doi：10.7499/j.issn.1008-8830.2506138

新生儿/儿童重症超声专题

功能性超声监测参数对早产儿喂养不耐受的早期预警价值分析

赵梦茹　王语麟　张俊涛　杨霞　张娴

（昆明医科大学第二附属医院儿科，云南昆明　650000）

［摘要］**目的**　评估功能性超声在早产儿喂养不耐受（feeding intolerance, FI）早期预警中的临床应用价值。**方法**　对107例（FI组48例，非FI组59例）早产儿进行前瞻性队列研究。采用功能性超声评估胃排空时间、肠道蠕动频率及管腔内气液异常情况。**结果**　FI组胃排空时间显著延长［（46±8）min vs（36±7）min，*P*<0.001］，肠蠕动频率降低［（8.8±2.0）次/5 min vs（12.4±3.3）次/5 min，*P*<0.001］，肠腔中度及以上气液异常率显著增加（63% vs 20%，*P*<0.001）。联合胃排空时间、肠道蠕动频率及肠腔气液界面评分3个功能性超声参数构建的多变量logistic回归预测FI模型的受试者操作特征曲线下面积（area under the curve, AUC）达0.910（灵敏度79.2%，特异度93.2%）。内部验证（AUC=0.911，95%*CI*：0.845~0.964）和外部验证（AUC=0.904，95%*CI*：0.854~1.000）均显示该模型具有较高的预测能力。亚组分析显示，该模型在不同胎龄与出生体重组中仍保持良好的预测能力。**结论**　功能性超声能在FI临床表现出现前识别肠道功能异常，具备明确的早期预警价值，联合参数模型可用于早产儿喂养风险评估与个体化管理，具有较高的临床实用性与推广潜力。

［中国当代儿科杂志，2026，28（2）：184-191］

［关键词］喂养不耐受；功能性超声；胃排空时间；肠蠕动；早期预警；早产儿

Early warning value of functional ultrasound monitoring parameters for feeding intolerance in preterm infants

ZHAO Meng-Ru, WANG Yu-Lin, ZHANG Jun-Tao, YANG Xia, ZHANG Xian. Department of Pediatrics, The Second Affiliated Hospital of Kunming Medical University, Kunming 650000 (Zhang X, Email: 6902611@qq.com)

Abstract: Objective　To evaluate the clinical value of functional ultrasound for early warning of feeding intolerance (FI) in preterm infants. **Methods**　A prospective cohort analysis was performed in 107 preterm infants (FI group, *n*=48; non-FI group, *n*=59). Functional ultrasound was used to assess gastric emptying time, intestinal peristalsis frequency, and intraluminal gas-liquid abnormalities. **Results**　Compared with the non-FI group, the FI group had a significantly prolonged gastric emptying time [(46±8) min vs (36±7) min, *P*<0.001], a reduced intestinal peristalsis frequency [(8.8±2.0) times/5 min vs (12.4±3.3) times/5 min, *P*<0.001], and a higher rate of moderate or greater gas-liquid abnormalities (63% vs 20%, *P*<0.001). A multivariable logistic regression model based on three functional ultrasound parameters—gastric emptying time, intestinal peristalsis frequency, and intestinal gas-liquid interface score—achieved an area under the receiver operating characteristic curve (AUC) of 0.910 (sensitivity 79.2% and specificity 93.2%). Internal validation (AUC=0.911, 95%*CI:* 0.845-0.964) and external validation (AUC=0.904, 95%*CI:* 0.854-1.000) both showed high predictive performance. Subgroup analyses indicated that the model retained good predictive ability across gestational age and birth weight groups. **Conclusions**　Functional ultrasound can detect intestinal dysfunction before clinical manifestations of FI. The combined parameter model can be used for FI risk assessment and individualized feeding management in preterm infants, with high clinical applicability and potential for broader implementation.　**[Chinese Journal of Contemporary Pediatrics, 2026, 28(2): 184-191]**

Key words: Feeding intolerance; Functional ultrasound; Gastric emptying time; Intestinal peristalsis; Early

［收稿日期］2025-06-26；［接受日期］2026-01-14

［作者简介］赵梦茹，女，硕士，主治医师。

［通信作者］张娴，女，副主任医师。Email：6902611@qq.com。

warning; Preterm infant

喂养不耐受（feeding intolerance, FI）是新生儿重症监护病房（neonatal intensive care unit, NICU）中早产儿常见且难以处理的临床问题，表现为胃潴留、腹胀、呕吐、排便异常等症状[1]。FI不仅延迟营养摄入[2]，还显著增加坏死性小肠结肠炎（necrotizing enterocolitis, NEC）、感染和生长发育迟缓等并发症风险，严重者甚至危及生命[3]。因此，亟需早期识别与干预[4]。

