

DOI: 10.3969/j.issn.2096-6113.2025.02.021

引用格式:汪征,陆蓬,刘松,等.直肠磁敏感伪影在前列腺癌 MRI 诊断中的研究进展[J].巴楚医学,2025,8(2):123-128.

直肠磁敏感伪影在前列腺癌 MRI 诊断中的研究进展

汪征 陆蓬 刘松 付成志 余松 余成新

(三峡大学第一临床医学院[宜昌市中心人民医院]放射影像科,湖北宜昌 443003)

摘要: 直肠磁敏感伪影是前列腺磁共振成像(MRI)过程中频繁出现的伪影类型,它会导致前列腺组织局部信号减弱或丢失,进而模糊了正常组织与病变区域的界限,对 MRI 图像的整体质量、阅片者的主观评价以及深度学习诊断模型的性能均带来不同程度的影响。因此,如何有效消除直肠磁敏感伪影的干扰,以获取高质量的前列腺 MRI 图像,成为当前研究的重要课题。近年来,随着医疗技术的不断进步,一系列临床策略被提出并应用于实践中,旨在减轻直肠磁敏感伪影对前列腺 MRI 图像质量的负面影响。本文将简要概述直肠磁敏感伪影的分布特点与形成机制,深入分析其对影像诊断的潜在影响,并详细介绍当前用于抵御直肠磁敏感伪影的临床策略,以提高前列腺癌影像诊断的准确性和稳定性,为未来相关的临床应用与研究提供参考依据。

关键词: 直肠磁敏感伪影; 前列腺癌; 磁共振成像; 深度学习

中图分类号: R737.25

文献标志码: A

文章编号: 2096-6113(2025)02-0123-06

Progress of Rectal Susceptibility Artifact in the MRI Diagnosis of Prostate Cancer

Wang Zheng Lu Peng Liu Song Fu Chengzhi Yu Song Yu Chengxin

(Department of Radiology, Yichang Central People's Hospital, The First College of Clinical Medical Science, China Three Gorges University, Yichang 443003, China)

Abstract Rectal susceptibility artifacts are a common type of artifact in prostate magnetic resonance imaging (MRI) that can cause local signal weakening or loss in prostate tissue, thereby blurring the boundaries between normal tissue and lesion areas. They affect the overall quality of MRI images, the subjective evaluation of the image readers, and the performance of deep learning diagnostic models to varying degrees. Therefore, how to effectively eliminate the interference of rectal susceptibility artifacts to obtain high-quality prostate MRI images has become an important research topic. In recent years, with the continuous advancement of medical technology, a series of clinical strategies have been proposed and applied in practice aimed at mitigating the negative impact of rectal susceptibility artifacts on the quality of prostate MRI images. This article will briefly summarize the distribution characteristics and formation mechanism of rectal susceptibility artifacts, deeply analyze their potential impact on imaging diagnosis, and introduce current clinical strategies used to combat rectal susceptibility artifacts, thus improving the accuracy and stability of prostate cancer imaging diagnosis and providing a reference for future related clinical applications and research.

Keywords rectal susceptibility artifact; prostate cancer; magnetic resonance imaging (MRI); deep learning

基金项目:湖北省自然科学基金项目(2015CFC853)

