

论 著

智能快速磁共振在改善前列腺T2WI图像质量中的应用价值

黄龙龙 徐文娟 杜 芳*

扬州大学附属医院放射科 (江苏 扬州 225000)

【摘要】目的 探讨一种基于人工智能(AI)的扫描后处理去噪系统--智能快速磁共振(IQMR)对前列腺T2WI图像质量的影响。**方法** 回顾性分析2022年6月至2022年10月就诊于我院并行前列腺磁共振检查的84例患者的影像资料,包括常规T2WI(T2WIC)及基于IQMR重建技术的T2WI(T2WIIQ)图像。对两组图像进行主观评价及客观评价。主观评价根据李克特5分量表对图像质量及诊断置信度进行评分;客观评价包括测量信噪比(SNR)及对比噪声比(CNR)。**结果** 基于主观评分标准, T2WIC及T2WIIQ存在显著差异($P<0.05$);基于客观评价, T2WIIQ的SNR及CNR分别为(20.7 ± 3.9)、(14.6 ± 3.5), T2WIC的SNR及CNR为(15.8 ± 2.8)、(11.2 ± 2.6), T2WIIQ图像的SNR及CNR均高于T2WIC图像,差异均具有统计学意义($P<0.05$)。**结论** IQMR可以改善T2WI的图像质量,有利于前列腺疾病的MRI的诊断。

【关键词】 前列腺; 智能快速磁共振; 磁共振成像; 信噪比; 对比噪声比

【中图分类号】R445.2

【文献标识码】A

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.09.045

The Value of Intelligent Quick Magnetic Resonance in Improving the Quality of Prostate T2WI Images

HUANG Long-long, XU Wen-juan, DU Fang*

Department of Radiology, the Affiliated Hospital of Yangzhou University, Yangzhou 225000, Jiangsu Province, China

ABSTRACT

Objective Exploring the effect of an artificial intelligence (AI)-based scan post-processing denoising system, Intelligent Quick Magnetic Resonance (IQMR), on the quality of prostate T2WI images. **Methods** Imaging data of 84 patients who attended Hospital and underwent prostate MRI from June 2022 to October 2022 were retrospectively analyzed, including conventional T2WI (T2WIC) and IQMR-based T2WI (T2WIIQ) images. Subjective and objective evaluations were performed on both sets of images. The subjective evaluation was based on a 5-point Likert scale for image quality and diagnostic confidence; and the objective evaluation included measurement of signal-to-noise ratio (SNR) and contrast-to-noise ratio (CNR). **Results** Based on the subjective scoring criteria, there were significant differences between T2WIC and T2WIIQ images ($P<0.05$); based on the objective evaluations, the SNR and CNR were (20.7 ± 3.9) and (14.6 ± 3.5) for T2WIIQ, (15.8 ± 2.8) and (11.2 ± 2.6) for T2WIC, and were higher for T2WIIQ images than T2WIC images, with the differences being statistically significant ($P<0.05$). **Conclusion** IQMR can improve the image quality of T2WI, which is favorable for the diagnosis of prostate diseases by MRI.

Keywords: Prostate; Intelligent Quick Magnetic Resonance; Magnetic Resonance Imaging; Signal-to-Noise Ratio; Contrast-to-Noise Ratio

前列腺癌(prostate cancer, PCa)是全世界男性最常见的癌症之一,其发病率位于美国男性肿瘤第一位,病死率位于男性肿瘤第二位^[1],近年来我国前列腺癌的发病率显著增加^[2]。磁共振成像(MRI)在前列腺疾病诊断及预后等方面具有重要的价值,已成为诊断和管理疑似或确诊前列腺癌患者不可或缺的一部分^[3]。前列腺病变的诊断及PI-RADS评分依赖于高质量的前列腺MRI图像,尤其是T2WI和DWI图像^[4]。MRI的技术日益更新,扫描技术层出不穷,但是前列腺MRI图像的低信噪比的局限性依旧存在。因此,去噪成为一种重要的成像校正技术。尤其是扫描后的去噪技术的应用。目前已经有多种扫描后的去噪技术,如非局部均值技术、奇异值分解技术、稀疏表示技术、基于机器学习的技术以及这些技术的组合^[5-6]。智能快速磁共振(intelligent quick magnetic resonance, IQMR)是一种基于人工智能(AI)辅助的迭代图像重建技术,它是在图像扫描后进行后处理去噪,使用多个图形处理单元的并行处理^[7]。本研究旨在通过比较常规T2WI与基于IQMR重建技术的T2WI的图像质量和诊断性能,探讨IQMR重建技术对改善前列腺T2WI图像质量的应用价值。

