doi：10.7499/j.issn.1008-8830.2505082

综述

新生儿坏死性小肠结肠炎手术时机预测研究进展

翟红丽　综述　　唐毅　审校

（重庆医科大学附属儿童医院超声科/国家儿童健康与疾病临床医学研究中心/
儿童发育疾病研究教育部重点实验室/儿童代谢与炎症性疾病重庆市重点实验室，重庆　400014）

［摘要］新生儿坏死性小肠结肠炎（necrotizing enterocolitis, NEC）是一种威胁早产儿生命的急性胃肠道重症，以高发病率和高病死率为特征。20%~60%的NEC患儿因肠穿孔或内科治疗无效需接受急诊外科手术干预，肠穿孔后接受外科手术的患儿死亡风险显著增高。然而，传统影像学检查和生物标志物对手术时机的预测效能欠佳。近年来，多模态影像学技术、新型生物标志物及机器学习算法在NEC手术时机预测中较传统检查方法和临床指标展现出更高的预测价值。该文就NEC手术时机预测研究的新进展作一综述。

［中国当代儿科杂志，2026，28（3）：371-377］

［关键词］坏死性小肠结肠炎；手术时机；多模态预测；新兴技术；新生儿

Recent advances in predicting the surgical timing for neonatal necrotizing enterocolitis

ZHAI Hong-Li, TANG Yi. Department of Ultrasonography, Children's Hospital of Chongqing Medical University/National Clinical Research Center for Child Health and Disorders/Ministry of Education Key Laboratory of Child Development and Disorders/Chongqing Key Laboratory of Pediatric Metabolism and Inflammatory Diseases, Chongqing 400014, China (Tang Y, Email: tangyi6688@163.com)

Abstract: Neonatal necrotizing enterocolitis (NEC) is a life-threatening acute gastrointestinal disorder in preterm infants, characterized by high morbidity and mortality. Approximately 20%-60% of infants with NEC require emergency surgical intervention due to intestinal perforation or failure of medical management, and mortality risk increases markedly when surgery follows perforation. Traditional imaging and biomarkers have limited performance in predicting surgical timing. In recent years, multimodal imaging technologies, novel biomarkers, and machine learning algorithms have shown higher predictive value than conventional tests and clinical indicators for determining surgical timing in NEC. This review summarizes recent advances in predictive methodologies for surgical decision-making in NEC.

[Chinese Journal of Contemporary Pediatrics, 2026, 28(3): 371-377]

Key words: Necrotizing enterocolitis; Surgical timing; Multimodal prediction; Emerging technology; Neonate

作为重症监护领域最具挑战性的临床难题之一，新生儿坏死性小肠结肠炎（necrotizing enterocolitis, NEC）的发病率和病死率在早产儿和极低出生体重儿（very low birth weight infant, VLBWI）群体中居高不下[1]。尽管现代医学不断进步，NEC仍保持7%~13%的发病率，病死率高达20%~30%[2]。研究表明，20%~60%的患儿因病情进展恶化需手术治疗[3]，肠穿孔后致死风险进一步升高。因此，在肠穿孔发生前识别NEC的手术需求对改善高危NEC患儿的远期预后至关重要。尽管已有大量的相关研究，但手术时机的选择仍是当前临床的痛点，目前国内外尚未形成统一标准。传统影像学评估中，腹部X线曾被视为NEC影像学诊断的金标准，但在早期诊断NEC时，其灵敏度和特异度均不高[4]。杜克腹部评估量表（Duke Abdominal Assessment Scale）是基于X线征