作者简介:汪征,主治医师,E-mail: 603557719@qq.com

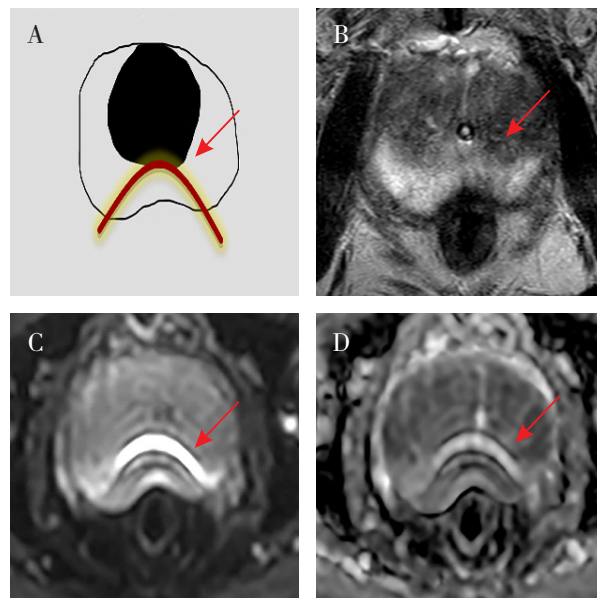
通信作者:余成新,主任医师,E-mail: ycyucx@163.com

前列腺癌(prostate cancer, PCa)作为男性泌尿生殖系统中最为普遍的恶性肿瘤,其全球发病率在男性恶性肿瘤中位列第二^[1]。自上世纪 90 年代起,得益于 PCa 诊断筛查的普及以及诊断技术和治疗策略的持续进步^[2-3],高收入国家中 PCa 的确诊率逐年攀升,而死亡率则呈下降趋势^[4]。精确诊断 PCa 对于减少低风险患者的过度治疗、延长高风险患者的生存期限及提升其生活质量具有重要意义^[5-7]。前列腺磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)作为一种有效的非侵入性手段,广泛应用于 PCa 的早期诊断、鉴别诊断、分期评估、治疗决策制定、预后评价及随访监测^[7-12],同时也是前列腺成像报告和数据评分系统(prostate imaging reporting and data system, PI-RADS)^[13]、前列腺癌包膜外侵犯分级系统^[14]以及前列腺癌复发报告系统^[9]中最为精确的影像学检查方法之一。然而,前列腺 MRI 易受多种因素影响,导致多种伪影的产生,包括直肠磁敏感伪影、卷褶伪影及金属植入物伪影等,其中直肠磁敏感伪影尤为常见^[15]。此类伪影对 MRI 图像质量、阅片者的主观判断及人工智能(artificial intelligence, AI)诊断模型的准确性均造成不同程度的影响。当前,临床实践中主要通过优化 MRI 检查前的患者准备,采用先进的成像技术以及引入 AI 等手段,以在一定程度上减轻直肠伪影对诊断的干扰。本文旨在综合探讨直肠磁敏感伪影的分布特征、成因分析、其对影像诊断的具体影响以及当前临床实践中用于减轻其影响的策略,以期提升 PCa 影像诊断的精确性和稳定性,并为未来的临床应用与研究提供有价值的参考。

1 直肠磁敏感伪影的分布和成因

伪影,即假影,指的是在 MRI 扫描或信息处理阶段,因非人体原有信息而产生的不实图像信息,其表现形式包括 MRI 图像的扭曲、变形、重叠、缺失及模糊等,这些均会导致 MRI 图像质量的降低。在前列腺 MRI 中,直肠磁敏感伪影是最为常见的伪影类型,其典型特征为前列腺后方直肠前方的弧形或放射状异常信号,主要影响外周带和移行带,如图 1 所示。直肠伪影的成因可归结为直肠的扩张及内容物引发的局部磁场不平衡,这一不平衡状态进一步导致前列腺局部组织的信号丢失或信号强度减弱,伴随轮廓的扭曲与变形,从而使得正常组织与病变区域间的界限变得模糊难辨。此外,直肠伪影的噪声分布广泛,不仅局限于直肠邻近前列腺的显著伪影区域,还涵盖了一系列微小且广泛分布的伪影,这些伪影甚至可能覆

盖肉眼难以察觉的病变区域。鉴于直肠伪影主要通过肉眼识别,其存在极有可能导致放射科医生的误诊^[16-18]以及基于前列腺 MRI 的深度学习(deep learning, DL)诊断模型的误判。因此,如何有效消除直肠伪影对前列腺 MRI 诊断的不利影响,仍是一个亟待解决且充满挑战的问题。在此背景下,深入理解直肠磁敏感伪影的分布特征与成因,无疑具有重要的临床价值与意义。



