

综述

提升乳腺MRI诊断特异度的研究进展

李海迪* 韩宝三
上海交通大学医学院附属新华医院
乳腺外科(上海 200082)

【摘要】乳腺癌的发病率高，对女性的健康构成了巨大的威胁。磁共振成像(MRI)是早期检测乳腺癌的重要方法，具有灵敏度高的优势，但特异性相对较低，这使得乳腺MRI的诊断准确率受到了影响。提升乳腺MRI的诊断特异性可以从成像技术、分析方法、数据挖掘及综合其他影像学检查结果四个方面来着手。这些方法虽然在一定程度上可以提升乳腺磁共振的诊断准确率，但也都存在一定的局限性，未来还需要进行更多研究以改进这些方法的不足，并探索新的技术以提升乳腺MRI的诊断特异性。

【关键词】乳腺磁共振；扩散加权成像；Kaiser评分；机器学习；影像组学
【中图分类号】R445.2；R737.9
【文献标识码】A
DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2026.03.052

Research Progress in Improving the Diagnostic Specificity of Breast MRI

国际癌症研究机构调查显示，2020年全世界范围内新增约230万例乳腺癌病例，新增因乳腺癌死亡病例约70万^[1]，乳腺癌对女性的身体健康和寿命产生了不利的影响。乳腺癌的发生被认为与现代化的城市生活方式相关^[2]，例如晚生育、不生育、不母乳喂养、久坐、体力劳动减少、抽烟饮酒、高糖高脂饮食和熬夜精神压力增大等，而我国2000年至2020年城市人口总共增加了4.18亿^[3]，城市人口的增加也会使得未来乳腺癌的患病人数增加。乳腺癌作为恶性程度较高的一类癌症，易发生转移，如果乳腺癌患者因为出现了自觉症状才去就医，此时发现的乳腺癌往往已经是晚期且很难得到根治^[4]，因此需要找到一种方法在乳腺癌尚处于早期时就可以将它检测出来。医学影像学的技术进步使得近年来越来越多的无法或难以通过临床触诊发现的乳腺微小病变得以通过影像学检查被发现^[5]，早期乳腺癌往往病变体积更加微小，而乳腺癌如果可以在早期进行干预，患者的生命质量可以有更大的提升。据统计，乳腺癌患者若能早期得到规范诊疗，5年生存率99%以上的占比将可达到60%^[6]。而在众多影像学检测手段中，归因于乳腺MRI技术的高灵敏度，其在乳腺癌的早期诊断中得到了广泛的应用^[7-8]。

然而，乳腺MRI存在特异性较低的问题^[9]，这导致许多对于MRI检测到的乳腺癌可疑病变在接受活检后最终被病理证实为良性，一项回顾性统计分析显示68.9% (378/548) MRI发现的疑似病变的活检病理结果证实为良性^[7]。乳腺磁共振较低的特异性甚至会抵消其高敏感度带来的优势，Mota等^[8]的一项临床试验发现，进行术前磁共振的实验组(257名患者)相比对照组(267名患者)的乳房切除率提升了8%，但乳腺切除率的提升却对提高局部无复发生存率、总生存率以及降低再手术率没有贡献。此外，任何形式活检都将对患者造成不同程度的损伤，其中全麻下进行的手术活检给患者带来的风险更大。如果可以维持磁共振对乳腺癌的高敏感度的同时增加其特异性，就可以降低磁共振发现的乳腺癌可疑病变良性活检率，同时保留磁共振对乳腺癌的高检出率，使患者获益的同时节省宝贵的医疗资源。

目前，已经有研究者正在探索提升MRI对于乳腺癌的诊断特异度的方法，提升诊断特异性可以从四个层面来着手：成像技术、分析方法、数据挖掘及综合其他影像学检查结果，本文现对目前已经被提出的可以提升乳腺MRI诊断特异度的方法进行综述。

