

· 综述 · doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2024.20.024

网络首发 [https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20240508.1647.028\(2024-05-09\)](https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20240508.1647.028(2024-05-09))

乳腺癌超声影像组学的研究进展*

鲜 锋,周 畅[△],韦 力

(三峡大学第一临床医学院超声科,湖北宜昌 443003)

[摘要] 乳腺癌的诊断方法包括乳房 X 射线摄影、超声、磁共振成像和活检技术,但每种方法都存在一定的局限性。超声影像组学是一个新兴领域,通过提取和分析超声图像中的定量特征,有助于提高乳腺癌的诊断和预后评估准确性。这项技术已应用于乳腺癌领域,可以提高其诊断准确性、帮助建立预后模型、预测腋窝淋巴结转移、监测治疗反应并指导个性化治疗。未来的研究方向可能包括整合多模态数据、定制诊断和治疗策略、优化机器学习和人工智能算法、建立标准化方法并进行临床验证及监测治疗效果等,但也需要解决一系列挑战,如建立标准化方法、提高图像质量、保护数据安全和患者隐私、验证特征的可靠性和实用性。解决这些问题将有助于在乳腺癌领域中更广泛地应用超声影像组学技术,从而提高患者的治疗效果和生存率。

[关键词] 超声;影像组学;乳腺癌;机器学习;深度学习;人工智能;综述

[中图分类号] R737.9 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1671-8348(2024)20-3179-05

Research progress of ultrasound radiomics in breast cancer*

XIAN Feng,ZHOU Chang[△],WEI Li

(Department of Ultrasonic Imaging,First College of Clinical Medical Science,
China Three Gorges University,Yichang,Hubei 443003,China)

[Abstract] Diagnostic methods for breast cancer include the mammography,ultrasound,magnetic resonance imaging and biopsy technique,but each method has a certain limitation.The ultrasound radiomics is a newly developing field,which extracts and analyzes the quantitative features in ultrasound images and is helpful to improve the accuracy of diagnosis and prognosis assessment of related diseases.This technique has been used in the field of breast cancer,can enhance the diagnostic accuracy,help to construct the prognostic model,predict the axillary lymph node metastasis,monitor the treatment response and guide the personalized treatment.The future research directions may include integrating multimodal data,customizing diagnostic and treatment strategies,optimizing machine learning and artificial intelligence algorithms,establishing the standardized methods,conducting the clinical validation and monitoring the treatment effects.However,there are several challenges that need to be addressed,such as establishing the standardized methods,improving the image quality,ensuring the data security and privacy,and verifying the reliability and practicality of features in order to widely apply the ultrasound radiomics technology in breast cancer field,thus improve the treatment effect and survival rate of the patients.

[Key words] ultrasound;radiomics;breast cancer;machine learning;deep learning;artificial intelligence;review

乳腺癌是全球女性最常见的恶性肿瘤^[1],在女性健康和临床医学上具有重要意义。目前乳腺癌的诊断、治疗和预后取得了一定进展,其中早期诊断和个性化治疗是提高患者生存率和生活质量的关键。超声影像作为一种常用的医学成像技术,因其无创、快速、低成本和无辐射等优点,在乳腺肿块的诊断中得到了广泛应用^[2-3]。近年来,结合计算机科学和医学影像学的跨学科研究推动了乳腺癌超声影像组学的发展。这一新兴领域旨在利用机器学习和人工智能算法挖掘乳腺超声图像中丰富的特征信息,以提高早

期诊断、病变评估、预测和治疗反应的准确率^[4]。超声影像组学通过对乳腺癌超声图像特征进行量化分析,有望为临床医生提供更准确和全面的辅助诊断信息,为乳腺癌患者提供个性化的精准治疗方案。本文旨在系统综述乳腺癌超声影像组学方法技术和临床应用的研究进展,探讨其在乳腺癌诊断与治疗中的潜力和未来发展方向,以期为乳腺癌患者的诊疗提供新的思路和方法。