1 资料和方法

1.1 研究对象 回顾性收集分析2022年6月至2022年10月于扬州大学附属医院行前列腺MRI检查的患者资料。本研究经扬州大学附属医院临床研究伦理委员会批准。审批号:2023-YKL10-(课06)。

纳入标准:(1)穿刺活检或根治性前列腺切除术后病理确诊的患者;(2)术前均接受前列腺MRI扫描,包括常规T2WI;(3)MRI检查前,患者未曾接受过活检、手术或放化疗。排除标准:(1)MRI图像中存在伪影;(2)病灶直径小于5mm。

1.2 检查方法 所有患者均采用GE Architect MR 3.0T (GE Medical System, Milwaukee, WI, USA)超导磁共振扫描仪,16通道线圈(anterior array, AA)和AIR40通道线圈(Posterior Array, PA)为接收线圈。患者在MRI检查前适度储尿,采取仰卧位,足先进方式进行检查。序列包括T2WI: TR 3515 ms, TE 92.1 ms, FOV 20 cm×20 cm, 矩阵288×288, 层厚3 mm, 层间距0.5 mm, 激励次数2, 回波链长度29, 加速因子2, 扫描时间2 min 14 s。基于IQMR的T2WI的图像由常规T2WI上传至后处理软件自动获取。

1.3 图像分析

1.3.1 客观评分 通过在闭孔内肌和病变区放置感兴趣区(ROI),测量T2WIC及T2WIIQ图像的平均信号强度(SI)和信号强度标准差(standard deviation, SD),同一患者的两组图像取相同位置、相同病灶,病灶ROI与闭孔内肌ROI大小、层面一致,每个ROI测3次,取均值; $SNR=SI_{病}/SD_{闭}$, $CNR=(SI_{病}-SI_{闭})/SD_{闭}$, 其中 $SI_{病}$ 及 $SI_{闭}$ 分别为病灶及闭孔内肌的平均信号强度, $SD_{闭}$ 为闭孔内肌的信号强度标准差^[8]。

1.3.2 主观评分 由两位分别具有5年和10年经验的放射科医师依据李克特5分量表,采用独立阅片、双盲评价对T2WIC及T2WIIQ图像进行评价,并对评价结果进行一致性分析。T2WI图像质量评价指标包括^[9]:前列腺包膜显示清晰度、前列腺病变显示清晰度、结构

【第一作者】黄龙龙,男,研究生在读,主要研究方向:前列腺MRI。E-mail: 2601895971@qq.com

【通讯作者】杜 芳,女,主任医师,主要研究方向:磁共振诊断。E-mail: yzdufang@126.com

细节、图像伪影、整体的图像质量。评价标准^[10-11]：5分：最佳，几乎没有图像噪声；4分：良好，有少许噪声；3分：尚可，容易检测到图像噪声；2分：较差，可见显著噪声；1分：很差，充满图像噪声。诊断置信度的评价指标包括：确定病变部位和形态、初步判定病变的良恶性。评价标准^[11-12]：5分：检出完全，严重怀疑；4分：检出良好，高度怀疑；3分：病变检出尚可，中度怀疑；2分：检测到病灶的可能性很小；1分：没有足够的病理学评价。为了评估研究者内的一致性程度，2周后研究者1再次评价。

