



· 论 著 ·

# 基于深度学习重建技术对前列腺T2WI压脂图像质量及诊断价值的研究

董诗洁, 胡晓欣, 刘晓航, 谢天文, 周冰妮, 黄 琰, 杨 孟, 岳 磊, 童 彤, 顾雅佳  
复旦大学附属肿瘤医院放射诊断科, 复旦大学上海医学院肿瘤学系, 上海 200032

[摘要] 目的: 探讨基于深度学习重建 (deep learning-based reconstruction, DLR) 技术对前列腺磁共振T2加权脂肪抑制序列 (T2-weighted imaging FatSat, T2WIFS) 图像质量和诊断价值的影响。方法: 回顾并分析2024年3月—12月复旦大学附属肿瘤医院可疑前列腺癌 (prostate cancer, PCa) 患者的临床资料, 经穿刺活检、术后病理学检查分为PCa组和良性前列腺增生 (benign prostatic hyperplasia, BPH) 组。对所有患者磁共振成像 (magnetic resonance imaging, MRI) 图像进行分析, 其中扫描压脂序列包括传统的T2加权脂肪抑制序列 (conventional T2 FatSat, T2FSC) 和基于DLR技术的T2加权脂肪抑制序列 (deep learning-based reconstruction T2 FatSat, T2FSDL), 主观评分由2名医师分别对前列腺整体图像质量和图像伪影进行五分制。客观评分分别是T2FSDL和T2FSC的前列腺图像信号强度 (signal, S) 和背景区图像信号S的标准差 (standard deviation, SD) 作为噪声 (noise, N), 并计算信噪比 (signal noise ratio, SNR)。对正态分布的数据进行t检验, 非正态分布的数据进行Wilcoxon秩和检验, 比较分析T2FSDL图像和T2FSC图像的主观评分和客观指标的差异。采用Weighted-Kappa检验比较组间及组内主观评分一致性。2名阅片者采用双盲法对T2FSDL图像与T2FSC图像的前列腺病灶进行前列腺影像报告和数据系统 (Prostate Imaging Reporting and Data System, PI-RADS) 评分, 以病理学检查结果为标准, 绘制受试者工作特征 (receiver operating characteristic, ROC) 曲线, 计算曲线下面积 (area under curve, AUC), 分析各图像对PCa的诊断价值。结果: 116例可疑PCa患者纳入本回顾性研究, 其中PCa患者68例, BPH 48例。2名医师对两组图像 (T2FSDL和T2FSC序列) 的主观评分和客观测量数据的一致性均为良好 (Kappa>0.8)。主观评分方面, 2名阅片者对T2FSC和T2FSDL图像的整体质量评分分别为 (4.04 ± 0.68) 和 (4.53 ± 0.54), 差异有统计学意义 (P<0.01)。伪影评分为 (4.44 ± 0.68) 和 (4.35 ± 0.66), 差异无统计学意义 (P=0.34)。客观评价方面, T2FSDL图像的N值 (0.65 ± 0.19) 低于T2FSC图像的N值 (1.09 ± 0.24), 差异有统计学意义 (P<0.01)。T2FSDL图像的SNR (95.61 ± 14.25) 高于T2FSC图像的SNR (56.48 ± 9.72), 差异有统计学意义 (P<0.01)。PCa的诊断价值方面, T2FSDL图像对应的AUC (0.866) 大于T2FSC图像对应的AUC (0.819), 差异有统计学意义 (P<0.01)。T2FSDL序列扫描时间是100 s, 要明显快于T2FSC序列扫描时间的150 s。结论: 基于DLR技术的T2FSDL序列能有效提高MRI图像质量, T2FSDL图像诊断价值也高于T2FSC图像, 并可显著缩短扫描时间, 优化前列腺扫描效率, 其临床应用前景较好。

[关键词] 前列腺癌; 深度学习重建技术; 磁共振成像; 图像质量; 信噪比

基金项目: 无

利益冲突: 作者声明无利益冲突。

伦理批件: 2302269-14-NSFC。

知情同意: 有。

引用本文: 董诗洁, 胡晓欣, 刘晓航, 等. 基于深度学习重建技术对前列腺T2WI压脂图像质量及诊断价值的研究 [J]. 肿瘤影像学, 2025, 34(4): 379-386.

Funding: no.

Conflicts of interest: authors declare no conflicts of interest.

Ethical approval: 2302269-14-NSFC.

Informed consent: available.