当前对FI的监测手段主要依赖床旁观察、胃内容量测量及腹部X线检查等方式[5]，但这些方法主观性强[6]、重复性差，且多为症状出现后的被动反应，难以对早期肠道功能异常进行实时、动态预警。同时，部分症状表现高度非特异性，易与早期NEC混淆，增加了误诊或漏诊的概率。

功能性超声作为一种动态、无创、可重复操作的成像技术，正逐步应用于新生儿胃肠功能评估[7]。胃排空时间延长是FI的关键前驱指标之一，具有一定的预警灵敏度，可反映肠道功能状态及其变化趋势。肠蠕动频率作为衡量小肠动力活性的直接参数，反映肠道平滑肌收缩节律与自主神经系统成熟度，过低的蠕动频率提示肠道推进能力减弱、内容物停滞[8]，是FI形成的重要生理基础。部分病例即使胃排空时间相对正常，蠕动频率下降仍是早期提示肠道功能紊乱的首发信号，这为FI的动态分阶段监测提供了理论依据。当监测肠腔气液分布情况时，超声图像中见较多气体聚集形成镜面征（即超声图像中由于肠腔内大量气体反射形成的强回声带，常表现为肠腔内容物与肠壁结构消失、伴伪像对称反射现象），肠壁显示受干扰甚至不可辨识，这表明肠腔内容物的物理组成发生变化，气体增多、液体潴留，提示肠腔内容物推进缓慢、发酵增气或局部蠕动障碍[9]。该指标可在图像上直观判断，客观性强，特别适用于非专科超声人员的初步筛查。

因此，深入探讨功能性超声监测参数在早产儿FI发生前的变化规律，并评估其对FI的早期预警能力，不仅可为临床制定个体化喂养策略提供客观依据，也有望推动NICU中早产儿胃肠道功能评估手段的标准化和前移，为FI的精准防控奠定基础。

1 资料与方法

1.1 研究对象

本研究采用前瞻性队列研究设计，于昆明医科大学第二附属医院儿科NICU内连续纳入符合标准的早产儿，旨在评估功能性超声参数对FI发生的早期预警价值[10]。研究时间跨度为12个月，其间所有受试对象均接受标准化喂养管理及功能性超声评估。

研究对象为出生后72 h内未出现严重并发症的早产儿。纳入标准包括：（1）胎龄28~36^{+6}周；（2）出生体重>1 000 g；（3）生命体征稳定，可经口或胃管喂养。排除标准包括：先天性胃肠道畸形、染色体异常、严重心肺功能不全、严重感染（如早发型败血症）、出生即需外科干预等情况。样本量根据预期FI发生率（约30%）和前期预实验数据[11]，通过PASS软件计算，最终确定研究总样本量至少需要90例，本研究最终纳入107例，按FI与非FI发生情况自然分组。

1.2 研究方法

1.2.1 功能性超声监测实施细节

功能性超声监测由具有中级以上资质、经统一培训的两名固定超声医生完成，严格按照既定时间点，每日首次喂养前10 min及喂养后（60 ± 10）min进行扫描，确保数据具有良好的时效性与可比性[12]。所使用设备为统一型号的高分辨率便携式超声机，选用5~12 MHz线阵探头，优先选择频率为8~10 MHz以兼顾穿透力和分辨率。患儿取安静仰卧位或右侧卧位，使用暖凝胶减少刺激，操作时间控制在8~10 min，以降低对早产儿稳定状态的干扰。

1.2.2 检查部位与技术参数定义

扫描部位包括胃窦部（位于肝左叶下缘与胰颈交界处）和近端小肠（主要为十二指肠降部和空肠起始段）[8]。胃排空时间：在喂养后立即记录胃窦最大前后径，每隔10 min重复测量1次，直至胃窦前后径下降至最大前后径的50%，该时间即为排空时间，单位为min。见图1。

肠蠕动频率：在静息状态下，选取一段持续5 min以上未受气体干扰的肠管，记录其连续5 min内的收缩次数。每段检查重复2次取平均值，结果以“次/5 min”表示。见图2。

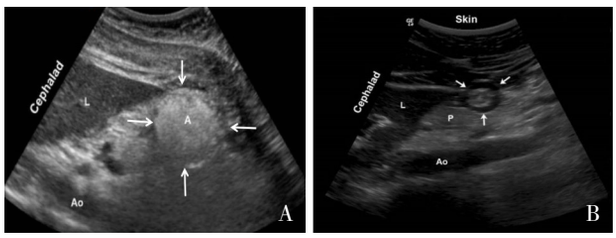


图1　胃窦超声　A：喂养后立即记录的胃窦超声影像，如箭头所示；B：胃排空状态下的胃窦超声影像，如箭头所示。

肠腔气液界面评分（gas-liquid interface score, GLIS）如下。0分：肠腔清晰，液体为主，无明显气体反射；1分：小量不规则气泡，无聚集现象；2分：气体条带或局灶性聚集，伴液体夹杂；3分：气体大量集中，干扰肠壁显示，伴镜面或彗尾征。每次记录最多两段小肠评分，取最高分用于统计分析。见图3。

