

# 肛瘻的影像学研究进展

杜杨彪<sup>1,2\*</sup>, 王麒雅<sup>1,2</sup>, 唐浠桡<sup>1,2</sup>, 雷娟<sup>1,2</sup>, 邓文轩<sup>1,2</sup>, 张盛甫<sup>2,3,4</sup>, 罗宏标<sup>2,3</sup>, 胡芳<sup>1,2#</sup>

<sup>1</sup>湘南学院医学影像检验与康复学院, 湖南 郴州

<sup>2</sup>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

<sup>3</sup>郴州市肛瘻和肛周脓肿诊疗技术研发中心, 郴州市第一人民医院, 湖南 郴州

<sup>4</sup>广州中医药大学第一附属医院影像科, 广东 广州

收稿日期: 2026年5月13日; 录用日期: 2026年6月7日; 发布日期: 2026年6月17日

## 摘要

肛瘻(Anal fistula, AF)是肛肠外科常见的难治性疾病, 其中的复杂性肛瘻占肛瘻患者的33.5%, 具有较高的复发率及严重的并发症风险。其病因涉及隐窝腺体感染、解剖变异及克罗恩病等特殊病理机制, 临床上常表现为多个外口、高位瘻管及反复流脓, 非常容易影响患者生活质量。本文就近年来肛瘻的表现、影像学诊断进展进行综述, 重点分析各类技术的优势与局限性, 以及AI在肛瘻诊疗中的作用和展望。

## 关键词

肛瘻, 影像诊断, 人工智能

# Advances in Imaging Studies of Anal Fistula

Yangbiao Du<sup>1,2\*</sup>, Qiya Wang<sup>1,2</sup>, Xirao Tang<sup>1,2</sup>, Juan Lei<sup>1,2</sup>, Wenxuan Deng<sup>1,2</sup>,  
Shengfu Zhang<sup>2,3,4</sup>, Hongbiao Luo<sup>2,3</sup>, Fang Hu<sup>1,2#</sup>

<sup>1</sup>School of Medical Imaging, Testing, and Rehabilitation, Xiangnan University, Chenzhou Hunan

<sup>2</sup>School-Enterprise Cooperative Innovation and Entrepreneurship Education Base for Medical Imaging Technology, Shandong Lerun Information Technology Co., Ltd., Xiangnan University, Chenzhou Hunan

<sup>3</sup>Chenzhou Municipal Research and Development Center for Anorectal Fistula and Perianal Abscess Diagnosis and Treatment, First People's Hospital of Chenzhou, Chenzhou Hunan

<sup>4</sup>Department of Imaging, First Affiliated Hospital of Guangzhou University of Chinese Medicine, Guangzhou Guangdong

Received: May 13, 2026; accepted: June 7, 2026; published: June 17, 2026

\*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 杜杨彪, 王麒雅, 唐浠桡, 雷娟, 邓文轩, 张盛甫, 罗宏标, 胡芳. 肛瘻的影像学研究进展[J]. 临床个性化医学, 2026, 5(3): 206-215. DOI: 10.12677/jcpm.2026.53201

## Abstract

**Anal fistula (AF) is a common refractory disease in anorectal surgery, with complex anal fistulas accounting for 33.5% of cases, characterized by a high recurrence rate and a risk of severe complications. Its etiology involves specific pathological mechanisms such as crypt gland infection, anatomical variation and Crohn's disease. Clinically, it often manifests as multiple external openings, high-level fistulas, and recurrent purulent discharge, significantly impacting patients' quality of life. This article infestations and recent advances in imaging diagnosis of anal fistulas, focusing on the advantages and limitations of various techniques, as well as the role and prospects of artificial intelligence in the DND treatment of anal fistulas.**

## Keywords

**Anal Fistula, Imaging Diagnosis, Artificial Intelligence**

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

肛瘘(anal fistulas, AF)是肛肠外科常见的难治性疾病, 临床表现为反复发作的肛周脓肿、疼痛和分泌物。据文献报道, 肛瘘发病率约为 1~2/10,000, 男性多于女性, 其治疗和诊断目前尚无统一的金标准, 一直是临床面临的重大挑战[1] [2]。与单纯性肛瘘相比, 复杂性肛瘘则具有更高的复发率和肛门失禁风险, 长期存在的复杂肛瘘还存在恶变情况, 虽然发生率极低(约 0.1%), 但临床诊断困难, 需要高度警惕[3]。因其不能准确定位瘘管内口、对瘘管走向和有无分支判断不清, 对瘘管或个别无效腔处理不彻底等原因, 使术中遗漏病灶, 导致术后容易复发(0%~26.5%)。再加上该病常累及肛管直肠环, 传统的指诊、探针等方法容易触及从而呈现僵硬状态, 导致诊断常受限[4] [5]。

当前国内外的研究热点主要集中在括约肌保留技术[6]、新型材料应用[7]和微创方法[8]等方面, 但各种方法在复杂病例中的愈合率仍不理想(多数在 50%~75%之间) [9], 部分原因是提供的影像学诊断信息不充分, 医生无法全面评估患者的整体情况。在此背景下, 如何提高肛瘘的诊断效率和改善肛门功能的预后就成为主要难题。近几年来, 各种影像学诊断技术的革新发展以及 AI 融合应用为破解这些难题提供了新思路。现据此进行详细的综述。

## 2. 解剖与病生理机制

### 2.1. 解剖结构

内口、瘘管与外口构成了肛瘘结构, 其中内口不仅是该病的源头, 也是药物和手术治疗的关键部位。大约 90%的肛瘘是因肛腺感染引发肛门周围脓肿。当脓肿破裂或引流后, 在肛管与肛门周围皮肤两者之间形成的慢性或者感染性的异常通道即为肛瘘[10] [11], 但复杂病例常常涉及多重因素反复感染导致的纤维化、分支瘘管形成以及肛门括约肌复合体的解剖变异[12]。最新研究提出脂肪组织分泌的脂肪因子在隐窝腺体型肛瘘的炎症反应和发病机制中发挥着重要作用[13], 脂肪组织的介入也许解释了为何某些病例会演变成为复杂性瘘管。肛瘘的临床表现也与其具体的解剖位置相关, 高位肛瘘往往伴随严重的疼痛和

