

基于3D打印辅助复杂性肛瘘精细化治疗

王麒雅^{1,2}, 雷娟^{1,2}, 邓文轩^{1,2}, 唐浠桡^{1,2}, 杜杨彪^{1,2}, 张盛甫^{2,3}, 罗宏标^{2,3}, 朱柏霖^{2,4},
胡芳^{1,2,5*}

¹湘南学院医学影像检验与康复学院, 医学影像人工智能湖南省重点实验室, 湖南 郴州

²湘南学院-山东乐润信息技术有限公司医学影像技术专业校企合作创新创业教育基地, 湖南 郴州

³郴州市肛瘘和肛瘘脓肿诊疗技术研发中心, 郴州市第一人民医院, 湖南 郴州

⁴郴州市第一人民医院3D打印中心, 湖南 郴州

⁵湘南学院附属医院放射科, 湖南 郴州

收稿日期: 2026年5月9日; 录用日期: 2026年6月3日; 发布日期: 2026年6月12日

摘要

目的: 本研究旨在探讨基于MRI的3D打印技术构建肛瘘实体模型在术前评估及手术导航中的应用价值。方法: 本研究在郴州市第一人民医院招募48例复杂性肛瘘患者(实验组与对照组各24例)。实验组患者签署知情同意后, 采用3.0T MRI扫描(T2WI脂肪抑制、T1WI平扫及增强序列), 获取高分辨率DICOM数据。通过Mimics软件进行三维重建, 逐层勾画肛管及瘘管走行, 生成STL格式模型并3D打印。打印模型用于手术路径规划, 对照组数据来自医院电子病历系统。术后评估指标包括肛瘘内口、瘘管、脓肿的检出率以及手术时间, 以验证3D打印模型的临床辅助价值。结果: 3D打印模型辅助手术组术后引流创口显著小于对照组(1.5 ± 0.5 cm vs. 4 ± 1 cm, $P < 0.05$), 肉芽组织形态评分更低(1.0 ± 0.3 vs. 2 ± 1 , $P < 0.05$), 提示创面愈合更优。Wexner评分显示, 实验组肛门功能损伤更轻(1.2 ± 0.8 vs. 4.5 ± 2.3 , $P < 0.05$), 证实3D模型可减少括约肌损伤。结论: 基于MRI的3D打印模型能精准呈现肛瘘立体解剖, 优化手术路径规划。该技术为复杂性肛瘘的精准治疗提供了可靠支持, 具有临床推广价值。

关键词

复杂性肛瘘, 3D打印, 精细化治疗

Refined Treatment of Complex Anal Fistula Assisted by 3D Printing

Qiya Wang^{1,2}, Juan Lei^{1,2}, Wenxuan Deng^{1,2}, Xirao Tang^{1,2}, Yangbiao Du^{1,2}, Shengfu Zhang^{2,3},
Hongbiao Luo^{2,3}, Bailin Zhu^{2,4}, Fang Hu^{1,2,5*}

¹Key Laboratory of Medical Imaging and Artificial Intelligence of Hunan Province, College of Medical Imaging Laboratory and Rehabilitation, Xiangnan University, Chenzhou Hunan

*通讯作者。

文章引用: 王麒雅, 雷娟, 邓文轩, 唐浠桡, 杜杨彪, 张盛甫, 罗宏标, 朱柏霖, 胡芳. 基于3D打印辅助复杂性肛瘘精细化治疗[J]. 临床医学进展, 2026, 16(6): 799-806. DOI: 10.12677/acm.2026.1662279

²Xiangnan University-Shandong Lerun Information Technology Co., Ltd. Collaborative Innovation and Entrepreneurship Education Base for Medical Imaging Technology, Chenzhou Hunan

³Chenzhou Anal Fistula and Abscess Diagnosis and Treatment Technology R&D Center, The First People's Hospital of Chenzhou, Chenzhou Hunan

⁴3D Printing Center, The First People's Hospital of Chenzhou, Chenzhou Hunan

⁵Department of Radiology, Affiliated Hospital of Xiangnan University, Chenzhou Hunan