1.4 统计学方法 统计学分析采用SPSS 26.0软件进行。采用Kolmogorov-Smirnov检验评估数据的正态性，符合正态分布的数据用均值±标准差来表示，非正态分布的数据用中位数和四分位间距表示。两名研究者间的主观评分的一致性采用Kappa检验评估，一致性程度分类如下：Kappa值≤ 0.2，较差；0.20< Kappa值≤ 0.40，一般；0.40 < Kappa值≤ 0.60，中等；0.60 < Kappa值≤ 0.80，较强；0.80 < Kappa值≤ 1.0，很强。采用配对样本t检验及Wilcoxon秩和检验分别比较符合正态分布及非正态分布数据。P<0.05表示差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 一般资料 回顾性分析108例患者，排除伪影(5例)、病灶小于5mm(4例)及无病理者(15例)，最后得到84例，其中良性病例40例，恶性病例44例。年龄44~89(70.2±9.1)岁，前列腺特异抗原(prostate specific antigen, PSA)为0.7~227.5[14.0(6.8, 23.0)]ng/mL。

2.2 客观评价 所有纳入的总病例、良、恶性病例T2WI_{IQ}图像的SNR分别为(20.7±3.9)、(21.3±3.8)、(20.1±4.0)，T2WI_c图像的SNR分别为(15.8±2.8)、(16.3±2.7)、(15.2±2.8)，T2WI_{IQ}的SNR均高于T2WI_c图像(P<0.01)。总病例、良、恶性病例T2WI_{IQ}图像的CNR分别为(14.6±3.5)、(15.6±3.5)、(13.6±3.3)，T2WI_c图像的CNR分别(11.2±2.6)、(12.1±2.6)、(10.5±2.5)，T2WI_{IQ}的CNR均高于T2WI_c图像(P<0.01)。详见表1。

2.3 主观评价 两位放射科医师的评分结果均显示，前列腺包膜显示清晰度、前列腺病变显示清晰度、结构细节、图像伪影、整体的图像质量、确定病变部位和形态及初步判定病变的良恶性T2WI_{IQ}均高于T2WI_c，差异均有统计学意义(P<0.01)。详见表2。其一致性较好(0.66~0.88, P<0.01)。详见表3。所有患者横断位T2WI_c及T2WI_{IQ}图像均能满足诊断要求。图1、图2各选取了1例前列腺良性增生和前列腺癌患者的图像，从中可以看出，在前列腺包膜显示清晰度、前列腺病变显示清晰度、结构细节显示等方面T2WI_{IQ}均较T2WI_c显示清晰，整体的图像质量也更佳。