［收稿日期］2025-05-20；［接受日期］2025-10-21

［作者简介］翟红丽，女，硕士研究生。

［通信作者］唐毅，女，主任医师。Email：tangyi6688@163.com。

象评估NEC手术时机的评分量表，对于预测手术时机有一定帮助，但灵敏度亦不高[5]。相较而言，腹部常规超声在NEC早期征象的识别，如肠壁增厚、肠壁积气、腹水等方面更具优势，但仅凭单一超声的多项指标对NEC患儿手术时机的预测仍存在一定局限性。近年来，NEC的研究聚焦多模态超声评估体系的构建，通过整合肠道形态、血流灌注、肠蠕动情况及肠外间接征象，形成多参数预测模型，此类模型显示出较好的预测效能[6-7]。值得注意的是，近红外光谱技术（near-infrared spectroscopy, NIRS）、超声造影（contrast-enhanced ultrasound, CEUS）及光声成像（photoacoustic imaging, PAI）等新兴技术，在肠道微循环灌注定量评估中展现出更高的精准度。生物学指标监测方面，临床外科医生仍以白细胞计数、血小板计数、C-反应蛋白、降钙素原等传统指标为主，但最新研究表明，中性粒细胞与淋巴细胞比值、血清淀粉样蛋白等大量新兴生物学指标在NEC患儿手术时机预测中显示出较传统指标更高的预测价值。本文系统综述NEC诊疗中的新兴技术、生物标志物及预测模型的前沿进展，旨在为构建基于大规模多模态数据驱动的NEC手术决策体系提供循证医学支持。

1　NEC手术时机预测技术新进展

1.1　NIRS

NIRS是一项可持续监测新生儿肠道组织氧饱和度（regional oxygen saturation, rSO_2），从而反映特定组织或器官的血液灌注情况的新技术，其床边操作便捷性和连续监测特性在危重新生儿管理中具有独特优势[8]。围术期NIRS监测能早期识别肠道缺血，评估微循环储备功能，为改善NEC的血流灌注、评价内科疗效及预测手术时机提供依据。Howarth等[9]研究证实，持续内脏NIRS监测可改善NEC患儿的临床预后。Fortune等[10]发现，脑肠氧合比值（cerebro-splanchnic oxygenation ratio, CSOR）对新生儿内脏缺血的检测灵敏度达90%（95%*CI*：56%~100%），当CSOR<0.75时，对预测肠道缺血及手术干预必要性具有高度特异性。持续脑–内脏NIRS监测中CSOR的下降提示NEC病情恶化及潜在的手术需求。Palleri等[11]通过队列研究发现，rSO_2<30%显著增加极早产儿NEC的发生风险（*OR*=2.1，95%*CI*：1.3~3.4）。van der Heide等[12]基于75例早产儿的研究显示，CSOR与疑似NEC的概率呈正相关，CSOR每增加0.1单位使诊断NEC的可能性增加约28%。此外，肠道rSO_2的显著波动性对临床排除NEC具有重要参考价值。然而，Le Bouhellec等[13]开展的多中心研究提示，rSO_2与CSOR对早期NEC的诊断效能有限［曲线下面积（area under the curve, AUC）=0.62，*P*=0.15］。尽管存在效能争议，NIRS的实时动态监测特性仍使其成为重症监护床旁评估的重要工具。未来需通过多中心协作和扩大样本量研究，进一步验证NIRS在NEC发生发展中的预测价值，重点优化参数阈值界定和建立动态监测模型，以推动该技术向临床决策支持系统的转化应用。

1.2　CEUS

CEUS是一种重要的新兴影像技术，相较于常规超声具有独特的技术优势。该技术通过实时动态监测组织微循环灌注，实现早期准确定位高风险肠段，为临床评估NEC的手术时机提供理论依据[14]。临床研究表明，早期识别肠缺血及坏死性病变对改善NEC患儿的预后具有关键作用。近年来，有研究证实，CEUS在NEC早期病变识别及炎症靶向干预中的应用价值日益凸显[15]。AI-Hamad等[16]通过对比研究发现，CEUS检测的肠壁无灌注区域与术中病理确认的坏死肠段具有高度一致性（*Kappa*=0.82），可使手术肠切除范围减少23%（*P*<0.05），且未报告造影剂相关不良反应。尽管CEUS在NEC患儿手术时机的预测和坏死肠段的定位方面展现出良好的应用前景，但在新生儿（尤其是VLBWI）群体中的应用仍面临双重挑战：（1）超声微泡造影剂的安全性证据尚需充分验证；（2）缺乏标准化的血流灌注量化评估体系[14]。未来研究方向需着重于多中心协作研究，完善CEUS操作规范流程，建立适用于新生儿肠道的灌注定量标准，加强造影剂安全性长期随访数据积累，更好地推动CEUS技术向临床转化。

1.3　PAI

PAI是一种基于光声效应的新型功能影像学技术。该技术能够对血管内血红蛋白和氧合血红蛋白吸收物进行空间定位，无创动态量化血红蛋白依赖的组织灌注和氧合，全面反映病变组织微血管生成与血氧饱和度的变化，在NEC肠道组织氧合评估中具有重要应用价值。相较于NIRS，PAI可同步获取高分辨（50 μm）解剖结构与氧合功能数据，为临床改善NEC血流灌注及评估手术时机