注:A:直肠磁敏感伪影示意图;B:T2WI;C:DWI;D:ADC;T2WI:T2 加权成像;DWI:弥散加权成像;ADC:表观扩散系数图。

图 1 直肠磁敏感伪影示意图及 MRI 图像

2 直肠磁敏感伪影对影像诊断的影响

2.1 直肠磁敏感伪影影响 MRI 图像质量

前列腺 MRI 图像涵盖了多种序列,特别是关键的弥散加权成像(diffusion weighted imaging, DWI)、表观扩散系数图(apparent diffusion coefficient, ADC)、T2 加权成像(T2-weighted imaging, T2WI)以及动态对比增强(dynamic contrast-enhanced, DCE)。在这些序列中,直肠磁敏感伪影所造成的影响各不相同。据相关研究^[19-20]揭示,T2WI 与 DWI 是最易受直肠伪影干扰的序列,相比之下,DCE 序列则完全不受其影响。Caglic 等^[19]研究发现,通过回顾性分析 173 名参与者的数据,进一步证实了这一点。该研究发现,直肠的扩张程度及其负荷的增加,会显著引发直肠伪影,进而导致 DWI 与 T2WI 图像的失真,从而降低了这些序列的图像质量。然而,直肠伪影对 DCE 序列的图像质量并未产生任何不良影响。李亮等^[17]在对 236 名参与者的回顾性分析中,

也得出了相似的结论。该研究指出,直肠伪影与直肠的负荷及扩张状态密切相关。随着直肠伪影的加剧,DWI 图像会出现变形,而 T2WI 图像则会发生失真。因此,可以明确的是,直肠伪影会降低 DWI 和 T2WI 的图像质量,而对 DCE 图像质量无显著影响。

2.2 直肠磁敏感伪影影响阅片者主观评价

根据宏观证据和既往临床经验,直肠磁敏感伪影可能导致放射科医生出现漏诊或误判的现象,特别是在年轻且诊断经验相对不足的放射科医生中更为显著^[21-22]。汪征等^[23]对 685 名参与者影像图片进行分析,发现直肠伪影主要影响低年资放射科医生的诊断效能,这些医生往往具备较少的诊断经验;相反,拥有丰富经验的中高年资放射科医生则能有效区分直肠伪影与真实病灶。Plodeck 等^[24]也支持这一观点,他们发现减少直肠伪影能够显著提高阅片者的诊断准确率。此外, Van Griethuysen 等^[25]的研究进一步指出,降低 DWI 图像上直肠伪影的发生率和严重程度,能够显著改善 DWI 图像质量,进而提升阅片者的诊断效能。然而, Coskun 等^[26]发现,直肠伪影对经验较少的泌尿科阅片者的诊断影响较大,而对经验丰富的放射科阅片者则影响较小。综上所述,直肠磁敏感伪影的存在导致了不同阅片者之间在主观评价上的差异性。因此,在临床实践中,应充分认识到这一因素的影响,并采取相应的措施以减少其干扰,提高诊断的准确性。