Received: May 9, 2026; accepted: June 3, 2026; published: June 12, 2026

Abstract

Objective: This study aims to investigate the application value of MRI-based 3D printing technology in constructing physical models of anal fistulas for preoperative assessment and surgical navigation. **Methods:** Forty-eight patients with complex anal fistulas were recruited at The First People's Hospital of Chenzhou (24 in the experimental group and 24 in the control group). After signing informed consent, patients in the experimental group underwent 3.0T MRI scanning (T2WI fat-suppressed, T1WI plain and contrast-enhanced sequences) to acquire high-resolution DICOM data. Three-dimensional reconstruction was performed using Mimics software, with the anal canal and fistula tract outlined layer by layer to generate STL format models, which were then 3D printed. The printed models were used for surgical path planning, while data for the control group were obtained from the hospital's electronic medical records. Postoperative evaluation indicators included the detection rate of the internal opening, fistula tract, and abscess, as well as operative time, to verify the clinical auxiliary value of the 3D-printed models. **Results:** In the 3D-printed model-assisted surgery group, the postoperative drainage wound was significantly smaller than that in the control group (1.5 ± 0.5 cm vs. 4 ± 1 cm, $P < 0.05$), and the granulation tissue morphology score was lower (1.0 ± 0.3 vs. 2 ± 1 , $P < 0.05$), indicating better wound healing. The Wexner score showed that anal function impairment was milder in the experimental group (1.2 ± 0.8 vs. 4.5 ± 2.3 , $P < 0.05$), confirming that the 3D model can reduce sphincter injury. **Conclusion:** MRI-based 3D-printed models can accurately display the three-dimensional anatomy of anal fistulas and optimize surgical path planning. This technology provides reliable support for the precise treatment of complex anal fistulas and holds value for clinical promotion.

Keywords

Complex Anal Fistula, 3D Printing, Refined Treatment

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

复杂性肛瘘(complex anal fistulas, CAF)的治疗一直是肛肠外科临床领域面临的重大挑战[1]。由于肛管直肠的解剖结构复杂,瘘管形态复杂,如同一条复杂的水道,给诊断和治疗带来了很大的困难。受限于目前的医学水平和低成本的医疗器械,临床医师难以准确地确定括约肌间隙中的瘘道方向和瘘口形态。这不仅显著增加了术后肛门缺损的风险[2],也导致多外口、高位瘘管、反复流脓等临床症状很难控制。随着医学向精准化、微创化方向发展,如何在彻底清除病灶的同时最大程度保护肛门功能,已成为肛瘘

治疗领域亟待攻克的核心问题[3]。

目前,磁共振成像(MRI)凭借其出色的软组织分辨率,能够清晰地显示瘘管走行路径、内口位置及其与肛门括约肌的解剖关系,被公认为肛瘘诊断的金标准[4]。但MRI的诊断还需要综合考虑括约肌间脓肿的位置和方向等多种因素,尤其在面对小内口、支瘘管等细微结构时,MRI图像的对比度不足,导致诊断特异性受限[5]。近年来,3D打印技术的引入为肛瘘的术前规划和手术导航开辟了新的路径[6]。通过将MRI数据转化为可旋转的三维实体模型,外科医生能够在术前更精确地识别瘘管位置和肛周病变程度[7],为降低术后复发率提供新的技术支持。

因此,本项目拟利用磁共振影像数据,利用3D打印技术,建立肛瘘三维立体模型,并对其进行术前诊断。

2. 方法

2.1. 研究对象

本研究以湘南医学院第一附属医院复杂性肛瘘患者为研究对象,于2024年6月至2025年7月期间,将本院门诊诊断为复杂性肛瘘的48名患者随机分成对照组(24例)和实验组(24例)。

纳入标准:① 年龄要求:年龄在18至75周岁(含)之间,性别不限。② 诊断明确:经临床症状(如反复破溃流脓、疼痛)和体格检查初步诊断为肛瘘。术前盆腔高分辨率磁共振成像(MRI)符合“复杂性”标准:存在一个以上主要瘘管、分支或两个及以上外口;③ 手术指征:符合手术干预条件,并计划接受肛瘘挂线术;④ 依从性良好:愿意并能够配合完成术前准备、手术治疗及术后规定的随访计划。

排除标准:① 单纯性肛瘘;② 急性感染期;③ 特定病因导致的肛瘘;④ 重要合并症:伴有严重的心、肺、肝、肾功能不全,美国麻醉师协会(ASA)分级 \geq III级,无法耐受手术麻醉;⑤ 控制不佳的糖尿病(糖化血红蛋白HbA1c $>$ 8.0%);⑥ 免疫功能状态欠佳;⑦ 肛周局部因素;⑧ 特殊人群;⑨ 3个月内参与过其他可能影响本研究结果的药物或器械临床试验。