1 成像技术

1.1 扩散加权成像(diffusion weighted imaging, DWI) DWI作为一种成像方法，能够以非侵入的方式去微观检测人体组织中水分子的运动状态。乳腺恶性肿瘤中的水分子因为弥散受限，表观弥散系数(apparent diffusion coefficient, ADC)往往较低，所以可以通过设置ADC截断值，对MRI上归类为乳腺成像报告和数据库(BI-RADS)4类的病灶进行分类，当病变高于截断值时，对该病变进行随访观察，而不是立即进入活检程序，可以避免不必要的活检程序，提升诊断的特异性^[10]。Clouser等^[11]回顾了五个中心总计696个BI-RADS4类活检病变，282个活检证实为良性的病变中的92个的ADC高于 $1.5 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ ，这92例病变被重新归类为非可疑病变，从而避免了32.6%的良性病变活检。但是3.4%(14/414)活检证实为恶性的病变被错误地归类为非可疑病变，这一错误在直径大于10mm的非肿块恶性病变更加显著，被错误降级的比例高达11.1%(5/45)。这可能是由于非肿块病灶不会使得周围组织出现明显受压的情况，影像中也不会和周围组织产生明确的分界，所以病变中会混入一些非病变成分，例如正常的结缔组织和上皮组织，使测得的ADC增高。考虑到不同患者的个体差异，有学者用疑似病变和正常组织的ADC比值替代单纯使用疑似病变的ADC作为区分良恶性的标准，期望可以提升诊断准确率，但最终结果显示诊断准确率并没有因此得到提升^[12]，这说明在利用感兴趣区域ADC进行辅助诊断时，参考病变周围其他组织的ADC对诊断准确率没有提升。目前MRI常规检查中一般都会纳入DWI检查，利用ADC截断值，可以在不增加额外检查的情况下提升MRI的诊断准确性。

1.2 体素内不相干运动扩散加权成像(intravoxel incoherent motion, IVIM) IVIM与

【第一作者】李海迪，男，博士研究生，主要研究方向：乳腺影像诊断学。E-mail: lhlihai@163.com

【通讯作者】李海迪

DWI之间存在密切的技术延伸关系^[13], IVIM通过DWI的双指数模型进一步细化了水分子弥散和血液灌注对弥散信号的影响,为临床提供了更全面的组织扩散成像参数和更深入的疾病病理生理学变化分析,能够高度精确地刻画DWI信号随b值变化的复杂关系。此模型不仅量化评估了水分子在生物组织中的扩散特性,通过其输出的特定参数,还深入揭示了组织微循环灌注的状态。具体而言,IVIM技术利用特定的DWI扫描序列,对于极微小的体积单元尺度,有效区分了“扩散”与“灌注”两大独立因素,使得对组织扩散特性的分析更为全面且细致。这一方法不仅增强了我们对组织微观结构变化的理解,还进一步揭示了疾病进程中病理生理学的微妙转变,可以为微小的乳腺癌病灶的诊断带来坚实的影像学指示^[14]。IVIM的主要参数包括真扩散系数(d)、假扩散系数(d*)、灌注分数(f),以及两者的乘积(fd*)。而通过IVIM序列的后处理就可以得到这些参数。有研究结果显示,结合这些参数建立的诊断模型诊断性能相比于ADC截断值有进一步的提升^[15],能更有效地提升MRI诊断乳腺癌的特异度,避免过度的有创检测程序。