提供依据[17]。Weis 等[18]首次将 PAI 应用于 NEC 动物模型，证实 PAI 可有效识别 NEC 特征性病理改变，并量化肠道缺氧和肠道运动障碍。Sugiura 等[19]的动物实验研究显示，术中连续 PAI 监测可预测肠道缺血性坏死，为精准确定手术范围提供客观依据，从而减少不必要的手术干预。作为新兴无创分子影像技术，PAI 的高分辨特性为突破当前临床检测瓶颈提供了新思路，在 NEC 动态监测中展现独特优势，但其在早产儿中的临床应用仍需进一步验证。随着 PAI 与现有临床评估的联合应用，未来通过整合 PAI 与现有评估手段，有望实现肠道氧合与肠道蠕动功能的实时定量监测，为 NEC 的精准诊疗提供新策略。

2　NEC 手术时机预测的生物学指标研究进展

2.1　血液标志物：中性粒细胞与淋巴细胞比值

中性粒细胞与淋巴细胞比值（neutrophil to lymphocyte ratio, NLR）是近年来兴起的一个炎性预测指标，在多种炎症和手术干预的不良结局预测中，NLR 优于白细胞和 C 反应蛋白。在临床实践中，已广泛采用该方法来评估炎症性肠病的活动水平及严重程度[20]。一项回顾性队列研究表明，当 NLR 值处于 1.60~3.20 时，NLR 与早产儿 NEC 的发生呈正相关[21]。Yang 等[22]证实，Bell Ⅲ期 NEC 患儿的 NLR 水平显著高于Ⅱ期患儿（3.70 ± 1.04 vs 2.51 ± 0.39，P<0.01），其预测Ⅲ期病变的 AUC 达 0.886（灵敏度 84.2%，特异度 77.5%）。这一发现支持 NLR 作为床旁快速评估工具的可能性，但该研究为单中心回顾性设计，需警惕选择偏倚。目前关于 NLR 值与 NEC 患儿之间关联性的探讨尚不充分，然而 NLR 数据可以便捷地从儿童血液常规检查中获得，检测起来相对简便且经济，未来值得开展多中心前瞻性研究，以确定其最佳截断值，并验证其对外科性 NEC 的诊断价值。

2.2　尿液标志物：血清淀粉样蛋白

血清淀粉样蛋白 A（serum amyloid A protein, SAA）是一种急性期蛋白，在促炎细胞因子刺激下快速升高。相比于 C 反应蛋白，SAA 的灵敏度和特异度更高，已被证实为 NEC 诊断的潜在生物标志物[23]。Wang 等[24]发现 NEC 患儿 SAA 水平显著高于对照组，并且表现出高表达，表明 SAA 可作为 NEC 早期诊断的指标。Guo 等[25]研究证实血清 SAA 水平与 NEC 的发生呈正相关。Wang 等[24]发现 SAA≥204.89 mg/L 时，对 NEC 手术时机的决策显示出较高的预测效能，其灵敏度和特异度分别为 84.50%、80.55%，AUC 为 0.864。此外，Coufal 等[26]对疑似 NEC 患儿的尿液进行分析，发现 SAA 能够区分保守治疗和外科治疗的 NEC。

2.3　粪便标志物：碱性磷酸酶

碱性磷酸酶（intestinal alkaline phosphatase, IAP）是一种通常在肠上皮细胞中表达的酶，在维持肠道微生物稳态和肠道屏障功能中发挥重要作用。动物实验研究证明，外源性 IAP 可显著降低 NEC 的发生风险[27]。Heath 等[28]的队列研究表明，与未患 NEC 的婴儿相比，患有严重 NEC 的婴儿粪便样本中的 IAP 活性显著降低，粪便 IAP 活性检测不仅有助于 NEC 的诊断，而且可以预测疾病的严重程度（AUC=0.76，95%*CI*：0.64~0.86，P<0.001）。上述研究提示，IAP 有望推动 NEC 早期诊断体系和治疗策略的优化，但临床工作中需注意早产儿肠道发育不成熟可能影响 IAP 基础值。