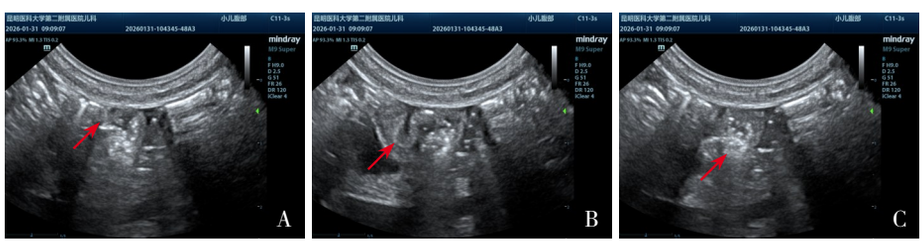


图2　超声监测下的一次完整肠蠕动　A：肠蠕动尚未启动；B：肠蠕动进行中；C：进入肠蠕动尾声。

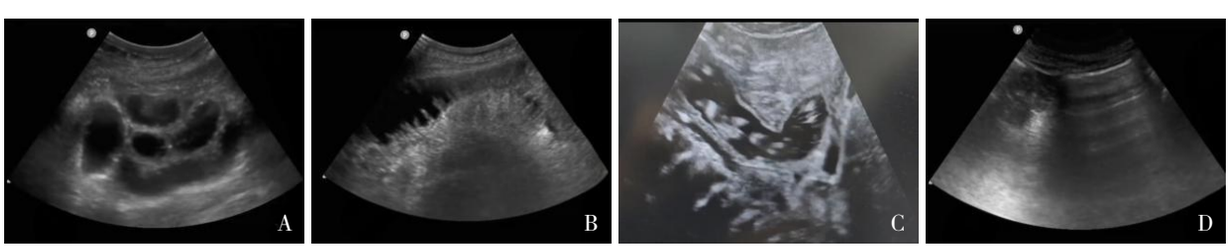


图3　各GLIS评分的超声表现　A：肠腔清晰，液体为主，无明显气体反射，GLIS评分0分；B：肠腔可见少量不规则气泡，无聚集现象，GLIS评分1分；C：肠腔内可见气体条带样局灶性聚集，伴液体夹杂，GLIS评分2分；D：肠腔内可见气体大量集中，干扰肠壁显示，伴彗尾征，GLIS评分3分。

所有影像资料实时储存至专用数据库，由第2名医师在不知组别信息前提下盲法复判。若两人判读值差异>15%，则由第三方专家终审，以确保判读的一致性与结果的客观性。

FI诊断标准与分级参考《早产儿肠内营养管理专家共识（2024年）》[13]及北美小儿胃肠病、肝脏病和营养学会建议[14]，结合本单位临床经验[15]制定如下：若患儿在连续24 h内出现以下任意一项表现，并排除感染、肠梗阻、药物不良反应等其他因素，即可诊断为FI：喂养中断>8 h，非医嘱性停喂；胃滞留量>50%进奶量，持续2次或以上；明显腹胀、呕吐频繁（≥2次/d）或出现胆汁样/咖啡色内容物；肠鸣音明显减弱或消失，伴触诊不适；解绿色稀便、黏液便或血便。FI严重程度分级标准见表1。

表1　FI严重程度分级标准[13-14]

严重程度	表现	临床应对
轻度	偶发性胃潴留，腹胀不持续，可恢复喂养	延迟推进速度
中度	多次胃潴留，反复呕吐，需暂停喂养24~48 h	胃减压、静脉营养支持
重度	出现血便、严重胀气、系统反应，需停止喂养>72 h，甚至外科评估	评估NEC风险，按重症处理

注：［NEC］坏死性小肠结肠炎；［FI］喂养不耐受。

1.3　数据采集流程与质量控制

数据采集由专职NICU的研究护士每日定点完成，涵盖每次喂养量、频次、残余量、呕吐、腹胀等观察指标，并同步记录体重、腹围、生命体

征变化。所有功能性超声指标由医生完成后即时反馈给研究护士录入。

研究开始前对所有参与医护人员进行操作规程培训，确保术语、单位及判读标准统一。制定完整的数据填写模板和检查记录表，所有信息须每日确认签字；数据统一录入电子数据库（EpiData 3.1），由2人独立录入并进行一致性比对；每两周由质控小组对15%的病例进行盲查核对，发现问题及时修正；分析前数据导出由第三方数据管理员执行，确保全程可追溯。