肿块，而低位的肛瘘症状可能不明显，容易被忽视。特别是复杂性肛瘘大多包含多个内口和外口，位置可以高至肛门直肠环的上方[14] [15]，且时常穿越括约肌复合体，临床表现更为多变，严重且难以治愈。其在肛瘘的演变过程中也有较大的影响[6]。

## 2.2. Parks 分类系统

是临床应用最广泛的肛瘘解剖分型标准，Park 分类最初于 1976 年在 MRI 或 EAUS 等先进成像技术发明之前建立。2000 年，St James University 的分类结合了 MRI，补充了 Park 的分类。然后，Garg 分类于 2017 年建立。作者们根据肛瘘的复杂性和治疗程度对肛瘘进行分类，最后将肛瘘划分为四类：括约肌间型、经括约肌型、括约肌上型和括约肌外型[16]。不同类型的肛瘘对应着不同的治疗策略。例如，括约肌间型肛瘘通常通过简单的切开或瘘管切除术即可治愈，而经括约肌型则面临更高的术后并发症风险，如排便失禁。这一分类系统基于瘘管与肛门括约肌复合体的关系，对临床医生选择何种手术方式具有重要指导意义。

## 2.3. 解剖学标志

近年来，一些新的解剖结构概念被提出以更精确描述肛瘘的复杂解剖关系。DPIS (deep postanal intersphincteric space)和 DPAS (deep postanal space)是两个重要的解剖学标志，DPIS (肛管后深间隙)位于肛管后方的肛门内外括约肌之间，而 DPAS (肛后深间隙)位于肛提肌下方的肛尾韧带和直肠后壁之间，两者均与复杂性肛瘘，特别是马蹄形肛瘘有着密切联系[16]。马蹄形肛瘘之所以呈现特殊走行的方式，正是由于感染通过这些深部间隙在肛周环形扩散。更重要的是，这些深部间隙形成了一个连接双侧坐骨直肠窝和肛管后方的通道，使得感染能够绕过传统的解剖屏障，造成更广泛的病变。因此这些深部间隙的识别有助于理解肛瘘的扩展路径，特别是对于复发性和复杂性肛瘘的机制解释。

## 3. 肛瘘的影像学诊断进展

肛瘘的影像学检查方法多种多样，目前以超声、磁共振成像(MRI)、计算机断层扫描(CT)为主要的检查方法，临床上瘘管造影应用较少。

### 3.1. CT 检查

基于计算机断层成像技术(CT)可作为一种相对折中的诊断方式，不仅具有比 MRI 设备在地方医院的普适性，而且具有比直肠内超声较低的侵入性等优势，目前主要用于评估合并盆腔脓肿或炎症性肠病的情况[17]。由于常规的 CT 二维图形不能将瘘管全貌显示在同一平面，再加上不同临床医生对于二维图像的认识和想象存在一定的偏差，目前大多数肛瘘的 CT 检查往往采用 MSCT 扫描。高分辨率 CT 在显示骨质结构方面具有独特的优势，能够清晰地描绘出肛周区域的解剖结构。通过高分辨率的成像，MSCT 可以提供肛门周围骨骼的详细影像，帮助医生判断是否存在骨髓炎或骨侵犯等并发症[18]。肖高力[19]等研究表明 MSCT 可以通过高分辨率成像和三维重建技术来提供瘘管走行的立体图像进一步准确定位肛瘘内口(准确率 90.12%)、瘘管(92.31%)及脓肿(95.83%)。首先内口定位的准确性对于手术成功至关重要，因为遗漏内口是肛瘘复发的主要原因之一。因此通过 MSCT 中的后处理技术特别是 CPR 技术，能够沿着瘘管走行的方向追踪至肛管内壁，帮助确定内口的具体定位。与 MPR 提供的二维图像不同，VR 技术生成的三维图像能够提供更加直观、立体的视觉效果，帮助外科医生在脑海中构建瘘管的空间构象，VR 通过将肛瘘组织各个成分进行像素分类，突出显示瘘管、脓腔等结构，弱化周围组织干扰，高度适用于马蹄形肛瘘这类不走行于单一平面且环绕肛管的复杂性肛瘘。有研究经检验发现螺旋 CT 三维重建技术与 MRI 在肛瘘分级、内口及瘘管检出等方面无差异，成本低且操作便捷，适合资源有限的环境，一定程度上可

以替换 MRI 进行检查,更是在显示“Y”型、“U”型窦道走行上具有较高特异性[20] [21]。刘杰[22]等人的研究则对比了 MSCT 联合三维重建与直肠腔内超声(EAUS),发现前者对内口和瘘管的检出准确率更高(98.39% vs 88.71%; 97.30% vs 89.19%),尤其在复杂分支的显示上更具优势。可以体现出 CT 在肛瘘诊断上的一种折中性选择。

但是部分研究也指出 CT 对细小分支(<2 mm)的漏诊率较高[21]。尤其是在阻塞/不成熟的瘘管中,由于炎性分泌物粘稠度高造影剂通过受阻,这些内口和瘘管往往无法完全地被显示出来,再加上 CT 本身较低的软组织分辨率使得图像上难以区分肛门周围肌肉的解剖结构关系,对影像诊断的效率影响较大[23]。其中肛门括约肌复合体作为控制排便的重要结构,在 CT 图像上常常难以区分其解剖层次,也成为外科医生制定手术方案时评估括约肌损伤风险的难题。另外一项对比研究也显示,CT 在肛瘘诊断中的准确性(约 70%)低于 MRI (90%以上),且对括约肌复合体的显示不够理想,无法可靠地区分活动性瘘管和术后瘢痕[17],使 CT 在评估疾病活动性和鉴别术后改变方面存在局限性,可能会影响治疗策略的选择和预后评估。

