

# 影像组学在局部晚期直肠癌新辅助治疗疗效评估中的应用

王 艳 陈海辉 张善枝 符方林 徐 英 潘沿洁

**摘要** 随着医学影像学和人工智能技术的飞速发展,影像组学作为一种新兴的技术手段,在肿瘤诊断、疗效预测及个性化治疗等方面展现出巨大的优势和潜力。在局部晚期直肠癌( locally advanced rectal cancer, LARC)的治疗中,新辅助治疗( neoadjuvant therapy, NAT)已成为重要的治疗手段。然而,不同患者对 NAT 的治疗反应存在显著的个体差异,因此,准确预测患者对 NAT 的疗效具有重要的临床意义。本文旨在综述影像组学在预测 LARC 新辅助治疗方面的研究进展,更好地为临床决策提供科学依据。

**关键词** 影像组学 局部晚期直肠癌 新辅助治疗

**中图分类号** R735

**文献标识码** A

**DOI** 10.11969/j.issn.1673-548X.2026.01.003

结直肠癌( colorectal cancer, CRC)的发生率排名全球第3位,仅次于肺癌和乳腺癌,占全球癌症病例的9.3%<sup>[1]</sup>。有作者预计2030年将会新增220万例CRC,其中将会有110万人死亡<sup>[2]</sup>。局部晚期直肠癌( locally advanced rectal cancer, LARC)是指T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub>和(或)淋巴结阳性的直肠癌。距肛缘<12cm的局部晚期直肠癌推荐术前新辅助放化疗。新辅助放化疗后6~8周行全直肠系膜切除术是LARC的标准治疗方法<sup>[3]</sup>。临床数据显示,约20%的LARC患者经NAT后会获得病理完全缓解( pathological complete response, pCR),而pCR患者的远期生存率显著高于非pCR患者<sup>[4]</sup>。这就提示LARC存在高度异质性,对于放疗的应答存在明显差异,因而若能在治疗前筛选出对NAT特别敏感的患者,通过给予标准或强化的新辅助治疗方案,有望提升患者pCR率,最终达到延长生存期和提升生存质量的双重获益。因此,建立高效准确的LARC新辅助疗效预测方法,对LARC的个体化治疗具有重要意义。

影像组学作为一种新兴的非侵入性影像技术,自2012年首次提出以来,迅速发展成为结合大数据和医学影像辅助诊断的重要工具<sup>[5]</sup>。该技术旨在从传统的影像学成像方法(例如CT和MRI)中提取大量

的定量成像特征,以揭示潜在的生物学信息,能够有效识别图像中细微的特征差异<sup>[6]</sup>。影像组学研究流程主要包括图像采集和数据获取、肿瘤标定和分割、特征提取和建模分析<sup>[7]</sup>。与以往将医学图像处理为图片以供视觉检查的方法比较,影像组学提供了一种挖掘医学图像所含定量信息的新方法。如今,影像组学已被成功用于肿瘤学的研究,并已迅速向临床应用发展,推动了癌症的精准诊断和治疗,也可为患者制定个性化治疗方案和管理提供更精准的信息<sup>[8-14]</sup>。

## 一、预测 NAT 后 pCR

病理反应是评估NAT效果的重要指标之一,影像组学在预测和评估病理反应相关性方面展现出巨大潜力。影像组学特征能够反映肿瘤内部的异质性,包括细胞密度、血管分布、间质成分等,这些特征与病理反应密切相关<sup>[15]</sup>。影像组学分析已广泛用于预测接受NAT的LARC患者的各种临床或组织病理学结果,也作为LARC患者对NAT后反应的预测因素,为临床方面提供了更为精确和具有个性化的预测手段<sup>[16]</sup>。

目前,肿瘤异质性依旧是准确识别肿瘤对NAT反应的主要制约因素<sup>[17]</sup>。但在LARC患者的放化疗过程中,多项研究均表明影像组学特征能够有效预测治疗后的肿瘤消退等级、pCR,这些预测结果可能有助于医生制定更为个性化的治疗方案<sup>[18-21]</sup>。

除此之外,大量研究证实通过不同方法的影像组学可以有助于预测NAT后LARC的病理缓解反应程度。Li等<sup>[22]</sup>利用T<sub>2</sub>WI影像组学,选择关键的影像组

基金项目:国家自然科学基金资助项目(82260504)

作者单位:530200 南宁,广西中医药大学(王艳、张善枝、徐英、潘沿洁);545000 柳州,广西中医药大学第三附属医院(陈海辉);571200 海南省定安县人民医院(符方林)