通过上述制度化操作流程，本研究最大程度保障了数据的真实性、可重复性及分析可靠性，为后续统计分析和结论提供了坚实基础。

1.4 统计学分析

对于符合正态分布的计量资料采用均数±标准差（$\bar{x} \pm s$）表示，组间比较采用两样本t检验；不符合正态分布的计量资料以中位数（四分位数间距）［M（P_{25}，P_{75}）］表示，组间比较采用Mann-Whitney U检验。计数资料用例数或百分率（%）表示，组间比较采用χ^2检验或Fisher确切概率法。采用单因素回归分析寻找喂养不耐受可能的影响因素，再将有意义的因素进行多因素logistic回归分析构建喂养不耐受的联合预测模型，计算比值比（odds ratio, OR）及其95%可信区间。通过构建受试者操作特征曲线（receiver operating characteristic curve, ROC）评估预测效能的曲线下面积（area under the curve, AUC），并将该模型进行Hosmer-Lemeshow拟合优度检验。构建好的模型采用Bootstrap法进行内部验证。未对任何缺失信息的数据进行插补。采用R软件（版本4.2.0）进行上述统计分析，检验水准均为双侧，P<0.05为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一般资料

本研究共纳入110例早产儿，最终完成随访并纳入统计分析者为107例，其中发生FI者48例（44.9%），非FI组59例（55.1%）。

2.2 功能性超声参数差异分析

胃排空时间方面，FI组平均值为（46±8）min，非FI组平均值为（36±7）min，两组比较差异有统计学意义（P<0.001）。肠蠕动频率方面，FI组为（8.8±2.0）次/5 min，非FI组为（12.4±3.3）次/5 min，组间比较差异有统计学意义（P<0.001）。肠腔气液界面评分表现方面，FI组肠腔气液评分≥2分发生率为63%，非FI组肠腔气液评分≥2分发生率为20%，2组间比较差异有统计学意义（P<0.001）。见表2。

表2 2组间功能性超声参数比较

参数	FI组（n=48）	非FI组（n=59）	t/χ^2值	P值
胃排空时间（$\bar{x} \pm s$, min）	46±8	36±7	6.636	<0.001
肠蠕动频率（$\bar{x} \pm s$, 次/5 min）	8.8±2.0	12.4±3.3	−6.959	<0.001
中重度肠腔气液界面异常［n(%)］	30(63)	12(20)	19.730	<0.001

2.3 功能性超声指标的预警效能

通过构建ROC曲线，分析功能性超声参数对FI发生的预测能力。结果显示，胃排空时间、肠蠕动频率和肠腔气液界面评分的AUC分别为0.817（95%CI：0.738~0.897）、0.829（95%CI：0.751~0.908）、0.799（95%CI：0.717~0.882），最佳截断值分别为39 min、10次/5 min、1分，灵敏度分别为81.3%、76.3%、72.9%，特异度分别为71.2%、79.2%、71.2%。另外，联合上述3个参数构建多变量logistic回归模型以提高早产儿FI的预测效率[16]。回归分析显示，3项参数均为FI的独立预测因子（均P<0.01），最终拟合模型如下：Logit（P）=−2.022+0.112×胃排空时间−0.401×肠蠕动频率+0.857×气液界面评分。见表3。

模型的Hosmer-Lemeshow拟合优度检验显示P=0.108。ROC曲线分析显示，该联合模型预测FI的AUC为0.910（95%CI：0.851~0.970），优于任何单独指标（P<0.05，DeLong检验）。在截断概率为0.582时，模型的灵敏度为79.2%，特异度为93.2%。见图4。

表 3　单项与联合功能性超声指标的预测效能比较

指标	AUC (95%*CI*)	灵敏度 (%)	特异度 (%)	*P*值	截断值
胃排空时间 (min)	0.817(0.738~0.897)[a]	81.3	71.2	<0.001	39
肠蠕动频率 (次/5 min)	0.829(0.751~0.908)[a]	76.3	79.2	<0.001	10
气液界面评分 (分)	0.799(0.717~0.882)[a]	72.9	71.2	<0.001	1
联合诊断	0.910(0.851~0.970)	79.2	93.2	<0.001	0.582

