

腹部超声对新生儿坏死性小肠结肠炎手术时机预测价值的Meta分析

陈玉杰, 邓 春

重庆医科大学附属永川医院儿童内科, 重庆

收稿日期: 2025年4月12日; 录用日期: 2025年5月5日; 发布日期: 2025年5月14日

摘 要

目的: 本研究系统评价腹部超声(Abdominal Ultrasound, AUS)对新生儿坏死性小肠结肠炎(Necrotizing Enterocolitis, NEC)手术时机的预测价值, 为临床决策提供参考。方法: 本研究采用系统性文献检索的方法, 整合中英文学术资源, 包括中国知网、万方数据库、PubMed、Medline、Embase、Web of Science 和Cochrane Library, 涵盖各数据库自建库至2024年7月期间发表的相关研究。研究聚焦AUS对NEC手术时机预测价值的研究, 通过纳入及排除标准筛选合格的文献, 采用修订版诊断性研究质量评估量表(Quality Assessment of Diagnostic-2, QUADAS-2)对入选文献质量进行评价。运用Stata 16.0统计软件进行Meta分析, 主要评估指标包括敏感度(Sensitivity, SEN)、特异度(Specificity, SPE), 同时绘制汇总受试者工作特征曲线(SROC)下面积(AUC)量化预测效能。结果: 本次研究最终筛选出了12篇文献, 共1158例患者。最终得出AUS对NEC手术时机预测的SEN_{合并}为0.89 [95% CI 0.84, 0.93], SPE_{合并}为0.76 [95% CI 0.69, 0.81], PLR为3.71 [95% CI 2.92, 4.73]; NLR为0.14 [95% CI 0.10, 0.21], SROC曲线下面积AUC为0.90 [95% CI 0.87, 0.92]。结论: AUS对NEC手术时机有一定的预测价值, 可以改善NEC患者的转归及预后, 值得临床推广。

关键词

新生儿, 坏死性小肠结肠炎, 超声, 手术, Meta分析

The Predictive Value of Abdominal Ultrasound for the Timing of Surgery in Neonatal Necrotizing Enterocolitis: A Meta-Analysis

Yujie Chen, Chun Deng

Department of Pediatrics, Yongchuan Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing

文章引用: 陈玉杰, 邓春. 腹部超声对新生儿坏死性小肠结肠炎手术时机预测价值的 Meta 分析[J]. 临床医学进展, 2025, 15(5): 446-458. DOI: 10.12677/acm.2025.1551392

Abstract

Objective: This study systematically evaluated the predictive value of abdominal ultrasound (AUS) for the surgical timing of NEC to provide reference for clinical decision-making. **Methods:** In this study, a systematic literature was used to integrate Chinese and English academic resources, including CNKI, Wanfang database, PubMed, Medline, Embase, Web of Science and Cochrane Library, including relevant studies published up to July 2024. This study focused on the predictive value of AUS for NEC surgery timing. Qualified literatures were screened by inclusion and exclusion criteria, and the Quality of the selected literatures was evaluated using the quality assessment of diagnostic accuracy studies-2 (QUADAS-2). Stata 16.0 statistical software was used for the Meta analysis, the main indicators included sensitivity (SEN) and specificity (SPE), and the area under the ROC curve of the summary receiver operating characteristic curve (SROC). **Results:** A total of 12 studies involving 1158 patients were finally included. The combined sensitivity of ultrasound for predicting the surgical timing of NEC was 0.89 [95% CI 0.84, 0.93], the combined specificity was 0.76 [95% CI 0.69, 0.81], the positive likelihood ratio was 3.71 [95% CI 2.92, 4.73], the negative likelihood ratio was 0.14 [95% CI 0.10, 0.21], and the AUC of the SROC curve was 0.90 [95% CI 0.87, 0.92]. **Conclusion:** AUS has certain predictive value for the timing of surgery in NEC, which can improve the prognosis and outcome of NEC patients and is worthy of clinical promotion.

Keywords

Neonate, Necrotizing Enterocolitis, Ultrasound, Surgery, Meta-Analysis

Copyright © 2025 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

NEC 是威胁新生儿尤其是早产儿健康的严重胃肠道疾病, 其典型的病理表现为肠黏膜缺血性坏死及肠穿孔, 早期临床症状无明显特异性, 易与喂养不耐受、新生儿败血症等疾病混淆, 但 NEC 病情发展迅速, 可短时间内引发肠穿孔, 甚至脓毒性休克, 病死率高达 20%~30% [1]。因此, 早期精准预测 NEC 对于临床转归至关重要。

目前, NEC 的临床诊断主要依赖改良的 Bell 分期标准 [2], 根据其影像学特征, 可将 NEC 分为 3 期, I 期仅表现正常或肠管轻度扩张; II 期可出现门静脉积气、肠壁积气; III 期则出现腹腔积液、肠穿孔等 [3]。临床上根据各分期提出相应的治疗方案, 一般分为内科保守治疗与手术治疗 [4], 内科治疗包括禁食、胃肠减压、抗感染以及营养支持等; 手术治疗包括剖腹探查术及腹腔引流术。手术指征的把握非常重要, 手术时机的延误可能会对患儿造成严重后果。肠穿孔是公认的绝对手术指征 [5], 但临床上一般需要综合考虑, 对经内科治疗病情不见好转, 甚至病情持续加重的患儿, 也需要考虑手术治疗。影像学是判断 NEC 手术时机的重要检查方式。目前常用的影像学检查手段是 X 线检查 [6], 但 X 线检查会受包裹、粘连、气体量等因素的干扰, 在部分消化道穿孔中的定位不够准确 [7]-[9]。另外, X 线检查的辐射暴露问题也限制了其重复使用 [10], 尤其对于需要动态评估的早产儿来说, 可能会有诱发血液系统疾病及心血管疾病等的风险。近年来 AUS 因其无创、无辐射及灵敏度高等优点 [8], 逐渐进入大众视野, 很多研究表明, AUS 不

仅能有效识别门静脉积气、肠壁积气等,还可实时动态观察肠壁厚度、肠蠕动情况及肠壁血流灌注等情况[11]-[13]。既往有多项单中心研究显示,AUS对Bell分期中I期、II期的敏感性显著高于X线[14]-[17],且可提前识别肠穿孔风险,预测手术时机。

然而,X线检查目前仍作为NEC确诊及分型的首选影像学检查,而AUS对NEC的临床价值未被大众熟知和推广,故本次Meta分析旨在通过系统检索中英文数据库,综合评价AUS对NEC手术时机预测价值的敏感度、特异度及总体诊断效能,以期为临床决策提供循证依据,推动AUS纳入NEC标准化诊疗流程。

2. 资料与方法

2.1. 检索策略

本研究采用系统性文献检索策略,涵盖中英文常用数据库,包括中国知网、万方、Web of Science、Pubmed、the Cochrane Library、Embase数据库,检索时限自建库至2024年7月。中文检索式整合“超声”“坏死性小肠结肠炎”“新生儿”“手术”“转归”,采用组合词和自由词组合方式检索;英文检索词采用“ultrasound”“necrotizing enterocolitis”“neonatal”“outcome”“surgery”进行组合检索。