### 3.2. 超声

超声以实时动态地观察、无辐射且成本较低的特点,特别适合手术引导和随访。在诊断方面,传统的直肠超声(TRUS)对复杂性肛瘘的分支、内口和 Parks 分型的诊断准确率仅为 18.91%,尤其是难以清晰显示高位瘘管和深部脓肿[24]。因图像的视野局限、操作者的依赖性强的特点导致结果的可重复性差,难以满足手术规划的需求。相较于传统经体表的超声检查,3D-TRUS 在术前评估中与 MRI 和手术结果相比具有良好的一致性[1]。在声像图的表现上,瘘管通常表现为条索状的低回声结构,内口则表现为黏膜下层强回声线的连续性中断,虽具有一定的典型性,但仍然面临着一些固有的挑战:慢性瘘管的管壁纤维化及瘢痕组织在常规超声上均可表现为低回声或无回声,声学特征重叠显著,因此仅凭回声强度难以实现可靠的鉴别。有学者的研究发现对比增强超声(contrast-enhanced ultrasound, CEUS)具有一定的诊断价值,一是图像中流动的线状强回声可代表走形的瘘管,操作者能够动态观察这些瘘管的血流灌注情况,鉴别活动性瘘管和术后肉芽组织,将瘘管病变和假阴性瘘管显影[25]。二是 CEUS 的动态评估能力使医生可以重新理解肛瘘的病理进程。即使是在形态学上看似愈合的瘘管,CEUS 仍可能检测到持续的低速血流,这也解释了为何某些病例在术后会出现复发——传统方法可能低估了疾病的实际活动范围。杨海艳[26]等文献报道称高频超声结合经肛管超声对肛瘘/肛门周围囊肿内口、主管、支管检出率均达到 98%以上,同时彩色多普勒也能够动态观察肛门周围组织的血流情况,评估肉芽组织增生的范围。两种方法都能间接说明血流动力学差异能够作为一种鉴别肛瘘活动度的客观指标。

在术后括约肌损伤评估中,吴许雄等人将 92 例复杂性肛瘘术后患者进行了 EAUS 和 3D-HRAM 两种检查结果分析,发现 EAUS 对于肛瘘的括约肌损伤的诊断效能和定位准确率(71.64%)均优于 3D-HRAM (44.77%),但对失代偿病例的诊断效能与 3D-HRAM 相近,研究认为 3D-HRAM 诊断敏感性与肛门直肠的三维空间包括的肌群压力的均值有关,当括约肌在代偿时,3D-HRAM 检测出的肌群压力均值未减弱而显示为正常的功能性解剖学形态,因此诊断的特异性不高。换句话说,3D-HREA 更适合反映盆底区域的整块生物力学状态而非精确的微观解剖结构。

### 3.3. 瘘管造影技术

瘘管造影(fistulography)作为肛瘘的传统检查方法,是通过向瘘管外口注入造影剂并拍摄 X 线片来显示瘘管走向。在支气管胆管瘘等特殊类型瘘管的诊断中,瘘管造影具有一定的诊断价值[27]。然而在常规肛瘘中的瘘管造影因其空间分辨率低而应用相当受限,多年来,国内外医师常选用 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 作为肛瘘超声造影剂,图像显示清晰度欠佳,存在假阳性情况[28]。有学者研发的新型的过氧化氢增强 MRI 瘘管造影

(HP-MRI)技术,通过将3%过氧化氢与钆对比剂混合后注入瘘管,并在60例复杂/复发性肛瘘患者中进行评估,结果显示该技术能提高瘘管显示的清晰度[29]。这一技术能清晰显示瘘管走向、分支及内口位置,尤其适用于复杂和复发性肛瘘的诊断[30]。相比于H2O2造影剂不仅对直肠黏膜刺激性较强,易导致患者病灶处疼痛,且其产生的不稳定气泡还能够影响周围组织的显示,声诺维混悬液[31]作为造影剂则以其安全性好,对黏膜刺激少,声学特性稳定更具优势,但因价格昂贵而推广受限。

当下造影技术的应用主要是MRI瘘管造影(MR fistulography),例如有学者将MRI钆剂瘘管造影与DCE-MRI联合使用发现可以明显减少主内口、分支瘘口、细小分支瘘管漏诊率和填补高位肛瘘中微小病灶的诊断难题[32]。而另一种新型瘘管成像方法是腔内MRI(intraluminal MRI),是通过优化线圈设计和成像序列,提高了瘘管壁和周围结构的显示分辨率,研究表明,该方法可清晰地显示传统MRI难以发现的微小瘘管和隐蔽性脓肿,对降低术后复发率有重要意义[30]。尽管新型瘘管造影技术显示出良好的应用前景,但其操作相对复杂,且需要专用设备和造影剂,目前仅在少数医疗中心开展[29]。随着超声和MRI技术的发展,瘘管造影的应用范围已显著缩小,目前主要作为其他影像方法的补充,或在资源有限地区使用。

### 3.4. MRI 检查

主要通过其高分辨率的软组织对比来展示肛瘘的复杂性。MR-based的肛瘘分类系统,尤其是Parks分类法,已被广泛应用于临床中,石峰在2023年通过选取经手术证实的肛瘘患者进行MRI平扫及GD-DTPA增强扫描,分析患者MRI图像特征并进行Parks分型,发现术前MRI能够准确诊断肛瘘的内口、瘘管及外口,与手术结果高度一致[33],也证实了MRI在肛瘘诊断中的可靠性。MRI虽然可以通过多方位的扫描,明确肛门外口情况,但仍然需要借助括约肌间的脓肿位置、瘘管走向等进行判断,少数内瘘口尤其是小内口、支瘘管在MRI图像显示的对比效果不明显,再加上检查时长及性能等多因素影响,诊断的特异性不高[25][34]。除此之外,复杂性肛瘘的瘘管走行复杂,位置深浅及支道所波及范围不定,导致术后肛门外口缺损风险大[35]。相关数据统计,45%的复杂性肛瘘术后复发归因于外科医生无法精确定位括约肌间平面内的瘘管,即使采用MRI导航,仍有18%~25%的病例发生不同程度肛门外口失禁[36]。