通信作者:陈海辉,电子邮箱:chenhh1595@163.com

学特征建立预测模型,结果显示可以作为 LARC pCR 的独立预测因子。而 Ramireddy 等<sup>[23]</sup>的研究提出在治疗前基于 MRI 的影像组学和通过放疗计划 CT 相比能否改善对新辅助放化疗(neoadjuvant chemoradiotherapy, nCRT)后 LARC pCR 的预测,最终结果显示在合并临床和基线 T<sub>2</sub>WI 影像组学可以增强对 LARC 患者病理反应的预测,表现出了最佳性能(AUC 为 0.72 vs 0.66)。

除去与基于 CT 的影像组学比较,有研究还进行了和经验丰富的放射科医生诊断比较,Shin 等<sup>[24]</sup>在基于 T<sub>2</sub>WI 和 DWI 的影像组学模型上显示出了优于放射科医生的视觉评估的结果;同样的,Wen 等<sup>[25]</sup>基于 MRI 影像,利用治疗前、后和 delta 影像学特征对接受 ANT 治疗的 LARC 患者进行治疗反应预测,同时和经验丰富的放射科医生的视觉评估进行比较,最终表明影像组学构建的列线图是预测 LARC 患者 NAT 后 pCR 的有效工具,其表现优于放射科医生。

不仅如此,Cui 等<sup>[26]</sup>通过分析 186 例连续的 LARC 患者,结合临床危险因素,基于治疗前多参数的 MRI 影像组学特征和临床特征建立预测模型,结果显示,治疗前影像组学的列线图可以预测 LARC 患者的 pCR,并有希望指导治疗以选择采取“观察等待”策略的患者。El Homsy 等<sup>[20]</sup>通过研究 98 例 LARC 患者,建立了基于治疗前多参数 MRI 的影像组学特征模型,结果表明通过治疗前 MRI 获得的影像组学模型在预测 LARC 患者的 pCR 方面表现出良好至优异的性能,且优于临床参数和血清癌胚抗原(carcinoembryonic antigen, CEA)的预测效能。在治疗后,一项研究利用多参数 MRI 提取影像组学特征,构建预测模型来评估 NAT 后 pCR 的可能性,研究发现,影像组学特征结合临床参数能够显著提高 pCR 的预测准确性,为临床制定个性化治疗方案提供了更为可靠的依据<sup>[27]</sup>。

而在传统的模型比较方面,Peng 等<sup>[28]</sup>则是建立起多时间尺度(治疗前、治疗后和组合)影像组学模型来预测 pCR,结果证明基于 MRI 的影像组学模型对于 LARC 患者的 pCR 预测表现相当良好,但与传统的临床模型相比没有表现出明确的附加价值。

影像组学在病理反应评估中的应用,不仅能够提高预测的准确性,还能够为临床提供更为详细的肿瘤反应信息。例如,影像组学可以识别出肿瘤内部不同区域对治疗的反应差异,从而帮助医生更精准地判断肿瘤的生物行为和治疗效果<sup>[29]</sup>。这种详细的评估

对于优化治疗方案、提高治疗效果具有重要意义。由此可见,影像组学在预测 LARC 患者的 pCR 具有重要的作用,可以为更多的患者指定个性化治疗方案。

## 二、预测 NAT 后淋巴结状态

研究表明,NAT 会导致淋巴结的形状、大小和质地发生变化,甚至完全消退<sup>[30]</sup>。而影像组学作为新兴的一个快速发展的定量图像分析领域,可以预测 NAT 后淋巴结的状态,从而指导患者的个体化治疗<sup>[5,31]</sup>。