2.2. 纳入与排除标准

2.2.1. 纳入标准

(1) 纳入的研究为回顾性研究及前瞻性研究;(2) 研究对象为确诊NEC的新生儿,研究中需要明确地将患儿分为手术组及保守治疗组;(3) 使用第5版《实用新生儿学》中改良的Bell分期作为诊断标准[2];(4) 所有纳入研究的患儿均须参与AUS检查,并对于患儿是否需要手术治疗做出预测,文献中能提供预测的SEN及SPE,可提取真阳性(TP)、真阴性(TN)、假阳性(FP)、假阴性(FN)的四格表数据。

2.2.2. 排除标准

(1) 重复发表及数据不完整文献;(2) 综述、经验分享、个案分析、会议记录;(3) 研究目的是AUS对于NEC早期诊断的价值,而非对手术时机预测的研究;(4) 研究中包含两种检查方法联合检查(如AUS联合X线),而非AUS单项检查的研究将被排除;(5) 无法提取Meta分析所需的数据构建四格表。

2.3. 数据提取及文献质量评价

本研究采用双盲法实施文献筛选、数据提取及质量评价,由两名研究人员独立完成以下流程:首先是建立统一的数据模板,涵盖人口学特征(第一作者、发表年份)、研究对象基线数据(平均发病年龄、性别分布)、病例分组信息(手术干预组与保守治疗组样本量);其次是诊断效能指标提取,包括SEN、SPE、TP、TN、FP、FN等指标;最后进行质量评估,采用QUADAS-2从病例选择、待评价试验、金标准、病例流程等四个角度进行质量评价,通过Review Manager 5.4软件实现可视化呈现。若双评人员对文献纳入标准或质量分级存在分歧时,启动第三方仲裁程序,经三方共识后达成最终决议。

2.4. 数据分析

数据提取完毕后,使用Stata 16.0软件来计算合并的SEN、SPE以及95%CI,运用Cochran's Q检验评估研究间异质性。当满足 $I^2 > 50\%$ 或 P 值 < 0.1 时,启用随机效应模型校正异质性影响,反之则选用固定效应模型。通过绘制SROC曲线进行阈值效应验证,若SROC曲线平面图呈“肩臂”状分布,提示存在阈值效应,反之则不存在。整合似然比矩阵图和Fagan列线图评估临床价值。最终采用Deek's回归方程评估发表偏倚,通过线性分析检测漏斗图的对称性,若 P 值 < 0.05 则认为存在发表偏倚。

3. 结果

3.1. 检索结果

使用 EndNote X7 软件对初步检查出的 265 篇文献进行分层筛选。先去除重复文献 147 篇，剩余 118 篇。浏览摘要后去除系统评价、综述以及不符合本研究内容的文献 50 篇，剩余 68 篇。详细阅读这 68 篇文献的内容，去除数据不完整、设计方案不合理以及结局指标不一致的文献 56 篇，最终纳入了 12 篇符合本研究的文献。文献筛选流程见图 1。纳入的文献中有 1 篇研究地区在加拿大，另外 11 篇来自于中国，共纳入了 1158 例患儿，纳入研究的基本信息见表 1。根据文献提供的数据列出四格表，见表 2。

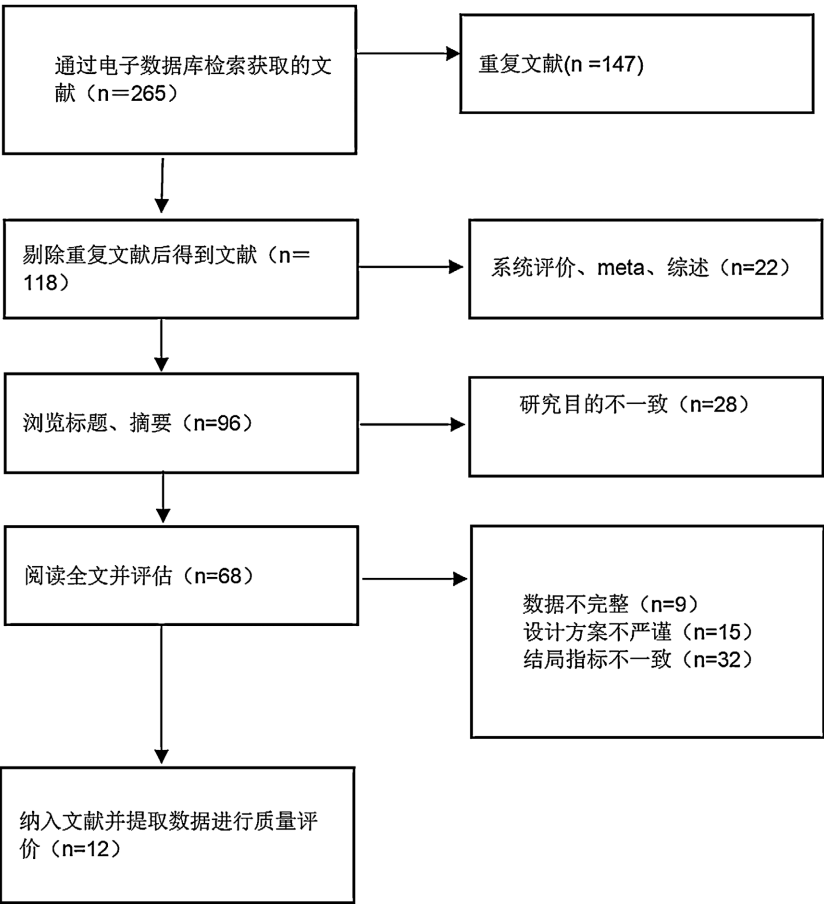


Figure 1. Flow chart of identifying references
图 1. 筛选文献流程图

Table 1. The basic information of included studies
表 1. 纳入文献基本信息表

第一作者	年份	研究类型	性别比例(男/女)	平均年龄(d)	例数	手术数/保守治疗数
Ma Ya [18]	2022	回顾性研究	27/18	16	45	15/30
Guo Jiankang [19]	2022	回顾性研究	57/44	4.85	101	42/59
Chen Shuai [20]	2018	回顾性研究	46/40	NA	86	39/47
Zhang Xiaochen [21]	2023	回顾性研究	37/33	NA	70	36/34

续表

Wu Weiru [22]	2020	回顾性研究	49/31	13.05	80	30/50
Li Yan [23]	2021	回顾性研究	32/36	18.8	68	21/47
Yang Wei [24]	2024	回顾性研究	21/19	7	40	18/22
Jiang Danhua [25]	2023	回顾性研究	144/160	13.5	304	64/240
Chen Wei [26]	2017	回顾性研究	37/26	15	63	23/40
Gao Hongxia [27]	2021	回顾性研究	62/49	NA	111	22/89
Chen Jingyu [28]	2022	回顾性研究	89/75	NA	164	96/68
Yikilmaz A [29]	2014	前瞻性研究	13/13	5	26	4/22