Cite this article: DONG S J, HU X X, LIU X H, et al. A study on the quality of T2-weighted Fatsat images of prostate and its diagnostic value based on deep learning reconstruction technology [J]. Oncoradiology, 2025, 34(4): 379-386.

中图分类号: R737.25; R445.2 文献标志码: A

DOI: 10.19732/j.cnki.2096-6210.2025.04.009

### A study on the quality of T2-weighted FatSat images of prostate and its diagnostic value based on deep learning reconstruction technology

DONG Shijie, HU Xiaoxin, LIU Xiaohang, XIE Tianwen, ZHOU Bingni, HUANG Yan, YANG Meng, YUE Lei, TONG Tong, GU Yajia (Department of Radiology, Fudan University Shanghai Cancer Center; Department of Oncology, Shanghai Medical College, Fudan University, Shanghai 200032, China)

Correspondence to: HU Xiaoxin E-mail: 1huxx@163.com

[ **Abstract** ] **Objective:** To explore the effect of deep learning-based reconstruction (DLR) on the quality and diagnostic value of T2-weighted imaging FatSat (T2WIFS) sequences. **Methods:** A retrospective analysis of clinical data from patients with suspected prostate cancer (PCa) at Fudan University Shanghai Cancer Center from March to December 2024 was conducted. Patients were divided into a PCa group and a benign prostatic hyperplasia (BPH) group based on needle biopsy and postoperative pathological examination. Scanning suppression sequences included conventional T2 FatSat (T2FSC) and deep learning-based reconstruction T2 FatSat (T2FSDL) of DLR. The overall image quality and image artifacts of prostate imaging were evaluated by two physicians on a five-point scale. The objective evaluation was the signal intensity (S) and standard deviation (SD) of the prostate images of T2FSDL and T2FSC, where the SD was regarded noise (N), and the signal noise ratio (SNR) was calculated. *T* test was performed for normally distributed data, and Wilcoxon rank sum test was performed for non-normally distributed data. The subjective scores and objective indexes of T2FSDL images and T2FSC images were compared and analyzed. Weighted-Kappa test was used to compare the inter-group and intra-group subjective rating consistency. The prostate lesions in T2FSDL images and T2FSC images were scored by PI-RADS by two film readers using double-blind method. Receiver operating characteristic (ROC) curve was drawn based on pathological results. The area under curve (AUC) was calculated to analyze the diagnostic value of each image for prostate cancer. **Results:** A total of 116 patients with suspected PCa were included in the retrospective study of this experiment, including 68 patients with malignant PCa and 48 patients with BPH. The subjective scores and objective measurement data of the two groups of images (T2FSDL and T2FSC sequences) were in good agreement between the two physicians ( $Kappa > 0.8$ ). In terms of subjective scores, the overall quality scores of T2FSC and T2FSDL images were  $(4.04 \pm 0.68)$  and  $(4.53 \pm 0.54)$ , with statistical significance ( $P < 0.01$ ); pseudo-film ratings were  $(4.44 \pm 0.68)$  and  $(4.35 \pm 0.66)$ , with no statistical significance ( $P = 0.34$ ). In terms of objective evaluation, the SD of T2FSDL images  $(0.65 \pm 0.19)$  was lower than that of T2FSC images  $(1.09 \pm 0.24)$ , with statistical significance ( $P < 0.01$ ), and the SNR of T2FDL images  $(95.61 \pm 14.25)$  was higher than that of T2FSC images  $(56.48 \pm 9.72)$ , with statistical significance ( $P < 0.01$ ). In terms of diagnostic value of prostate cancer, the AUC corresponding to T2FSDL images (0.866) was greater than that corresponding to T2FSC images (0.819), with statistical significance ( $P < 0.01$ ). The scanning time of T2FSDL sequence was 100 s, which was significantly faster than that of T2FSC sequence 150 s. **Conclusion:** T2FSDL technology based on deep learning reconstruction can effectively improve the quality of MRI and the diagnostic value of T2FSDL images is also higher than that of T2FSC images, and can significantly shorten the scanning time and optimize the efficiency of prostate scanning, which has a good clinical application prospect.