有多项研究探讨了基于 MRI 的影像组学模型在预测 LARC 接受 NAT 后淋巴结转移方面的应用。Zhou 等<sup>[32]</sup>通过收集 391 例接受 NAT 和全直肠系膜切除术(total mesorectal excision, TME)的 LARC 患者,并此按 2:1 的比例分成了训练队列和验证队列,并使用基于多参数 MRI 的影像组学特征来术前预测 NAT 后的淋巴结状态,结果表明验证队列曲线下面积高达 0.818,阴性预测值(negative predictive value, NPV)为 93.7%,充分证实了影像组学为 NAT 后 LARC 患者淋巴结状态预测因子的潜力,尤其是在治疗后 MRI T<sub>1-2</sub> 肿瘤的患者。另外,Wei 等<sup>[33]</sup>还研究了从 nCRT 前后手动分割的原发肿瘤感兴趣体积中提取影像组学特征,结合机器学习算法,得出基于多参数 MRI 影像组学模型,是预测 LARC NAT 后淋巴结转移(lymph node metastasis, LNM)的最优选项。而另一项研究则关注于在分别或同时进行 nCRT 前后 T<sub>2</sub>WI 和表观扩散系数(apparent diffusion coefficient, ADC)图像提取的 MRI 影像组学分析以预测 LARC 患者 NAT 后淋巴结状态的性能,甚至在 ypT<sub>0-2</sub> 阶段,临床-delta ADC 影像组学结合基于模型的 LNM 还可以评估 5 年无病生存期( $P = 0.030$ )<sup>[34]</sup>;不仅如此,Qin 等<sup>[35]</sup>从肿瘤和直肠系膜区室的 MRI 提取的影像组学特征一样可以在预测接受 NAT 的 LARC 患者的病理反应和淋巴结转移方面的潜力,这种方法不仅考虑了肿瘤本身的特征,还纳入了直肠系膜的特征,从而提高了预测的全面性和准确性。另一方面,Wang 等<sup>[36]</sup>注意到在 NAT 后达到 ypT<sub>0</sub>(即原发肿瘤完全消退)的 LARC 患者中,仍有可能存在淋巴结转移的情况,所以通过基于 MRI 的影像组学特征结合临床风险因素在预测 NAT 后 ypT<sub>0</sub> 直肠癌患者淋巴结转移方面具有潜在的应用价值。虽然直接针对这方面的研究较少,但未来的研究可以进一步探索和优化这一预测模型,以提高淋巴结转移的预测准确性,为患者提供更加个性化的治疗方案和预后评估。

以上研究结果表明,影像组学技术在预测 LARC NAT 后的淋巴结转移方面具有显著优势。同时,这些研究还揭示了肿瘤和直肠系膜特征与淋巴结转移之间的复杂关系,为深入理解直肠癌的生物学行为和制定个性化治疗方案提供了重要依据。

### 三、预测预后

近年来,众多实践表明,将临床特征与影像组学特征相融合,能够精确预估肿瘤的生物学特性及生存结果,取得了令人鼓舞的成果<sup>[11,26,37-41]</sup>。

Chiloiro 等<sup>[42]</sup>通过 MRI 引导的放射疗法(MR-guided RT, MRgRT)期间的影像组学特征,开发了一个预测接受 NAT 的 LARC 患者的 2 年无病生存期(2yDFS)模型,结果显示该模型在预测 2yDFS 方面表现出色,AUC 值达到 0.92;而 Chiloiro 等<sup>[43]</sup>收集 LARC 患者的 NAT 前和 NAT 后的 MRI,并通过研究肠系膜区的 delta 影像组学方法,证实了影像组学在预测 LARC 患者 2yDFS 中可以发挥作用;两者均展示了影像组学在预测 LARC 患者 2yDFS 方面的潜力,但前一项研究侧重于 MRgRT 期间的动态特征变化,而后一项研究则更关注于治疗前后的对比分析。不同的是,Cai 等<sup>[44]</sup>通过聚焦于肿瘤间质比(tumor-stroma ratio, TSR)评估的临床影像组学模型和基于高分辨率 T<sub>2</sub>WI 的影像组学模型方面的比对,结果表明这一综合指标在 LARC 患者的预后可以提供新的思路,而且在应用于接受 NAT 的 LARC 患者有着更好的风险分层以及更好的决策。以上均证明了影像组学在 LARC 患者预后评估中的价值,但 Chiloiro 等<sup>[42,43]</sup>的研究侧重于治疗期间的纵向变化,而 Cai 等<sup>[44]</sup>的研究则更关注于不同影像组学特征的综合应用。

Huang 等<sup>[45]</sup>和 Wang 等<sup>[46]</sup>的研究均通过基于 MRI 的影像组学列线图来区分 LARC 患者在接受 NAT 后的不良反应者和良好反应者。Huang 等<sup>[45]</sup>的研究展示了该列线图在无进展生存期(progression free survival, PFS)方面能为患者提供风险分层,有助于临床决策;而在 Wang 等<sup>[46]</sup>的研究中,影像组学模型在训练队列和验证队列中分别实现了 AUC 为 0.869 和 0.842,显示出较高的可重复性和预测能力,为患者 PFS 方面实现了风险分层。Liu 等<sup>[47]</sup>的研究则进一步结合了治疗前、治疗后和治疗前后变化(delta)的影像组学评分(radscore),通过机器学习算法构建模型,并结合显著的影像组学评分和临床变量:如术前 CEA、病理分期,使用多变量 COX 回归分

析开发个体化列线图。结果显示,结合术前 CEA、病理分期以及治疗前、后影像组学评分的列线图在验证集中的 C 指数最高,为 0.833 (95% CI: 0.815 ~ 0.851)。校准曲线和决策曲线分析显示该列线图具有良好的校准度和临床实用性,能够将患者分为高风险和低风险组,两组的 DFS 差异有统计学意义( $P < 0.0001$ )。