注: NA: 未明确数据。

Table 2. The Diagnostic data of literatures

表 2. 纳入文献的诊断数据

第一作者	TP	FP	FN	TN	Cut-off
Ma Ya [18]	14	10	1	20	NA
Guo Jiankang [19]	38	24	4	35	NA
Chen Shuai [20]	35	14	4	33	NA
Zhang Xiaochen [21]	28	11	8	23	0.454
Wu Weiru [22]	25	11	5	39	NA
Li Yan [23]	20	7	1	40	NA
Yang Wei [24]	17	5	1	17	NA
Jiang Danhua [25]	60	42	4	198	NA
Chen Wei [26]	21	13	2	27	NA
Gao Hongxia [27]	14	11	8	78	0.96
Chen Jingyu [28]	90	25	6	43	NA
Yikilmaz A [29]	4	1	0	21	NA

注: NA: 未明确数据。

3.2. 文献质量评价

使用 QUADAS-2 评分量表评价纳入的文献的质量, 该量表总体上分为两个部分, 即研究设计的偏倚风险评估及临床适用性评估。QUADAS-2 的偏倚风险评估有以下四个方面: 待评价试验、病例选择、病例流程、金标准和时间间隔; 适用性则包含待评价试验、病例选择和金标准[30]。使用 Revman 5.4 软件绘制文献质量评价图, 见图 2 及图 3。

3.3. 统计分析结果

纳入 12 篇关于 AUS 对 NEC 手术时机预测价值的文献研究, 应用 CochranQ 进行异质性检验, 结果显示: $I^2=61.72\%$, $df=11$, $P<0.001$, 异质性偏高, 故选用随机效应模型进行分析。Meta 分析得出 SEN 合并为 0.89 [95% CI 0.84, 0.93], SPE 合并为: 0.76 [95% CI 0.69, 0.81], 见图 4; PLR 为 3.71 [95% CI 2.92, 4.73], NLR 为 0.14 [95% CI 0.10, 0.21], 见图 5; DOR 为 26.11 [95% CI 15.98, 42.66], 见图 6; 拟合 SROC

曲线下面积 AUC 为 0.90 [95% CI 0.87, 0.92]，见图 7。绘制 Fagan 列线图对临床应用价值进行评价，当设定验前概率为 20%时，PLR 为 4，所得验后概率为 48%；当设定验前概率为 20%时，NLR 为 0.14，验后概率为 3%，提示 AUS 对 NEC 手术时机选择有重要的临床参考意义，见图 8。