#### 3.4.1. MRI 常规序列

常规肛瘘MRI序列包括:T2加权像(显示瘘管高信号)、T1加权像(评估骨髓浸润)、脂肪抑制序列(提高炎症组织检出率)以及动态增强扫描(DCE-MRI)[37]。常规患者的活动性瘘管内部由于存在肉芽增生组织与脓性分泌物,在T1WI呈现囊状低信号特征,信号强度显著低于邻近肌肉组织。在T2WI序列中,因液体成分(如脓液和组织液)的T2弛豫时间较长均表现为明显的高信号特征;非活动性瘘管及周围组织由于以纤维化组织为主,细胞成分少、胶原含量高,水分含量较低,在T1WI和T2WI序列均呈现低信号,在T2WI上瘘管与周围组织的解剖学界限不清可能会导致瘘管准确性不全[38]。临床上采用PDW-FS序列能减少高信号的脂肪组织干扰,显示非活动性瘘管的纤维化壁与周围脂肪组织的界限,表现出较高的诊断率[39]。但该序列下的活动性瘘管因富含液体和炎性细胞也往往表现为高信号,难以区分。因此通过动态增强MRI(DCE-MRI)连续采集对比剂灌注过程可以发挥关键作用[40]。研究显示,活动性瘘管表现为早期快速强化,而肉芽组织则呈现缓慢渐进性强化模式,这一特征对术后随访和复发判断有重要价值[40][41]。CD相关肛瘘的活动期瘘管壁显示的高灌注和高通透性也正对应DCE-MRI定量参数中容积转移常数(K<sub>trans</sub>)和速率常数(K<sub>ep</sub>)值的升高。DCE-MRI通过量化这些差异,有助于精确识别需要积极抗感染治疗的目标区域,避免对非活动性瘘管的过度干预。同时这些参数与血管内皮生长因子(VEGF)表达水平呈正相关,为抗血管生成治疗提供监测指标。

### 3.4.2. MRI 功能序列

相比于常规 MRI 而言, MRI-DWI 操作更为简便, 因其背景抑制作用使得肛门周围脓肿等炎性组织弥散受限表现为低信号, 间接反映组织结构和细胞密度变化, 还能检查出复杂性肛瘘中不同解剖位置的瘘管[42]。徐新庭等人通过将 106 例疑似肛瘘患者诊断结果进行分析, 结果显示 DWI-MRI 联合钆剂瘘管造影联合动态增强 MRI (DCE-MRI)能观察到高位复杂性肛瘘患者微细瘘管内口, 动态观察瘘管周围的血供及炎症活动, 对活动性感染的诊断价值突出[43]。一项对比了 DWI + T2 STIR 与增强 MRI 的诊断效能, 发现两者在瘘管检测方面相当, 但 DWI 在鉴别活动性病变方面更具优势, 并且在肛周脓肿的检测上可以作为增强脂肪抑制 T1-WI 的替代方法[44]。除此之外, 扩散加权成像(DWI)中的表观扩散系数(ADC), 在鉴别活动性与非活动性瘘管方面表现出色, 活动性瘘管的 ADC 值通常显著低于疤痕组织。一项系统评价纳入 5 个数据库的研究表明, DWI/ADC 对活动性瘘管的诊断敏感性为 86%, 特异性为 89% [45]。但各中心采用不同的 b 值(500~1000 s/mm<sup>2</sup>)、扫描时相(动脉期定义)和 ROI 选取方法[43] [44], 导致研究间异质性增大, 说明即使用相似的 DWI 序列测量所得的 ADC 值也会有差异。目前 QIBA 指南推荐统一 b 值(800 s/mm<sup>2</sup>)以提高数据可比性。

弥散张量成像(DTI)扩展了 DWI 的应用, 以检测水分子自由扩散的各向异性和强度为基础, 通过测量 FA 值和 ADC 值来间接反映瘘管的活动性。研究显示活动性肛瘘 AF (0.134 ± 0.046)和 ADC 值(0.979 ± 0.441) × 10<sup>-3</sup> mm<sup>2</sup>/s 显著低于非活动性肛瘘(FA 值: 0.183 ± 0.057; ADC 值: 1.393 ± 0.256) × 10<sup>-3</sup> mm<sup>2</sup>/s (P < 0.01) [46]。正常盆底肌肉的 FA 值常常高于肛瘘患者的 FA 值, FA 值的减小能够反映出炎症细胞对局部组织结构的破坏程度, 在活动期这些数值差异明显, 而静止期由于组织修复导致扩散能力恢复数值差异变小。在复杂性肛瘘, 特别是累及括约肌复合体的病例中, DTI 能够显示瘘管与括约肌的关系, 通过计算 FA 变化率预测术后肛门功能损伤风险。但 DTI 假设扩散为高斯分布, 实际上肛瘘组织存在非高斯分布, 目前多引用扩散梯度成像(DKI)做进一步诊断。

### 3.4.3. St. James 影像学诊断分级

St. James 分级系统是指在结合 MRI 等影像技术下将肛瘘进一步细分为五型: I 型——单纯性括约肌间瘘; II 型——括约肌瘘未达坐骨直肠窝; III 型——括约肌瘘伴坐骨直肠窝脓肿; IV 型——复杂经括约肌瘘或马蹄形瘘; V 型——额外存在骨盆或直肠周围脓肿[47]。这一系列分级有助于肛瘘的预后评估和治疗选择。一项研究根据数据显示, St. James 分级与临床结局紧密相关, 不同级别的瘘管有着不同的临床特征, 比如 IV 型瘘管往往有较多的次级路径, 而 II 型瘘管则伴随着大量脓肿, 且 IV~V 型瘘管的术后复发率(约 35%~50%)明显高于 I~III 型(10%~15%) [48]。