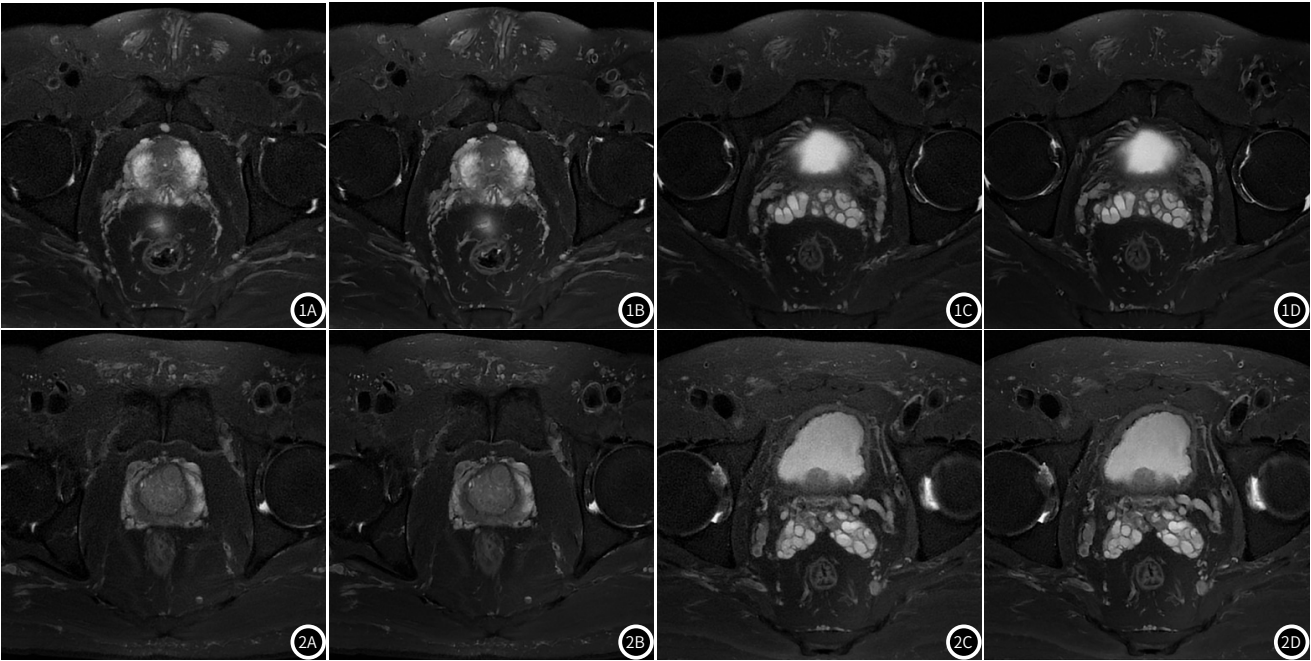


图1 男，53岁，病理结果为前列腺癌，前列腺特异性抗原(PSA)为4.35ng/mL。1A、1C：轴位常规T2加权成像；1B、1D：为轴位基于IQMR重建技术的T2加权成像。T2WI_{IQ}前列腺病灶的对比度，精囊腺分隔的显示及整体图像质量均优于T2WI_c。
图2 男，66岁，病理结果为良性增生，前列腺特异性抗原(PSA)为6.29ng/mL。2A、2C为轴位常规T2加权成像；2B、2D：为轴位基于IQMR重建技术的T2加权成像。T2WI_{IQ}前列腺病灶的对比度，病灶边缘勾勒，精囊腺分隔的显示及整体图像质量更好。

表1 T2WI图像SNR及CNR的比较

序列	SNR			CNR		
	总病例(n=84)	良性病例(n=40)	恶性病例(n=44)	总病例(n=84)	良性病例(n=40)	恶性病例(n=44)
T2WI _c	15.8±2.8	16.3±2.7	15.2±2.8	11.2±2.6	12.1±2.6	10.5±2.5
T2WI _{IQ}	20.7±3.9	21.3±3.8	20.1±4.0	14.6±3.5	15.6±3.5	13.6±3.3
t值	-30.0	-19.9	-22.4	-26.7	-17.5	-20.8
P值	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

注：SNR为信噪比；CNR为对比噪声比；T2WI_c为常规T2加权成像；T2WI_{IQ}为基于IQMR重建技术的T2加权成像。

表2 T2WI图像主观评分情况

评价 指标	医师1				医师1*				医师2			
	T2Wl _C	T2Wl _{IQ}	z	P	T2Wl _C	T2Wl _{IQ}	z	P	T2Wl _C	T2Wl _{IQ}	z	P
A	3.0	4.1	-8.6	<0.01	2.9	4.1	-8.2	<0.01	2.9	4.0	-8.2	<0.01
	[3.0(2.0,3.0)]	[4.0(4.0,5.0)]			[3.0(2.0,3.0)]	[4.0(4.0,5.0)]			[3.0(2.0,3.0)]	[4.0(4.0,5.0)]		
B	3.3	4.4	-8.7	<0.01	3.2	4.4	-8.4	<0.01	3.2	4.3	-8.2	<0.01
	[3.0(3.0,4.0)]	[4.0(4.0,5.0)]			[3.0(3.0,4.0)]	[4.0(4.0,5.0)]			[3.0(3.0,4.0)]	[4.0(4.0,5.0)]		
C	3.4	4.5	-8.7	<0.01	3.4	4.6	-8.5	<0.01	3.4	4.5	-8.3	<0.01
	[3.0(3.0,4.0)]	[5.0(4.0,5.0)]			[3.0(3.0,4.0)]	[5.0(4.0,5.0)]			[3.0(3.0,4.0)]	[4.0(4.0,5.0)]		
D	3.6	4.6	-9.0	<0.01	3.5	4.6	-8.6	<0.01	3.5	4.5	-8.6	<0.01
	[4.0(3.0,4.0)]	[5.0(4.0,5.0)]			[4.0(3.0,4.0)]	[5.0(4.0,5.0)]			[4.0(3.0,4.0)]	[5.0(4.0,5.0)]		
E	3.5	4.6	-8.9	<0.01	3.5	4.6	-8.6	<0.01	3.5	4.5	-8.6	<0.01
	[4.0(3.0,4.0)]	[5.0(4.0,5.0)]			[4.0(3.0,4.0)]	[5.0(4.0,5.0)]			[3.0(3.0,4.0)]	[4.5(4.0,5.0)]		
F	3.9	4.8	-8.9	<0.01	3.8	4.8	-8.4	<0.01	3.8	4.8	-8.6	<0.01
	[4.0(4.0,4.0)]	[5.0(5.0,5.0)]			[4.0(4.0,4.0)]	[5.0(5.0,5.0)]			[4.0(4.0,4.0)]	[5.0(5.0,5.0)]		
G	3.7	4.7	-9.2	<0.01	3.6	4.7	-8.7	<0.01	3.6	4.6	-8.8	<0.01
	[4.0(3.0,4.0)]	[5.0(4.0,5.0)]			[4.0(3.0,4.0)]	[5.0(4.0,5.0)]			[4.0(3.0,4.0)]	[5.0(4.0,5.0)]		