1 乳腺癌的诊断方法

乳腺癌的诊断方法包括乳房 X 射线检查、超声、

磁共振成像和活检技术^[5-6],每种方法都有其优势但也存在一定局限性。乳房 X 射线检查在乳腺癌早期发现方面效果良好,特别适用于 40 岁以上女性。在年轻女性的致密乳房组织中,其准确性较低,可能出现假阳性和假阴性结果^[7-8]。超声可以很好地进一步评估乳房 X 射线检查发现的异常并区分固体和液体肿块,其局限性包括依赖于人员操作,且难以检测到早期乳腺癌中具有重要意义的微钙化现象。乳房磁共振成像具有高敏感度,通常用于高危人群或对不确定发现进行进一步评估,其特异性较低,可能导致假阳性率的增加和不必要的活检^[9]。活检如核心针活检、细针穿刺是确诊乳腺癌的最直接方法,但这些方法属于侵入性操作,可能无法对整个病变进行全面采样,存在潜在的采样误差风险^[2]。

除了上述局限之外,所有的诊断方法都受到诸如乳腺密度、患者年龄及放射科或病理科医生的经验等因素的影响^[10]。在选择检查方式和解读诊断结果时,医生和患者需要考虑这些限制因素,并结合多种方法,以确保乳腺癌的精确诊断,制定治疗方案。目前的研究方向在于通过成像技术的进步、人工智能的集成和新生物标志物的发现,提高这些诊断方法的准确性。

2 超声影像组学的发展现状

超声影像组学是一个新兴领域,其原理在于提取超声图像的纹理、形状和强度等相关定量特征,并将这些特征结合临床和分子数据,以预测疾病发展和预后情况。这些特征包括组织异质性、血管特性和其他微观结构信息,但在传统成像的视觉检查中可能不太明显。因此超声影像组学有望补充传统成像分析,为患者提供更精准的诊疗。

超声影像组学的发展可以追溯到更广泛的影像组学领域。最初,影像组学在计算机断层扫描和磁共振成像等医学影像技术中引起了广泛关注,并逐步成为研究热点。随着超声在医学成像中的应用不断进步,影像组学原理也被应用到了超声检查中。超声影像组学的发展受益于图像采集和分析技术的进步,以及大规模成像数据集的增加,同时,机器学习和人工智能算法的运用也对提取和解释影像组学特征起到了积极的作用。这些技术进步有望提高诊断准确性、评估预后,以及制定各种疾病的治疗方案^[6]。

超声影像组学在多个医学领域取得了良好的应用效果。该技术已成功应用于肝细胞癌的诊断^[11],胎儿肺纹理分析以预测合并妊娠糖尿病和/或先兆子痫的孕妇合并新生儿呼吸系统疾病^[12],甲状腺结节的诊断^[13],以及对杜氏肌营养不良患者的运动功能进行评估^[14]。人工智能算法在定量提取图像特征和分析大型数据集方面发挥了关键作用,提高了超声影像组学的诊断能力^[11,15]。

超声影像组学技术与影像组学领域的整体发展步调一致。这项技术在医学成像领域的广泛应用为改善各类疾病治疗提供了广阔的前景,同时也开辟了

一条无创、信息丰富的技术新途径^[15-16]。

3 超声影像组学在乳腺癌中的应用

超声影像组学从超声图像中提取和分析定量特征,应用于乳房病变的表征和肿瘤行为的预测方面。超声影像组学通过对肿瘤特征(如组织异质性、血管分布和质地)进行定量分析,可提高乳腺癌诊断的准确性^[17-18]。特别是在传统的视觉解释可能具有挑战性的情况下,这些特征提供了有关肿瘤内部组成的有用信息,有助于区分良恶性病变和预测肿瘤的侵袭性^[19-22]。SHIYAN 等^[19]通过分析 423 例实质性低回声乳腺病变的超声应变弹性成像和自动乳腺体积扫描仪图像,提取和筛选影像组学特征,结合乳腺影像报告和数据库评分及与乳腺恶性病变相关的临床风险因素,构建了一个多元 logistic 回归模型,建立了一个预测恶性风险的临床-影像组学评分表,从而提高了实质性低回声乳腺病变的诊断准确性。XU 等^[23]从乳腺肿瘤常规超声中提取了整个肿瘤区域及超声造影图像上的整个肿瘤区域、最强灌注区、边缘区及周围区域这 5 个感兴趣区域的影像组学特征,采用深度神经网络对这些特征进行全面学习和选择,然后利用支持向量机对乳腺良恶性肿瘤进行分类。研究结果表明,生成的 5 个单区域分类模型融合形成的综合分类模型具有最佳的分类效果。