Tibermacine 等<sup>[48]</sup>则评估和比较不同影像组学方法在预测接受 NAT 的 LARC 患者 DFS 中的表现,基于 GRECCAR4 研究的数据,使用 98 例患者的影像数据作为训练集,48 例独立患者作为测试集,结果显示所有模型在训练集中的 AUC 值范围为 0.77 ~ 0.89,表明影像组学模型在预测 DFS 方面具有良好的性能,但在独立测试集中,AUC 值范围为 0.67 ~ 0.76,影像组学模型与定性分析比较未显示出显著差异,这表明影像组学模型在预测 DFS 方面具有潜力,但需要进一步优化和验证以提高其在独立数据集中的性能。而另一方面,Wang 等<sup>[49]</sup>研究显示,基于 CT 的影像组学特征在预测新辅助直肠评分(neoadjuvant rectal score, NAR)、局部区域无失败生存期(local regional failure-free survival, LRFFS)、无远处转移生存期(distant metastasis-free survival, DMFS)、DFS 和总生存期(overall survival, OS)方面具有一定的价值。这表明影像组学可以作为一种补充工具,帮助临床医生更准确地评估患者的预后。

总的来说这些研究利用影像组学技术来预测 LARC NAT 的疗效,为临床决策提供有力支持。这些研究不仅提高了我们对直肠癌治疗疗效预测的认识,也为个体化治疗和预后评估提供了新的方法和思路。

### 四、展望

目前来看影像组学在该领域的应用上有了很可观的前景,但同时也存在着一些问题,主要包括影像组学分析时涉及到高精度的图像采集和处理技术,但不同医院或者是设备之间可能会造成结果存在一些差异,或者是在建立起不同影像组学模型之间时会出现多种因素的影响如患者个体的差异性、影像数据的差异等。

随着人工智能和机器学习技术的不断进步,影像组学模型将更加精确和高效。未来,我们可以期待更高分辨率的医学影像技术和更先进的算法,以提取更稳健、更准确的影像特征,从而提高预测的准确性。比如在深度学习上,Lu 等<sup>[50]</sup>已经使用整合深度学习与影像组学的合并模型在直肠癌的预后预测中显示

较好的结果。为了这些模型会得到进一步发展和优化,以更好地适应直肠癌 NAT 疗效的预测。不仅如此,影像组学的应用将推动个性化医疗和精准治疗的发展,并通过预测 NAT 的疗效,医生可以为患者制定更个性化的治疗方案。而且在与其他生物学标志物(如基因表达、蛋白质水平等)相结合,可以提供更全面的患者信息,从而进一步优化治疗方案,提高治疗效果并减少不必要的治疗<sup>[51]</sup>。然而,如何优化放疗策略以提高疗效并减少不良反应,仍然是研究的热点。已经有研究通过使用 MRI 引导下的自适应同步加量放疗(SIB-RT)对原发灶和阳性淋巴结的疗效与安全性<sup>[54]</sup>。还可以提高肛門保留率,从而维持患者的生活质量。而 Body 等<sup>[52]</sup>则是从 NAT 未来的发展与挑战方面作出了新的展望。

综上所述,影像组学作为一种新兴的影像分析技术,在 LARC 新辅助治疗的病理反应评估、淋巴结转移预测以及预后和生存期分析等方面具有较大的临床应用价值,具有广阔的前景和巨大的潜力;然而,影像组学的应用仍需克服标准化、数据规模和多组学整合等方面的挑战。未来,随着技术的不断进步和临床应用的不断推广,影像组学将成为直肠癌治疗决策中不可或缺的一部分,为患者带来更好的治疗效果和生存质量。