在我院高级放射科医师的指导下,所有受试者均采用标准的俯卧姿势进行MRI扫描。用枕头垫高臀部,使肛门周围完全暴露,同时用海绵垫固定骨盆,以避免活动。本次扫描采用3.0T MRI设备,采集三个关键序列:T2WI脂肪抑制序列:扫描轴位、冠状位、矢状位三个方位,层厚2~3mm,无层间隔;T1WI平扫序列:扫描轴位,层厚3~4mm,层间隔0.5mm;增强T1WI序列:扫描轴位和冠状位,采用3D LAVA/FSPGR容积扫描技术,层厚1.5~2mm,无层间隔。对照组在扫描结束后,用DICOM格式将实验组的原始资料复刻到单独的CD-ROM中,记录病人的姓名和ID号。

2.2. 研究方法

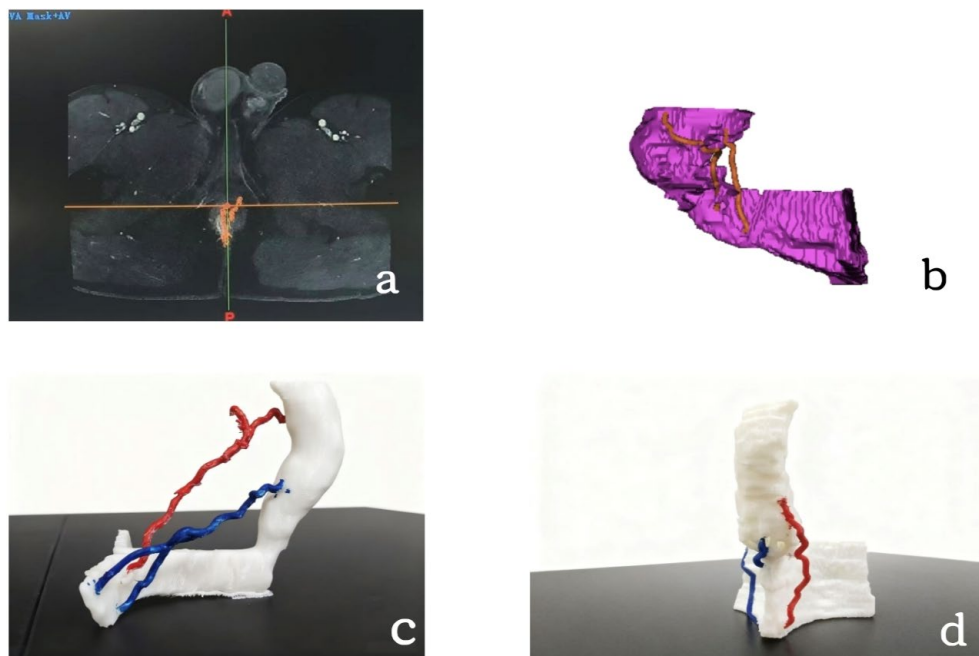
2.2.1. MRI数据采集

所有受试者以3.0T磁共振成像仪进行磁共振成像,病人采取标准俯卧位。采集序列包括:T2WI脂肪抑制序列(轴位、冠状位、矢状位,层厚2~3mm)、T1WI平扫序列(轴位,层厚3~4mm)及增强T1WI序列(轴位、冠状位,3D容积扫描,层厚1.5~2mm)。输出的数据为DICOM格式。

2.2.2. 三维重建与3D打印

肛瘘的模型构建如图1所示,将DICOM数据导入Mimics软件,通过阈值分割、区域增长、手动编辑等步骤逐层勾画肛管及瘘管走行,使用3D Live Wire功能完成多条瘘管的3D重建[8],生成三维模型后以STL格式导出。将Mimics中的模型以STL格式导入到UP Studio 3.0进行3D模型打印,模型用于针对患者的术前评估,以及模拟手术路径等术前准备[9],建立三维肛瘘三维模型提交给郴州市一院肛肠科医生,由同一位具有高级职称的肛肠外科医生完成所有手术,手术术式均为肛瘘挂线术,并在手术结