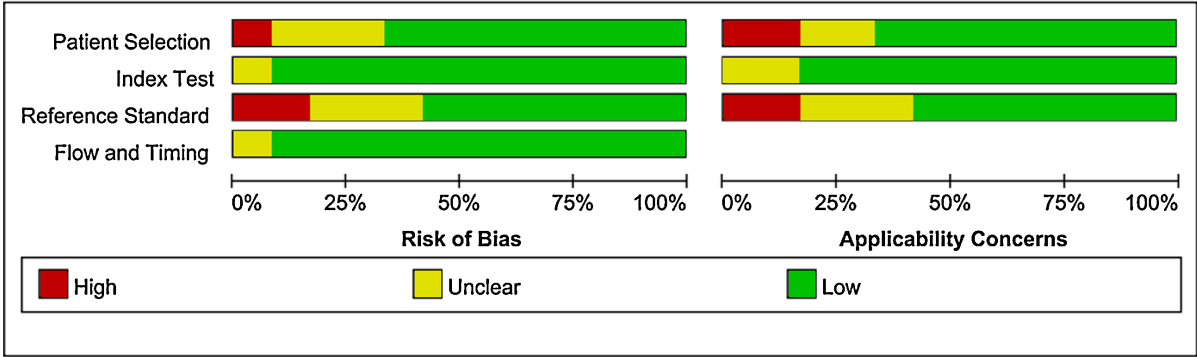


Figure 2. Percentage chart of bias risk
图 2. 偏倚风险百分图

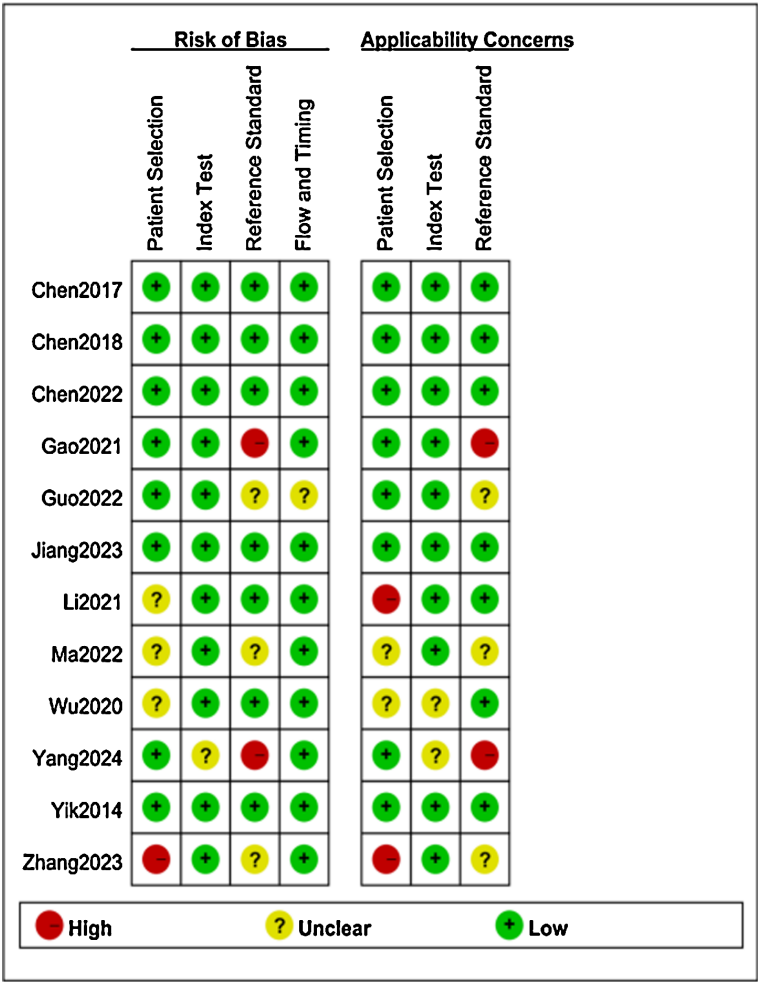


Figure 3. Summary of bias risks
图 3. 偏倚风险汇总图

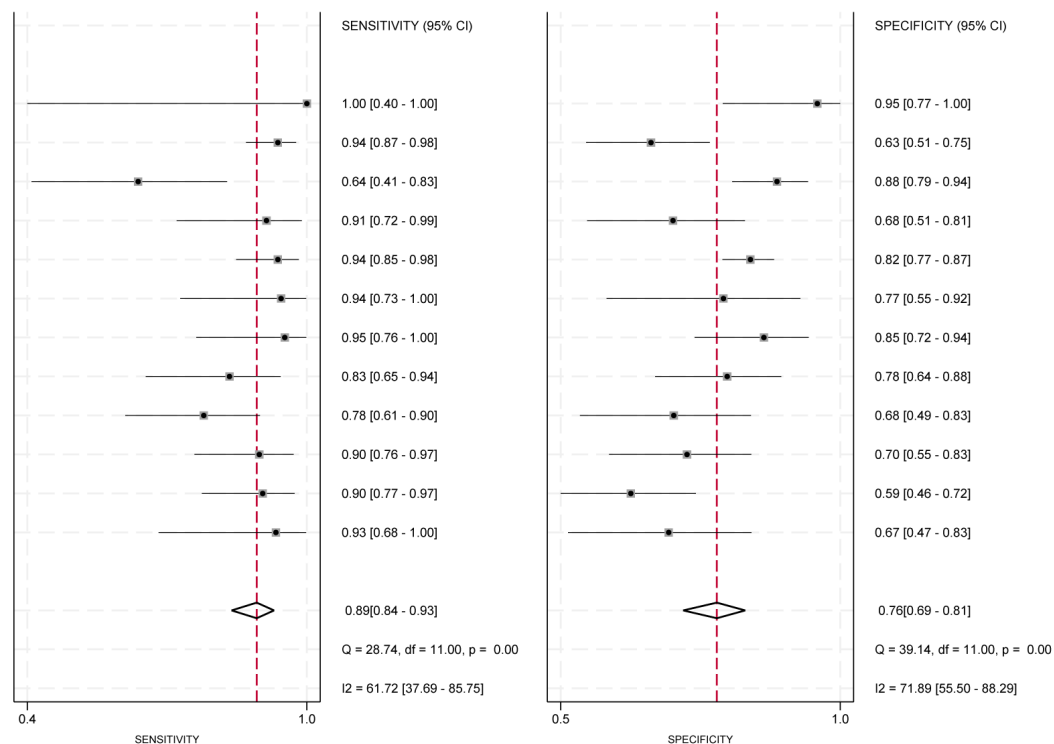


Figure 4. Forest plots of sensitivity and specificity of AUS in predicting the timing of NEC surgery
图 4. AUS 预测 NEC 手术时机的 SEN 及 SPE 的森林图

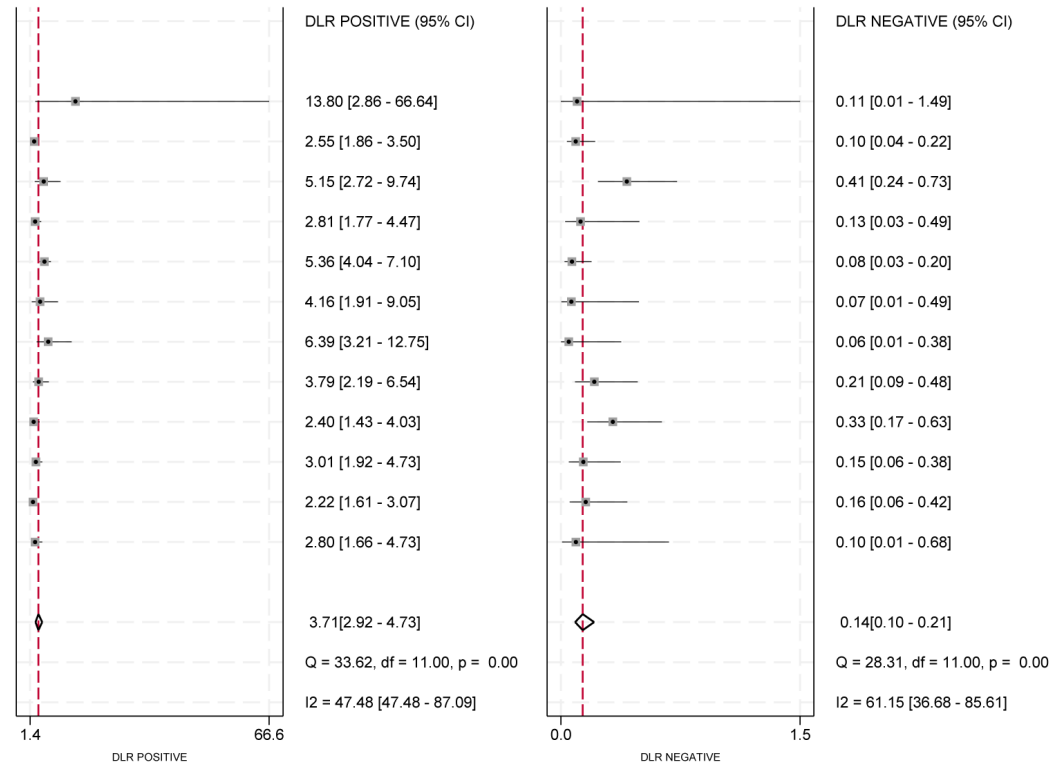


Figure 5. Forest plots of PLR and NLR of AUS in predicting the timing of NEC surgery
图 5. AUS 预测 NEC 手术时机的 PLR 及 NLR 的森林图