注：医师1*为医师1的第二次评分。T2Wl_C为常规T2加权成像；T2Wl_{IQ}为基于IQMR重建技术的T2加权成像。A~G分别为前列腺包膜显示清晰度、前列腺病变显示清晰度、结构细节、图像伪影、整体的图像质量、确定病变部位和形态及初步判定病变的良恶性。

表3 主观评分的一致性

评价指标	T2Wl _C (医师1vs医师1*)		T2Wl _{IQ} (医师1vs医师1*)		T2Wl _C (医师1vs医师2)		T2Wl _{IQ} (医师1vs医师2)	
	k	P	k	P	k	P	k	P
A	0.85	<0.01	0.85	<0.01	0.74	<0.01	0.71	<0.01
B	0.87	<0.01	0.91	<0.01	0.66	<0.01	0.79	<0.01
C	0.90	<0.01	0.88	<0.01	0.70	<0.01	0.83	<0.01
D	0.90	<0.01	0.88	<0.01	0.81	<0.01	0.83	<0.01
E	0.91	<0.01	0.93	<0.01	0.81	<0.01	0.79	<0.01
F	0.85	<0.01	0.82	<0.01	0.85	<0.01	0.88	<0.01
G	0.87	<0.01	0.89	<0.01	0.82	<0.01	0.75	<0.01

注：医师1*为医师1的第二次评分。T2Wl_C为常规T2加权成像；T2Wl_{IQ}为基于IQMR重建技术的T2加权成像。A~G分别为前列腺包膜显示清晰度、前列腺病变显示清晰度、结构细节、图像伪影、整体的图像质量、确定病变部位和形态及初步判定病变的良恶性。

3 讨 论

MRI在前列腺癌的诊断、风险分层、分期和靶向治疗中发挥着重要作用^[13]。高质量的前列腺MRI图像是患者管理的起点和先决条件，它会影响诊断途径的所有后续步骤^[14]。差的图像质量导致诊断准确性下降以及不确定性的增加。因此，如何改善前列腺MRI的图像质量是研究的热点问题，在患者方面，可以通过做好肠道准备、使用解痉药以及推迟前列腺活检后MRI检查的时间来优化图像质量，在技术方面，可以通过优化信噪比、对比度和空间分辨率来提高图像质量^[15-17]。

目前用于改善MRI图像质量方面的技术包括深度学习重建技术^[8]、超分辨率重建技术^[18]、超高场强磁共振成像技术^[19]、迭代影像重建技术^[20]等。IQMR的迭代影像重建是一种容积算法，用于把噪声水平相对较高的MRI图像进行回顾性重建，可显著降低噪声、恢复噪声之下的细节、提升某些图像质量参数。该算法基于Medic Vision的SafeCT算法，经调整后可用于处理核磁共振成