[ **Key words** ] Prostate cancer; Deep learning reconstruction technique; Magnetic resonance imaging; Image quality; Signal noise ratio

前列腺癌 (prostate cancer, PCa) 是危害男性身体健康的重大疾病之一。中老年男性PCa的发病率随着中国人口的老龄化而增高<sup>[1]</sup>。PCa早期病灶显示不明显, 诊断起来通常比较困难。磁共振成像 (magnetic resonance imaging, MRI) 检查是PCa检出常用的影像学方法之一, 通常具有较高的软组织分辨能力, 对前列腺组织结构和癌变病灶信号具有很好的显示效果<sup>[2]</sup>, 常规T2加权成像 (T2-weighted imaging, T2WI) 序列

图像可以清楚地显示前列腺的解剖结构<sup>[3-6]</sup>。基于前列腺影像报告和数据库系统 (Prostate Imaging Reporting and Data System, PI-RADS) 评分的MRI诊断体系已日益成为疑似PCa患者的首选评价方法, 尤其是结合了解剖学及功能数据的多参数MRI被越来越多地应用于临床PCa诊断<sup>[7]</sup>, 该评分系统是前列腺疾病诊断的定量标准<sup>[8]</sup>。

目前针对前列腺快速MRI扫描的技术: ① 基于物理方法的快速扫描序列方法, 该方法对主磁

场敏感,生成的图像容易产生磁敏感伪影;②基于硬件的并行成像技术,但线圈灵敏度有限,当信噪比(signal noise ratio, SNR)很低,这些重建算法性能会显著下降;③基于部分K空间数据信号处理方法,数据采集量少,会带来明显的图像质量下降。④基于卷积神经网络的深度学习(deep learning, DL)序列,已经成为快速MRI领域的焦点,它能在欠采样率较高的情况下,获得高质量图像,极大地缩短成像时间,并且同时保留图像的幅值和相位信息<sup>[9-10]</sup>。本研究目的是通过比较基于DLR技术的T2加权脂肪抑制序列(deep learning-based reconstruction T2 FatSat, T2FSDL)图像质量与常规技术T2加权脂肪抑制序列(conventional T2 FatSat, T2FSC)图像的主观评分和客观参数,评估基于DLR技术对前列腺T2WI压脂图像质量的影响。通过比较两者图像的PI-RADS评分,评估基于DLR技术的前列腺T2WI压脂图像的诊断价值。

## 1 资料和方法

### 1.1 一般资料

回顾并分析2024年3月—12月复旦大学附属肿瘤医院经穿刺活检、术后病理学检查或临床随访证实为前列腺疾病的患者临床资料。患者纳入标准:①前列腺穿刺活检或手术均在MRI检查后的1个月内进行的患者;②首次接受前列腺穿刺活检或手术的患者;③入院时有血清PSA(fPSA, tPSA)检查结果的患者。排除标准:①前列腺多参数MRI图像质量不佳、序列不完整及临床资料不全影响正确判断评分的患者;②在MRI检查前接受过如放化疗及内分泌治疗等影响MRI检查结果的患者。

本研究经过复旦大学附属肿瘤医院伦理委员会批准(伦理编号:20302269-14-NSFC),并得到患者知情同意。

### 1.2 方法

所有患者均采用德国Siemens公司的Prisma 3.0 T扫描仪、体线圈进行图像采集和接收。本研究基于Siemens医疗开发的DLR技术,扫描序

列包括轴位T2FSDL及T2FSC。检查前,患者均适度充盈膀胱取仰卧位,以前列腺为扫描中心。T2FSC扫描参数如下:重复时间(repetition time, TR)7 120 ms,回波时间(echo time, TE)89 ms,层厚3.5 mm,无间距扫描,扫描视野(field of view, FOV)240 mm×240 mm,矩阵320×320,激励次数2次,扫描时间150 s;T2FSDL激励次数1次,其余扫描参数同上,扫描时间100 s,打开Siemens Prisma 3.0 T仪器中的中DLR技术功能,扫完后由仪器软件自动重建完成。

## 1.3 图像分析

### 1.3.1 图像主观评分

将所有患者的轴位T2FSC、T2FSDL序列MRI图像随机匿名分发给2名具有3年以上影像诊断工作经验的医师,由他们分别对患者的各个序列图像细节进行评估,包括图像质量评分和图像伪影评分。图像质量评分标准:1分,图像不能用于诊断;2分,图像质量无法满足诊断,但在特殊情况下可用于提供参考意见;3分,图像质量一般,基本满足诊断要求;4分,图像较清晰,能较为准确诊断;5分,图像清晰,能够确切诊断。图像伪影评分标准:1分,整个图像均为伪影;2分,图像伪影严重无法诊断;3分,存在运动或搏动伪影,但尚可用于诊断;4分,轻微伪影,不影响诊断;5分,无各类伪影。记录2名阅片者对T2FSC序列图像和T2FSDL序列图像不同指标的评分结果,对两种序列的图像质量和疾病诊断的一致性及准确度进行比较分析,同时对不同观察者在同一种序列中对各受试者评分的一致性进行分析。