注：a示与联合诊断比较，*P*<0.05。

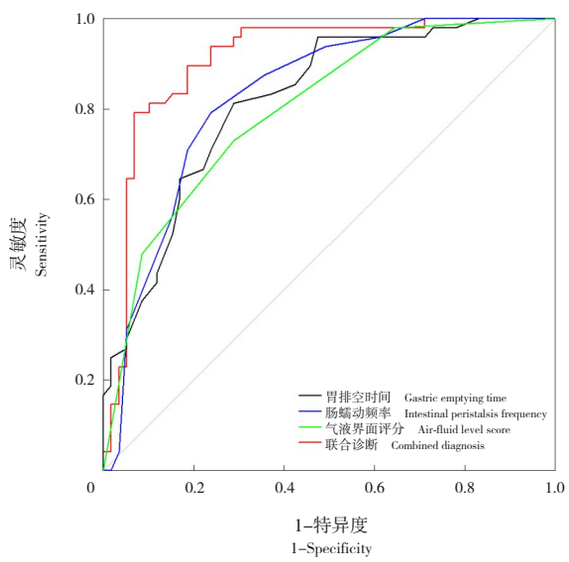


图 4　单项与联合功能性超声指标预测 FI 的 ROC 曲线图

尽管上述结果具有较大的临床意义，但考虑到研究训练集样本总量为 107 例，FI 组仅 48 例，在变量数量为 3 项的前提下，样本与变量比约为 35∶1，FI 组样本与变量比约为 16∶1，存在一定的模型过拟合和“乐观偏倚”风险。为进一步验证联合功能性超声参数模型在早产儿 FI 预测中的稳定性与泛化能力，本研究采用 70% 训练集与 30% 测试集的数据划分策略，分别进行内部验证（训练集）与独立外部验证（测试集）。结果显示，训练集和测试集各个指标对比差异均无统计学意义（*P*>0.05），表明划分具有随机性。见表 4。

在训练集中，通过 Bootstrap 内部验证，计算得出 AUC 为 0.911（95%*CI*：0.845~0.964），显示模型在拟合样本中具有极高的判别能力。进一步在测试集上应用该模型进行独立验证，结果显示 AUC 为 0.904（95%*CI*：0.854~1.000），提示该模型在外部验证集中仍具有较高的区分能力，表明该模型具备良好的外部推广性。见图 5。

表 4　训练集和测试集特征比较

变量	训练集 (*n*=107)	验证集 (*n*=46)	t/χ^2 值	*P*值
胃排空时间 ($\bar{x} \pm s$, min)	40 ± 9	39 ± 9	0.573	0.567
肠蠕动频率 ($\bar{x} \pm s$, 次/5min)	10.8 ± 3.3	10.6 ± 3.8	0.284	0.777
气液界面评分 ($\bar{x} \pm s$, 分)	1.5 ± 1.1	1.7 ± 1.1	−0.680	0.498
中重度肠腔气液界面异常 [*n*(%)]				
否	65(60.7)	27(58.7)	0.057	0.812
是	42(39.3)	19(41.3)		
性别 [*n*(%)]				
男	56(52.3)	24(52.2)	<0.001	0.985
女	51(47.7)	22(47.8)		
出生体重 [*n*(%)]				
<1 500 g	48(44.9)	23(50.0)	0.342	0.559
≥1 500 g	59(55.1)	23(50.0)		
胎龄 [*n*(%)]				
<32 周	40(37.4)	16(34.8)	0.094	0.759
≥32 周	67(62.6)	30(65.2)		
是否使用抗生素 [*n*(%)]				
否	67(62.6)	31(67.4)	0.318	0.573
是	40(37.4)	15(32.6)		
是否合并呼吸支持 [*n*(%)]				
否	42(39.3)	19(41.3)	0.057	0.812
是	65(60.7)	27(58.7)		

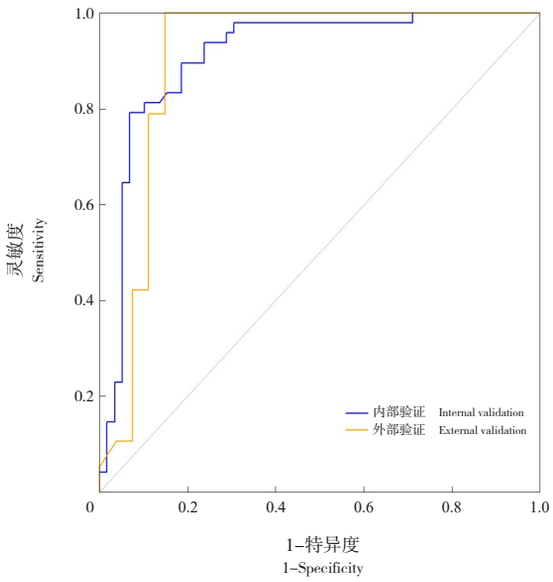


图5 内部和外部验证 ROC 曲线

2.4 潜在混杂因素控制与亚组分析结果

考虑到早产儿 FI 的发生可能受胎龄、出生体重、感染状态等多种因素影响，研究进一步对主要混杂变量进行调整[17]。本研究考虑混杂因素包括胎龄、出生体重、性别、是否使用抗生素、是否合并呼吸支持，将单因素中有统计学意义变量纳入多因素分析，从而控制混杂因素影响。采用中位数将连续变量进行分组，以减少异常值对结果影响。多因素分析结果显示：在控制混杂因素后，胃排空时间 、肠蠕动频率和气液界面评分对 FI 的影响有统计学意义（均 P<0.05）。见表5。