2.3 直肠磁敏感伪影影响 DL 诊断模型

随着 DL 的快速发展,DL 诊断模型在 PCa 检测领域展现出了巨大的潜力。Wang 等^[27]通过对比分析,揭示了基于深度卷积神经网络的 DL 模型与基于尺度不变特征转换和词袋模型的非 DL 模型在多个关键评估指标上的差异,包括受试者工作特征曲线下面积、敏感度、特异度、阳性预测值及阴性预测值。结果显示,DL 模型在所有这些指标上均显著高于非 DL 模型,这有力证明了 DL 模型在 PCa 检测性能上的优越性。此外,Winkel 等^[28]研究进一步指出,放射科医生借助 DL 计算机辅助诊断系统(deep learning based computer-aided diagnosis, DL-CAD),能够显著提升 PI-RADS 评分 ≥ 4 分及 PI-RADS 评分 ≥ 3 分病变的诊断准确率,并有效缩短阅片时间。然而,值得注意的是,尽管这些 DL 模型在实验室环境中表现出色,但在临床实践中,其诊断准确度却普遍下降了 3%~22%^[29-30]。这一现象主要归因于训练数据的有限性以及 MRI 图像质量的复杂多变,这对 DL 模型在不同数据集上的相似性和稳定性构成严峻挑战,进而影响其临床可信度。

尤为关键的是,直肠伪影在临床实践中可能成为 DL 诊断模型的“绊脚石”,导致错误的预测结果^[31]。Hu 等^[30]研究明确指出,直肠伪影是 PCa 检测中出现假阳性和假阴性的独立危险因素,对 DL 模型的诊断性能构成了负面影响。为解决这一问题,Hu 等^[32]的另一项研究探索了通过生成对抗网络对 DL 模型进行对抗训练的方法,以增强其鲁棒性和泛化能力,从而提高对不同测试数据集的诊断准确性。然而,该研究并未直接针对 MRI 扫描过程中出现的直肠伪影问题。相关研究表明^[33-34],某些直肠伪影可以扰乱具有不同结构且性能表现良好的 DL 模型。事实上,直肠伪影的干扰问题在现有研究中并未得到充分的重视。多数 DL 模型往往依赖于肉眼检查^[19,29],从训练集中剔除含有伪影的图像,但这种方法难以完全消除直肠伪影的影响。因此,如何在临床实践中有效抵御直肠伪影的干扰,以提高 DL 模型的诊断性能,成为了一个亟待解决的问题。

3 抵御直肠磁敏感伪影的临床策略

3.1 基于患者准备的临床策略

截至目前,关于患者准备的标准尚未形成统一共识。部分学者认为肠道准备^[24-25,35-36]可能对 MRI 图像质量的提升有所裨益;而另一部分学者则表达了担忧,指出这可能会加剧肠道蠕动,进而引发运动伪影^[13]。尽管目前并未明确推荐某种特定的患者准备方法,但已有研究^[37]对肠道外患者准备进行了深入探讨。Ullrich 等^[38]的研究通过对比静脉注射 40 mg 抗蠕动药丁基溴化东莨菪碱(hyoscine butyl bromide, HBB)前后的 MRI 检查结果,发现 HBB 组在 MRI 图像质量评分上实现了显著提升,且直肠伪影明显减少。Slough 等^[39]也观察到,HBB 组在 T2WI 图像质量上的显著改善,表现为图像清晰度提高和直肠伪影的减少,然而 DWI 和 ADC 图像质量并未见明显好转。上述研究成果表明,在前列腺 MRI 检查前进行适当的肠道准备,有可能提升前列腺 MRI 图像的整体质量,进而增强 PCa 影像诊断的准确性。

此外,关于直肠内线圈(endorectal coil, ERC)的使用,尽管研究结论存在分歧,但多数研究^[40-42]仍一致认为 ERC 的应用有助于减少直肠伪影,并在 T2WI 和 DWI 图像上提高信噪比(signal-to-noise ratio, SNR)。然而,ERC 的使用也伴随着一定的局限性,包括高昂的成本、设备的侵袭性以及对患者可能造成的不适感。综上所述,通过 MRI 检查前的综合患者准备措施(包括肠道准备、使用抗蠕动药 HBB 以