2.4　其他标志物：凝血功能

NEC 所引发的炎症性微环境能够激活血液凝固机制，进而引发肠系膜微血栓的形成和缺血性肠损伤[29]。临床研究表明，NEC 患儿常伴有凝血功能异常，这些异常可引发高凝状态，导致肠道血管通透性改变和微循环障碍[30]。Feng 等[31]发现，活化部分凝血活酶时间（activated partial thromboplastin time, APTT）延长与 NEC 患儿手术发生率高及预后不良相关。Huang 等[29]研究发现，APTT≥50 s 是 NEC 患儿发生肠穿孔的独立风险指标。Wang 等[32]研究显示，凝血功能障碍（*OR*=3.45，95%*CI*：1.81~6.58）是 NEC 手术干预的危险因素。Giuliani 等[33]从基因层面进一步揭示 NEC 患儿凝血通路相关基因表达谱异常。因此，早期动态监测凝血状态，并及时纠正凝血功能异常，可能有助于改善 NEC 患儿的预后。

2.5　基因生物学标志物

微小 RNA（microRNA, miRNA）是一种内源性非编码单链 RNA，通过转录后调控参与肠上皮屏障功能调控和炎症反应调节，其表达失调在 NEC 的发病机制中起关键作用。多项研究已证实，NEC 患者存在特征性 miRNA 表达谱的改变，且这种改变随疾病进展呈动态变化，为临床诊疗提供了分子依据。Ng 等[34]通过病例对照研究证实，NEC 患儿确诊当天的血浆 miR-1290（>220 拷贝数/μL）对

内科治疗和需外科手术的严重NEC均具有最佳诊断效能。Ng等[35]发现，NEC患儿粪便中miR-223（*P*=0.008）和miR-451（*P*=0.01）水平显著高于对照组，当与第1天的C反应蛋白联合检测时，NEC的阳性预测值显著提高。Yu等[36]通过逆转录-聚合酶链反应验证了16种NEC差异表达miRNA。Wu等[37]研究表明，microRNA-223及*VEGFA*、*SELE*、*KDR*、*FLT1*、*HGF*等基因在NEC患者中均呈高表达。值得注意的是，尽管miRNA在多种疾病中已证实具有预测性诊断价值，但其在NEC诊疗中的应用研究仍较少，亟需大样本临床研究验证其可靠性。

3 NEC手术时机预测模型的研究进展

近年来，基于大样本多模态数据的机器学习模型已展现出潜力，覆盖了NEC患儿的识别、早期诊断、疾病严重程度评估、手术时机选择及预后判断，并且表现出较高的预测效能，各模型的效能对比分析对指导NEC的临床实践可能具有重要意义（表1）。

表1 NEC手术时机预测模型的效能分析

模型名称	主要开发者	样本量（例）	核心指标	曲线下面积	突出优势
全国性围产期预测模型	Kim[38]	16 385	38项围产期变量（胎龄、Apgar评分等）	0.721	大样本全国队列研究，早期有效识别有手术需求的高危患儿
CatBoost手术需求模型	Jin[39]	379	14项预测变量（出生体重、血清白蛋白、肠壁增厚等）	0.905	较传统logistic回归效能更佳，开发的GUI软件利于模型的临床转化
SVM多维度预测模型	李振宇[40]	536	11项预测变量（门静脉积气、肠腔扩张、发病时单核细胞计数等）	0.932	辅助诊断和疾病严重程度评估
LASSO-Cox不良结局模型	Zhang[41]	182	8项预测变量（出生体重、发病时血浆钠、动态腹部X线评分等）	0.893	高效识别肠穿孔/危重结局高风险人群
手术治疗列线图模型	钟帷韬[42]	194	7项预测变量（性别、发病时单核细胞计数、门静脉积气等）	0.890	可视化手术决策支持，最佳截断值为0.334
列线图模型	赵春阳[43]	215	6项预测变量（出生体重、Duke评分≥7分、腹壁红肿等）	0.919	实现围手术期动态评估，有效量化NEC患儿手术时机
ResNet18影像决策模型	Wu[44]	263	腹部X线征象（肠壁积气、门静脉充气征）	0.973	实现影像特征自动化提取，极大地优化了NEC患儿手术时机的决策
微生物DNA动态预测模型	Lin[45]	261	肠道微生物DNA序列（16S rRNA基因特征）	0.920	纵向追踪微生物组动态变化，辅助早期识别潜在NEC患儿