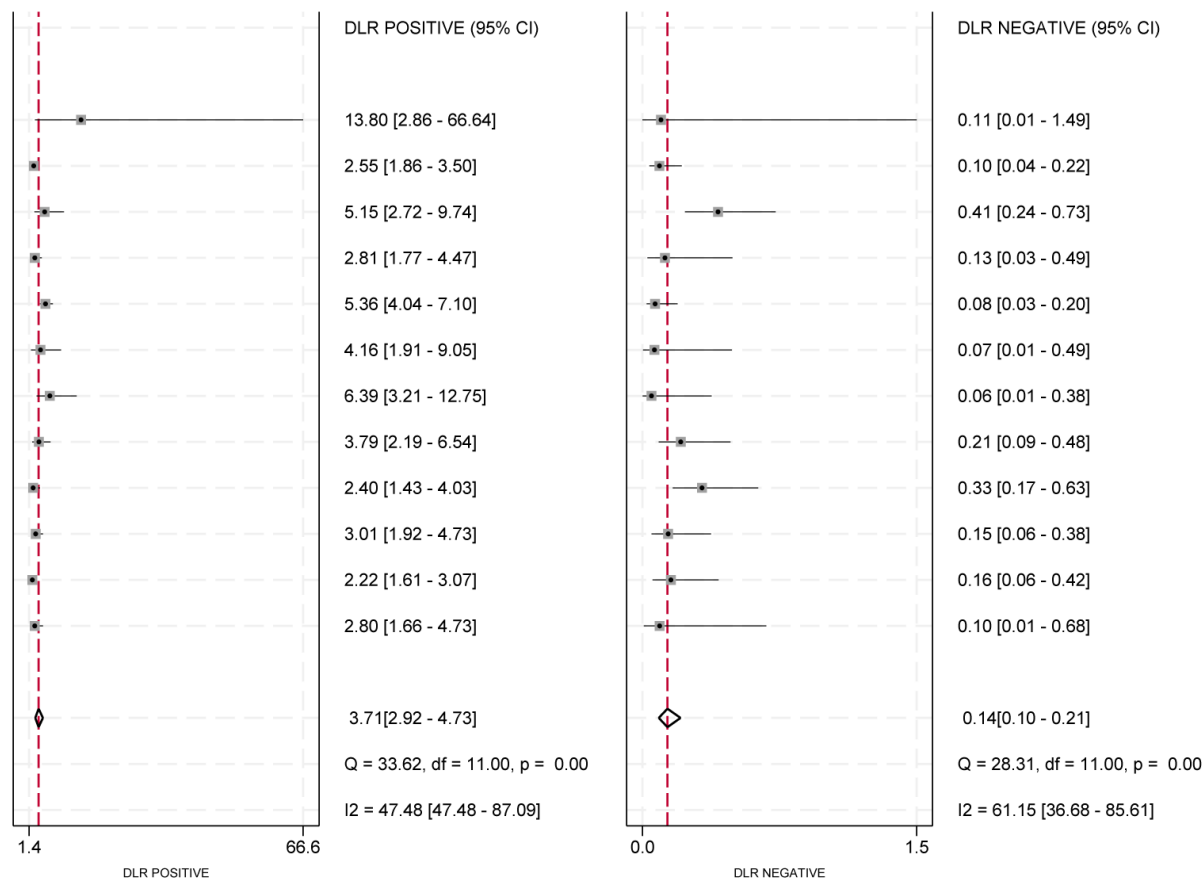


Figure 6. Forest plots of diagnostic score and DOR of AUS in predicting the timing of NEC surgery
图 6. AUS 预测 NEC 手术时机的诊断得分及 DOR

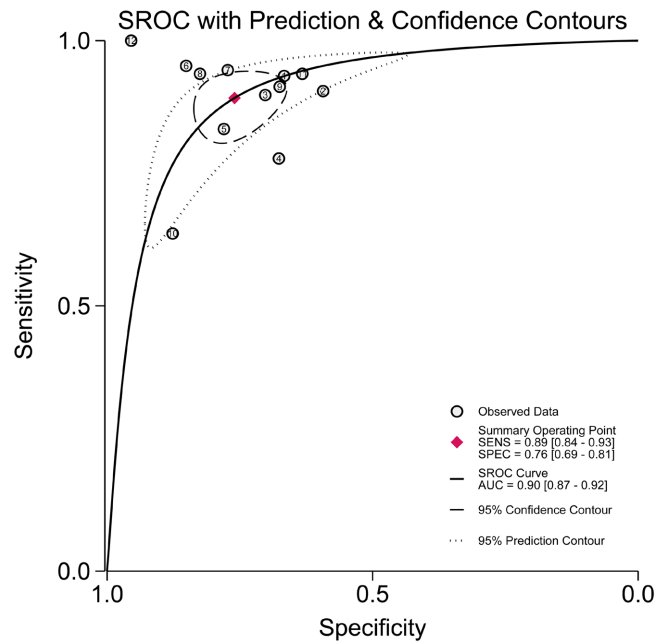


Figure 7. Forest plots of SROC of AUS in predicting the timing of NEC surgery
图 7. AUS 预测 NEC 手术时机的 SROC 图

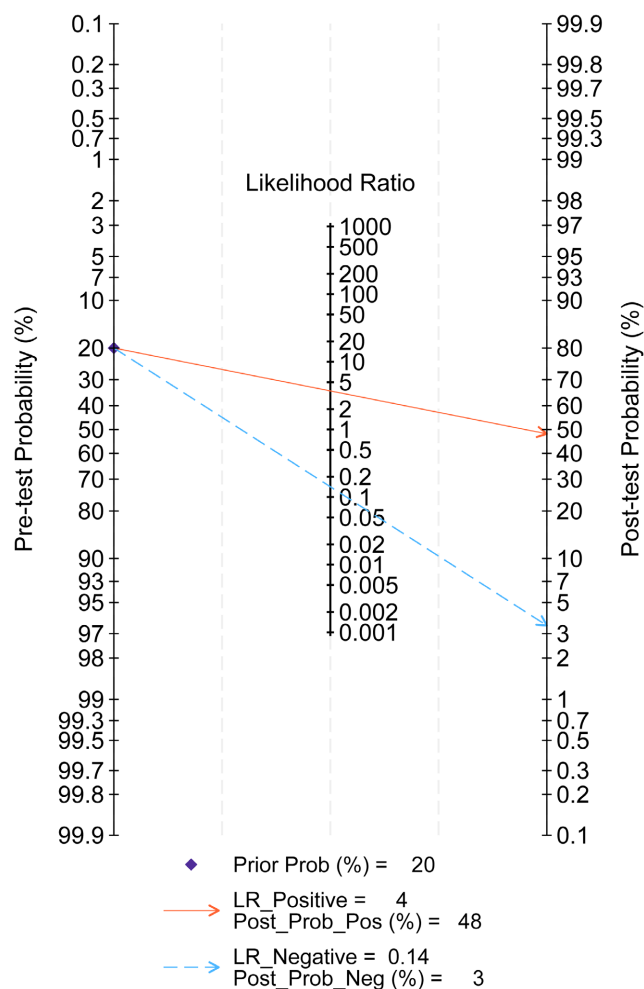


Figure 8. Forest plots of Fagan of AUS in predicting the timing of NEC surgery
图 8. AUS 预测 NEC 手术时机的 Fagan 图

3.4. 发表偏倚评估

基于 Stata 16.0 对纳入研究的研究进行发表偏倚的评估, 并绘制 Deek's 漏斗图及散列图直观表示。漏斗图检验结果显示, $P=0.84$, 如图 9 所示, 提示本次研究的结果不存在显著的发表偏倚($P>0.05$)。散列图见图 10, 结果提示 12 篇文献均匀分布与坐标轴的 4 个象限, 结果可靠。

4. 讨论

新生儿皮下脂肪组织发育不完善, AUS 成像时所需穿透力较小, 可获得较高分辨率的影像。AUS 还可以动态监测 NEC 患者的腹腔情况, 及时预测手术时机。本研究通过 12 项研究共 1158 例患者的综合分析显示, AUS 对 NEC 手术时机预测的合并 SEN 达到 0.89 [95% CI 0.84, 0.93], 表明 AUS 在识别需要手术干预的病例方面具有突出优势, 这一特性对于需要及时外科干预的急重症病例尤为重要。例如, 在 Yikilmaz [29] 等的研究中, 敏感性达到 100%, 可能与其采用高频探头检测肠壁积气特征有关。但高敏感性会伴随过度诊断风险, 如蒋丹华等 [25] 的研究中 FP 达 42 例, 提示部分患儿可能因超声假阳性导致不必要的手术探查。AUS 对 NEC 手术时机预测效能的合并 SPE 为 0.76 [95% CI 0.69, 0.81], 较敏感性存在明显下降。分析原因如下: 其一, 各研究中对“金标准”的定义或实施存在偏差, 如陈帅团队 [20] 在研究