通过超声影像组学,临床医生能更深入地了解乳腺肿瘤的分子和表型特征以制定个性化治疗策略,包括预测特定治疗反应,并根据肿瘤的超声影像组学特征确定可能从靶向治疗中受益的患者。这有助于识别出具有较高疾病进展风险的患者,并指导选择最佳治疗策略。研究已证实超声影像组学在预测乳腺癌分子亚型方面具有潜力,如雌激素受体、孕激素受体和人表皮生长因子受体 2 状态^[18,24-25]。通过分析影像组学特征,可以推断肿瘤的潜在分子特征,可能对治疗计划和患者管理产生积极影响。一项研究^[26]包括 342 例乳腺癌患者,证明了超声影像组学在评估分子谱方面的预测性能。该研究采用支持向量机构建分子模型,并利用受试者工作特征曲线进行预测性能评估。

超声影像组学被广泛用于构建乳腺癌的预后预测模型,以预测肿瘤复发、转移和生存等结果^[27-28]。WANG 等^[29]的研究结合了超声影像组学和临床病理学特征,并采用了 SMOTEENN 机器学习模型,成功地预测了三阴性乳腺癌患者的无病生存期。该模型在训练队列中的受试者工作特征曲线下面积(AUC)为 0.86,在独立测试队列中的 AUC 为 0.90,高于仅使用影像组学模型或影像组学结合 SMOTEENN 模型预测的结果。该预测模型为疾病潜在机制的分析提供了重要见解,并为制定个性化治疗策略提供了指导。

超声影像组学在预测乳腺癌腋窝淋巴结转移方面得到了一定的研究^[30-31]。暴洛宁等^[32]利用乳腺癌常规超声构建影像组学标签来预测术前乳腺癌是否

存在前哨淋巴结转移。在训练集和验证集中,该标签对乳腺癌前哨淋巴结转移的预测 AUC 分别为 0.795 和 0.784。另外,ZHENG 等^[33]通过结合常规超声和剪切波弹性成像技术的深度学习影像组学与临床参数,可以预测早期乳腺癌的腋窝淋巴结状态。因此,超声影像组学有望成为一种无创工具用于预测乳腺癌腋窝淋巴结转移。

超声影像组学在监测治疗反应和评估肿瘤随时间变化方面有广阔的应用前景^[34-36]。通过分析治疗前后的影像组学特征,临床医生能够评估治疗的有效性并及时调整患者的治疗计划。YU 等^[37]开发了一种深度学习超声影像组学模型,该模型结合了预处理超声成像特征和临床特征,用于早期预测乳腺癌中新辅助化疗的病理反应,该综合深度学习模型在训练集和验证集中预测新辅助化疗反应的 AUC 分别为 0.962 和 0.939,表现出较高的分类性能。

4 未来与展望

超声影像组学在乳腺癌研究中有广阔的发展前景,未来的研究方向可能包括以下几个方面:(1)进一步整合超声图像数据与其他影像学模态和临床数据(如分子生物标记物、基因组数据等),创建更全面、多维的信息模型,提高乳腺癌的诊断和预后评估准确性。(2)深入研究、优化机器学习和人工智能算法,以提高超声影像组学的特征提取、模式识别和预测性能,进一步提升乳腺癌诊断和预后评估的准确性和可靠性^[7,38-39]。(3)建立更统一的超声影像组学特征提取、分析和解释的标准化方法,同时进行多中心临床试验验证,促进该技术在临床实践中广泛应用。(4)进一步研究超声影像组学特征与乳腺癌的生物学和临床特征间的关联,探究影像特征与疾病生物学行为的相关性,为深入理解乳腺癌的发病机制提供更多信息。这些方向有望为乳腺癌的早期诊断、治疗选择和疗效监测提供更加有效的支持,推动超声影像组学技术在乳腺癌领域的发展。

尽管超声影像组学在乳腺癌领域具有广阔的临床应用前景,但仍需解决一系列挑战。首先,超声图像的质量和数据分析技术对超声影像组学的有效性至关重要,因此需要在技术上改进和优化,以提高图像的分辨率、准确度,从而可靠地提取和分析相关特征^[40]。其次,超声影像组学研究涉及大量的医学影像数据和患者隐私信息,因此数据安全存储和隐私保护是一个重要的考虑因素,需要制定有效的保障措施。最后,将超声影像组学技术融入临床工作流程中是一个复杂的过程,需要建立更好的桥梁,使技术进步与实际临床需求相结合,提高其在乳腺癌管理中的实际应用。解决这些挑战,有望促进超声影像组学技术在乳腺癌领域更广泛的应用。