### 1.3.2 图像客观评价

对纳入患者的轴位T2FSDL及T2FSC图像进行SNR的测定,根据美国全国电气制造协会标准,SNR计算公式为 $SNR = \frac{0.66 \times S}{N} \times \sqrt{\frac{10}{d}}$ 。其中S为信号强度,N为背景区图像信号S的标准差SD,d为层厚。在前列腺图像中央测10 000 mm<sup>2</sup>感兴趣区(region of interest, ROI)的信号强度,图像上下两边空气区域各测100 mm<sup>2</sup> ROI的信号强度平均标准差为噪声强度。

### 1.3.3 PI-RADS对T2WI图像评分标准

2名阅片者用双盲法对T2FSDL图像和T2FSC图像进行评判, 意见不一致时通过协商决定最终结果。依据PI-RADS的5分制评判标准对T2FSDL图像和T2FSC图像的前列腺病灶进行评分, 1分表示极低, 临床显著性癌极不可能; 2分为低, 癌不太可能存在; 3分为中等, 癌可能存在; 4分为高, 癌可能存在; 5分为极高, 癌极有可能存在。

### 1.4 统计学处理

采用SPSS 27.0软件进行统计学分析。计量资料的定量数据正态性采用Shapiro-Wilk检验分析。服从正态分布和方差齐性的计量资料组间比较采用配对t检验, 不符合正态分布和方差齐性的计量资料组间比较采用Wilcoxon秩和检验。若满足正态分布则以 $\bar{x} \pm s$ 表示, 若不满足正态分布则以 $M(P_{25}, P_{75})$ 表示。分别对前列腺的S,

N及SNR差异性进行分析。采用受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线来评价2名阅片者评分在T2FSDL图像上的诊断效能。采用Weighted-Kappa检验比较组间主观评分一致性:  $Kappa < 0.2$ 则说明一致性程度较差;  $0.2 \sim 0.4$ 说明一致性程度一般;  $0.4 \sim 0.6$ 说明一致性程度中等;  $0.6 \sim 0.8$ 说明一致性程度较强;  $0.8 \sim 1.0$ 说明一致性程度很强。

## 2 结果

### 2.1 临床特征

本研究共纳入116例患者, 年龄31~86岁, 平均年龄( $63 \pm 20$ )岁, PSA值10.67( $6.6 \sim 14.7$ ) ng/mL, 其中病理学检查结果PCa恶性患者68例, 良性前列腺增生(benign prostatic hyperplasia, BPH) 48例(图1)。