**利益冲突声明:** 本文所有作者均声明不存在利益冲突。

#### 参考文献

- Bray F, Laversanne M, Sung H, *et al.* Global cancer statistics 2022: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries [J]. *CA Cancer J Clin*, 2024, 74(3): 229-263
- Arnold M, Sierra MS, Laversanne M, *et al.* Global patterns and trends in colorectal cancer incidence and mortality [J]. *Gut*, 2017, 66(4): 683-691
- 中华医学会肿瘤学分会, 国家卫生健康委员会医政司. 中国结直肠癌诊疗规范(2023 版) [J]. *协和医学杂志*, 2023, 14(4): 706-733
- Begal J, Sabo E, Goldberg N, *et al.* Wavelets - Based texture analysis of post neoadjuvant chemoradiotherapy magnetic resonance imaging as a tool for recognition of pathological complete response in rectal cancer, a retrospective study [J]. *J Clin Med*, 2024, 13(23): 7383
- Lambin P, Rios - Velazquez E, Leijenaar R, *et al.* Radiomics: extracting more information from medical images using advanced feature analysis [J]. *Eur J Cancer*, 2012, 48(4): 441-446
- Tomaszewski MR and RJ Gillies. The biological meaning of radiomic features [J]. *Radiology*, 2021, 298(3): 505-516
- Hou M and Sun JH. Emerging applications of radiomics in rectal cancer: state of the art and future perspectives [J]. *World J Gastroenterol*, 2021, 27(25): 3802-3814
- Peeken JC, Nüsslin F, Combs SE. "Radio - oncomics": the potential of radiomics in radiation oncology [J]. *Strahlenther Onkol*, 2017, 193(10): 767-779
- Fan GX, Qin JQ, Liu HQ, *et al.* Commentary: radiomics in oncology: a 10 - year bibliometric analysis [J]. *Front Oncol*, 2022, 12: 891056
- Huang YQ, Liang CH, He L, *et al.* Development and validation of a radiomics nomogram for preoperative prediction of lymph node metastasis in colorectal cancer [J]. *J Clin Oncol*, 2016, 34(18): 2157-2164
- Liu ZY, Zhang XY, Shi YJ, *et al.* Radiomics analysis for evaluation of pathological complete response to neoadjuvant chemoradiotherapy in locally advanced rectal cancer [J]. *Clin Cancer Res*, 2017, 23(23): 7253-7262
- Sun R, Limkin EJ, Vakalopoulou M, *et al.* A radiomics approach to assess tumour - infiltrating CD8 cells and response to anti - PD - 1 or anti - PD - L1 immunotherapy: an imaging biomarker, retrospective multicohort study [J]. *Lancet Oncol*, 2018, 19(9): 1180-1191
- Zhu HT, Zhang XY, Shi YJ, *et al.* A deep learning model to predict the response to neoadjuvant chemoradiotherapy by the pretreatment apparent diffusion coefficient images of locally advanced rectal cancer [J]. *Front Oncol*, 2020, 10: 574337
- Liu ZY, Meng XC, Zhang HM, *et al.* Predicting distant metastasis and chemotherapy benefit in locally advanced rectal cancer [J]. *Nat Commun*, 2020, 11(1): 4308
- Paroder V, Fraum TJ, Nougaret S, *et al.* Key clinical trials in rectal cancer shaping the current treatment paradigms: reference guide for radiologists [J]. *Abdom Radiol (NY)*, 2023, 48(9): 2825-2835
- Di Re AM, Sun Y, Sundaresan P, *et al.* MRI radiomics in the prediction of therapeutic response to neoadjuvant therapy for locoregionally advanced rectal cancer: a systematic review [J]. *Expert Rev Anticancer Ther*, 2021, 21(4): 425-449
- Dagogo - Jack I, Shaw AT. Tumour heterogeneity and resistance to cancer therapies [J]. *Nat Rev Clin Oncol*, 2018, 15(2): 81-94
- Shaish H, Aukerman A, Vanguri R, *et al.* Radiomics of MRI for pretreatment prediction of pathologic complete response, tumor regression grade, and neoadjuvant rectal score in patients with locally advanced rectal cancer undergoing neoadjuvant chemoradiation: an international multicenter study [J]. *Eur Radiol*, 2020, 30(11): 6263-6273
- Li ZH, Ma XL, Shen F, *et al.* Evaluating treatment response to neoadjuvant chemoradiotherapy in rectal cancer using various MRI - based radiomics models [J]. *BMC Med Imaging*, 2021, 21(1): 30
- El Homsy M, Bane O, Fauveau V, *et al.* Prediction of locally advanced rectal cancer response to neoadjuvant chemoradiation therapy using volumetric multiparametric MRI - based radiomics [J]. *Abdom Radiol (NY)*, 2024, 49(3): 791-800
- Lee YD, Kim HG, Seo M, *et al.* Machine learning - based response