此外，基于胎龄（<32 周与≥32 周）和出生体重（<1 500 g 与≥1 500 g）的亚组分析，在极早产儿组（<32 周）中，联合模型的 AUC 为 0.903，灵敏度为 93.1%，特异度为 90.9%；在低出生体重儿组（<1 500 g）中，联合模型的 AUC 为 0.910；在相对成熟组（胎龄 32~36 周 、体重≥1 500 g）中，联合模型的 AUC 为 0.902。见表6及图6。

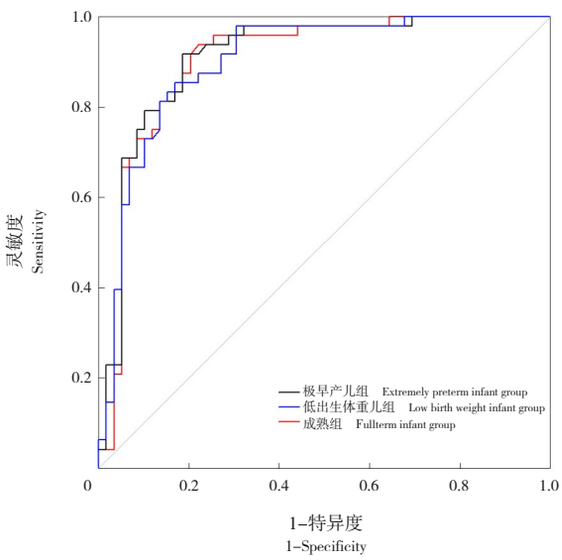


图6 亚组分析中联合指标预测 FI 的 ROC 曲线图

表5 单因素和多因素 logistic 回归分析

变量	单因素		多因素	
	P	OR(95%CI)	P	OR(95%CI)
胃排空时间≥40 min	<0.001	10.71(4.27~26.81)	0.002	7.84(2.16~28.38)
肠蠕动频率<11 次/5 min	<0.001	12.21(4.87~30.63)	0.003	6.36(1.85~21.89)
气液界面评分≥2 分	<0.001	6.65(2.84~15.56)	0.036	3.07(1.08~8.74)
女性	0.410	1.38(0.64~2.96)		
出生体重<1 500 g	<0.001	9.53(3.93~23.10)	0.253	2.42(0.53~10.97)
胎龄<32 周	<0.001	6.66(2.78~15.96)	0.071	3.95(0.89~17.55)
使用抗生素	0.005	3.19(1.41~7.20)	0.565	1.45(0.41~5.10)
使用呼吸支持	0.007	3.10(1.35~7.11)	0.481	1.65(0.41~6.60)

表6 FI 亚组分析

亚组	例数	FI 例数	AUC(95%CI)	灵敏度 (%)	特异度 (%)	P值	截断值
极早产儿组	40	29	0.903(0.841~0.965)	93.1	90.9	<0.001	0.614
低出生体重儿组	48	35	0.910(0.852~0.969)	82.1	98.2	<0.001	0.767
成熟组	52	9	0.902(0.842~0.961)	100	81.4	<0.001	0.173

3 讨论

功能性超声提供的3项关键参数在FI组中均呈现出特征性改变，且互为补充，从动力、结构及推进功能3个维度揭示胃肠道在FI前期的失调机制。结果显示，FI组与非FI组在上述参数上均有显著差异，且这些变化并非与症状同步出现，而是显著早于临床确诊时间。具体分析显示，FI组患儿功能性超声参数首次异常值出现时间距FI临床确诊的中位时间为36 h，部分个体最早达6 h，直观证明了功能性超声作为“早期预警工具”而非“事后诊断手段”的独特临床价值。FI的临床症状与NEC早期表现存在重叠，易导致临床决策中过度暂停喂养，而研究证实仅25%的FI婴儿最终发展为NEC，盲目停止喂养会对早产儿的营养摄入及生长发育造成不良影响。鉴于此，近年来许多国外学者开始基于超声影像学评分系统的探索，以期为FI的鉴别诊断及喂养方案的调整提供客观依据[6]。本研究在现有基础上，进一步提出一种基于超声参数的风险分级干预构想，以实现早产儿喂养管理的个体化。依据预测模型概率输出，拟将患儿分为低风险（<20%）、中风险（20%~50%）、高风险（>50%）3组。对于低风险者，维持原有喂养推进计划，无需额外干预；中风险患儿建议延缓喂养速度、减少每次进奶量并加强动态监测，必要时调整营养策略；高风险者则建议立即暂停喂养、启动胃肠减压、评估静脉营养方案，并增加功能性超声与临床评估频次，以防FI进展至NEC等重症阶段。