注：［NEC］新生儿坏死性小肠结肠炎。

上述基于多模态数据的预测模型与机器学习方法为NEC的手术时机决策提供了新的方法学支持。现有研究虽证实机器学习模型具备较高的AUC，但其临床应用仍受限于两大核心问题：首先，多数模型基于单中心数据开发，且缺乏外部验证，导致泛化能力存疑；其次，人工智能模型缺乏决策过程的可解释性，制约了其临床推广应用。目前模型落地面临三大挑战：（1）电子病历数据的异构性；（2）实时数据采集技术壁垒；（3）伦理审查对人工智能决策的接受程度。因此，NEC手术时机的预测亟需通过前瞻性多中心研究，着力整合定量参数与生物学指标，形成多维数据矩阵，构建多模态预测体系。

4 总结与展望

综上所述，近年来NEC仍保持较高的发病率及病死率，常规影像学检查和生物学指标在NEC患儿手术时机预测中存在显著局限性，表现出较低的预测性能。最新研究表明，NIRS等新兴技术可实现肠道微循环的无创动态监测，NLR等生物学标志物助力炎症状态的精准评估，基于大样本多模态数据的机器学习预测模型通过整合多维度数据优化了NEC的风险分层，三者共同涵盖了NEC高危儿的早期识别与诊断、病情严重性评估、手术时机的选择及预后的预测，为优化临床诊疗提供了多维度的创新解决方案。但在实际临床诊疗中，为更好地预测NEC患儿的手术时机，需突

破三大瓶颈：（1）建立超声灌注参数的量化标准；（2）通过多中心队列界定生物标志物的动态阈值；（3）开发可解释性强且经外部验证的多模态模型。同时，伦理与安全层面亦需完善：（1）建立NICU场景下人工智能决策的透明度标准与临床评估规范；（2）制定符合《中华人民共和国个人信息保护法》的多中心数据安全协作协议；（3）设计适用于危重新生儿家庭的动态知情同意机制与伦理审查流程。鉴于各级医院诊疗水平存在差异，构建个性化预测模型，并建立模型动态更新与伦理复核机制显得尤为重要。此外，CEUS及人工智能辅助图像分析技术可量化肠壁微循环，其可视化特性有助于提升决策的透明性与可解释性。因此，推动微循环监测、动态标志物与可解释人工智能模型的应用，实现NEC诊疗从经验驱动向数据驱动的转型，有望为NEC的精准诊断和治疗提供可视化决策支持，为个体化手术时机的选择提供新思路。

作者贡献声明：翟红丽负责文献查阅、整理分析与论文撰写；唐毅负责文章的构思、设计与修改。

利益冲突声明：所有作者均声明无利益冲突。

［参 考 文 献］

[1] Bethell GS, Knight M, Hall NJ, et al. Surgical necrotizing enterocolitis: association between surgical indication, timing, and outcomes[J]. J Pediatr Surg, 2021, 56(10): 1785-1790. PMID: 34090670. DOI: 10.1016/j.jpedsurg.2021.04.028.

[2] Liu K, Guo J, Zhu Y, et al. Analysis of risk factors and establishment of predictive models for neonatal necrotizing enterocolitis: a retrospective study[J]. Ital J Pediatr, 2025, 51(1): 80. PMID: 40087744. PMCID: PMC11909941. DOI: 10.1186/s13052-025-01930-y.

[3] Kum VTL, Chung PHY, Wong KKY. Quality of life in long-term survivors of surgical necrotizing enterocolitis[J]. J Pediatr Surg, 2024, 59(4): 553-556. PMID: 38158259. DOI: 10.1016/j.jpedsurg.2023.11.023.

[4] Alexander KM, Chan SS, Opfer E, et al. Implementation of bowel ultrasound practice for the diagnosis and management of necrotising enterocolitis[J]. Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed, 2021, 106(1): 96-103. PMID: 32398270. PMCID: PMC7788207. DOI: 10.1136/archdischild-2019-318382.

[5] Yu L, Liu C, Cui Y, et al. Imaging manifestations of neonatal necrotizing enterocolitis to predict timing of surgery[J]. Turk J Pediatr, 2022, 64(4): 632-639. PMID: 36082637. DOI: 10.24953/turkjped.2021.5048.

[6] Elsayed Y, Louis D, Hinton M, et al. A novel integrated clinical-biochemical-radiological and sonographic classification of necrotizing enterocolitis[J]. Am J Perinatol, 2024, 41(S 01): e3401-e3412. PMID: 38211608. DOI: 10.1055/s-0043-1778666.

