

· 论 著 · DOI:10.3969/j.issn.1672-9455.2026.06.011

# 基于超声胃窦运动指数、清蛋白构建 ARDS 俯卧位机械通气患者肠内营养不耐受风险的列线图预测模型\*

谭代弟<sup>1</sup>, 马 靓<sup>2△</sup>, 范乐乐<sup>3</sup>

1. 徐州医科大学附属连云港医院重症医学科, 江苏连云港 222000; 2. 徐州医科大学附属连云港医院组织人才处, 江苏连云港 222000; 3. 江苏省连云港市第一人民医院重症医学科, 江苏连云港 222000

**摘要:**目的 探讨基于超声胃窦运动指数(MI)及血清清蛋白构建急性呼吸窘迫综合征(ARDS)俯卧位机械通气患者肠内营养(EN)不耐受风险列线图预测模型的临床价值。方法 回顾性分析 2022 年 3 月至 2025 年 3 月于连云港市第一人民医院重症监护室进行俯卧位机械通气的 192 例 ARDS 患者的临床资料,所有患者均在超声 MI 指导下实施 EN;根据 EN 耐受情况将患者分为耐受良好组和耐受不良组。比较 2 组患者基线资料及不同时间点 MI 值、清蛋白水平。采用多因素 Logistic 回归分析 ARDS 俯卧位机械通气患者 EN 不耐受的影响因素,并基于影响因素构建 ARDS 俯卧位机械通气患者 EN 不耐受风险的预测模型,采用受试者工作特征(ROC)曲线及校准曲线对该模型进行验证。结果 192 例患者中,81 例(42.19%)纳入耐受良好组,111 例(57.81%)纳入耐受不良组。重复测量方差分析结果显示,2 组患者的 MI 值、清蛋白水平的组间效应和交互效应均有统计学意义( $P < 0.05$ )。单因素重复测量方差分析结果表明,与通气 1 d 相比,耐受良好组 MI 值与清蛋白水平在通气 2、3 d 均升高( $P < 0.016$ ),耐受不良组 MI 值在通气 2 d 升高( $P < 0.016$ ),通气 3 d 回落( $P < 0.016$ ),而清蛋白水平在通气 2、3 d 均升高( $P < 0.016$ )。多变量方差分析结果显示,耐受良好组患者通气 3 d 时的 MI 值、清蛋白水平均高于耐受不良组( $P < 0.05$ )。与耐受良好组相比,耐受不良组年龄  $\geq 60$  岁、使用肌松药、急性生理学与慢性健康状况评分 II (APACHE II 评分)  $\geq 20$  分的占比更高( $P < 0.05$ )。多因素 Logistic 回归分析显示,年龄  $\geq 60$  岁、使用肌松药、APACHE II 评分  $\geq 20$  分是 ARDS 俯卧位机械通气患者 EN 不耐受的危险因素,通气 3 d 时 MI 值增大、清蛋白水平升高是其保护因素( $P < 0.05$ )。基于影响因素构建了预测 EN 不耐受风险的列线图模型。ROC 曲线分析结果显示,该模型预测 EN 不耐受的曲线下面积为 0.911 (95%CI: 0.862~0.947),灵敏度为 93.69%、特异度为 83.95%;Bootstrap 校准曲线显示,该预测模型的校准曲线与实际曲线接近重合, Hosmer-Lemeshow  $\chi^2 = 0.794, P = 0.461$ 。结论 基于超声 MI 及清蛋白构建的风险预测模型对 ARDS 俯卧位机械通气患者 EN 不耐受具有较高的预测价值,有助于识别高风险人群,为早期干预提供参考。

关键词:胃窦运动指数; 清蛋白; 急性呼吸窘迫综合征; 俯卧位; 肠内营养; 列线图

中图法分类号:R563.8;R459.6

文献标志码:A

文章编号:1672-9455(2026)06-0783-08

## A nomogram model based on the ultrasonographic gastric antral motility index and albumin for predicting enteral nutrition intolerance in ARDS patients undergoing prone position mechanical ventilation\*