- assessment in patients with rectal cancer after neoadjuvant chemoradiotherapy: radiomics analysis for assessing tumor regression grade using T2-weighted magnetic resonance images[J]. *Int J Colorectal Dis*, 2024, 39(1): 78
- 22 Li YQ, Liu WX, Pei Q, *et al.* Predicting pathological complete response by comparing MRI-based radiomics pre- and postneoadjuvant radiotherapy for locally advanced rectal cancer[J]. *Cancer Med*, 2019, 8(17): 7244-7252
- 23 Ramireddy JK, Sathya A, Sasidharan BK, *et al.* Can pretreatment MRI and planning CT radiomics improve prediction of complete pathological response in locally advanced rectal cancer following neoadjuvant treatment? [J]. *J Gastrointest Cancer*, 2024, 55(3): 1199-1211
- 24 Shin J, Seo N, Baek SE, *et al.* MRI radiomics model predicts pathologic complete response of Rectal cancer following chemoradiotherapy [J]. *Radiology*, 2022, 303(2): 351-358
- 25 Wen L, Liu J, Hu PS, *et al.* MRI-Based radiomic models outperform radiologists in predicting pathological complete response to neoadjuvant chemoradiotherapy in locally advanced rectal cancer [J]. *Acad Radiol*, 2023, 30 Suppl 1: S176-S184
- 26 Cui YF, Yang XT, Shi ZQ, *et al.* Radiomics analysis of multiparametric MRI for prediction of pathological complete response to neoadjuvant chemoradiotherapy in locally advanced rectal cancer[J]. *Eur Radiol*, 2019, 29(3): 1211-1220
- 27 Zhang X, Lin ZY, Feng Y, *et al.* Predicting pathologic complete response in locally advanced rectal cancer with [<sup>68</sup>Ga]Ga-FAPI-04 PET, [<sup>18</sup>F]FDG PET, and Contrast-Enhanced MRI; Lesion-to-Lesion comparison with pathology [J]. *J Nucl Med*, 2024, 65(10): 1548-1556
- 28 Peng WJ, Wan LJ, Wang SC, *et al.* A multiple-time-scale comparative study for the added value of magnetic resonance imaging-based radiomics in predicting pathological complete response after neoadjuvant chemoradiotherapy in locally advanced rectal cancer [J]. *Front Oncol*, 2023, 13: 1234619
- 29 He WJ, Li QG, Li XX. Changing patterns of neoadjuvant therapy for locally advanced rectal cancer: a narrative review[J]. *Crit Rev Oncol Hematol*, 2023, 181: 103885
- 30 Van der Paardt MP, Zagers MB, Beets-Tan RG, *et al.* Patients who undergo preoperative chemoradiotherapy for locally advanced rectal cancer restaged by using diagnostic MR imaging: a systematic review and Meta-analysis[J]. *Radiology*, 2013, 269(1): 101-112
- 31 Liu ZY, Wang S, Dong D, *et al.* The applications of radiomics in precision diagnosis and treatment of oncology: opportunities and challenges[J]. *Theranostics*, 2019, 9(5): 1303-1322
- 32 Zhou XZ, Yi YJ, Liu ZY, *et al.* Radiomics-Based preoperative prediction of lymph node status following neoadjuvant therapy in locally advanced rectal cancer[J]. *Front Oncol*, 2020, 10: 604
- 33 Wei QR, Chen L, Hou XY, *et al.* Multiparametric MRI-based radiomic model for predicting lymph node metastasis after neoadjuvant chemoradiotherapy in locally advanced rectal cancer[J]. *Insights Imaging*, 2024, 15(1): 163
- 34 Fang Z, Pu H, Chen XL, *et al.* MRI radiomics signature to predict lymph node metastasis after neoadjuvant chemoradiation therapy in locally advanced rectal cancer[J]. *Abdom Radiol (NY)*, 2023, 48(7): 2270-2283
- 35 Qin SY, Liu K, Chen YY, *et al.* Prediction of pathological response and lymph node metastasis after neoadjuvant therapy in rectal cancer through tumor and mesorectal MRI radiomic features[J]. *Sci Rep*, 2024, 14(1): 21927
- 36 Wang YY, Wang XJ, Huang SH, *et al.* MRI-based parameters and clinical risk factors to predict lymph node metastasis in patients with ypT0 rectal cancer after neoadjuvant chemoradiotherapy [J]. *ANZ J Surg*, 2024, 94(6): 1127-1132
- 37 De Cecco CN, Ganeshan B, Ciolina M, *et al.* Texture analysis as imaging biomarker of tumoral response to neoadjuvant chemoradiotherapy in rectal cancer patients studied with 3-T magnetic resonance [J]. *Invest Radiol*, 2015, 50(4): 239-245
- 38 Cusumano D, Dinapoli N, Boldrini L, *et al.* Fractal-based radiomic approach to predict complete pathological response after chemo-radiotherapy in rectal cancer[J]. *Radiol Med*, 2018, 123(4): 286-295
- 39 Dinapoli N, Barbaro B, Gatta R, *et al.* Magnetic resonance, vendor-independent, intensity histogram analysis predicting pathologic complete response after radiochemotherapy of rectal cancer[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2018, 102(4): 765-774
- 40 Enkhbaatar NE, Inoue S, Yamamuro H, *et al.* MR imaging with apparent diffusion coefficient histogram analysis; evaluation of locally advanced rectal cancer after chemotherapy and radiation therapy[J]. *Radiology*, 2018, 288(1): 129-137
- 41 Horvat N, Veeraraghavan H, Khan M, *et al.* MR imaging of rectal cancer: radiomics analysis to assess treatment response after neoadjuvant therapy[J]. *Radiology*, 2018, 287(3): 833-843
- 42 Chiloiro G, Boldrini L, Preziosi F, *et al.* A predictive model of 2yDFS during MR-Guided RT neoadjuvant chemoradiotherapy in locally advanced rectal cancer patients [J]. *Front Oncol*, 2022, 12: 831712
- 43 Chiloiro G, Cusumano D, Romano A, *et al.* Delta radiomic analysis of mesorectum to predict treatment response and prognosis in locally advanced rectal cancer [J]. *Cancers (Basel)*, 2023, 15(12): 3082
- 44 Cai CP, Hu TD, Rong ZN, *et al.* Prognostic prediction value of the clinical-radiomics tumour-stroma ratio in locally advanced rectal cancer[J]. *Eur J Radiol*, 2024, 170: 111254
- 45 Huang HY, Han LJ, Guo JB, *et al.* Pretreatment MRI-Based radiomics for prediction of rectal cancer outcome: a discovery and validation study[J]. *Acad Radiol*, 2024, 31(5): 1878-1888
- 46 Wang J, Liu XJ, Hu B, *et al.* Development and validation of an MRI-based radiomic nomogram to distinguish between good and poor responders in patients with locally advanced rectal cancer undergoing neoadjuvant chemoradiotherapy[J]. *Abdom Radiol (NY)*, 2021, 46(5): 1805-1815