及 ERC 的应用),可以在一定程度上有效减少直肠伪影的干扰,提升前列腺 MRI 检查的诊断效能。

3.2 基于成像技术的临床策略

近年来,科研人员一直致力于开发或改进成像技术,以辅助放射科医生和 DL 模型更准确地识别直肠伪影,从而减少其对前列腺 MRI 图像的不良影响,为临床提供更加精准的 PCa 影像诊断。Hu 等^[43]的研究表明,相较于传统的单次激发回波平面成像 DWI,采用非平行传输缩放(non-parallel transmission zoom, non-PTX zoom)-DWI 技术,不仅能够有效减少直肠伪影,还能缩短回波时间并提升 SNR,进而显著改善 MRI 图像的质量和 PCa 的检测能力。non-PTX zoom-DWI 技术的实施需要依赖额外的硬件配置,这可能使得一些医疗中心在资源上难以满足其要求。Hu 等^[30]的另一项研究成果揭示了全视野 DWI 在 DWI 采集过程中存在的问题,如图像失真、直肠伪影以及有限的空间分辨率。相比之下,采用仅覆盖特定感兴趣区域的小视野 DWI 方法,则能够显著减少几何失真和直肠伪影,提供更高的空间分辨率。该研究还指出,直肠伪影的减少是提升采用小视野 DWI 的 DL-CAD 系统准确率的关键因素之一。然而,小视野 DWI 的局限性在于其可能不利于前列腺区域邻近淋巴结的显示,因此,在某些情况下,仍需结合全视野 DWI 来进一步评估是否有淋巴结转移的风险。此外,Li 等^[44]研究发现,分段读出回波平面成像 DWI 序列相较于单次激发回波平面成像 DWI 序列在图像质量和直肠伪影减少方面有明显优势。综上所述,通过引入先进的成像技术,如 non-PTX zoom 技术、缩小视野成像技术以及分段读出回波平面成像技术,均能在一定程度上减少直肠伪影,进而提高放射科医生和 DL 模型的诊断准确率。

3.3 基于 AI 的临床策略

AI 作为近年来在放射学领域广泛应用的新兴技术,其影响力日益显著。AI 凭借图像重建与图像质量评估等多种策略,显著提升了前列腺 MRI 的成像质量。

具体而言,在图像重建领域,深度学习图像重建技术(deep learning-based reconstruction, DLR)^[45-46]依托卷积神经网络,实现了从空间数据集到高清晰度图像的精准映射,有效降低了噪声与伪影的干扰,确保了 MRI 图像的高清晰度和空间分辨率。可赞等^[47]研究进一步证实了 DLR 技术在前列腺 T2WI 图像中的应用优势,不仅显著减少了直肠伪影,还提升了图像的主观评分与病灶对比度,SNR 及对比噪声比亦超越传统 T2WI 图像,从而增强了诊断医师的

信心,缩短了诊断时间;在图像质量评估层面,AI 同样展现出其高效能。Cipollari 等^[48]利用 AI 图像质量工具对前列腺 MRI 图像进行分类,并精准识别潜在的直肠伪影,实现了对 MRI 图像质量的快速评估。尽管 MRI 图像分类的准确率已相当可观,但其在 PCa 影像诊断性能上的具体影响仍有待深入评估。此外,AI 还通过不断优化模型算法,展现出对直肠伪影的强大抵御能力。例如,多中心研究表明^[49],采用特有对抗样本进行的目标对抗训练(targeted adversarial training with proprietary adversarial samples, TPAS)策略,成功将 DL 模型在患者水平与病变水平上的诊断性能分别提升了 6% 与 7%。这一成果不仅彰显了 TPAS 在增强 DL 模型直肠伪影抵抗力方面的卓越成效,也为提升 DL 模型的整体诊断性能开辟了新途径。综上所述,AI 通过图像重建、图像质量评估及模型算法优化等多重途径,有效减轻了直肠伪影对前列腺 MRI 图像质量的影响。