功能性超声已被研究证明是预测FI的有效手段[18]，通过量化参数的动态变化，实现FI从“被动识别”向“主动干预”的管理模式转变。与传统依赖临床症状和体征观察的方式相比，该模式显著提前了识别时间，为制定更具前瞻性的喂养管理策略提供了操作依据，亦为NICU早产儿的喂养个体化、精细化管理打开了新的技术路径。

功能性超声无辐射，无需药物或特殊设备支持，检查过程对早产儿无创伤性影响，适用于NICU中的每日动态监测[19]。本研究中，每例患儿平均接受功能性超声检查5.6次，超声图像可重复性良好（*Kappa*值>0.85），显示该技术在临床中具有良好的重复性与操作一致性，说明其操作流程标准化程度高，人员培训门槛适中，便于NICU团队常规开展。相较于腹部X线或计算机断层扫描等传统手段，功能性超声在早期识别、频繁监测及非特异性表现评估方面均更具优势。

将功能性超声监测参数用于早产儿FI的分级风险预警管理，而非单纯作为辅助诊断工具。通过构建以胃排空时间、肠蠕动频率与肠腔气液状态为基础的多变量预测模型，研究提出了风险分级–干预响应机制：当模型预测风险<20%时判定为低风险，可继续推进标准喂养计划；风险介于20%~50%为中风险，建议减缓进奶速度、减少每次喂养量，并增加超声监测频次（例如1次/12 h）；若预测风险>50%，即列为高风险，应立即暂停喂养，启动胃肠支持（如胃减压、静脉营养），并评估是否合并其他并发症。通过这样的风险分层–干预策略联动机制，实现对FI的前移管理，最大程度延缓或阻断其临床进展链条。

通过联合胃排空时间、肠蠕动频率及肠腔气液状态3项参数构建的多变量logistic回归模型，其AUC达0.910，远高于任一单独指标，显著提升了FI的预测准确率，本研究同时提出分级风险评分体系（拟定低、中、高三级风险），在回顾分析中能较准确地反映患儿后续喂养结局，提示该模型具备用于FI风险分层管理的潜力。结合评分结果，临床可制定个体化喂养路径：如高风险者提前中断喂养或加强监测，低风险者则可维持正常推进，有望优化资源配置与护理决策。

功能性超声提供了肠道功能状态的客观量化指标，使得功能导向的精准喂养策略成为可能。相较于以出生胎龄或体重为基础的经验性喂养，超声参数反映的是个体当下的肠道状态，更符合临床精细化管理趋势。结合动态监测与模型预测，临床团队可逐步建立一套以功能状态为核心的喂养风险评估与推进策略，实现从统一模板向个体化喂养路径过渡，最终提升早产儿营养管理质量，降低FI及其相关并发症的发生率。

尽管本研究结果优异，但需指出，此验证结果源自模拟数据，具有一定的理想化特征；在实际临床数据中，仍需通过多中心、真实世界样本进一步验证其泛化能力与鲁棒性。总体而言，当前模型验证结果为功能性超声在FI早期预警中的临床应用提供了坚实的理论支持与方法依据。

综上所述，本研究系统评估了功能性超声在早产儿FI早期预警中的应用价值，结果表明，胃排空时间延长、肠蠕动频率降低及肠腔气液异常等超声参数在FI发生前即出现特征性变化，具有

明确的预警意义。通过构建多参数联合模型，进一步提高了预测准确率和临床适用性。作为一种无创、动态、可重复的监测工具，功能性超声为NICU喂养管理提供了新的评估维度和决策依据。未来，结合更多中心的多样化样本验证及人工智能辅助分析，有望将该技术推广为早产儿精准喂养的核心组成部分，为降低FI相关风险、优化喂养结局提供有力支持。

作者贡献声明：赵梦茹负责数据分析、论文撰写；王语麟、张俊涛、杨霞负责数据收集、整理和分析；张娴负责文章的构思、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] 屈敬婷, 杨丽, 钟娟, 等. 以超声监测为导向的机械通气患者肠内营养护理方案的构建[J]. 广西医学, 2024, 46(5): 695-703. DOI: 10.11675/j.issn.0253-4304.2024.05.14.

[2] 胡晓艳, 常艳美, 李在玲. 喂养不耐受对早产儿近期结局的影响[J]. 临床儿科杂志, 2021, 39(5): 355-359. DOI: 10.3969/j.issn.1000-3606.2021.05.008.

[3] 陈蓓蓓, 谢琴, 徐相勤, 等. 重症机械通气病人超声监测的肠系膜上动脉血流速变化预测肠内营养不耐受的临床研究[J]. 肠外与肠内营养, 2024, 31(3): 154-161. DOI: 10.16151/j.1007-810x.2024.03.005.