2 分析方法

2.1 Kaiser评分 Kaiser评分是一种用于评估乳腺MRI检测到的病变,以确定是否需要进一步活检的评分系统。根据四个独立的BI-RADS描述,包括病变边缘状况、内部强化情况、时间-信号强度曲线类型和是否存在水肿,对病变进行逐步评估,通过决策树形图对病灶评分,评分越高则恶性可能越大^[16]。在乳腺癌MRI诊断方面,Kaiser评分不仅诊断的稳定性强,它还能对乳腺病变的诊断流程带来系统化与结构化的革新,特别是在面对肿块样病变时,显著提升了诊断的精确性与可靠性,为临床决策提供了更为清晰和有序的路径。其显示了极高的诊断准确性和极好的观察者间再现性^[17]和对缺乏丰富读片经验的医师的友好性^[18]。易熙等^[19]回顾了92例患者的101个乳腺病灶的MRI检查和手术或穿刺病理结果,这些病灶被两名5年以上工作经验的影像科医生利用Kaiser评分系统进行评分,Kaiser评分系统的受试者工作特征曲线下面积值为0.969,相比BI-RADS分类更优(0.702),说明Kaiser评分系统在乳腺病变MRI诊断中具有更好的诊断效果。在Kaiser评分系统中,得分越高,将病变分类恶性的准确率就越高。当评分 ≥ 5 时,可以准确识别100.00%的恶性病变;当评分 ≥ 6 时,可以识别91.98%的恶性病变。而在特异度方面,当评分 ≥ 7 时,评分达到98.51%,阳性似然比为53.21^[19]。这表明如果使用较高的评分 ≥ 7 作为判断良恶性病变的参考界值,可以正确识别79.41%的恶性病变,同时避免过度乳腺活检。Kaiser评分系统在乳腺病变MRI诊断中具有较高的诊断效能和特异度,对于提高诊断准确性和避免过度乳腺活检具有重要意义。在实际应用中,可以根据不同的诊断目标,合理运用高诊断界值以获得最佳的综合诊断效能。

2.2 Kaiser评分结合血管评估 对于传统的Kaiser评分分析方法可以添加额外的分类规则进一步提升诊断准确率。在恶性肿瘤中,癌细胞通过释放促血管生成因子等物质来刺激血管新生,从而形成新的血管,为肿瘤的生长和转移提供必要的条件^[20]。所以对于乳腺癌的诊断,参考血管新生的情况也很有价值。一项研究评估了将血管评估与Kaiser评分相结合的诊断效能,乳腺动态增强磁共振可以进行最大强度投影(maximal intensity projection, MIP)重组,从MIP图像上可以评估病变同侧乳房是否出现血管化以及临近血管征象(the adjacent vessel sign)。如果同侧乳房同时出现上述两种情况,则在该病变Kaiser评分的基础上再增加3

分。回顾分析223例经病理活检确诊的乳腺病灶,结合血管评估的Kaiser评分诊断准确率更高(AUC 0.877 vs 0.858)^[21],这显示了在利用Kaiser评分进行诊断时如能参考血管新生的情况,可以使诊断准确性得到提升。

3 数据挖掘

3.1 影像组学 影像组学通过对医学影像中的特征进行定量数字化,再利用计算机算法对数据进行筛选和处理,可以高效自动化地协助医生进行病变的诊断。在乳腺MRI检查中,设定好感兴趣区域后,影像组学能够深入挖掘图像中人眼难以识别到的特征,将其归纳总结以辅助诊断^[22-24]。通过结合影像组学和机器学习模型,可以更准确地诊断乳腺病变,包括鉴别良恶性病变,以及对腋窝淋巴结是否有明显转移的判断^[25]。这些优点可以提升乳腺MRI的诊断特异度,减少不必要的诊断程序和患者痛苦,同时提高医疗资源的利用效率。Lo Gullo等^[22]从BRCA阳性患者的MRI影像中提取出肿瘤的纹理和形态特征,并将这些特征输入到机器学习模型中训练和测试,借助无模型参数图来进行乳腺癌的辨识。通过将这种基于影像组学的机器学习方法与传统的诊断方法相结合,特异度从42.1%提升至91.4%,诊断准确率从53.4%提高到了81.5%。相比定性形态评估,结合影像组学分析和机器学习可以获取更多的MRI图像信息,更好地鉴别乳腺肿块的良恶性,有望可以减少良性病变的活检率。Pötsch等^[26]回顾分析470例乳腺病变(295个恶性),通过自动提取病变的病灶边缘特征和药代动力学增强特征,再进行主成分分析对数据进行简化程序,最后使用多层学习感知网络构建AI分类器来区分良性和恶性的乳腺病变。设定截断值为不小于95%敏感度时,即仅遗漏不超过5%的恶性病变,可以减少36.2%不必要的活检程序,而保持100%敏感度时,依然可以减少14.5%的良性病变活检,提示利用深度学习将MRI图像转换为可挖掘的数据特征,再结合利用机器学习建立的模型有望可以提升MRI在诊断乳腺癌方面的特异度,而不影响诊断敏感度。