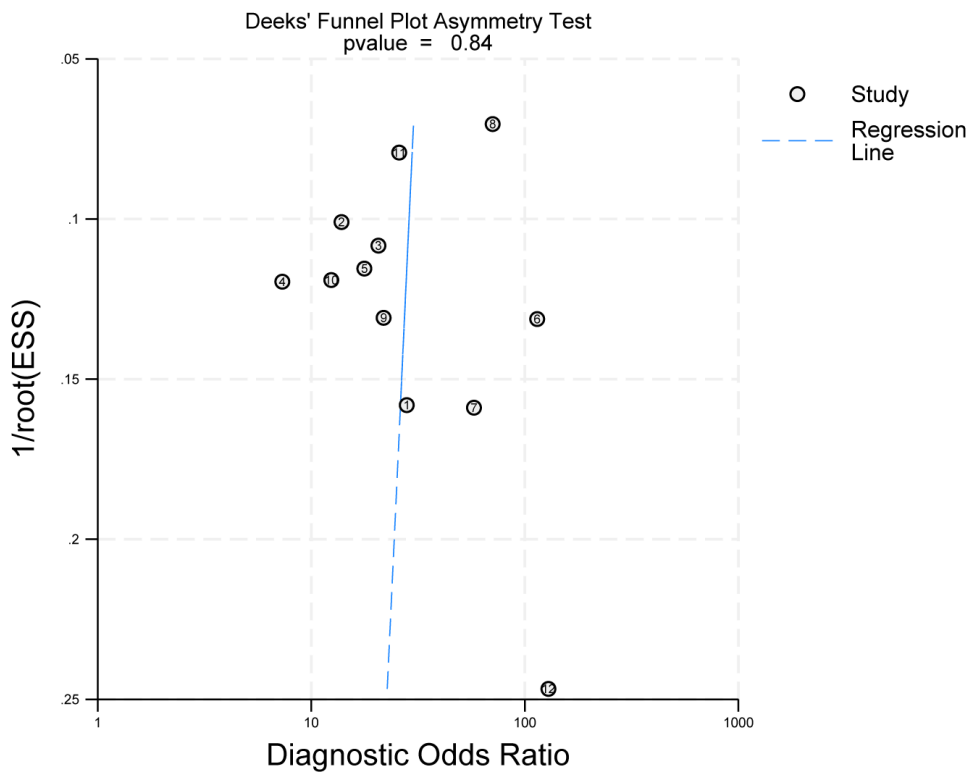


Figure 9. Publication bias funnel plot
图 9. 发表偏倚漏斗图

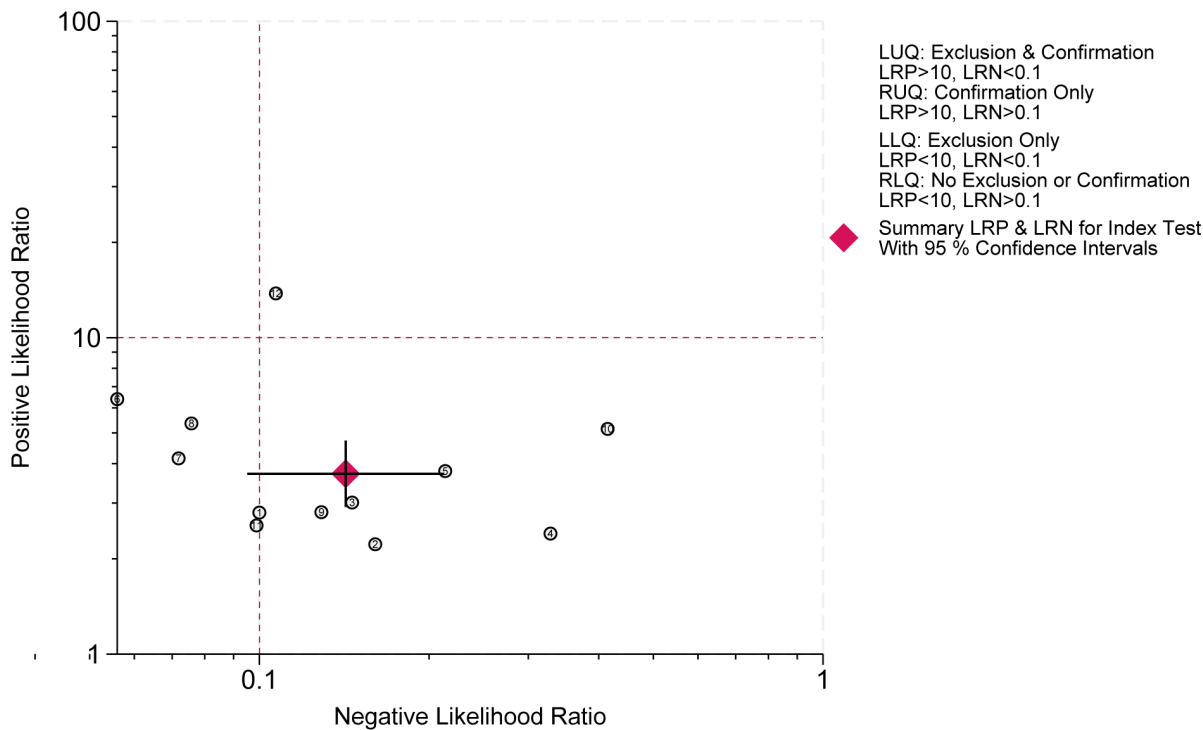


Figure 10. Publication bias hash map
图 10. 发表偏倚散列图

中认为, 而郭建康等[19]则是结合血清炎症指标动态变化; 其二, AUS 对肠壁水肿、肠壁积气等的特异性识别能力有限, 且可能受到气体的干扰, 导致结果出现误差。然而, Gao 等[27]的研究中特异性达到 88%, 其采用量化肠壁厚度测量(截断值 0.96 mm)可能是提升特异性的关键, 这提示未来研究需要探索客观量化指标以改善特异性。AUS 对 NEC 手术时机的 Fagan 图提示, 在先验概率 20%的临床场景中, 阳性结果可将后验概率提升至 48%, 提示 AUS 能够显著提高 NEC 患者需手术治疗的识别率。SROC 曲线下面积 AUC 达 0.90 [95% CI 0.87, 0.92], 高于传统 X 线。这一优异表现来源于超声的多维度评估能力, 其不仅能检测出气腹等直接征象, 又能评估肠壁血流灌注等间接表现。在杨薇团队[24]最新研究中, AUS 预测手术时机价值的 AUC 提升至 0.94, 与其采用结合门静脉积气与肠蠕动的多参数模型有关。但 Chen 等[28]研究显示 AUC 仅 0.82, 此差异提示操作者经验与设备分辨率可能影响最终效能。