[4] 中国医师协会新生儿科医师分会循证专业委员会. 早产儿喂养不耐受临床诊疗指南（2020）[J]. 中国当代儿科杂志. 2020, 22(10): 1047-1055. PMID: 33059799; PMCID: PMC7568993. DOI: 10.7499/j.issn.1008-8830.2008132.

[5] Lu C, Rosentreter R, Parker CE, et al. International expert guidance for defining and monitoring small bowel strictures in Crohn's disease on intestinal ultrasound: a consensus statement [J]. Lancet Gastroenterol Hepatol, 2024, 9(12): 1101-1110. PMID: 39447590. DOI: 10.1016/S2468-1253(24)00265-6.

[6] Ifran EKB, Hegar B, Rohsiswatmo R, et al. Feeding intolerance scoring system in very preterm and very low birth weight infants using clinical and ultrasound findings[J]. Front Pediatr, 2024, 25, 12: 1370361. PMID: 38725983. PMCID:PMC11079181. DOI: 10.3389/fped.2024.1370361.

[7] Abid H, Cherkaoui H, Benahsine F, et al. Non-invasive monitoring of inflammatory bowel disease using intestinal ultrasound[J]. World J Gastrointest Endosc, 2025, 17(3): 97016. PMID: 40125503. PMCID: PMC11923979. DOI: 10.4253/wjge.v17.i3.97016.

[8] Allocca M, Kucharzik T, Rubin DT. Intestinal ultrasound in the assessment and management of inflammatory bowel disease: is it ready for standard practice?[J]. Gastroenterology, 2023, 164(6): 851-855. PMID: 36708790. DOI: 10.1053/j.gastro.2023.01.021.

[9] Li J, Ren Y, Gao C, et al. Evaluation of fecal calprotectin, D-lactic acid and bedside gastrointestinal ultrasound image data for the prediction of acute gastrointestinal injury in sepsis patients [J]. Front Med Technol, 2021, 3: 733940. PMID: 35047957. PMCID: PMC8757724. DOI: 10.3389/fmedt.2021.733940.

[10] 胡菲菲, 王芳, 王永妮, 等. 腹内压监测与床旁超声监测对ICU病人早期肠内营养效果的Meta分析[J]. 循证护理, 2024, 10(18): 3231-3240. DOI: 10.12102/j.issn.2095-8668.2024.18.001.

[11] Moonen PJ, Reintam Blaser A, Starkopf J, et al. The black box revelation: monitoring gastrointestinal function[J]. Anaesthesiol Intensive Ther, 2018, 50(1): 72-81. PMID: 29152710. DOI: 10.5603/AIT.a2017.0065.

[12] Hollerweger A, Maconi G, Ripolles T, et al. Gastrointestinal ultrasound (GIUS) in intestinal emergencies: an EFSUMB position paper[J]. Ultraschall Med, 2020, 41(6): 646-657. PMID: 32311749. DOI: 10.1055/a-1147-1295.

[13] 林新祝,李正红,常艳美,等. 早产儿肠内营养管理专家共识（2024年）[J]. 中国当代儿科杂志, 2024, 26(06): 541-552. DOI: cn/10.7499/j.issn.1008-8830.2402039.

[14] Dutta S, Singh B, Chessell L, et al. Guidelines for feeding very low birth weight infants[J]. Nutrients. 2015, 7(1): 423-442. PMID: 25580815. DOI: 10.3390/nu7010423.

[15] Maconi G, Hausken T, Dietrich CF, et al. Gastrointestinal ultrasound in functional disorders of the gastrointestinal tract: EFSUMB consensus statement[J]. Ultrasound Int Open, 2021, 7(1): E14-E24.

[16] Lobo ML, Roque M. Gastrointestinal ultrasound in neonates, infants and children[J]. Eur J Radiol, 2014, 83(9): 1592-1600. PMID: 24840480. DOI: 10.1016/j.ejrad.2014.04.016.

[17] Elsayed Y, Seshia M. A new intestinal ultrasound integrated approach for the management of neonatal gut injury[J]. Eur J Pediatr, 2022, 181(4): 1739-1749. PMID: 34981184. DOI: 10.1007/s00431-021-04353-z.

[18] Yu G, Jin S, Wang R, et al. Transabdominal gastro-intestinal ultrasonography (TGIU) for predicting feeding intolerance in critically ill patients: a prospective observational study[J]. Clin Nutr ESPEN. 2023, 55: 76-82. PMID: 37202087. DOI: 10.1016/j.clnesp.2023.02.010.

[19] Kruisselbrink R, Gharapetian A, Chaparro LE, et al. Diagnostic accuracy of point-of-care gastric ultrasound[J]. Anesth Analg, 2019, 128(1): 89-95. PMID: 29624530. DOI: 10.1213/ANE.0000000000003372.

（本文编辑：张辉）

（©《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）