束后, 收集患者的临床资料。且为减少评估偏倚, 本研究对结局评估者设盲。所有术后手术及愈合相关时间指标、肛瘘解剖结构诊断效能及术后愈合情况, 均由一名不知晓患者分组情况的、未参与手术的医师完成。数据揭盲在统计分析完成后进行。



a 水平面描绘瘘管 b 肛瘘模型示例 c.d 复杂性肛瘘3D打印实体模型示例

Figure 1. Three-dimensional reconstruction and model example of the fistula

图 1. 瘘管的三维重建及模型示例

2.3. 观察指标

2.3.1. 手术及愈合相关时间指标

记录两组患者手术时长, 统计瘘管平均临床愈合时间、平均放射学愈合时间, 对比两组手术耗时与愈合周期差异[10]。

2.3.2. 肛瘘解剖结构诊断效能

以术中探查结果为金标准, 记录两组患者肛瘘内口、瘘管、脓肿的检出与未检出例数, 计算各解剖结构诊断检出率, 对比两组诊断效能差异[11]。

2.3.3. 术后愈合情况

术后定期随访, 统计两组患者临床未愈合、放射学未愈合、愈合病例数, 计算对应发生率, 评估两组术后愈合效果差异[12]。

3. 结果

3.1. 肛瘘诊断

两组患者肛瘘情况诊断数据如表 1 所示, 观察组与对照组进行组间比较, 其中观察组的内口与瘘管诊断优于对照组, 差异具有统计学意义($P < 0.05$); 观察组与对照组比较, 无统计学意义($P > 0.05$)。

Table 1. Comparison of surgical confirmation and MRI findings between the two groups of patients**表 1.** 两组患者手术证实与 MRI 检查比较

分组	观察组(3D-MRI)	对照组(MRI)	χ^2	P
内口			5.352	0.021
检出	45	37		
未检出	3	11		
瘘管			4.518	0.034
检出	51	47		
未检出	2	9		
脓肿				0.169
检出	13	15		
未检出	1	5		

3.2. 愈合率

两组患者愈合率数据如表 2 所示, 两组患者临床未愈合率、放射学未愈合率、愈合率比较, 差异有统计学意义($P < 0.05$)。

Table 2. Comparison of clinical non-healing rate, radiological non-healing rate, and healing rate between the two groups of patients**表 2.** 两组患者临床未愈合率、放射学未愈合率、愈合率比较

组别	临床未愈合	放射学未愈合	愈合
观察组(3D-MRI)	2	1	21
对照组(MRI)	4	3	17

3.3. 手术时间和愈合时间

两组患者手术时间与愈合时间数据如表 3 所示, 观察组患者平均手术时间短于对照组, 差异具有统计学意义($P < 0.05$), 两组患者平均临床和放射学愈合时间比较, 差异无统计学意义($P > 0.05$)。

Table 3. Comparison of operative time, and clinical and radiological healing time of fistula between the two groups of patients**表 3.** 两组患者手术时间、瘘管临床和放射学愈合时间比较

组别	平均手术时间/min	平均临床愈合时间/d	平均放射学愈合时间/d
观察组(3D-MRI)	40.57 ± 9.53	40.28 ± 7.03	133.53 ± 20.59
对照组(MRI)	46.08 ± 10.55	42.65 ± 6.62	134.06 ± 20.80

4. 讨论

4.1. 研究核心结果概述

肛瘘外科是一项具有挑战性的复杂手术, 其精确程度取决于医师对瘘道形态的认识。常规二维 MRI 仅能提供断层平面影像, 仅可初步显示肛周软组织异常信号与基础解剖层次, 难以立体直观展现肛瘘病灶整体空间形态。临床医师只能凭借个人经验对多组二维图像人工整合、主观重构解剖结构, 易受临床水平、阅片习惯及主观差异影响[13], 对于高位、多分支及隐匿性肛瘘, 二维影像易漏诊细小支管、定位

内口偏差,造成术前方案规划不当、病灶清除不彻底,进而诱发创面愈合延迟、病情复发及括约肌损伤等不良结局。

本研究纳入 48 例复杂性肛瘘患者,均分为对照组与观察组各 24 例。对照组采用传统二维 MRI 术前评估,观察组应用 3D-MRI 三维重建技术进行术前诊断及个体化手术方案设计。结果显示:观察组内口及瘘管整体检出率更高,手术耗时更短,术后临床及影像学未愈合率均低于对照组,组间差异有统计学意义。证实 3D-MRI 三维重建用于复杂肛瘘术前诊疗优势突出,可为临床精准手术开展提供可靠的参考依据。