该文献异质性分析可得 $I^2 = 61.72\%$, 存在较大的异质性, 考虑与纳入文献的手术指征不明确有关。本次研究纳入的文献均采用改良的 NEC 指标进行分期, 但具体手术指征并不统一, 存在显著差异。例如, 陈薇等[26]将保守治疗 72 小时无效作为手术标准。郭建康等[19]通过炎症指标作为手术指征, 而其他几项则以气腹作为手术的绝对指征, 这种金标准的不统一直接导致 TP 和 FN 分类差异, 进而影响敏感度及特异度的解读。此外, 纳入文献的数量可能也会导致异质性, 蒋丹华等[25]的研究纳入了 304 例患者, 其手术组占比仅 21.1%, 保守治疗组样本量占比偏高, 导致特异性被高估。另外, 本研究纳入的文献多为回顾性分析, 且以中国地区居多, 存在选择偏倚, 未来需纳入更多文献减少选择偏倚。

本研究结果表明 AUS 在 NEC 手术时机的预测方面有较高的敏感度及特异度, 可动态监测 NEC 患儿的肠壁厚度、肠壁积气、门静脉积气、腹腔游离气体、腹腔积液和肠管蠕动, 能通过早期的影像学变化预测是否需要手术治疗, 改善预后。现行临床实践中, NEC 的诊断主要依据改良 Bell 分期, 然而传统 X 线成像存在空间分辨率有限的问题, 对肠壁微结构改变及早期病理征象的识别能力不足。特别是当患儿并发肠粘连或腹腔积气时, X 线对肠穿孔的检测特异性显著降低[31]。但 AUS 可以清晰地显示肠壁结构、肠蠕动、腹腔积液及门静脉积气等影像学表现, 且可以实时动态监测腹部情况[32]-[34], 提高了预测 NEC 患儿手术时机的敏感度及特异度[35], 还可以特异性地识别肠穿孔前的肠坏死, 大大改善了 NEC 患儿的临床转归。杨薇[24]等将研究者分为手术组和非手术组, 都进行 AUS 检查, 经过分析可知, 需手术治疗的 NEC 患儿肠壁厚度临界值为 1.2 mm, 腹腔积液透声差、肠壁血流灌注少、肠壁变薄以及肠蠕动减弱都能预测 NEC 患儿手术时机, 且敏感度及特异度均较高, 为临床提供了一定的价值。马亚[18]等在研究中表明, 肠管蠕动消失与肠壁分层消失组合用于预测 NEC 手术时机, 可获得较高的敏感度和特异度, 认为对 NEC 患者肠道的形态、肠蠕动特点、血流分布等的综合 AUS 分析, 有利于早期识别 NEC 危重症, 为手术时机的判断提供新的参考依据。

在临床上, 由于 NEC 患儿病情发展快且病情较重, 需动态密切监测影像学变化, 必要时 6~8 小时就需要复查, 目的是确保不因延误手术时机而导致严重后果, 但是新生儿对辐射的损伤比较敏感, 可能会导致治疗过程中不必要的副损伤。所以在复诊过程中, 选用 AUS 能尽量减小辐射损伤概率。但 AUS 和 X 线相比, 也有一定的局限性, 主要有以下几点: 1. AUS 的准确度受超声医师水平差异的影响较大, 诊断较为主观, 而 X 线图像有一定的分级标准, 更为客观; 2. 腹部 X 线复查比对起来比较直观, 而 AUS 则是截断动态图像, 不利于直观对比; 3. 目前尚缺乏统一的 AUS 诊断标准, 如肠壁血流及厚度的临界阈值尚未形成共识, 且 AUS 成像易受到气体干扰产生偏差结论。

本研究的局限性如下: (1) 纳入研究的操作者经验、设备分辨率存在差异, 可能影响 AUS 判读的一致性, 进而影响诊断效果, 未对其进行亚组分析; (2) 纳入样本量偏少, 仅对单一变量进行研究, 没有具体列出肠壁增厚、肠壁积气、门静脉积气、腹腔游离气体、腹腔积液和肠管蠕动缓慢等各个影像学特征的敏感度及特异度的对比; (3) 纳入的文献回顾性分析居多, 可能存在选择偏倚, 今后需纳入更多大样本

量的前瞻性研究验证 AUS 的临床适用性。

5. 结论

AUS 对 NEC 手术时机的预测价值方面有较强的敏感度和特异度, 可以动态监测 NEC 患儿的影像学变化, 及时预测 NEC 手术治疗的时机, 改善预后, 值得临床大力推广。但由于目前研究的样本量偏少, 数据不足, 未对 AUS 预测 NEC 手术时机的各个影像学表现进行单独分析, 今后还需要纳入更多的前瞻性研究进行评估, 确定最佳阈值范围, 推动 NEC 预测模型的临床应用。