4 小结与展望

直肠磁敏感伪影可影响 MRI 图像质量、阅片者主观评价及 AI 诊断模型效能,研究者需深入理解直肠磁敏感伪影对 PCa 影像诊断的影响,并探索相应的应对策略,这对于提升 PCa 影像学诊断精准度意义重大。然而,尽管临床策略和先进技术的应用已在一定程度上改善了 MRI 图像的质量,但要完全消除直肠伪影的影响,仍面临许多挑战。随着 AI 和机器学习技术的不断进步,有望开发出更为智能的算法来识别和校正这些伪影,为减少直肠磁敏感伪影提供新的解决方案,从而进一步提高 PCa 的诊断准确性。

参考文献:

- [1] Sung H, Ferlay J, Siegel R L, et al. Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries[J]. CA Cancer J Clin, 2021, 71(3): 209-249.
- [2] Hayes J H, Barry M J. Screening for prostate cancer with the prostate-specific antigen test: a review of current evidence[J]. JAMA, 2014, 311(11): 1143-1149.
- [3] Barry M J, Hayes J H. Evaluating an elevated screening PSA test[J]. JAMA, 2015, 314(19): 2073-2074.
- [4] Mottet N, van den Bergh R C N, 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.
- [5] Hectors S J, Cherny M, Yadav K K, et al. Radiomics features measured with multiparametric magnetic resonance imaging predict prostate cancer aggressiveness [J]. *J Urol*, 2019, 202(3): 498-505.
- [6] Gomez S L, Washington S L 3rd, Cheng I, et al. Monitoring prostate cancer incidence trends: value of multiple imputation and delay adjustment to discern disparities in stage-specific trends[J]. *Eur Urol*, 2021, 79(1): 42-43.
- [7] Pecoraro M, Turkbey B, Purysko A S, et al. Diagnostic accuracy and observer agreement of the MRI prostate imaging for recurrence reporting assessment score[J]. *Radiology*, 2022, 304(2): 342-350.
- [8] 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 Am J Roentgenol*, 2023, 220(6): 852-861.
- [9] Panebianco V, Villeirs G, Weinreb J C, et al. Prostate magnetic resonance imaging for local recurrence reporting (PI-RR): international consensus-based guidelines on multiparametric magnetic resonance imaging for prostate cancer recurrence after radiation therapy and radical prostatectomy[J]. *Eur Urol Oncol*, 2021, 4(6): 868-876.
- [10] Zhao J, Kader A, Mangarova D B, et al. Dynamic contrast-enhanced MRI of prostate lesions of simultaneous [⁶⁸Ga] Ga-PSMA-11 PET/MRI: comparison between intraprostatic lesions and correlation between perfusion parameters[J]. *Cancers*, 2021, 13(6): 1404.
- [11] Brembilla G, Giganti F, Sidhu H, et al. Diagnostic accuracy of abbreviated Bi-parametric MRI (a-bpMRI) for prostate cancer detection and screening: a multi-reader study[J]. *Diagnostics*, 2022, 12(2): 231.
- [12] O'Connor L, Wang A, Walker S M, et al. Use of multiparametric magnetic resonance imaging (mpMRI) in localized prostate cancer [J]. *Expert Rev Med Devices*, 2020, 17(5): 435-442.
- [13] Turkbey B, Rosenkrantz A B, Haider M A, et al. Prostate imaging reporting and data system version 2.1: 2019 update of prostate imaging reporting and data system version 2[J]. *Eur Urol*, 2019, 76(3): 340-351.