TAN Daidi<sup>1</sup>, MA Liang<sup>2△</sup>, FAN Lele<sup>3</sup>

1. Department of Critical Care Medicine, the Affiliated Lianyungang Hospital of Xuzhou Medical University, Lianyungang, Jiangsu 222000, China; 2. Department of Organization and Talent, the Affiliated Lianyungang Hospital of Xuzhou Medical University, Lianyungang, Jiangsu 222000, China; 3. Department of Critical Care Medicine, the First People's Hospital of Lianyungang, Lianyungang, Jiangsu 222000, China

**Abstract: Objective** To investigate the clinical value of developing and validating a nomogram model, based on the ultrasonographic gastric antral motility index (MI) and serum albumin, for predicting the risk of enteral nutrition (EN) intolerance in patients with acute respiratory distress syndrome (ARDS) receiving prone position mechanical ventilation. **Methods** A retrospective analysis was conducted on the clinical data of

\* 基金项目:江苏省中医药科技发展计划项目(MS2022098);江苏省连云港市科技项目(SF2415)。

作者简介:谭代弟,女,副主任护师,主要从事重症营养方向的研究。△ 通信作者,E-mail:237917190@qq.com。

引用格式:谭代弟,马靓,范乐乐.基于超声胃窦运动指数、清蛋白构建 ARDS 俯卧位机械通气患者肠内营养不耐受风险的列线图预测模型[J].检验医学与临床,2026,23(6):783-789.

192 patients with ARDS who received prone-position mechanical ventilation in the intensive care unit of the First People's Hospital of Lianyungang from March 2022 to March 2025. All patients received EN guided by the ultrasonographic MI. Based on EN tolerance, patients were assigned to a good-tolerance group and a poor-tolerance group. Clinical data along with MI value and albumin level at different time points were compared between the two groups. A multivariate Logistic regression was used to identify factors associated with EN intolerance. A risk prediction model was constructed based on these factors and was validated using receiver operating characteristic (ROC) curve and calibration curve analyses to assess its discriminative ability and calibration. **Results** Among the 192 patients, 81 (42.19%) cases were enrolled in good EN tolerance group, whereas 111 (57.81%) cases were enrolled in poor tolerance group. Repeated-measures ANOVA revealed significant time, between-group and interaction effects for both MI and albumin levels ( $P < 0.05$ ). Subsequent univariate analysis indicated that compared with those on day 1 (D1), MI and albumin level on day 2 (D2), day 3 (D3) increased in the good-tolerance group ( $P < 0.016$ ). In the poor-tolerance group, MI increased on D2 ( $P < 0.016$ ) then declined on D3 ( $P < 0.016$ ), while albumin level increased on both days ( $P < 0.016$ ). Multivariate analysis of variance confirmed that MI and albumin levels on D3 were significantly higher in the good-tolerance group ( $P < 0.05$ ). The proportions of patients aged  $\geq 60$  years, those receiving neuromuscular blocking agents, and those with an Acute Physiology and Chronic Health Evaluation II (APACHE II) score  $\geq 20$  were significantly higher in the poor-tolerance group than those in the good-tolerance group ( $P < 0.05$ ). Multivariate Logistic regression identified age  $\geq 60$  years, neuromuscular blocker use and APACHE II score  $\geq 20$  as independent risk factors for EN intolerance, while an increased MI and higher albumin level on 3 d were protective factors ( $P < 0.05$ ). A nomogram predicting EN intolerance risk was developed based on these factors. The model yielded an AUC of 0.911 (95% CI: 0.862–0.947), with 93.69% sensitivity and 83.95% specificity. Bootstrap internal validation demonstrated excellent calibration (Hosmer-Lemeshow  $\chi^2 = 0.794$ ,  $P = 0.461$ ). **Conclusion** The risk prediction model developed based on ultrasonographic MI and albumin demonstrates high predictive value for EN intolerance in ARDS patients receiving prone-position mechanical ventilation and can help identify high-risk patients, providing a reference for early intervention.