4.2. 与传统二维 MRI 的对比及机制分析

本研究数据显示,二维 MRI 肛瘘原发内口检出率仅 77.08%,瘘管总检出率 83.93%。二维分层断面成像受限于平面化的信息维度,且若存在隐匿细小分支、深部瘘管及模糊炎性内口,难以完整呈现空间走行与分布范围,细微病灶漏诊、解剖辨识误差临床多见。

若术前无法准确定位内口及全部瘘管,术中难以彻底清除感染组织,残留病灶是术后复发的主要诱因。同时解剖辨识不清易造成术中盲目分离,损伤正常肛门括约肌,引发控便异常、肛周疼痛及创面愈合延长等并发症,增加患者身心负担,降低整体治疗效果。

三维影像技术为肛瘘手术实现精准化治疗提供了重要的技术支持[14]。该技术通过三维重建方式,能够直观且准确地呈现肛瘘走行、内口位置以及瘘管分支情况,极大优化了术前规划与术中定位的准确性[15]。在术前,通过 3D 建模,医师可以对病变的总体形态有一个全面的了解,并能预先规划出手术路径,从而减少不必要的检查过程,提高手术治疗效率。

4.3. 关键观察指标的分项讨论

本研究中,观察组采用 3D-MRI 辅助诊疗,内口及瘘管病灶检出率均显著高于对照组,差异具有统计学意义($\chi^2 = 5.352, P = 0.021; \chi^2 = 4.518, P = 0.034$)。这一差异主要源于 3D-MRI 的成像原理:3D-MRI 可通过多序列薄层扫描与三维重建,完整还原肛瘘病灶的空间走行、内口定位及分支延伸范围,清晰显示其与肛门括约肌、肛周间隙的立体毗邻关系,有效减少内口及细小分支瘘管的漏诊与误诊。

术后愈合情况显示,观察组临床及影像学未愈合率均低于对照组。究其原因,3D-MRI 的精准解剖导航可指导术者完整清除主瘘管及分支窦道,避免病变残留;同时可减少不必要的组织损伤,降低术后创面感染、愈合延迟及远期复发风险,有效改善患者预后。

手术相关指标提示,实验组平均手术操作时间显著短于对照组;而两组术后临床与影像学愈合时间差异无统计学意义。这一结果表明,3D-MRI 可直观呈现病灶整体三维构象,无需术者依靠经验主观重构解剖关系,简化术前评估与术中探查流程,提升手术效率;同时该技术仅优化影像评估与手术导航环节,并未干扰创面修复的生理病理进程,因此不会改变患者术后自然愈合节律,实现了肛瘘外科手术精准性与时效性的平衡。

4.4. 局限性分析

本研究存在以下局限性:第一,样本量较小,由于两组均为 24 名患者,因此研究结果的可靠性和可重复性受到一定的影响,一些无显著性差异的患者(如脓肿检出率、愈合时间等)还有待于扩大样本进行验证。未来研究应基于预期效应量、I/II 类错误概率(α, β)进行严格的样本量估算,以确保研究结果的可靠性。第二,本研究为单中心对照试验,病例来源单一,在病例筛选、影像阅片及手术操作上存在中心偏倚,结论推广性仍需多中心、大样本随机对照研究支撑。第三,仅观察短期疗效,缺乏 1 年以上长期随访,远期复发获益尚不明确。后续需开展大样本、前瞻性、多中心长期随访研究,进一步验证该技术的临床价值。

4.5. 临床意义与未来展望

相较于二维 MRI, 3D-MRI 能够更好地显示肛瘘的解剖结构, 提高病灶检出率, 优化手术过程, 减少手术时间, 减少并发症和术后复发的几率, 同时还能保持肛管功能, 减轻病人的精神和身体负担, 促进肛瘘诊疗的精准化和规范化。随着成像技术的进步, 3D-MRI 的操作更加简单、成本更低, 有望在今后的临床应用中得到更多的应用, 为肛肠科精准医学提供新的思路。

声 明

本研究获得湘南学院医学伦理委员会批准(批准编号 K202505601)。

基金项目

- 1) 国家级大学生创新计划训练项目(教高司函【2024】13号: S202410545009);
- 2) 湖南省普通本科高校教学改革研究重点项目(湘教通【2024】147号: 202401001417);
- 3) 湖南省新工科、新医科、新农科、新文科研究与实践项目(湘教通【2025】131号: 68);
- 4) 郴州市科技局研发中心项目(项目编号: 202004042018460926)。