- [14] Mehralivand S, Shih J H, Harmon S, et al. A grading system for the assessment of risk of extraprostatic extension of prostate cancer at multiparametric MRI[J]. *Radiology*, 2019, 290(3): 709-719.
- [15] Kyriazi S, Blackledge M, Collins D J, et al. Optimising diffusion-weighted imaging in the abdomen and pelvis: comparison of image quality between monopolar and bipolar single-shot spin-echo echo-planar sequences[J]. *Eur Radiol*, 2010, 20(10): 2422-2431.
- [16] Rosenkrantz A B, Taneja S S. Radiologist, be aware: ten pitfalls that confound the interpretation of multiparametric prostate MRI [J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2014, 202(1): 109-120.
- [17] 李亮, 曾菲菲, 龚威, 等. MRI 定量评价直肠扩张对前列腺 T2WI 及 DWI 图像质量的影响[J]. *临床放射学杂志*, 2020, 39(5): 945-950.
- [18] Ahlawat S, Fayad L M. Diffusion weighted imaging demystified: the technique and potential clinical applications for soft tissue imaging[J]. *Skeletal Radiol*, 2018, 47(3): 313-328.
- [19] Caglic I, Hansen N L, Slough R A, et al. Evaluating the effect of rectal distension on prostate multiparametric MRI image quality[J]. *Eur J Radiol*, 2017, 90: 174-180.
- [20] Antunes N, Vas D, Sebastia C, et al. Susceptibility artifacts and PIRADS 3 lesions in prostatic MRI: how often is the dynamic contrast-enhance sequence necessary? [J]. *Abdom Radiol*, 2021, 46(7): 3401-3409.
- [21] Hu L, Zhou D W, Zha Y F, et al. Synthesizing high-b-value diffusion-weighted imaging of the prostate using generative adversarial networks[J]. *Radiol Artif Intell*, 2021, 3(5): e200237.
- [22] Cao R M, Mohammadian Bajgiran A, Afshari Mirak S, et al. Joint prostate cancer detection and gleason score prediction in mp-MRI via FocalNet [J]. *IEEE Trans Med Imaging*, 2019, 38(11): 2496-2506.
- [23] 汪征, 胡磊, 陆蓬, 等. 基于双参数 MRI 评估直肠磁敏感伪影对前列腺癌诊断影响的研究[J]. *磁共振成像*, 2024, 15(5): 134-140.
- [24] Plodeck V, Radosa C G, Hübner H M, et al. Rectal gas-induced susceptibility artefacts on prostate diffusion-weighted MRI with epi read-out at 3.0T: does a preparatory micro-enema improve image quality? [J]. *Abdom Radiol*, 2020, 45(12): 4244-4251.
- [25] Van Griethuysen J J M, Bus E M, Hauptmann M, et al. Gas-induced susceptibility artefacts on diffusion-weighted MRI of the rectum at 1.5 T - Effect of applying a micro-enema to improve image quality[J]. *Eur J Radiol*, 2018, 99: 131-137.
- [26] Coskun M, Mehralivand S, Shih J H, et al. Impact of bowel preparation with Fleet's™ enema on prostate MRI quality[J]. *Abdom Radiol*, 2020, 45(12): 4252-4259.

