LM，et al. A randomized controlled trial to assess and compare the outcomes of two-core prostate biopsy guided by fused magnetic resonance and transrectal ultrasound images and traditional 12-core systematic biopsy[J]. Eur Urol，2016，69(1)：149-156.

[13] Tu X，Liu ZH，Chang TC，et al. Transperineal magnetic resonance imaging-targeted biopsy may perform better than transrectal route in the detection of clinically significant prostate cancer：systematic review and meta-analysis[J]. Clin Genitourin Cancer，2019，17(5)：e860-e870.

[14] Amsellem-Ouazana D，Younes P，Conquy S，et al. Negative prostatic biopsies in patients with a high risk of prostate cancer. Is the combination of endorectal MRI and magnetic resonance spectroscopy imaging(MRSI) a useful tool?A preliminary study[J]. Eur Urol，2005，47(5)：582-586.

[15] Kasivisvanathan V，Rannikko AS，Borghi M，et al. MRI-targeted or standard biopsy for prostate-cancer diagnosis[J]. N Engl J Med，2018，378(19)：1767-1777.

[16] Arsov C，Rabenalt R，Blondin D，et al. Prospective randomized trial comparing magnetic resonance imaging(MRI)-guided in-bore biopsy to MRI-ultrasound fusion and transrectal ultrasound-guided prostate biopsy in patients with prior negative biopsies[J]. Eur Urol，2015，68(4)：713-720.

[17] Fletcher P，De Santis M，Ippoliti S，et al. Vector prostate biopsy：a novel magnetic resonance imaging/ultrasound image fusion transperineal biopsy technique using electromagnetic needle tracking under local anaesthesia[J]. Eur Urol，2023，83(3)：249-256.

[18] Lee SH，Chung MS，Kim JH，et al. Magnetic resonance imaging targeted biopsy in men with previously negative prostate biopsy results [J]. J Endourol，2012，26(7)：787-791.

[19] Mottet N，van den Bergh RCN，Briers E，et al. EAU-EANM-ESTRO-ESUR-SIOG guidelines on prostate cancer-2020 update. part 1：screening，diagnosis，and local treatment with curative intent[J]. Eur Urol，2021，79(2)：243-262.

（责任编辑：李青颖）