然而传统的 St. James 分级主要基于形态学特征, 无法动态反映瘘管内的炎症活动状态、组织代谢活性以及免疫微环境变化, 而这些因素恰恰是影响瘘管进展、治疗反应和复发风险的关键。所以只有结合影像手段进行分析, 例如 MRI 不仅能准确判断 St. James 分级, 还能识别传统检查难以发现的附加特征。一项纳入 115 例患者的研究系统应用 St. James 分级, 发现 MRI 对脓肿检出的敏感性为 98%, 对继发瘘管分支的检出率为 91%, 显著改变了 38%患者的原定手术方案[49]。另一项 PET/MRI 研究显示, 不同 St. James 分级的瘘管标准摄取值(SUV)存在显著差异: I 级平均 SUV = 6.2 ± 1.8, III 级 = 12.4 ± 3.5, V 级 = 16.1 ± 4.3 (p < 0.001), 且 I 级瘘管的最大摄取值(SUV<sub>max</sub>)显著低于 2 级和 4 级瘘管, 这些数值的差异代表不同级别肛瘘的代谢活性, 提示 St. James 分级系统与炎症活动度直接相关[50], 随着 St. James 分级的增加, 瘘管的代谢活动性也显著增强, 反映出炎症程度和解剖复杂性的内在联系。

## 3.5. 人工智能(AI)

传统肛瘘图像解读依赖医生的经验。目前 AI 通过深度学习算法能够自动检测和分割瘘管、提取定量

的图像特征并生成结构化报告。在 MRI 的诊断方面,有研究开发了专门的 3D Slicer 软件插件,该软件能够根据 MRI 提供的图像生成参数化的模型,将肛瘘所受累的肛提肌、内括约肌和外括约肌表现为管状结构,从而更精确地描绘出复杂肛门周围瘘的相关解剖结构[51]。而且 AI 通过深度学习模型(如 ResNet-34、CVT-HNet 模型)中迁移学习和数据增强方法,能够克服肛瘘影像图像数量少的缺点。例如迁移学习利用在大型自然图像数据集(如 ImageNet)上预训练的模型作为特征提取器,再通过微调使其适应肛瘘影像的特殊特征;数据增强则通过旋转、缩放、对比度调整等变换扩充训练样本,提高模型的泛化[52]。该系统可标注出内口的可能位置并按概率排序,同时也提示相关影像特征(如括约肌浸润程度、炎症活动性等),能够使医生在有限的条件下实现较高的分类和分割精度。但当前的 3D 模型的诊断敏感度可能受到盆底肌及括约肌损伤代偿机制的影响,例如高分辨肛门直肠压力测定(three dimensional high-resolution anorectal manometry, 3D-HRAM) [53],构建的模型图像可能通过各肌群的肌力互补代偿,往往表现为正常的肛门解剖结构。

针对肛瘘复发风险, AI 可整合临床参数(如 CRP、病史时长)与肛瘘患者的影像特征,构建复发风险预测的模型以及判断肛瘘的复杂程度。在克罗恩病相关肛瘘中, AI 模型将 MRI 图像上瘘管的强化情况归纳至 AI 系统内进行活动评分以及患者的临床特征(例如 T2 加权成像上的信号强度)转化为可量化的疗效预测指标来综合分析,根据 DWI-MRI 显示的纹理特征预测抗 TNF 治疗反应,具有较高的特异性,但缺乏大数据支持,目前研究仍在进行中[54]。一项研究团队基于单变量分析的结果,通过将 CNR、ADC、饮酒史和超括约肌瘘这些单变量的愈后因子引入自主研发的瘘愈合的预测模型进行多变量逻辑回归分析,并使用列线图来显示该模型,以及采用决策曲线分析和校准曲线评估预测模型的性能,结果表明这些因子能够对肛瘘的愈合产生负面影响,可以用来评估早期肛瘘的愈合活动[41]。

特别值得关注的是近年兴起的多模态融合技术。有文献[55]报道了一种结合 MRI、超声和临床数据的混合 AI 系统,尤其是在术前规划建议上,与专家决策的一致性能达到 85%。这种系统不仅能识别肉眼难以察觉的微小瘘管分支,还能根据既往相似的病例的转归数据,为某些患者推荐个性化治疗方案。总体来说这种多模态融合策略不仅提高了预测准确性,更重要的是揭示了不同因素间的交互作用,如长期病史患者虽然炎症指标不明显,但瘘管纤维化程度高,需要更彻底的手术干预。

#### 4. 挑战与争议

当下肛瘘的诊断及治疗存在局限,一是关于最近的 MRI 扫描方案的争论,高分辨的 MRI 较低场强的 MRI 软组织显然分辨率更高,能够扫描到一些高位复杂性的肛瘘及其微小隐匿的内口,再联合 DCE 序列能够将瘘管周围的炎症区域扫描出来,能使得医生的诊断效率提高,但整个过程容易受扫描序列、扫描方位、肠道准备等一系列影响,造成影像结果的可比性下降。二是肛瘘的术后管理,特别是复杂肛瘘的高复发率和肛门功能保护问题[2] [12],肛瘘术后的创面愈合过程中,术区会出现肉芽组织增生、浸润、纤维化等一系列的生理性修复,本身可以表现为 T2WI 高信号,且增强扫描可见轻度异常强化,与肛瘘活动性感染复发、隐匿残腔及支管化脓性炎症这些疾病造成的残留积液、脓肿或者炎性组织增生在影像图像上的表现相似,极易混淆,可能使得医生将肛瘘愈合过程误诊为感染复发,盲目采用过量抗生素或是二次手术治疗,可能影响肛门功能的恢复甚至造成肛瘘的复发。