3.2 机器学习算法 影像组学虽然可以提取MRI图像中许多肉眼无法识别出来的图像特征,但是这些特征大多抽象、复杂且难以解释,而BI-RADS中的描述性特征更加直观。使用机器学习算法可以综合利用这些特征来进行诊断^[27-28],实际上影像科医生在诊断的过程中也是根据最后归纳出的影像学特征描述综合判断来评估病变的良恶性。这一综合判断过程其实也类似于机器学习的黑箱过程,没有明确的路径或公式,而利用机器学习算法则是取代了人脑综合判断的过程,使得得出的诊断结果更稳定,不再受环境和个人主观判断的影响。杨迪等^[29]在研究中,通过综合分析乳腺肿块样病变的多种形态学特征(如边缘形态、形状特点、内部强化模式)与增强扫描过程中的强化类型(涵盖初期与延迟期),并结合患者的年龄、绝经状态等临床信息,以及利用ADC值(表观扩散系数)这一量化指标,不仅考虑了病灶自身的ADC值,还纳入了背景对照的ADC值,同时考量了病变的尺寸参数(如长径与短径)。这一系列综合性的评估方法,有效降低了单一因素评估的局限性,提升了乳腺肿块样病变诊断的全面性和准确性,共使用12个变量来进行数据驱动的诊断系统的训练。在对敏感度影响不大的同时,使得特异度从80%提升到了90%,这显示基于BI-RADS中的特征描述利用机器学习算法建立模型可以提升乳腺MRI的诊断准确度。

4 综合其他影像学检查结果

临床实践中进行乳腺MRI检查的患者往往也会进行乳腺超声和乳腺X线检查,在进行最终诊断时可以综合这些检查结果^[30]。超声是乳腺最常用的检查之一,杨光飞等^[31]探讨了MRI在结合了乳腺超声的检查结果后的诊断性能改变,其特异度有所提升(从84%提升至91%)而灵敏度会出现下降的情况(从92%下降至85)。自动乳腺全容积成像是一种可获得整个乳房不同切面(包括矢状面、横断面和冠状面)的三维立体超声成像技术。吴希尧等^[32]研究了综合应用自动乳腺成像技术和MRI在乳腺癌评估中的效能,联合了二者后,特异度较单独使用MRI有所提升(83%提升至88%),而灵敏度则变化不大。X线也是乳腺常用的检查方式,马强等^[33]分析了联合MRI与X线在乳腺导管原位癌的诊断性能,相比仅采用MRI进行诊断,其特异度从86%提升至96%,而敏感度没有减少。不同影像学检查技术有各自的优势和特点,在使用MRI对乳腺病灶进行诊断时如果能同时结合患者的其他影像学检查的结果,可以使在利用MRI对乳腺癌进行诊断时的特异度有所提升。

5 小结

提升乳腺MRI诊断特异度可以从成像技术、分析方法、数据挖掘和综合其他影像学检查结果这四个层面来进行。从这四个层面目前已经提出了一些方法可以用来提升乳腺MRI的特异度,但这些方法都有一定的局限性。今后的研究一方面可以对目前的方法做出改进并通过回顾性或前瞻性临床分析对其进行评价,另一方面应当对部分在回顾性分析中表现较好的方法开展相关临床试验。另外期望未来更多的新技术与乳腺磁共振相结合以继续推动乳腺MRI诊断性能的提升。

参考文献

[1] Sung H, Ferlay J, Siegel RL, 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] 熊洁, 段志财, 左怀全. 中美乳腺癌流行病学特征对比及防控策略分析[J]. *中国普外基础与临床杂志*, 2024, 31(01): 50-55.