5 结论

乳腺超声影像组学是一个新兴领域,在乳腺癌早期诊断、治疗规划和预后评估方面具有潜力。通过分析超声图像中的多种特征,能提高对乳腺癌诊断的准

确性,特别是在早期乳腺癌的检测和鉴别诊断方面具有显著作用。随着深度学习和人工智能技术的发展,乳腺癌超声影像组学将更准确地识别和解释超声图像特征,提高对乳腺癌的诊断准确性。将乳腺超声影像与其他医学影像数据整合分析,有望进一步提高乳腺癌的诊断效果和疾病管理的精准度。加强不同医疗机构之间的数据共享与合作,建立大规模的乳腺癌超声影像组学数据库,有助于更好地理解乳腺癌的发病机制,并推动新技术的应用。总体而言,乳腺癌超声影像组学是一个迅速发展的领域,未来的研究和技术创新将进一步完善该技术,以期为乳腺癌患者提供更精准、个性化的医疗服务。

参考文献

- [1] 梁铎,杨剑,高婷,等. 全球女性乳腺癌发病趋势及年龄变化情况[J]. 中华肿瘤杂志,2023,45(4):313-321.
- [2] LI F,ZHU T W,LIN M,et al. Enhancing Ki-67 prediction in breast cancer: integrating intratumoral and peritumoral radiomics from automated breast ultrasound via machine learning[J]. Acad Radiol,2024,31(7):2663-2673.
- [3] MA Q,WANG J,XU D,et al. Automatic breast volume scanner and B-ultrasound-based radiomics nomogram for clinician management of BI-RADS 4A lesions[J]. Acad Radiol,2023,30(8):1628-1637.
- [4] JONES M A,ISLAM W,FAIZ R,et al. Applying artificial intelligence technology to assist with breast cancer diagnosis and prognosis prediction[J]. Front Oncol,2022,12:980793.
- [5] SHAH S M,KHAN R A,ARIF S,et al. Artificial intelligence for breast cancer analysis: trends & directions [J]. Comput Biol Med,2022,142:105221.
- [6] BITENCOURT A,DAIMIEL N I,LO G R,et al. AI-enhanced breast imaging: where are we and where are we heading? [J]. Eur J Radiol,2021,142:109882.
- [7] AYANA G,DESE K,CHOE S W. Transfer learning in breast cancer diagnoses via ultrasound imaging[J]. Cancers (Basel),2021,13(4):738.
- [8] YAN M,YAO J,ZHANG X,et al. Machine learning-based model constructed from ultrasound radiomics and clinical features for predicting HER2 status in breast cancer patients with indeterminate (2+) immunohistochemical results[J]. Cancer Med,2024,13(3):e6946.
- [9] DOLEGA-KOZIEROWSKI B,LIS M,MARSZALSKA-JACAK H,et al. Multimodality ima-