参考文献

- [1] Charalampopoulos, A., Papakonstantinou, D., Bagias, G., Nastos, K., Perdikaris, M. and Papagrigoriadis, S. (2023) Surgery of Simple and Complex Anal Fistulae in Adults: A Review of the Literature for Optimal Surgical Outcomes. *Cureus*, **15**, e35888. <https://doi.org/10.7759/cureus.35888>
- [2] 黄捷敏, 石荣. 磁共振成像在复杂性肛瘘诊疗中的研究进展[J]. 中医临床研究, 2024, 16(36): 113-117.
- [3] Limura, E. and Giordano, P. (2015) Modern Management of Anal Fistula. *World Journal of Gastroenterology*, **21**, 12-20. <https://doi.org/10.3748/wjg.v21.i1.12>
- [4] Jhaveri, K.S., Thippavong, S., Guo, L. and Harisinghani, M.G. (2018) MR Imaging of Perianal Fistulas. *Radiologic Clinics of North America*, **56**, 775-789. <https://doi.org/10.1016/j.rcl.2018.04.005>
- [5] 许辉, 孔德伟. MRI 增强检查在复杂性肛瘘诊断中的价值研究[J]. 中国医药科学, 2022, 12(15): 142-146.
- [6] Verkade, C., Brouwers, L., Stijns, J., van Dal, V., Wasowicz, D.K., de Kieft, M., et al. (2024) Validation of a 3D-Printed Model of Cryptoglandular Perianal Fistulas. *Techniques in Coloproctology*, **28**, Article No. 59. <https://doi.org/10.1007/s10151-024-02925-3>
- [7] Guz, W., Özög, L., Aebisher, D. and Filip, R. (2021) The Use of Magnetic Resonance Imaging Technique and 3D Printing in Order to Develop a Three-Dimensional Fistula Model for Patients with Crohn's Disease: Personalised Medicine. *Gastroenterology Review*, **16**, 83-88. <https://doi.org/10.5114/pg.2020.101629>
- [8] Gandhi, N.D., Alibo, E.O. and Gipe, J.H. (2026) Anal Abscess and Fistula. *Surgical Clinics of North America*, **106**, 51-63. <https://doi.org/10.1016/j.suc.2025.08.012>
- [9] Zhang, H., Hu, H., Li, C., Ye, Y., Rong, M. and Yang, Y. (2022) Evaluation of Volume Changes Following Lateral Window Maxillary Sinus Floor Elevation Using Minics Software. *Annals of Translational Medicine*, **10**, 984-984. <https://doi.org/10.21037/atm-22-3110>
- [10] 廖建伟, 王文献, 何艳, 等. 高分辨率 MRI 多序列成像联合 MRVE 技术重建在复杂性肛瘘诊断中的应用价值[J]. 结直肠肛门外科, 2021, 27(5): 482-484.
- [11] Garg, P., Kaur, B., Yagnik, V.D., Dawka, S. and Menon, G.R. (2021) Guidelines on Postoperative Magnetic Resonance Imaging in Patients Operated for Cryptoglandular Anal Fistula: Experience from 2404 Scans. *World Journal of Gastroenterology*, **27**, 5460-5473. <https://doi.org/10.3748/wjg.v27.i33.5460>
- [12] 杨世磊. 经括约肌间瘘管结扎术与传统肛瘘切开术治疗低位单纯性肛瘘的临床疗效比较[J]. 临床普外科电子杂志, 2024, 12(1): 46-49.
- [13] Li, J., Chen, S.N., Lin, Y.Y., Zhu, Z.M., et al. (2021) Diagnostic Accuracy of Three-Dimensional Endoanal Ultrasound for Anal Fistula: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Turkish Journal of Gastroenterology*, **32**, 913-922. <https://doi.org/10.5152/tjg.2021.20750>
- [14] Ren, J., Bai, W., Gu, L., Li, X., Peng, X. and Li, W. (2023) Three-Dimensional Pelvic Ultrasound Is a Practical Tool for

the Assessment of Anal Fistula. *BMC Gastroenterology*, **23**, Article No. 134.
<https://doi.org/10.1186/s12876-023-02715-5>

- [15] 刘卫英, 邵志红, 刘梦, 等. 磁共振成像诊断肛瘘误诊或漏诊分析[J]. 同济大学学报(医学版), 2020, 41(3): 309-313.