- [27] Wang X G, Yang W, Weinreb J, et al. Searching for prostate cancer by fully automated magnetic resonance imaging classification: deep learning versus non-deep learning[J]. *Sci Rep*, 2017, 7(1): 15415.
- [28] Winkel D J, Tong A, Lou B, et al. A novel deep learning based computer-aided diagnosis system improves the accuracy and efficiency of radiologists in reading biparametric magnetic resonance images of the prostate: results of a multireader, multicase study[J]. *Invest Radiol*, 2021, 56(10): 605-613.
- [29] Cacciamani G E, Sanford D I, Chu T N, et al. Is artificial intelligence replacing our radiology stars? not yet! [J]. *Eur Urol Open Sci*, 2023, 48: 14-16.
- [30] Hu L, Fu C X, Song X Y, et al. Automated deep-learning system in the assessment of MRI-visible prostate cancer: comparison of advanced zoomed diffusion-weighted imaging and conventional technique [J]. *Cancer Imaging*, 2023, 23(1): 6.
- [31] Cuocolo R, Cipullo M B, Stanzone A, et al. Machine learning applications in prostate cancer magnetic resonance imaging[J]. *Eur Radiol Exp*, 2019, 3(1): 35.
- [32] Hu L, Zhou D W, Guo X Y, et al. Adversarial training for prostate cancer classification using magnetic resonance imaging[J]. *Quant Imaging Med Surg*, 2022, 12(6): 3276-3287.
- [33] Schelb P, Kohl S, Radtke J P, et al. Classification of cancer at prostate MRI: deep learning versus clinical PI-RADS assessment[J]. *Radiology*, 2019, 293(3): 607-617.
- [34] Bonekamp D, Kohl S, Wiesenfarth M, et al. Radiomic machine learning for characterization of prostate lesions with MRI: comparison to ADC values[J]. *Radiology*, 2018, 289(1): 128-137.
- [35] 余春芳, 李主镜, 王小珍. 肠道准备减少 3TMR 前列腺弥散加权扫描磁化率伪影的效果[J]. *黑龙江中医药*, 2019, 48(4): 184-186.
- [36] 陈穗惠, 刘新球, 江波, 等. 肠道准备减少 3TMR 前列腺弥散加权扫描磁化率伪影的评价[J]. *中国医学影像学杂志*, 2011, 19(11): 869-872.
- [37] Caglic I, Barrett T. Optimising prostate mpMRI: prepare for success[J]. *Clin Radiol*, 2019, 74(11): 831-840.
- [38] Ullrich T, Quentin M, Schmaltz A K, et al. Hyoscine butylbromide significantly decreases motion artefacts and allows better delineation of anatomic structures in mp-MRI of the prostate[J]. *Eur Radiol*, 2018, 28(1): 17-23.
- [39] Slough R A, Caglic I, Hansen N L, et al. Effect of hyoscine butylbromide on prostate multiparametric MRI anatomical and functional image quality[J]. *Clin Radiol*, 2018, 73(2): 216.e9-216.e14.
- [40] O'Donohoe R L, Dunne R M, Kimbrell V, et al. Prostate MRI using an external phased array wearable pelvic coil at 3T: comparison with an endorectal coil[J]. *Abdom Radiol*, 2019, 44(3): 1062-1069.
- [41] Ullrich T, Kohli M D, Ohliger M A, et al. Quality comparison of 3 Tesla multiparametric MRI of the prostate using a flexible surface receiver coil versus conventional surface coil plus endorectal coil setup[J]. *Abdom Radiol*, 2020, 45(12): 4260-4270.
- [42] Mazaheri Y, Vargas H A, Nyman G, et al. Diffusion-weighted MRI of the prostate at 3.0 T: comparison of endorectal coil (ERC) MRI and phased-array coil (PAC) MRI-The impact of SNR on ADC measurement[J]. *Eur J Radiol*, 2013, 82(10): e515-e520.
- [43] Hu L, Wei L M, Wang S H, et al. Better lesion conspicuity translates into improved prostate cancer detection: comparison of non-parallel-transmission-zoomed-DWI with conventional-DWI [J]. *Abdom Radiol*, 2021, 46(12): 5659-5668.
- [44] 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 Am J Roentgenol*, 2015, 205(1): 70-76.
- [45] Kim M, Kim H S, Kim H J, et al. Thin-slice pituitary MRI with deep learning-based reconstruction: diagnostic performance in a postoperative setting[J]. *Radiology*, 2021, 298(1): 114-122.
- [46] Gassenmaier S, Küstner T, Nickel D, et al. Deep learning applications in magnetic resonance imaging: has the future become present?[J]. *Diagnostics*, 2021, 11(12): 2181.
- [47] 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.
- [48] Cipollari S, Guarrasi V, Pecoraro M, et al. Convolutional neural networks for automated classification of prostate multiparametric magnetic resonance imaging based on image quality[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2022, 55(2): 480-490.
- [49] Hu L, Guo X Y, Zhou D W, et al. Development and validation of a deep learning model to reduce the interference of rectal artifacts in MRI-based prostate cancer diagnosis[J]. *Radiol Artif Intell*, 2024, 6(2): e230362.