- ging in lobular breast cancer; differences in mammography, ultrasound, and MRI in the assessment of local tumor extent and correlation with molecular characteristics [J]. *Front Oncol*, 2022, 12: 855519.
- [10] ZHANG Q, ZHANG Q, LIU T, et al. Development and external validation of a simple-to-use dynamic nomogram for predicting breast malignancy based on ultrasound morphometric features: a retrospective multicenter study [J]. *Front Oncol*, 2022, 12: 868164.
- [11] MARUYAMA H, YAMAGUCHI T, NAGAMATSU H, et al. AI-based radiological imaging for HCC: current status and future of ultrasound [J]. *Diagnostics (Basel)*, 2021, 11(2): 292.
- [12] DU Y, FANG Z, JIAO J, et al. Application of ultrasound-based radiomics technology in fetal lung-texture analysis in pregnancies complicated by gestational diabetes and/or pre-eclampsia [J]. *Ultrasound Obstet Gynecol*, 2021, 57(5): 804-812.
- [13] ZHANG X Y, ZHANG D, HAN L, et al. Predicting malignancy of thyroid micronodules: radiomics analysis based on two types of ultrasound elastography images [J]. *Acad Radiol*, 2023, 30(10): 2156-2168.
- [14] YAN D, LI Q, LIN C, et al. Hybrid QUS radiomics: a multimodal-integrated quantitative ultrasound radiomics for assessing ambulatory function in duchenne muscular dystrophy [J]. *IEEE J Biomed Health Inform*, 2024, 28(2): 835-845.
- [15] ZHONG L, SHI L, ZHOU L, et al. Development of a nomogram-based model combining intra-and peritumoral ultrasound radiomics with clinical features for differentiating benign from malignant in Breast Imaging Reporting and Data System category 3-5 nodules [J]. *Quant Imaging Med Surg*, 2023, 13(10): 6899-6910.
- [16] VAN TIMMEREN J E, CESTER D, TANADINI-LANG S, et al. Radiomics in medical imaging: "how-to" guide and critical reflection [J]. *Insights Imaging*, 2020, 11(1): 91.
- [17] DU Y, CAI M, ZHA H, et al. Ultrasound radiomics-based nomogram to predict lymphovascular invasion in invasive breast cancer: a multicenter, retrospective study [J]. *Eur Radiol*, 2024, 34(1): 136-148.
- [18] LIU J, WANG X, HU M, et al. Development of an ultrasound-based radiomics nomogram to preoperatively predict Ki-67 expression level in patients with breast cancer [J]. *Front Oncol*, 2022, 12: 963925.
- [19] SHIYAN G, LIQING J, YUEQIONG Y, et al. A clinical-radiomics nomogram based on multimodal ultrasound for predicting the malignancy risk in solid hypoechoic breast lesions [J]. *Front Oncol*, 2023, 13: 1256146.
- [20] ZHU J Y, HE H L, LIN Z M, et al. Ultrasound-based radiomics analysis for differentiating benign and malignant breast lesions: from static images to CEUS video analysis [J]. *Front Oncol*, 2022, 12: 951973.
- [21] 周艳, 叶磊, 潘婷婷, 等. 基于灰阶超声的不同影像组学模型鉴别乳腺肿块良恶性的价值 [J]. *安徽医学*, 2022, 43(2): 127-131.
- [22] LI Y, WU X, YAN Y, et al. Automated breast volume scanner based radiomics for non-invasively prediction of lymphovascular invasion status in breast cancer [J]. *BMC Cancer*, 2023, 23(1): 813.
- [23] XU Z, WANG Y, CHEN M, et al. Multi-region radiomics for artificially intelligent diagnosis of breast cancer using multimodal ultrasound [J]. *Comput Biol Med*, 2022, 149: 105920.
- [24] 许荣, 欧阳秋芳, 林晴, 等. 超声影像组学预测雌激素受体及孕激素受体双阴性乳腺癌 [J]. *中国医学影像技术*, 2023, 39(9): 1346-1349.
- [25] GONG X, LI Q, GU L, et al. Conventional ultrasound and contrast-enhanced ultrasound radiomics in breast cancer and molecular subtype diagnosis [J]. *Front Oncol*, 2023, 13: 1158736.
- [26] XU R, YOU T, LIU C, et al. Ultrasound-based radiomics model for predicting molecular biomarkers in breast cancer [J]. *Front Oncol*, 2023, 13: 1216446.
- [27] 王耀晨, 房秀霞, 樊炳慧, 等. 近 5 年超声新技术在乳腺癌预后评估中的研究进展 [J]. *分子影像学杂志*, 2023, 46(6): 1133-1137.
- [28] XIONG L, CHEN H, TANG X, et al. Ultrasound-based radiomics analysis for predicting disease-free survival of invasive breast cancer [J]. *Front Oncol*, 2021, 11: 621993.
- [29] WANG H, LI X, YUAN Y, et al. Association of machine learning ultrasound radiomics and disease outcome in triple negative breast cancer [J]. *Am J Cancer Res*, 2022, 12(1): 152-164.
- [30] ZHAO M, ZHENG Y, CHU J, et al. Ultrasound-based radiomics combined with immune status to predict sentinel lymph node metastasis in