#### 5. 总结与展望

综上所述,近年来肛瘘(AF)的影像学诊断取得了有效的进展,各种影像诊断技术不断优化及 AI 技术的融合应用更是大大提升了肛瘘疾病诊断的精准性与效率,但是临床上要结合具体情况去分析,以此来选定最适宜的影像学检查途径,例如简单的肛瘘,3D-EAUS 可以作为首选,因为其操作简单、费用较低

且效果良好。然而,针对复杂肛瘘患者,MRI则更为合适,因其能够提供更为全面详细的解剖信息,帮助外科医生制定更有效的手术计划,增进肛瘘术前诊断的正确比率和病情评估程度[4]。后续也需要建立关于肛瘘的统一的影像学和功能的评估标准[48]。

AI算法是肛瘘诊断中产生的新途径,是通过优化影像诊断和手术导航,提高治疗效果以及预后评估的精准度[56][57]。然而,这些新兴技术在临床广泛应用前仍面临一些挑战。AI算法的训练也需要经过大量高质量数据的验证,且在不同医疗中心的普适性有待考察[41][56]。未来研究应关注如何进一步优化这些技术,降低生产成本,缩短模型制备时间,并开发更智能化的手术导航系统。

## 基金项目

国家级大学生创新计划训练项目(教高司函【2024】13号:S202410545009);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);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);郴州市医学3D打印技术研发中心市科技局研发中心项目(项目编号:202004042018460926)。

## 参考文献

- [1] 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>
- [2] Charalampopoulos, A., Papakonstantinou, D., Bagias, G., Nastos, K., Perdikaris, M. and Papagrigroriadis, 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>
- [3] Zhu, X., Zhu, T., Ye, D. and Liu, S. (2020) Magnetic Resonance Imaging Findings of Carcinoma Arising from Anal Fistula: A Retrospective Study in a Single Institution. *World Journal of Clinical Cases*, **8**, 5159-5171. <https://doi.org/10.12998/wjcc.v8.i21.5159>
- [4] 郑妍, 王建民. 复杂性肛瘘诊断的影像学研究进展[J]. 中医药临床杂志, 2017, 29(12): 2005-2009.
- [5] 王倩, 邹贤军. 克罗恩病肛瘘的外科诊治现状[J]. 临床外科杂志, 2023, 31(6): 521-523.
- [6] Li, M., Fang, X., Zhang, J. and Deng, H. (2022) Internal Orifice Alloy Closure—A New Procedure to Treat Anal Fistula. *Frontiers in Surgery*, **9**, Article 881060. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2022.881060>
- [7] Deng, H., Li, M., Fang, X., Zhang, J., Wang, J., Tang, K., et al. (2023) Evaluation of the Mechanical Properties and Clinical Application of Nickel-Titanium Shape Memory Alloy Anal Fistula Clip. *Frontiers in Surgery*, **10**, Article 1235666. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2023.1235666>
- [8] La Torre, M., Goglia, M., Micarelli, A., Fiori, E., D'Andrea, V., Grossi, U., et al. (2023) Long Term Results of Video-assisted Anal Fistula Treatment for Complex Anal Fistula: Another Shattered Dream? *Colorectal Disease*, **25**, 2017-2023. <https://doi.org/10.1111/codi.16732>
- [9] Garg, P. (2022) Comparison between Recent Sphincter-Sparing Procedures for Complex Anal Fistulas-Ligation of Intersphincteric Tract vs Transanal Opening of Intersphincteric Space. *World Journal of Gastrointestinal Surgery*, **14**, 374-382. <https://doi.org/10.4240/wjgs.v14.i5.374>
- [10] 张雷. 肛瘘是怎么形成的[J]. 家庭百事通, 2025(4): 36-38.
- [11] 朱静怡, 张玲, 何笠, 等. 复杂性肛瘘内口病理特征和局部黏膜微生物群落特征的初探[J]. 结直肠肛门外科, 2023, 29(1): 53-61.
- [12] Ji, L., Zhang, Y., Xu, L., Wei, J., Weng, L. and Jiang, J. (2021) Advances in the Treatment of Anal Fistula: A Mini-Review of Recent Five-Year Clinical Studies. *Frontiers in Surgery*, **7**, Article 586891. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2020.586891>
- [13] Włodarczyk, M., Włodarczyk, J., Maryńczak, K., Waśniewska-Włodarczyk, A., Dziki, Ł. and Fichna, J. (2024) The Impact of Adipose Fat Tissue on the Pathogenesis of Crypto-Glandular Anal Fistula. *Polish Journal of Surgery*, **96**, 12-17. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0054.4682>
- [14] Fan, Y., Yu, Z., Xu, C., Wang, J. and Hu, T. (2024) A Surgical Resection of Giant Perianal Mass Secondary to Complex Anal Fistula: A Case Report. *Journal of Surgical Case Reports*, **2024**, rjae514. <https://doi.org/10.1093/jscr/rjae514>