像^[21-23]。IQMR利用磁共振图像中噪声分布的统计先验以及最先进的信噪比改进图像增强和迭代重建方法，恢复以相对较差的曝光参数获取的磁共振扫描图像的细节和质量。输入的MRI图像被分解为3D方块，通过计算每个图像方块的多特征，这些方块被转换至特征空间，然后基于独特相似性测量进行分组。结合方块间的相似性以及噪声统计学预测，噪声和信号被共同预测并分离。该过程会反复进行，直至达到确切的收敛性标准。核心算法可通过多个参数进行控制，从而影响最终成像，例如更柔和/锐利的图像，边缘增强较高/较低等。机器学习模组可以为输入图像匹配最佳的处理参数合集，这些参数随之供给迭代重建算法，以获得最佳的输出图像^[7]。

本研究结果显示，基于IQMR重建技术的SNR及CNR均高于图像，且差异具有统计学意义($P<0.05$)，IQMR技术降低了图像的噪声，提高了图像的质量。本研究中对前列腺包膜显示清晰度、

前列腺病变显示清晰度、结构细节、图像伪影、整体的图像质量、确定病变部位和形态及初步判定病变的良恶性的评分结果显示,基于IQMR重建技术后的主观评分均高于常规图像,且差异均有统计学意义($P<0.05$)。这说明基于IQMR重建技术的整体图像质量、病变的显示等更佳,阅片者的诊断信心也会更足。在评分一致性方面,两名医师基于T2WI₁₀的一致性高于T2WI_C,分别为0.71~0.88、0.66~0.85,结果表明基于IQMR技术的图像有较好的一致性和可重复性。在如前列腺病变显示清晰度、结构细节等方面应用IQMR重建技术的T2WI图像质量均优于常规图像,这与一些提高前列腺图像质量的相关研究结果一致^[8,12]。KAN等^[7]的研究也表明,基于IQMR的图像重建技术可以提高图像的质量。此结果表明,以后在前列腺癌的诊断及分期等方面,IQMR重建技术可发挥重要的价值。IQMR重建技术不增加扫描时间的同时改善MRI图像质量、提高图像SNR,也为其临床应用提供了可行性基础。

本研究的不足:(1)本研究为回顾性研究设计;(2)样本量较少,且只对病变部位进行测量,未进行外周带和移行带测量。上述不足将在后续研究中进一步改进。

综上所述,基于IQMR重建技术的T2WI图像质量在客观定量及主观评分上均高于常规T2WI图像。IQMR技术可以提高前列腺MRI图像质量和前列腺病灶的显示能力,同时不增加扫描时间,为临床广泛应用提供基础。

参考文献

- [1] SIEGEL R L, MILLER K D, WAGLE N S, et al. Cancer statistics, 2023 [J]. CA: A Cancer Journal for Clinicians, 2023, 73 (1): 17-48.
- [2] 沈茜樱, 顾红梅. 基于多参数磁共振放射组学预测临床显著性前列腺癌 [J]. 中国CT和MRI杂志, 2024, 22 (1): 120-123.
- [3] ABREU-GOMEZ J, DIAS A B, GHAI S. PI-RR: the prostate imaging for recurrence reporting system for MRI assessment of local prostate cancer recurrence after radiation therapy or radical prostatectomy—a review [J]. AJR American Journal of Roentgenology, 2023, 220 (6): 852-861.
- [4] 宋振强, 时宇鹏, 陈淑宽, 等. MRI弥散加权成像在前列腺增生和前列腺癌诊断鉴别中的应用 [J]. 中国CT和MRI杂志, 2020, 18 (5): 31-34.
- [5] LEAL N, ZUREK E, LEAL E. Non-local SVD denoising of MRI based on sparse representations [J]. Sensors (Basel, Switzerland), 2020, 20 (5): 1536.
- [6] MANJÓ N J V, COUPÉ P, BUADES A, et al. New methods for MRI denoising based on sparseness and self-similarity [J]. Medical Image Analysis, 2012, 16 (1): 18-27.
- [7] KANEMARU N, TAKAO H, AMEMIYA S, et al. The effect of a post-scan processing denoising system on image quality and morphometric analysis [J]. Journal of Neuroradiology = Journal de Neuroradiologie, 2022, 49 (2): 205-212.
- [8] KIM E H, CHOI M H, LEE Y J, et al. Deep learning-accelerated T2-weighted imaging of the prostate: Impact of further acceleration with lower spatial resolution on image quality [J]. European Journal of Radiology, 2021, 145: 110012.