- primary breast cancer [J]. *Sci Rep*, 2023, 13 (1):16918.
- [31] GAO Y, LUO Y, ZHAO C, et al. Nomogram based on radiomics analysis of primary breast cancer ultrasound images: prediction of axillary lymph node tumor burden in patients [J]. *Eur Radiol*, 2021, 31(2):928-937.
- [32] 暴珞宁, 王瑛, 陈东, 等. 超声影像组学标签预测乳腺癌前哨淋巴结转移的价值 [J]. *实用医学杂志*, 2021, 37(15):2007-2011.
- [33] ZHENG X, YAO Z, HUANG Y, et al. Deep learning radiomics can predict axillary lymph node status in early-stage breast cancer [J]. *Nat Commun*, 2020, 11(1):1236.
- [34] CAI L, SIDEY-GIBBONS C, NEES J, et al. Can multi-modal radiomics using pretreatment ultrasound and tomosynthesis predict response to neoadjuvant systemic treatment in breast cancer? [J]. *Eur Radiol*, 2023, 34(4):2560-2573.
- [35] YANG M, LIU H, DAI Q, et al. Treatment response prediction using ultrasound-based pre-, post-early, and delta radiomics in neoadjuvant chemotherapy in breast cancer [J]. *Front Oncol*, 2022, 12:748008.
- [36] HUANG J X, WU L, WANG X Y, et al. Delta radiomics based on longitudinal dual-modal ultrasound can early predict response to neoadjuvant chemotherapy in breast cancer patients [J]. *Acad Radiol*, 2024, 31(5):1738-1747.
- [37] YU F H, MIAO S M, LI C Y, et al. Pretreatment ultrasound-based deep learning radiomics model for the early prediction of pathologic response to neoadjuvant chemotherapy in breast cancer [J]. *Eur Radiol*, 2023, 33(8):5634-5644.
- [38] YAO Z, LUO T, DONG Y, et al. Virtual elastography ultrasound via generative adversarial network for breast cancer diagnosis [J]. *Nat Commun*, 2023, 14(1):788.
- [39] PANG T, WONG J H D, NG W L, et al. Semi-supervised GAN-based radiomics model for data augmentation in breast ultrasound mass classification [J]. *Comput Methods Programs Biomed*, 2021, 203:106018.
- [40] HUANG Q, WANG D, LU Z, et al. A novel image-to-knowledge inference approach for automatically diagnosing tumors [J]. *Expert Syst Appl*, 2023, 11(229):120450.
- (收稿日期:2024-02-28 修回日期:2024-06-28)
(编辑:成卓)
-
- (上接第 3178 页)
- [39] HJORTH-HANSEN H, STENTOFT J, RICHTER J, et al. Safety and efficacy of the combination of pegylated interferon- α 2b and dasatinib in newly diagnosed chronic-phase chronic myeloid leukemia patients [J]. *Leukemia*, 2016, 30 (9):1853-1860.
- [40] QAZILBASH M H, WIEDER E, THALL P F, et al. PR1 peptide vaccine induces specific immunity with clinical responses in myeloid malignancies [J]. *Leukemia*, 2017, 31(3):697-704.
- [41] WU J, YAN H, XIANG C. Wilms' tumor gene 1 in hematological malignancies: friend or foe? [J]. *Hematology*, 2023, 28(1):2254557.
- [42] BRAUN D A, WU C J. Antigen discovery and therapeutic targeting in hematologic malignancies [J]. *Cancer J*, 2017, 23(2):115-124.
- [43] QUINTARELLI C, DOTTI G, HASAN S T, et al. High-avidity cytotoxic T lymphocytes specific for a new PRAME-derived peptide can target leukemic and leukemic-precursor cells [J]. *Blood*, 2011, 117(12):3353-3362.
- [44] NICOLINI F E, BASAK G W, KIM D W, et al. Overall survival with ponatinib versus allogeneic stem cell transplantation in Philadelphia chromosome-positive leukemias with the T315I mutation [J]. *Cancer*, 2017, 123 (15): 2875-2880.
- [45] JABBOUR E, KANTARJIAN H. Chronic myeloid leukemia: 2020 update on diagnosis, therapy and monitoring [J]. *Am J Hematol*, 2020, 95 (6):691-709.
- [46] UHM J. Treatment after failure of frontline therapy of chronic myeloid leukemia in chronic phase including allogeneic hematopoietic stem cell transplantation [J]. *Blood Res*, 2023, 58 (Suppl. 1):109-113.
- [47] CHALANDON Y, PASSWEG J R, SCHMID C, et al. Outcome of patients developing GVHD after DLI given to treat CML relapse: a study by the Chronic Leukemia Working Party of the EBMT [J]. *Bone Marrow Transplant*, 2010, 45(3):558-564.
- (收稿日期:2024-02-22 修回日期:2024-05-30)
(编辑:管佩钰)