[3] 周绍杰, 王拓, 胡珺祎. 中国农村人口现状及生育意愿问题研究[J]. *清华大学学报(哲学社会科学版)*, 2024, 39(1): 221-236+242.

[4] Baltzer PaT, Krug KB, Dietzel M. Evidence-based and structured diagnosis in breast MRI using the Kaiser score[J]. *RofO*, 2022, 194(11): 1216-1228.

[5] Gotzsche PC, Nielsen M. Screening for breast cancer with mammography[J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2011, (1): CD001877.

[6] Siegel RL, Miller KD, Fuchs HE, et al. Cancer statistics, 2022[J]. *CA Cancer J Clin*, 2022, 72(1): 7-33.

[7] Moreno G, Molina M, Wu R, et al. Unveiling the histopathologic spectrum of MRI-guided breast biopsies: an institutional pathological-radiological correlation[J]. *Breast Cancer Res Treat*, 2021, 187(3): 673-680.

[8] Mota BS, Reis YN, De Barros N, et al. Effects of preoperative magnetic resonance image on survival rates and surgical planning in breast cancer conservative surgery: randomized controlled trial (BREAST-MRI trial) [J]. *Breast Cancer Res Treat*, 2023, 198(3): 447-461.

[9] Liu W, Zong M, Gong HY, et al. Comparison of diagnostic efficacy between contrast-enhanced ultrasound and DCE-MRI for mass- and non-mass-like enhancement types in breast lesions[J]. *Cancer Manag Res*, 2020, 12: 13567-13578.

[10] Rahbar H, Zhang Z, Chenevert TL, et al. Utility of diffusion-weighted imaging to decrease unnecessary biopsies prompted by breast MRI: a trial of the ECOG-ACRIN cancer research group (A6702) [J]. *Clin Cancer Res*, 2019, 25(6): 1756-1765.

[11] Clauser P, Krug B, Bickel H, et al. Diffusion-weighted imaging allows for downgrading MR BI-RADS 4 lesions in contrast-enhanced MRI of the breast to avoid unnecessary biopsy[J]. *Clin Cancer Res*, 2021, 27(7): 1941-1948.

[12] Tsvetkova S, Doykova K, Vasiliska A, et al. Differentiation of benign and malignant breast lesions using ADC values and ADC ratio in breast MRI[J]. *Diagnostics (Basel)*, 2022, 12(2).

[13] Iima M, Le Bihan D. The road to breast cancer screening with diffusion MRI[J]. *Front Oncol*, 2023, 13: 993540.

[14] Li K, Machireddy A, Tudorica A, et al. Discrimination of malignant and benign breast lesions using quantitative multiparametric MRI: a preliminary study[J]. *Tomography*, 2020, 6(2): 148-159.

[15] Xu W, Zheng B, Li H. Identification of the benignity and malignancy of BI-RADS 4 breast lesions based on a combined quantitative model of dynamic contrast-enhanced MRI and intravoxel incoherent motion[J]. *Tomography*, 2022, 8(6): 2676-2686.

[16] Milos RI, Pipan F, Kalovidouri A, et al. The Kaiser score reliably excludes malignancy in benign contrast-enhancing lesions classified as BI-RADS 4 on breast MRI high-risk screening exams[J]. *Eur Radiol*, 2020, 30(11): 6052-6061.

[17] Istomin A, Masarwah A, Vanninen R, et al. Diagnostic performance of the Kaiser score for characterizing lesions on breast MRI with comparison to a multiparametric classification system[J]. *Eur J Radiol*, 2021, 138: 109659.