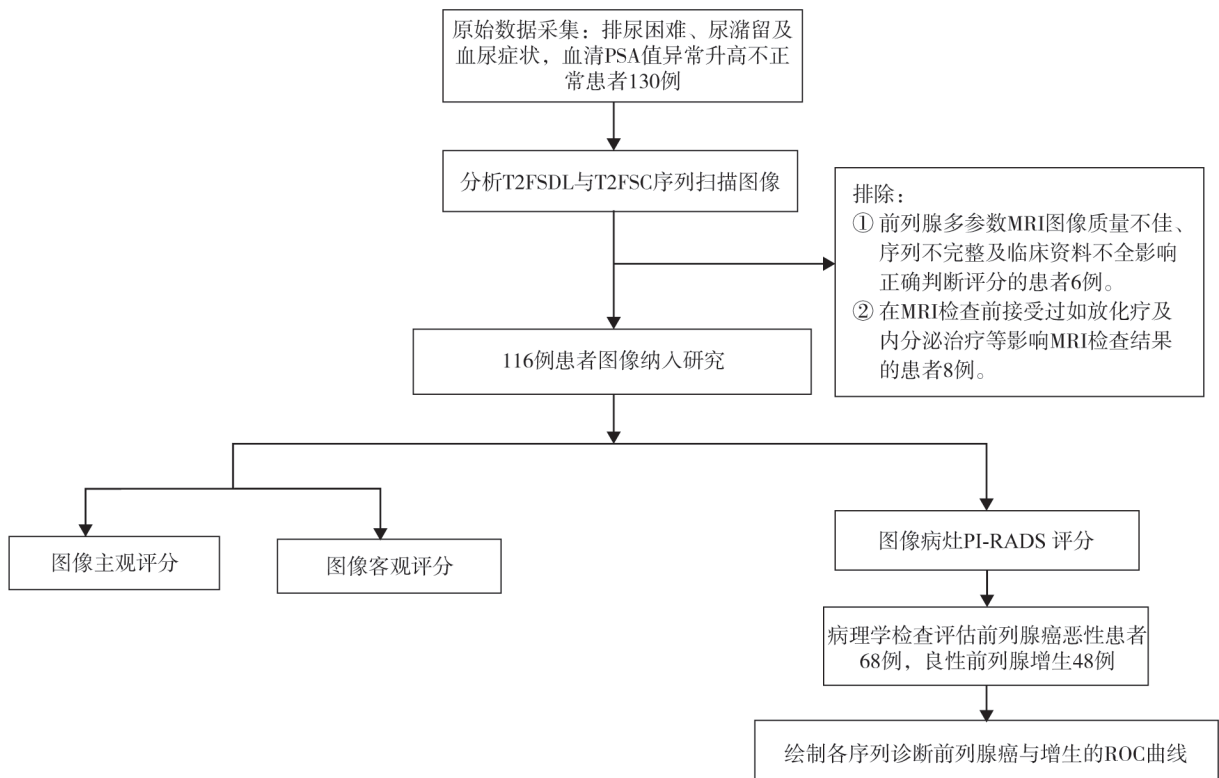


图1 研究对象选择流程图

Fig.1 Flow chart for the selection of research subjects

### 2.2 一致性检验

2名医师对两组图像的前列腺及病灶的S

值及图像N值的测量结果的一致性均为良好( $Kappa > 0.8$ )。

### 2.3 图像质量主观评分的比较

T2FSDL组和T2FSC组中图像整体质量和图像伪影的主观评分结果见表1。T2FSDL组图像整体质量评分高于T2FSC组，差异有统计学意义 ( $P < 0.01$ )。两组之间图像的伪影评分差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。

表1 各图像质量主观评分比较

评价指标	T2FSDL组	T2FSC组	例数	Z值	P值
图像整体质量评分	4.53 ± 0.54	4.04 ± 0.68	116	-4.68	<0.01
图像伪影评分	4.44 ± 0.68	4.35 ± 0.66	116	-0.63	0.34

### 2.4 图像质量客观评价结果

两组图像质量客观评价及组间比较的结果详见表2。T2FSDL组与T2FSC组的前列腺信号强度无显著差异。T2FSDL组的图像N值低于T2FSC组 ( $P < 0.01$ )；图像SNR显著高于T2FSC组 ( $P < 0.01$ )。

表2 各图像客观参数比较

评价指标	T2FSDL组	T2FSC组	例数	t值	P值
S	56.05 ± 11.61	54.53 ± 10.88	116	-1.12	0.43
N	0.65 ± 0.19	1.09 ± 0.24	116	-14.26	<0.01
SNR	95.61 ± 14.25	56.48 ± 9.72	116	-23.38	<0.01

### 2.5 T2FSDL与T2FSC图像对PCa诊断价值

2名诊断医师PI-RADS评分具有较高的一致性，两序列评分结果见表3，Kappa=0.91。病理学检查结果与不同序列扫描方案评分对照见表4。T2FSDL图像与T2FSC图像诊断方案的ROC曲线见图2。T2FSDL与T2FSC图像对应的曲线

下面积 (area under curve, AUC) 分别为0.866和0.819。T2FSDL与T2FSC的差异有统计学意义 ( $P < 0.01$ )。T2FSDL图像与T2FSC图像诊断PCa的灵敏度、特异度、准确值、阳性预测值、阴性预测值见表4。某例PCa患者的T2FSDL序列和T2FSC序列MRI影像及PI-RADS评分见图3。

表3 T2FSDL和T2FSC序列评分结果

组别	1分	2分	3分	4分	5分
PCa (n=68)					
T2FSDL	0	2	8	26	32
T2FSC	0	5	12	24	27
BPH (n=48)					
T2FSDL	22	23	2	1	0
T2FSC	19	20	5	3	1