参考文献

- [1] Lalitha, R., Hicks, M., Qureshi, M. and Kumaran, K. (2024) Umbilical Arterial Catheter Duration as Risk Factor for Bell's Stage III Necrotizing Enterocolitis in Preterm Neonates. *JPGN Reports*, **5**, 256-264. <https://doi.org/10.1002/jpr3.12081>
- [2] 邵肖梅, 叶鸿瑁, 丘小汕. 实用新生儿学[M]. 第5版. 北京: 人民卫生出版社, 2019.
- [3] Li, Q., An, Y., Liu, L., Wang, X., Chen, S., Wang, Z., *et al.* (2017) Differences in the Clinical Characteristics of Early- and Late-Onset Necrotizing Enterocolitis in Full-Term Infants: A Retrospective Case-Control Study. *Scientific Reports*, **7**, Article No. 43042. <https://doi.org/10.1038/srep43042>
- [4] Mena, R., Guillén, G., Lopez-Fernandez, S., Martos Rodríguez, M., Ruiz, C.W., Montaner-Ramon, A., *et al.* (2024) Conservative Management of Necrotizing Enterocolitis in Newborns: Incidence and Management of Intestinal Strictures. *European Journal of Pediatric Surgery*. <https://doi.org/10.1055/a-2426-9723>
- [5] Dong, Y., Xu, Y. and Lin, Z. (2015) [Clinical Analysis of 101 Cases of Neonatal Intestinal Perforation]. *Chinese Journal of Contemporary Pediatrics*, **17**, 113-117.
- [6] Pantalone, J.M., Liu, S., Olaloye, O.O., Prochaska, E.C., Yanowitz, T., Riley, M.M., *et al.* (2021) Gestational Age-Specific Complete Blood Count Signatures in Necrotizing Enterocolitis. *Frontiers in Pediatrics*, **9**, Article 604899. <https://doi.org/10.3389/fped.2021.604899>
- [7] Wu, Z., Zhuo, R., Liu, X., Wu, B. and Wang, J. (2024) Enhancing Surgical Decision-Making in NEC with Resnet18: A Deep Learning Approach to Predict the Need for Surgery through X-Ray Image Analysis. *Frontiers in Pediatrics*, **12**, Article 1405780. <https://doi.org/10.3389/fped.2024.1405780>
- [8] Mumtaz, U., Zahur, Z., Chaudhry, M.A., *et al.* (2016) Bedside Ultrasonography: A Useful Tool for Traumatic Pneumothorax. *Journal of College of Physicians and Surgeons Pakistan*, **26**, 459-462.
- [9] Wang, Y., Wei, L., Ge, W., Duan, Y., Ding, W., Lu, X., *et al.* (2024) Application of Dynamic Contrast-Enhanced Ultrasound in Evaluation the Activity of Crohn's Disease. *Diagnostics*, **14**, Article 672. <https://doi.org/10.3390/diagnostics14070672>
- [10] Buchberger, B., Scholl, K., Krabbe, L., *et al.* (2022) Radiation Exposure by Medical X-Ray Applications. *German Medical Science*, **20**, Doc6.
- [11] Marseglia, L., Manti, S., D'Angelo, G., *et al.* (2015) Colonic Stenosis Post-Necrotizing Enterocolitis in Term Newborn with Acquired Cytomegalovirus Infection. *Chirurgia*, **110**, 175-178.
- [12] Young, C.M., Kingma, S.D.K. and Neu, J. (2011) Ischemia-Reperfusion and Neonatal Intestinal Injury. *The Journal of Pediatrics*, **158**, e25-e28. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2010.11.009>
- [13] Townsend, S., Hurrell, E. and Forsythe, S. (2008) Virulence Studies of *Enterobacter sakazakii* isolates Associated with a Neonatal Intensive Care Unit Outbreak. *BMC Microbiology*, **8**, Article No. 64. <https://doi.org/10.1186/1471-2180-8-64>
- [14] Heida, F.H., Loos, M.H.J., Stolwijk, L., Te Kieft, B.J.C., van den Ende, S.J., Onland, W., *et al.* (2016) Risk Factors Associated with Postnecrotizing Enterocolitis Strictures in Infants. *Journal of Pediatric Surgery*, **51**, 1126-1130. <https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2015.09.015>
- [15] Eltayeb, A.A., Mostafa, M.M., Ibrahim, N.H. and Eltayeb, A.A. (2010) The Role of Surgery in Management of Necrotizing Enterocolitis. *International Journal of Surgery*, **8**, 458-461. <https://doi.org/10.1016/j.ijsu.2010.06.005>
- [16] 张慧, 莫莉. 高频超声在新生儿坏死性小肠结肠炎的诊断价值[J]. 贵州医药, 2024, 48(9): 1470-1471.
- [17] 陈泽坤, 陈晓康, 郑伟坤, 等. 超声诊断新生儿坏死性小肠结肠炎的临床价值[J]. 中国妇幼保健, 2022, 37(1): 168-170.
- [18] 马亚, 王峥嵘, 刘琴, 等. 超声检查对新生儿坏死性小肠结肠炎手术决策的意义探讨[J]. 临床小儿外科杂志,

- 2022, 21(4): 325-330.
- [19] 郭建康, 柏艳红, 梁优, 等. 超声检查对新生儿坏死性小肠结肠炎急性期手术决策的指导价值[J]. 现代消化及介入诊疗, 2022, 27(6): 771-776.
- [20] 陈帅. X 线与超声在新生儿坏死性小肠结肠炎预后评估中的应用比较[D]: [博士学位论文]. 济南: 山东大学, 2018.
- [21] 张晓晨. 超声检查在新生儿坏死性小肠结肠炎诊断及预后中的应用价值[D]: [硕士学位论文]. 石家庄: 河北医科大学, 2023.
- [22] 伍卫如, 陈炯垣. 经腹超声与 X 线平片预测新生儿坏死性小肠结肠炎临床转归的对比研究[J]. 临床超声医学杂志, 2020, 22(9): 669-674.
- [23] 李燕, 于瑞娜, 王娇娇, 等. 肠道超声在新生儿坏死性小肠结肠炎急性期手术中的预测价值[J]. 中华小儿外科杂志, 2021, 42(6): 526-530.
- [24] 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.
- [25] 蒋丹华, 欧作强, 刘萍萍, 等. 高频肠道超声评估新生儿坏死性小肠结肠炎[J]. 中国医学影像技术, 2023, 39(5): 696-699.
- [26] 陈薇. 新生儿坏死性小肠结肠炎腹部 B 超表现与临床转归的关系[J]. 胃肠病学和肝病学杂志, 2017, 26(4): 435-439.
- [27] Gao, H., Yi, B., Mao, B., Li, W., Bai, X., Zhang, Y., *et al.* (2021) Efficacy of Abdominal Ultrasound Inspection in the Diagnosis and Prognosis of Neonatal Necrotizing Enterocolitis. *Clinics*, **76**, e1816. <https://doi.org/10.6061/clinics/2021/e1816>
- [28] Chen, J., Mu, F., Gao, K., Yan, C., Chen, G. and Guo, C. (2022) Value of Abdominal Ultrasonography in Predicting Intestinal Resection for Premature Infants with Necrotizing Enterocolitis. *BMC Gastroenterology*, **22**, Article No. 524. <https://doi.org/10.1186/s12876-022-02607-0>
- [29] Yikilmaz, A., Hall, N.J., Daneman, A., Gerstle, J.T., Navarro, O.M., Moineddin, R., *et al.* (2014) Prospective Evaluation of the Impact of Sonography on the Management and Surgical Intervention of Neonates with Necrotizing Enterocolitis. *Pediatric Surgery International*, **30**, 1231-1240. <https://doi.org/10.1007/s00383-014-3613-8>
- [30] Whiting, P.F., Rutjes, A.W.S., Westwood, M.E., Mallett, S., Deeks, J.J., Reitsma, J.B., *et al.* (2011) QUADAS-2: A Revised Tool for the Quality Assessment of Diagnostic Accuracy Studies. *Annals of Internal Medicine*, **155**, 529-536. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-155-8-201110180-00009>
- [31] Napolitano, L., Waku, M., Maggi, G., *et al.* (2018) Cystic Intestinal Pneumatosis of the Small Gut: Etiopathogenesis and Review of Literature. *Annali Italiani di Chirurgia*, **7**, S2239253X18028153.
- [32] 汪健. 新生儿坏死性小肠结肠炎研究新进展[J]. 临床小儿外科杂志, 2022, 21(4): 301-305.
- [33] 郑美玉. 早产儿坏死性小肠结肠炎手术治疗预测因素分析[D]: [硕士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2022.
- [34] May, L.A., Costa, J., Hossain, J. and Epelman, M. (2024) The Role of an Abbreviated Ultrasound in the Evaluation of Necrotizing Enterocolitis. *Pediatric Radiology*, **54**, 944-953. <https://doi.org/10.1007/s00247-024-05912-w>
- [35] Yue, G., Yang, H., Jin, M., Deng, Y. and Ju, R. (2019) Portal Venous Gas by Ultrasound in Advance of Impending Necrotizing Enterocolitis of a Very Low Birth Weight Infant. *Journal of Clinical Ultrasound*, **48**, 178-180. <https://doi.org/10.1002/jcu.22774>