- [15] Wang, Y., Wang, Y., Jia, X., Yan, Q. and Zheng, X. (2024) High Complex Anal Fistula Managed by the Modified Transanal Opening of the Intersphincteric Space via the Inter-Sphincteric Approach: A Case Report. *World Journal of Radiology*, **16**, 552-560. <https://doi.org/10.4329/wjr.v16.i10.552>
- [16] Kim, H.C. and Simianu, V.V. (2024) Contemporary Management of Anorectal Fistula. *Surgery Open Science*, **17**, 40-43. <https://doi.org/10.1016/j.sopen.2023.12.005>
- [17] Arkenbosch, J.H.C., van Ruler, O., de Vries, A.C., van der Woude, C.J. and Dwarkasing, R.S. (2025) The Role of MRI in Perianal Fistulizing Disease: Diagnostic Imaging and Classification Systems to Monitor Disease Activity. *Abdominal Radiology*, **50**, 589-597. <https://doi.org/10.1007/s00261-024-04455-w>
- [18] Liang, C., Wu, Y., Wang, L., Bai, J., Wang, D. and Zhao, F. (2025) Adoption of Enhanced Multislice Spiral Computed Tomography Combined with Magnetic Resonance Imaging in Staging and Preoperative Assessment of Colon Cancer Patients. *Bio-Medical Materials and Engineering*, **36**, 279-286. <https://doi.org/10.1177/09592989251335125>
- [19] 肖高力, 张娟, 李琰. 多层螺旋 CT 三维重建与瘘管造影在复杂性肛瘘诊断中的临床价值[J]. 生命科学仪器, 2025, 23(2): 50-52.
- [20] 刘汉舟, 胡金灵. 螺旋 CT 三维重建技术在基层医院复杂性肛瘘诊断中的价值[J]. 医学信息, 2023, 36(4): 105-107.
- [21] 王志涛, 鲁振锋. CT 瘘管造影及三维重建在复杂性肛瘘中的应用价值探讨[J]. 浙江医学, 2021, 43(2): 227-230.
- [22] 刘杰, 王峰, 董玉龙, 等. 多层螺旋 CT 联合三维重建技术诊断复杂性肛瘘的效果[J]. 中国医学创新, 2019, 16(21): 110-113.
- [23] 吴建东, 李俊华. 复杂性肛瘘的 CT、MRI 诊断价值分析[J]. 影像研究与医学应用, 2023, 7(12): 182-184.
- [24] Gou, B., Zhang, J., Chen, L., Xin, F., Zhou, J., Xu, Q., et al. (2022) Comparison of the Diagnostic Accuracy of Percutaneous Fistula Contrast-Enhanced Ultrasound Combined with Transrectal 360° 3-D Imaging and Conventional Transrectal Ultrasound in Complex Anal Fistula. *Ultrasound in Medicine & Biology*, **48**, 2154-2161. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2022.06.013>
- [25] 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.
- [26] 杨海艳. 高频超声结合经肛管超声在肛周脓肿和肛瘘中的诊断价值[J]. 影像研究与医学应用, 2025, 9(2): 174-176.
- [27] Thuong Vu, L., Minh Duc, N., Tra My, T., Tan Lien Bang, M., Tuan Linh, L. and Quynh Huong, T. (2021) Congenital Bronchobiliary Fistula: A Case Report and Literature Review. *Respirology Case Reports*, **9**, e00731. <https://doi.org/10.1002/rcr2.731>
- [28] 杨军, 张志轶, 沈文龙, 等. 经会阴三维超声检查联合 Sonazoid 瘘管造影对肛瘘的诊断价值医学影像学杂志[J]. 2024, 34(11): 105-108.
- [29] Chang, C., Qiao, L., Zhang, Z., Tian, X., Zhang, Y., Cheng, W., et al. (2025) High-resolution Direct Magnetic Resonance Imaging Fistulography with Hydrogen Peroxide for Diagnosing Anorectal Fistula: A Preliminary Retrospective Study. *World Journal of Radiology*, **17**, Article ID: 101221. <https://doi.org/10.4329/wjr.v17.i1.101221>
- [30] Karmakar, R., Gupta, D., Mukundan, A. and Wang, H. (2025) Hydrogen Peroxide-Enhanced Magnetic Resonance Imaging: A Novel Approach for Diagnosing Anorectal-Fistula. *World Journal of Radiology*, **17**, Article ID: 105777. <https://doi.org/10.4329/wjr.v17.i3.105777>
- [31] 谢林, 胡浩清, 费维, 等. 经肛周二维及三维超声联合瘘管造影在合并肛门狭窄的肛瘘患者中的临床应用价值[J]. 中国中西医结合影像学杂志, 2022, 20(4): 364-369.
- [32] 王军大, 崔渺, 李艳艳, 等. MRI 钆剂瘘管造影与 DCE-MRI 联合使用对高位复杂型肛瘘细小分支瘘管及瘘口的诊断价值[J]. 重庆医科大学学报, 2018, 43(01): 60-65.
- [33] 石峰, 高原, 王昕, 等. MRI 在肛瘘诊断及 Parks 分型中的应用价值[J]. 中国 CT 和 MRI 杂志, 2023, 21(10): 155-158.
- [34] 张敏怡, 唐平, 任德圣, 等. MRI 在复杂性肛瘘术前诊断中的应用价值[J]. 中国 CT 和 MRI 杂志, 2024, 22(10): 136-137.
- [35] 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/OL]. 中医临床研究: 1-5. <https://link.cnki.net/urlid/11.5895.r.20241226.1116.004>, 2026-06-04.
- [36] Tao, Q., Tang, Y., Luo, Y., Li, D., Lu, R., Zheng, Z., et al. (2024) Comparison of Multi-Phase Contrast-Enhanced T1-Weighted Volumetric Interpolated Breath-Hold Examination and Fat-Suppressed T2-Weighted Combined with Diffusion-Weighted Magnetic Resonance Imaging in Anal Fistula Evaluation. *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*, **14**, 8629-8643. <https://doi.org/10.21037/qims-24-490>
- [37] Liu, J., Zhang, T. and Sheng, L. (2024) A Controlled Study of MR DWI, FS-PDW, and CE-T1W Imaging for the Evaluation of the Internal Opening of Anal Fistulas. *Acta Radiologica*, **65**, 1319-1324.