- plasms: 2024 update on diagnosis, risk – stratification, and management [J]. *Am J Hematol*, 2025, 100(Suppl 4): 88 – 115
- 13 Sobczyńska – Konefał A, Jasek M, Karabon L, *et al.* Insights into genetic aberrations and signalling pathway interactions in chronic lymphocytic leukemia: from pathogenesis to treatment strategies [J]. *Biomark Res*, 2024, 12(1): 162
  - 14 Visentin A, Bonaldi L, Rigolin GM, *et al.* The complex karyotype landscape in chronic lymphocytic leukemia allows the refinement of the risk of Richter syndrome transformation [J]. *Haematologica*, 2022, 107(4): 868 – 876
  - 15 Mayr C, Speicher MR, Kofler DM, *et al.* Chromosomal translocations are associated with poor prognosis in chronic lymphocytic leukemia [J]. *Blood*, 2006, 107(2): 742 – 751
  - 16 Nguyen – Khac F, Baron M, Guièze R, *et al.* Prognostic impact of genetic abnormalities in 536 first – line chronic lymphocytic leukaemia patients without 17p deletion treated with chemoimmunotherapy in two prospective trials: focus on IGHV – mutated subgroups (a FILO study) [J]. *Br J Haematol*, 2024, 205(2): 495 – 502
  - 17 Kittai AS, Miller C, Goldstein D, *et al.* The impact of increasing karyotypic complexity and evolution on survival in patients with CLL treated with ibrutinib [J]. *Blood*, 2021, 138(23): 2372 – 2382
  - 18 Serafin A, Ruocco V, Cellini A, *et al.* Management strategies for patients with chronic lymphocytic leukaemia harbouring complex karyotype [J]. *Br J Haematol*, 2025, 206(3): 832 – 841
  - 19 Thompson PA, O'brien SM, Wierda WG, *et al.* Complex karyotype is a stronger predictor than del(17p) for an inferior outcome in relapsed or refractory chronic lymphocytic leukemia patients treated with ibrutinib – based regimens [J]. *Cancer*, 2015, 121(20): 3612 – 3621
  - 20 Davids M, Sharman J, Ghia P, *et al.* Long – term efficacy of acalabrutinib – based regimens in patients with chronic lymphocytic leukemia and higher – risk genomic features: pooled analysis of clinical trial data [J]. *HemaSphere*, 2022, 6(S3): 565 – 566
  - 21 Davids MS, Sharman JP, Ghia P, *et al.* Acalabrutinib – based regimens in frontline or relapsed/refractory higher – risk CLL: pooled analysis of 5 clinical trials [J]. *Blood Adv*, 2024, 8(13): 3345 – 3359
  - 22 Ramakrishnan V, Xu L, Paik JC, *et al.* Broad superiority of zanubrutinib (Zanu) over bendamustine + rituximab (BR) across multiple high – risk factors: biomarker subgroup analysis in the phase 3 SEQUOIA study in patients with treatment – naive (TN) chronic lymphocytic leukemia (CLL)/small lymphocytic lymphoma (SLL) without del(17p) [J]. *Blood*, 2023, 142(S1): 1902
  - 23 Fürstenau M, Thus YJ, Robrecht S, *et al.* High karyotypic complexity is an independent prognostic factor in patients with CLL treated with venetoclax combinations [J]. *Blood*, 2023, 142(5): 446 – 459
  - 24 Al – Sawaf O, Zhang C, Jin HY, *et al.* Transcriptomic profiles and 5 – year results from the randomized CLL14 study of venetoclax plus obinutuzumab versus chlorambucil plus obinutuzumab in chronic lymphocytic leukemia [J]. *Nat Commun*, 2023, 14(1): 2147
  - 25 Allan JN, Flinn IW, Siddiqi T, *et al.* Outcomes in patients with High – Risk features after Fixed – Duration Ibrutinib plus Venetoclax: Phase II CAPTIVATE study in First – Line chronic lymphocytic leukemia [J]. *Clin Cancer Res*, 2023, 29(14): 2593 – 2601
  - 26 Kreuzer KA, Furman RR, Stilgenbauer S, *et al.* The impact of complex karyotype on the overall survival of patients with relapsed chronic lymphocytic leukemia treated with idelalisib plus rituximab [J]. *Leukemia*, 2020, 34(1): 296 – 300
  - 27 Alaggio R, Amador C, Anagnostopoulos I, *et al.* The 5th edition of the world health organization classification of haematolymphoid tumours: lymphoid neoplasms [J]. *Leukemia*, 2022, 36(7): 1720 – 1748
  - 28 Rossi D, Spina V, Gaidano G. Biology and treatment of Richter syndrome [J]. *Blood*, 2018, 131(25): 2761 – 2772
  - 29 Miller CR, Huang Y, Allan JN, *et al.* Prognostic implication of karyotypic evaluation in patients with richter transformation in the modern Era [J]. *Am J Hematol*, 2025, doi: 10. 1002/ajh. 27760
  - 30 Eichhorst B, Ghia P, Niemann CU, *et al.* ESMO clinical practice guideline interim update on new targeted therapies in the first line and at relapse of chronic lymphocytic leukaemia [J]. *Ann Oncol*, 2024, 35(9): 762 – 768
  - 31 Mato AR, Woyach JA, Brown JR, *et al.* Pirtobrutinib after a covalent BTK inhibitor in chronic lymphocytic leukemia [J]. *N Engl J Med*, 2023, 389(1): 33 – 44