[7] 杨薇, 裴广华, 徐魏军, 等. 高频超声对新生儿坏死性小肠结肠炎需手术治疗的预测价值[J]. 中华新生儿科杂志（中英文）, 2024, 39(1): 18-22. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2096-2932.2024.01.005.

[8] Kooi EMW, Mintzer JP, Rhee CJ, et al. Neonatal somatic oxygenation and perfusion assessment using near-infrared spectroscopy[J]. Pediatr Res, 2024, 96(5): 1180-1194. PMID: 38730022. DOI: 10.1038/s41390-024-03226-z.

[9] Howarth C, Banerjee J, Leung T, et al. Could near infrared spectroscopy (NIRS) be the new weapon in our fight against necrotising enterocolitis? [J]. Front Pediatr, 2022, 10: 1024566. PMID: 36425397. PMCID: PMC9679512. DOI: 10.3389/fped.2022.1024566.

[10] Fortune PM, Wagstaff M, Petros AJ. Cerebro-splanchnic oxygenation ratio (CSOR) using near infrared spectroscopy may be able to predict splanchnic ischaemia in neonates[J]. Intensive Care Med, 2001, 27(8): 1401-1407. PMID: 11511955. DOI: 10.1007/s001340100994.

[11] Palleri E, van der Heide M, Hulscher JBF, et al. Clinical usefulness of splanchnic oxygenation in predicting necrotizing enterocolitis in extremely preterm infants: a cohort study[J]. BMC Pediatr, 2023, 23(1): 336. PMID: 37393233. PMCID: PMC10314466. DOI: 10.1186/s12887-023-04145-4.

[12] van der Heide M, Hulscher JBF, Bos AF, et al. Near-infrared spectroscopy as a diagnostic tool for necrotizing enterocolitis in preterm infants[J]. Pediatr Res, 2021, 90(1): 148-155. PMID: 33036017. DOI: 10.1038/s41390-020-01186-8.

[13] Le Bouhellec J, Prodhomme O, Mura T, et al. Near-infrared spectroscopy: a tool for diagnosing necrotizing enterocolitis at onset of symptoms in preterm neonates with acute gastrointestinal symptoms? [J]. Am J Perinatol, 2021, 38(S 01): e299-e308. PMID: 32325507. DOI: 10.1055/s-0040-1710033.

[14] Benjamin JL, Dennis R, White S, et al. Improved diagnostic sensitivity of bowel disease of prematurity on contrast-enhanced ultrasound[J]. J Ultrasound Med, 2020, 39(5): 1031-1036. PMID: 31705672. DOI: 10.1002/jum.15168.

[15] Gokli A, Acord MR, Hwang M, et al. Contrast-enhanced US in pediatric patients: overview of bowel applications[J]. Radiographics, 2020, 40(6): 1743-1762. PMID: 33001781. DOI: 10.1148/rg.2020200019.

[16] Al-Hamad S, Hackam DJ, Goldstein SD, et al. Contrast-enhanced ultrasound and near-infrared spectroscopy of the neonatal bowel: novel, bedside, noninvasive, and radiation-free imaging for early detection of necrotizing enterocolitis[J]. Am J Perinatol, 2018, 35(14): 1358-1365. PMID: 29852509. DOI: 10.1055/s-0038-1655768.

[17] Huang Z, Liu D, Mo S, et al. Multimodal PA/US imaging in rheumatoid arthritis: enhanced correlation with clinical scores[J]. Photoacoustics, 2024, 38: 100615. PMID: 38817689. PMCID:

PMC11137597. DOI: 10.1016/j.pacs.2024.100615.

[18] Weis JA, Rauh JL, Ellison MA, et al. Photoacoustic imaging for non-invasive assessment of biomarkers of intestinal injury in experimental necrotizing enterocolitis[J]. Pediatr Res, 2025, 97 (1): 169-177. PMID: 38914761. PMCID: PMC11666804. DOI: 10.1038/s41390-024-03358-2.

[19] Sugiura T, Okumura K, Matsumoto J, et al. Predicting intestinal viability by consecutive photoacoustic monitoring of oxygenation recovery after reperfusion in acute mesenteric ischemia in rats[J]. Sci Rep, 2021, 11(1): 19474. PMID: 34593923. PMCID: PMC8484661. DOI: 10.1038/s41598-021-98904-x.