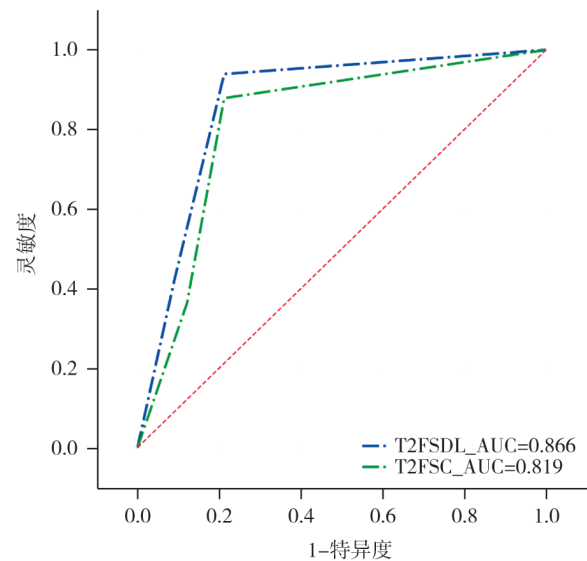


图2 T2FSDL序列和T2FSC序列对应的ROC曲线

Fig.2 ROC curves corresponding to the T2FSDL sequence and the T2FSC sequence

表4 T2FSDL序列和T2FSC序列比较

组别	AUC	95% CI	准确度	阳性预测值	阴性预测值
T2FSDL	0.866	0.771-0.961	0.849	0.827	0.875
T2FSC	0.819	0.708-0.929	0.794	0.785	0.823

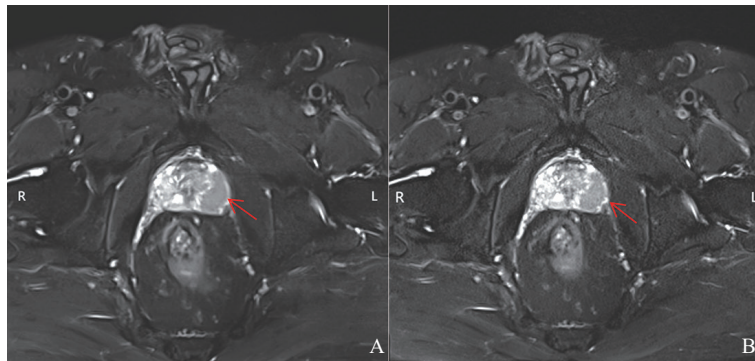


图3 PCa患者的T2FSDL序列和T2FSC序列图像

Fig.3 Images of the T2FSDL sequence and T2FSC sequence of PCa patients

患者, 男性, 62岁, PSA=12.5 ng/mL, 病理学检查证实为前列腺腺泡癌。A: 轴位T2FSDL图, PI-RADS评分为5; B: 轴位T2FSC图, PI-RADS评分为4。图A的清晰度和整体图像质量表现均优于图B, 而且图A病灶(箭头所示)与周围正常组织之间的对比度更佳, 对病灶(箭头所示)的显示能力明显优于图B, 且病灶(箭头所示)边缘勾勒较B图更为清晰。

### 3 讨 论

高质量T2WI是前列腺解剖结构评估中较重要的MRI序列, 它不仅能够清楚地发现前列腺内部发生的异常病变, 而且还能显示前列腺部位及周围组织的解剖学信息, 在图像上可以清晰地分辨出病变与邻近组织结构关系, 是PCa分期的最佳成像方式<sup>[11]</sup>。新版PI-RADS指南中对MRI的扫描参数、病灶评分作出了修订, 也主张将轴位T2WI序列作为PCa诊断和分期的关键序列, 因此高质量的前列腺MRI图像是准确诊断、准确评分的先决条件和保证<sup>[12]</sup>。此外, 由PI-RADS指导委员会提出的由MRI引导的前列腺穿刺活检指南中提到, 通过高质量的多参数MRI图像扫描, 可提高患者穿刺的检出率。因此, 如何提升前列腺MRI的图像质量, 是当前研究的热点<sup>[13]</sup>。

传统MRI图像重建方法利用MRI图像约束项的低秩性、稀疏性, 一般使用正则化方法对图像进行重建, 然后使用非线性算法来求解优化方程, 此方案计算不仅比较复杂, 而且其重建实时性有待提升<sup>[14-16]</sup>。本文的DLR技术依赖卷积神经网络自身获取图像特征, 相对具有无目的性, 利用了图像重建领域的经验优势, 强调了MRI图像中的重要特征, 针对性地对MRI图像进行重建, 可减少图像噪声, 去除截断伪影, 并提高图像清晰度<sup>[15]</sup>。同时DLR技术MRI图像进行了