[18] Pötsch N, Korajac A, Stelzer P, et al. Breast MRI: does a clinical decision algorithm outweigh reader experience? [J]. *Eur Radiol*, 2022, 32(10): 6557-6564.

[19] 易照, 王贵良, 马荣, 等. Kaiser评分不同界值应用于乳腺病变MRI诊断的效能比较[J]. *分子影像学杂志*, 2021, 44(6): 911-916.

[20] Fusco R, Sansone M, Filice S, et al. Breast contrast-enhanced MR imaging: semiautomatic detection of vascular map[J]. *Breast Cancer*, 2016, 23(2): 266-272.

[21] Zhou XZ, Liu LH, He S, et al. Diagnostic value of Kaiser score combined with breast vascular assessment from breast MRI for the characterization of breast lesions[J]. *Front Oncol*, 2023, 13: 1165405.

[22] Lo Gullo R, Daimiel I, Rossi Saccarelli C, et al. Improved characterization of sub-centimeter enhancing breast masses on MRI with radiomics and machine learning in BRCA mutation carriers[J]. *Eur Radiol*, 2020, 30(12): 6721-6731.

[23] Liu X, Zhang J, Zhou J, et al. Multi-modality radiomics nomogram based on DCE-MRI and ultrasound images for benign and malignant breast lesion classification[J]. *Front Oncol*, 2022, 12: 992509.

[24] Cui Q, Sun L, Zhang Y, et al. Value of breast MRI omics features and clinical characteristics in breast imaging reporting and data system (BI-RADS) category 4 breast lesions: an analysis of radiomics-based diagnosis [J]. *Ann Transl Med*, 2021, 9(22): 1677.

[25] Lyu Y, Chen Y, Meng L, et al. Combination of ultrafast dynamic contrast-enhanced MRI-based radiomics and artificial neural network in assessing BI-RADS 4 breast lesions: potential to avoid unnecessary biopsies[J]. *Front Oncol*, 2023, 13: 1074060.

[26] Pötsch N, Dietzel M, Kapetas P, et al. An A.I. classifier derived from 4D radiomics of dynamic contrast-enhanced breast MRI data: potential to avoid unnecessary breast biopsies[J]. *Eur Radiol*, 2021, 31(8): 5866-5876.

[27] Liu MZ, Swintelski C, Sun S, et al. Weakly supervised deep learning approach to breast MRI assessment[J]. *Acad Radiol*, 2022, 29 Suppl 1: S166-s172.

[28] Hizukuri A, Nakayama R, Nara M, et al. Computer-aided diagnosis scheme for distinguishing between benign and malignant masses on breast DCE-MRI images using deep convolutional neural network with Bayesian optimization[J]. *J Digit Imaging*, 2021, 34(1): 116-123.

[29] 杨迪, 曹佳琦, 张潇月, 等. 核极限学习机诊断乳腺良性肿块样病变[J]. *中国医学影像学杂志*, 2019, 35(04): 507-510.

[30] Gao LY, Gu Y, Xu W, et al. Can combined screening of ultrasound and elastography improve breast cancer identification compared with MRI in women with dense breasts—a multicenter prospective study[J]. *J Cancer*, 2020, 11(13): 3903-3909.

[31] 杨光飞, 常瑞姣, 武雅婷, 等. 超声与MRI对乳腺BI-RADS 3-5类肿物的诊断分类一致性比较[J]. *中国医学影像学杂志*, 2022, 30(10): 991-995.

[32] 吴希尧, 张琼, 王娅因, 等. 自动乳腺全容积超声成像技术对中老年妇女乳腺肿块鉴别诊断的价值[J]. *中国老年学杂志*, 2022, 42(11): 2670-2672.

[33] 马强. MRI增强扫描与钼靶成像在诊断乳腺导管原位癌(DCIS)中的应用价值[J]. *中华养生保健*, 2024, 42(6): 180-183.