(收稿日期: 2025 – 07 – 29)

(修回日期: 2025 – 07 – 31)

(上接第 14 页)

- 47 Liu J, Liu K, Cao F, *et al.* MRI – based radiomic nomogram for predicting disease – free survival in patients with locally advanced rectal cancer [J]. *Abdom Radiol (NY)*, 2024, doi: 10. 1007/s00261 – 024 – 04710 – 0
- 48 Tibermacine H, Rouanet P, Sbarra M, *et al.* Radiomics modelling in rectal cancer to predict disease – free survival: evaluation of different approaches [J]. *Br J Surg*, 2021, 108(10): 1243 – 1250
- 49 Wang FQ, Tan BF, Poh SS, *et al.* Predicting outcomes for locally advanced rectal cancer treated with neoadjuvant chemoradiation with CT – based radiomics [J]. *Sci Rep*, 2022, 12(1): 6167
- 50 Lu HD, Yuan Y, Liu ML, *et al.* Predicting pathological complete response following neoadjuvant chemoradiotherapy (nCRT) in patients with locally advanced rectal cancer using merged model integrating MRI – based radiomics and deep learning data [J]. *BMC Med Imaging*, 2024, 24(1): 289
- 51 Losurdo P, Gandin I, Belgrano M, *et al.* microRNAs combined to radiomic features as a predictor of complete clinical response after neoadjuvant radio – chemotherapy for locally advanced rectal cancer: a preliminary study [J]. *Surg Endosc*, 2023, 37(5): 3676 – 3683
- 52 Body A, Prenen H, Lam M, *et al.* Neoadjuvant therapy for locally advanced rectal cancer: recent advances and ongoing challenges [J]. *Clin Colorectal Cancer*, 2021, 20(1): 29 – 41

(收稿日期: 2025 – 03 – 04)

(修回日期: 2025 – 04 – 03)