- <https://doi.org/10.1177/02841851241284812>
- [38] 杨来华, 刘建岭, 尹利飞, 等. MRI 肛瘘影像图谱在临床诊断中的应用探讨[C]//重庆市健康促进与健康教育学会全科专委会. 2025 精神医学与心理健康系列研讨会论文集. 2025: 1574-1578.
- [39] 万赵伟. MRI 在复杂性肛瘘诊断及分型中的应用[J]. 现代医用影像学, 2024, 33(11): 2116-2118.
- [40] Lu, W., Li, X., Liang, W., Chen, K., Cao, X., Zhou, X., *et al.* (2024) Dynamic Contrast-Enhanced MR Imaging in Identifying Active Anal Fistula after Surgery. *BMC Medical Imaging*, **24**, Article No. 76. <https://doi.org/10.1186/s12880-024-01257-w>
- [41] Xu, H., Xiao, G., Zheng, Y., Fu, Y., Zhong, S., Ren, D., *et al.* (2023) A Magnetic Resonance Imaging-Based Decision-Making Tool for Predicting Complex Anal Fistulas Healing in the Early Postoperative Period. *BMC Gastroenterology*, **23**, Article No. 372. <https://doi.org/10.1186/s12876-023-02963-5>
- [42] 黄捷敏, 石荣. 磁共振成像在复杂性肛瘘诊疗中的应用研究进展[J]. 中医临床研究, 2024, 16(36): 113-117.
- [43] 徐新庭. DWI-MRI 联合 DCE-MRI 对肛瘘的诊断价值[J]. 医学信息, 2023, 36(18): 171-174.
- [44] Aggarwal, P., Malik, R., Sarawagi, R. and Kumar, A. (2024) Comparing the Efficacy of a Combination of Diffusion-Weighted Imaging and T2-STIR (Short Tau Inversion Recovery) Imaging with Contrast-Enhanced MRI in the Evaluation of Perianal Fistula. *Cureus*, **16**, e53485. <https://doi.org/10.7759/cureus.53485>
- [45] Inggriani, S., Rahmawati, D.L. and Octavius, G.S. (2025) A Systematic Review and Meta-Analysis of the Diagnostic Test Accuracy of Diffusion Weighted Imaging and Apparent Diffusion Coefficient in Differentiating Active from Inactive Perianal Fistula. *Radiography*, **31**, Article ID: 102884. <https://doi.org/10.1016/j.radi.2025.01.019>
- [46] 王玉, 谷超, 丁承宗, 等. DTI 评价肛瘘活动性的可行性研究[J]. 中国中西医结合影像学杂志, 2018, 16(6): 582-584, 590.
- [47] 刘佳伟, 郝金钢, 刘灿丽. MRI 在肛管直肠瘘中的应用进展[J]. 影像科学与光化学, 2024, 42(3): 187-191.
- [48] Kummari, S., Burra, K.G., Reddy, V.R.K., Das, S., Ramadugu, R. and Ramadugu, S. (2024) The Role of Magnetic Resonance Imaging in Pre-Operative Assessment of Anorectal Fistula with Surgical Correlation. *Cureus*, **16**, e53237. <https://doi.org/10.7759/cureus.53237>
- [49] Zhao, W.W., Yu, J., Shu, J., *et al.* (2023) Precise and Comprehensive Evaluation of Perianal Fistulas, Classification and Related Complications Using Magnetic Resonance Imaging. *American Journal of Translational Research*, **15**, 3674-3685.
- [50] Huang, K., Garuba, F., Ganapathy, A., Bishop, G., Zhang, H., Lovato, A., *et al.* (2024) Quantifying <sup>18</sup>F-Fluorodeoxyglucose Uptake in Perianal Fistulas on PET/CT: A Retrospective Analysis. *Academic Radiology*, **31**, 2775-2783. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2023.12.020>
- [51] Navkar, N.V., Balakrishnan, S., Kharbech, S., Sabawi, M., Abinahed, J., Ahmed, A., *et al.* (2022) 3D Visualization of Perianal Fistulas Using Parametric Models. *Techniques in Coloproctology*, **26**, 291-300. <https://doi.org/10.1007/s10151-022-02573-5>
- [52] 袁军, 陈欣悦, 常时新, 等. 基于 T1 增强成像的人工智能算法在肛瘘内口诊断中的可行性研究[J]. 安徽医药, 2023, 27(3): 447-452.
- [53] 吴许雄, 徐丽美, 黄娟, 等. 3D-HRAM 模型诊断及定位复杂性肛瘘术后肛门括约肌损伤的应用研究[J]. 重庆医科大学学报, 2025, 50(6): 821-827.
- [54] Greer, M.C. and Taylor, S.A. (2022) Perianal Imaging in Crohn Disease: Current Status with a Focus on MRI, from the *AJR* Special Series on Imaging of Inflammation. *American Journal of Roentgenology*, **218**, 781-792. <https://doi.org/10.2214/ajr.21.26615>
- [55] Bitschi, D., Fürmetz, J., Gilbert, F., Jörgens, M., Watrinet, J., Pätzold, R., *et al.* (2023) Preoperative Mixed-Reality Visualization of Complex Tibial Plateau Fractures and Its Benefit Compared to CT and 3D Printing. *Journal of Clinical Medicine*, **12**, Article 1785. <https://doi.org/10.3390/jcm12051785>
- [56] Jeri-McFarlane, S., García-Granero, Á., Ochogavía-Seguí, A., Pellino, G., Oseira-Reigosa, A., Gil-Catalan, A., *et al.* (2023) Three-Dimensional Modelling as a Novel Interactive Tool for Preoperative Planning for Complex Perianal Fistulas in Crohn's Disease. *Colorectal Disease*, **25**, 1279-1284. <https://doi.org/10.1111/codi.16539>
- [57] Han, L., Chen, Y., Cheng, W., Bai, H., Wang, J. and Yu, M. (2021) Deep Learning-Based CT Image Characteristics and Postoperative Anal Function Restoration for Patients with Complex Anal Fistula. *Journal of Healthcare Engineering*, **2021**, Article ID: 1730158. <https://doi.org/10.1155/2021/1730158>