- [9] LI L, WANG L, DENG M, et al. Feasibility study of 3-T DWI of the prostate: readout-segmented versus single-shot echo-planar imaging [J]. AJR American Journal of Roentgenology, 2015, 205 (1): 70-76.
- [10] GRADL J, HÖRETH M, PFEFFERLE T, et al. Application of a dedicated surface coil in dental MRI provides superior image quality in comparison with a standard coil [J]. Clinical Neuroradiology, 2017, 27 (3): 371-378.
- [11] KANIEWSKA M, DEININGER-CZERMAK E, GETZMANN J M, et al. Application of deep learning-based image reconstruction in MR imaging of the shoulder joint to improve image quality and reduce scan time [J]. European Radiology, 2023, 33 (3): 1513-1525.
- [12] 可赞, 李亮, 宋鑫洋, 等. 基于深度学习重建技术改善前列腺T2WI图像质量的研究 [J]. 磁共振成像, 2023, 14 (5): 41-47.
- [13] WU R C, LEBASTCHI A H, HADASCHIK B A, et al. Role of MRI for the detection of prostate cancer [J]. World Journal of Urology, 2021, 39 (3): 637-649.
- [14] PADHANI A R, SCHROOTS I G, TURKBAY B, et al. A multifaceted approach to quality in the MRI-directed biopsy pathway for prostate cancer diagnosis [J]. European Radiology, 2021, 31 (6): 4386-9.
- [15] LIN Y, YILMAZ E C, BELUE M J, et al. Prostate MRI and image quality: it is time to take stock [J]. European Journal of Radiology, 2023, 161: 110757.
- [16] BRIZMOHUN APPAYYA M, ADSHEAD J, AHMED H U, et al. National implementation of multi-parametric magnetic resonance imaging for prostate cancer detection – recommendations from a UK consensus meeting [J]. BJU International, 2018, 122 (1): 13-25.
- [17] KIM H, KANG S W, KIM J H, et al. The role of AI in prostate MRI quality and interpretation: Opportunities and challenges [J]. European Journal of Radiology, 2023, 165: 110887.
- [18] QIU D, ZHANG S, LIU Y, et al. Super-resolution reconstruction of knee magnetic resonance imaging based on deep learning [J]. Computer Methods and Programs in Biomedicine, 2020, 187: 105059.
- [19] ALIZAI H, CHANG G, REGATTE R R. MR imaging of the musculoskeletal system using ultrahigh field (7T) MR imaging [J]. PET Clinics, 2018, 13 (4): 551-565.
- [20] MATENINE D, SCHMITTBUHL M, BEDWANI S, et al. Iterative reconstruction for image enhancement and dose reduction in diagnostic cone beam CT imaging [J]. Journal of X-ray Science and Technology, 2019, 27 (5): 805-819.
- [21] JOHNSON J O, ROBINS J M. CT imaging: radiation risk reduction—real-life experience in a metropolitan outpatient imaging network [J]. Journal of the American College of Radiology: JACR, 2012, 9 (11): 808-813.
- [22] PADOLE A, SINGH S, ACKMAN J B, et al. Submillisievert chest CT with filtered back projection and iterative reconstruction techniques [J]. AJR American Journal of Roentgenology, 2014, 203 (4): 772-781.
- [23] LAQMANI A, AVANESOV M, BUTSCHEIDT S, et al. Comparison of image quality and visibility of normal and abnormal findings at submillisievert chest CT using filtered back projection, iterative model reconstruction (IMR) and iDose 4™ [J]. European Journal of Radiology, 2016, 85 (11): 1971-1979.

(收稿日期: 2024-05-14)

(校对编辑: 江丽华、翁佳鸿)