欠采样, 利用少量的数据重建出高质量的MRI图像, 加快MRI速度, 大大缩短了扫描时间<sup>[17-19]</sup>。

本研究入组了行前列腺T2FSDL序列和T2FSC序列扫描的116例前列腺疾病患者(PCa患者68例, BPH患者48例)。分别从图像主观评分、图像客观评价、图像对PCa诊断能效方面进行了研究。在图像主观评分中, T2FSDL组图像整体质量评分高于T2FSC组, 伪影评分与T2FSC组差异无统计学意义, 说明DLR技术可以提高MRI的图像质量, 但在图像伪影控制方面提升不明显。在图像质量客观评价中, T2FSDL序列前列腺图像的 $N$ 值低于T2FSC组, SNR高于T2FSC组, 说明DLR技术具有明显的降噪作用, 可以更清晰地显示前列腺的解剖结构。本文采用PI-RADS评分标准, 判断T2FSDL组图像与T2FSC组图像对PCa诊断能效, T2FSDL序列诊断PCa的AUC(0.866)大于T2FSC序列的AUC(0.819), 并且差异有统计学意义( $P<0.01$ ), T2FSDL序列诊断灵敏度、特异度亦高于T2FSC序列, 证明T2FSDL序列较T2FSC序列在诊断PCa上具有明显的优势及较高的诊断价值, 这一结果与Chen等<sup>[20]</sup>的研究相似。

Ueda等<sup>[21]</sup>对使用DLR技术弥散加权成像(diffusion-weighted imaging, DWI)序列在前列腺MRI图像上进行了研究, 在主观分析和客观评价上使用DLR技术DWI序列与未使用DLR技术T2WI序列进行对比, 结果表明DLR技术能提高

PCa患者的DWI影像质量，与本文得出的结论类似，但并未对其诊断效能进行研究。Gassenmaier等<sup>[22]</sup>对使用DLR技术T2WI序列在前列腺MRI图像上进行了研究，2名阅片者对使用DLR技术的T2WI图像与未使用DLR技术的T2WI图像独立进行质量及病灶可检测性的主观分析，结果表明使用DLR技术的T2WI图像的各个指标评分均高于不使用DLR技术的T2WI图像，且差异有统计学意义( $P < 0.01$ )，但该文只使用了主观分析法对前列腺图像进行了研究，未进行客观比较。本研究不仅采用了主观及客观分析法，还利用PI-RADS评分对T2FSDL序列与T2FSC序列图像进行对比，在判断诊断价值方面，T2FSDL序列要优于T2FSC序列，为疾病的临床诊治及研究提供了更精准的影像学依据。

本研究样本量较小，且为单中心研究，可能会导致测量值的偏差。今后可适当扩大样本量，加入更多关于DLR技术的序列，进一步研究DLR技术提高前列腺病灶诊断的效能。

综上所述，基于DLR技术的前列腺T2WI压脂图像具有低 $N$ 值，高SNR的特点，提高了图像质量，对Pca的诊断价值高于传统T2FSC图像，且扫描时间更少。因此DLR技术可提高前列腺T2WI压脂图像质量，具有较大的临床应用价值。

#### 第一作者：

董诗洁 (ORCID: 0009-0009-2284-5331)，硕士，初级技师，放射诊断科技人员。

#### 通信作者：

胡晓欣 (ORCID: 0009-0002-0160-0456)，硕士，副主任医师，放射诊断科技人员，E-mail: 1huxx@163.com。

#### 作者贡献声明：

董诗洁：文章撰写，数据资料收集，数据统计分析；胡晓欣：提出研究方向、设计论文框架、论文最终版本修订。刘晓航，谢天文，周冰妮，黄琰，杨孟，岳磊，童彤，顾雅佳：审阅和指导。

#### [参 考 文 献]

[1] 郑荣寿, 陈 茹, 韩冰峰, 等. 2022年中国恶性肿瘤流行情况分析 [J]. 中华肿瘤杂志, 2024, 46(3): 221-231.  
ZHENG R S, CHEN R, HAN B F, et al. Cancer incidence and mortality in China, 2022 [J]. Chin J Oncol, 2024, 46(3): 221-231.

[2] ZHAO J, KADER A, MANGAROVA D B, et al. Dynamic contrast-enhanced MRI of prostate lesions of simultaneous [<sup>68</sup>Ga] Ga-PSMA-11 PET/MRI: comparison between intraprostatic lesions and correlation between perfusion parameters [J]. Cancers (Basel), 2021, 13(6): 1404.

[3] GIGANTI F, ROSENKRANTZ A B, VILLEIRS G, et al. The evolution of MRI of the prostate: the past, the present, and the future [J]. AJR Am J Roentgenol, 2019, 213(2): 384-396.

[4] CHATTERJEE A, TOKDEMIR S, GALLAN A J, et al. Multiparametric MRI features and pathologic outcome of wedge-shaped lesions in the peripheral zone on T2-weighted images of the prostate [J]. AJR Am J Roentgenol, 2019, 212(1): 124-129.