[20] Islam MM, Satici MO, Eroglu SE. Unraveling the clinical significance and prognostic value of the neutrophil-to-lymphocyte ratio, platelet-to-lymphocyte ratio, systemic immune-inflammation index, systemic inflammation response index, and delta neutrophil index: an extensive literature review [J]. Turk J Emerg Med, 2024, 24(1): 8-19. PMID: 38343523. PMCID: PMC10852137. DOI: 10.4103/tjem.tjem_198_23.

[21] Mu Y, Wang H. Association of neutrophil to lymphocyte ratio with preterm necrotizing enterocolitis: a retrospective case-control study[J]. BMC Gastroenterol, 2022, 22(1): 248. PMID: 35581541. PMCID: PMC9112240. DOI: 10.1186/s12876-022-02329-3.

[22] Yang Y, Cao ZL, Zhou XY, et al. Does neutrophil/lymphocyte ratio have good diagnostic value in neonatal necrotizing colitis? [J]. J Matern Fetal Neonatal Med, 2019, 32(18): 3026-3033. PMID: 29557695. DOI: 10.1080/14767058.2018.1455182.

[23] Bethell GS, Jones IH, Battersby C, et al. Methods of identifying surgical necrotizing enterocolitis: a systematic review and meta-analysis[J]. Pediatr Res, 2025, 97(1): 45-55. PMID: 38849483. PMCID: PMC11798840. DOI: 10.1038/s41390-024-03292-3.

[24] Wang Q, Jin K, Su X, et al. Predictive value of serum markers in the operation evaluation of neonatal necrotizing enterocolitis[J]. Transl Pediatr, 2023, 12(5): 897-906. PMID: 37305726. PMCID: PMC10248944. DOI: 10.21037/tp-23-56.

[25] Guo LM, Jiang ZH, Liu HZ, et al. Diagnostic significance of serum levels of serum amyloid A, procalcitonin, and high-mobility group box 1 in identifying necrotising enterocolitis in newborns[J]. World J Gastrointest Surg, 2024, 16(7): 2003-2011. PMID: 39087106. PMCID: PMC11287675. DOI: 10.4240/wjgs.v16.i7.2003.

[26] Coufal S, Kokesova A, Tlaskalova-Hogenova H, et al. Urinary I-FABP, L-FABP, TFF-3, and SAA can diagnose and predict the disease course in necrotizing enterocolitis at the early stage of disease[J]. J Immunol Res, 2020, 2020: 3074313. PMID: 32190704. PMCID: PMC7072107. DOI: 10.1155/2020/3074313.

[27] Martins RDS, Kooi EMW, Poelstra K, et al. The role of intestinal alkaline phosphatase in the development of necrotizing enterocolitis[J]. Early Hum Dev, 2023, 183: 105797. PMID: 37300991. DOI: 10.1016/j.earlhumdev.2023.105797.

[28] Heath M, Buckley R, Gerber Z, et al. Association of intestinal alkaline phosphatase with necrotizing enterocolitis among premature infants[J]. JAMA Netw Open, 2019, 2(11): e1914996. PMID: 31702803. PMCID: PMC6902776. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2019.14996.

[29] Huang P, Luo N, Shi X, et al. Risk factor analysis and nomogram prediction model construction for NEC complicated by intestinal perforation[J]. BMC Pediatr, 2024, 24(1): 143. PMID: 38413889. PMCID: PMC10898055. DOI: 10.1186/s12887-024-04640-2.

[30] Sokou R, Mantzios P, Tsantes AG, et al. Assessment of hemostatic profile in neonates with necrotizing enterocolitis using rotational thromboelastometry (ROTEM)[J]. Pediatr Res, 2024, 95(6): 1596-1602. PMID: 38092966. DOI: 10.1038/s41390-023-02958-8.

[31] Feng W, Hou J, Die X, et al. Application of coagulation parameters at the time of necrotizing enterocolitis diagnosis in surgical intervention and prognosis[J]. BMC Pediatr, 2022, 22 (1): 259. PMID: 35538449. PMCID: PMC9086422. DOI: 10.1186/s12887-022-03333-y.

[32] Wang D, Zhang F, Pan J, et al. Influencing factors for surgical treatment in neonatal necrotizing enterocolitis: a systematic review and meta-analysis[J]. BMC Pediatr, 2024, 24(1): 512. PMID: 39123165. PMCID: PMC11312808. DOI: 10.1186/s12887-024-04978-7.

[33] Giuliani S, Tan YW, Zheng D, et al. Coagulation gene expression profiling in infants with necrotizing enterocolitis[J]. J Pediatr Gastroenterol Nutr, 2016, 63(6): e169-e175. PMID: 27050058. DOI: 10.1097/MPG.0000000000001215.

[34] Ng PC, Chan KYY, Yuen TP, et al. Plasma miR-1290 is a novel and specific biomarker for early diagnosis of necrotizing enterocolitis-biomarker discovery with prospective cohort evaluation[J]. J Pediatr, 2019, 205: 83-90.e10. PMID: 30529132. DOI: 10.1016/j.jpeds.2018.09.031.

[35] Ng PC, Chan KYY, Lam HS, et al. A prospective cohort study of fecal miR-223 and miR-451a as noninvasive and specific biomarkers for diagnosis of necrotizing enterocolitis in preterm infants[J]. Neonatology, 2020, 117(5): 555-561. PMID: 33238267. DOI: 10.1159/000511655.

[36] Yu RQ, Wang M, Jiang SY, et al. Small RNA sequencing reveals differentially expressed miRNAs in necrotizing enterocolitis in rats[J]. Biomed Res Int, 2020, 2020: 5150869. PMID: 32934961. PMCID: PMC7484684. DOI: 10.1155/2020/5150869.

[37] Wu YZ, Chan KYY, Leung KT, et al. The miR-223/nuclear factor I-A axis regulates inflammation and cellular functions in intestinal tissues with necrotizing enterocolitis[J]. FEBS Open Bio, 2021, 11(7): 1907-1920. PMID: 33932136. PMCID: PMC8255851. DOI: 10.1002/2211-5463.13164.

[38] Kim SH, Oh YJ, Son J, et al. Machine learning-based analysis for prediction of surgical necrotizing enterocolitis in very low birth weight infants using perinatal factors: a nationwide cohort study[J]. Eur J Pediatr, 2024, 183(6): 2743-2751. PMID: 38554173. PMCID: PMC11098869. DOI: 10.1007/s00431-024-05505-7.

[39] Jin X, Sun W, Li Y, et al. Use of CatBoost algorithm to identify

the need for surgery in infants with necrotizing enterocolitis[J]. Front Pediatr, 2025, 13: 1465278. PMID: 40061422. PMCID: PMC11885510. DOI: 10.3389/fped.2025.1465278.

[40] 李振宇, 李玲, 魏佳琦, 等. 基于机器学习的新生儿坏死性小肠结肠炎预测模型的建立[J]. 中华新生儿科杂志（中英文）, 2024, 39(3): 150-156.
DOI: 10.3760/cma.j.issn.2096-2932.2024.03.005.

[41] Zhang H, Yang R, Yao Y. Construction and evaluation of a risk model for adverse outcomes of necrotizing enterocolitis based on LASSO-Cox regression[J]. Front Pediatr, 2024, 12: 1366913. PMID: 39435385. PMCID: PMC11491366.
DOI: 10.3389/fped.2024.1366913.

[42] 钟帷韬. 新生儿坏死性小肠结肠炎患儿需手术治疗风险列线图预测模型的构建与验证[D]. 广州: 广州医科大学, 2023.

[43] 赵春阳. 新生儿坏死性小肠结肠炎手术患儿危险因素分析及预测模型建立[D]. 青岛: 青岛大学, 2023.

[44] Wu Z, Zhuo R, Liu X, et al. Enhancing surgical decision-making in NEC with ResNet18: a deep learning approach to predict the need for surgery through X-ray image analysis[J]. Front Pediatr, 2024, 12: 1405780. PMID: 38895195. PMCID: PMC11183801. DOI: 10.3389/fped.2024.1405780.

[45] Lin YC, Salleb-Aouissi A, Hooven TA. Interpretable prediction of necrotizing enterocolitis from machine learning analysis of premature infant stool microbiota[J]. BMC Bioinformatics, 2022, 23(1): 104. PMID: 35337258. PMCID: PMC8953333. DOI: 10.1186/s12859-022-04618-w.

（本文编辑：邓芳明）

（©《中国当代儿科杂志》编辑部，开放获取CC BY-NC-ND 4.0协议）
（© Editorial Office of *Chinese Journal of Contemporary Pediatrics*. OA under CC BY-NC-ND 4.0 license）