[5] LUDWIG D R, FRAUM T J, FOWLER K J, et al. Imaging in prostate cancer: magnetic resonance imaging and beyond [J]. Mo Med, 2018, 115(2): 135-141.

[6] BASH S, JOHNSON B, GIBBS W, et al. Deep learning image processing enables 40% faster spinal MR scans which match or exceed quality of standard of care: a prospective multicenter multireader study [J]. Clin Neuroradiol, 2022, 32(1): 197-203.

[7] LI W, XIN C, ZHANG L L, et al. Comparison of diagnostic performance between two prostate imaging reporting and data system versions: a systematic review [J]. Eur J Radiol, 2019, 114: 111-119.

[8] WEINREB J, BARENTSZ J, CHOYKE P, et al. PI-RADS prostate imaging - reporting and data system: 2015, version 2 [J]. Eur Urol, 2016, 69(1): 16-40.

[9] AGGARWAL H K, MANI M P, JACOB M. MoDL: Model-based deep learning architecture for inverse problems [J]. IEEE Trans Med Imaging, 2019, 38(2): 394-405.

[10] PARK J C, PARK K J, PARK M Y, et al. Fast T2-weighted imaging with deep learning-based reconstruction: evaluation of image quality and diagnostic performance in patients undergoing radical prostatectomy [J]. J Magn Reson Imaging, 2022, 55(6): 1735-1744.

[11] ROSENKRANTZ A B, HEMINGWAY J, HUGHES D R, et al. Evolving use of prebiopsy prostate magnetic resonance imaging in the medicare population [J]. J Urol, 2018, 200(1): 89-94.

[12] CORNUD F, DELONGCHAMPS N B, MOZER P, et al. Value of multiparametric MRI in the work-up of prostate cancer [J]. Curr Urol Rep, 2012, 13(1): 82-92.

[13] DHUNDASS S, SAVATOVSKY J, DURON L, et al. Improved detection and characterization of arterial occlusion in acute ischemic stroke using contrast enhanced MRA [J]. J Neuroradiol, 2020, 47(4): 278-283.

[14] LEE K L, KESSLER D A, DEZONIE S, et al. Assessment of deep learning-based reconstruction on T2-weighted and diffusion-weighted prostate MRI image quality [J]. Eur J Radiol, 2023, 166: 111017.

[15] WAN Q, LEI Q, WANG P, et al. Intravoxel incoherent motion diffusion-weighted imaging of lung cancer: comparison between

- turbo spin-echo and echo-planar imaging [ J ] . J Comput Assist Tomogr, 2020, 44(3): 334-340.
- [ 16 ] KIM K H, PARK S H. Artificial neural network for suppression of banding artifacts in balanced steady-state free precession MRI [ J ] . Magn Reson Imaging, 2017, 37: 139-146.
- [ 17 ] YANG A, FINKELSTEIN M, KOO C, et al. Impact of deep learning image reconstruction methods on MRI throughput [ J ] . Radiol Artif Intell, 2024, 6(3): e230181.
- [ 18 ] ZHENG Y, LI J, CHEN K, et al. Comparison of conventional DWI, intravoxel incoherent motion imaging, and diffusion kurtosis imaging in differentiating lung lesions [ J ] . Front Oncol, 2022, 11: 815967.
- [ 19 ] ALMANSOUR H, HERRMANN J, GASSENMAIER S, et al. Deep learning reconstruction for accelerated spine MRI: prospective analysis of interchangeability [ J ] . Radiology, 2023, 306(3): e212922.
- [ 20 ] CHEN Q, FANG S, YANG Y C, et al. Clinical feasibility of deep learning reconstruction in liver diffusion-weighted imaging: improvement of image quality and impact on apparent diffusion coefficient value [ J ] . Eur J Radiol, 2023, 168: 111149.
- [ 21 ] UEDA T, OHNO Y, YAMAMOTO K, et al. Deep learning reconstruction of diffusion-weighted MRI improves image quality for prostatic imaging [ J ] . Radiology, 2022, 303(2): 373-381.
- [ 22 ] GASSENMAIER S, AFAT S, NICKEL M D, et al. Accelerated T2-weighted TSE imaging of the prostate using deep learning image reconstruction: a prospective comparison with standard T2-weighted TSE imaging [ J ] . Cancers (Basel), 2021, 13(14): 3593.

( 收稿日期: 2025-05-20 修回日期: 2025-06-21 )