**Key words:** antral motility index; albumin; acute respiratory distress syndrome; prone position; enteral nutrition; nomogram

急性呼吸窘迫综合征(ARDS)是重症监护领域的高致死性疾病,其病理特征是弥漫性肺泡损伤和顽固性低氧血症,中重度患者常需采用俯卧位机械通气以改善氧合状态<sup>[1-2]</sup>。近年来,尽管临床采用肺保护性通气策略及俯卧位治疗显著降低了 ARDS 病死率,但患者在接受肠内营养(EN)过程中常面临营养不耐受问题<sup>[3]</sup>。研究显示,俯卧位机械通气通过改善通气/血流比,已成为中重度患者的一线治疗手段<sup>[4-5]</sup>,但该体位可能改变腹腔压力分布及内脏血流灌注,导致胃排空延迟、胃潴留等,进而引发营养供给不足等连锁反应,直接影响患者预后<sup>[6-7]</sup>。精准评估 EN 耐受性是危重症营养支持的难点。传统评估多依赖胃残余量、腹部体征等指标,但预测俯卧位机械通气患者 EN 不耐受的特异度及灵敏度均欠佳<sup>[8]</sup>。超声胃窦运动指数(MI)是一种新型的无创监测技术,可通过定量分析胃窦收缩频率与幅度,实时反映胃肠动力状态,为动态评估 EN 耐受性提供了可视化依据<sup>[9]</sup>。血清清蛋白不仅是营养状态的敏感指标,还与全身炎症反应及毛细血管渗漏综合征密切相关,提示其对胃肠黏膜屏障功能具有潜在预测价值<sup>[10]</sup>。尽管 MI 与清蛋白分别从动力与代谢角度反映 EN 耐受性,但目前

尚缺乏整合胃肠动力指标联合清蛋白构建俯卧位 ARDS 患者 EN 耐受性预测模型的研究。不同通气时间的 MI 值、清蛋白与 ARDS 患者 EN 耐受性可能具有关联。因此,本研究旨在联合 MI 与清蛋白,构建并验证适用于俯卧位通气 ARDS 患者的 EN 不耐受风险的列线图预测模型,并探讨其预测价值与干预时机,以期为 EN 精准化管理提供新依据。

## 1 资料与方法

**1.1 一般资料** 回顾性分析 2022 年 3 月至 2025 年 3 月于连云港市第一人民医院进行俯卧位机械通气的 192 例 ARDS 患者的临床资料。纳入标准:(1)符合文献[11]中 ARDS 的诊断标准,在已知诱因 1 周内出现新发/加重的呼吸困难,胸部影像学显示双侧浸润影且无法完全用心力衰竭或液体过负荷解释,同时排除慢性肺疾病急性加重。(2)均为中、重度 ARDS[呼气末正压(PEEP)  $\geq 5$  cmH<sub>2</sub>O,氧合指数(PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub>)  $\leq 200$  mmHg]。(3)年龄  $> 18$  岁。(4)建立人工气道并进行机械通气。(5)经鼻胃管或鼻肠管进行 EN。(6)需进行超声 MI 检查。排除标准:(1)研究期间转出或死亡;(2)存在 EN 禁忌证;(3)有俯卧位通气相对禁忌证;(4)处于妊娠期或哺乳期。本研究经

连云港市第一人民医院医学伦理委员会审核批准(伦理号:LW-20250512001-01),符合豁免签署知情同意书的伦理审查要求。

## 1.2 方法

### 1.2.1 超声 MI 检测及 MI 指导下 EN 的实施

所有患者均接受标准俯卧位通气准备:调整床头抬高 30°~45°,头部偏向一侧以避免面部受压,双臂伸直上举置于头两侧,并于双肩及骨盆下方垫置软枕,以减轻腹部压迫、保障静脉回流。采用胃肠蠕动泵将鼻胃管经鼻腔置入胃内,置入深度为 55~60 cm,并通过听诊或 X 线(必要时)确认管端位于胃腔内。分别于机械通气 1、2、3 d,在每日 EN 启动前且患者处于仰卧位时,对患者进行超声 MI 检测。使用 LOGIQ E9 超声诊断仪(上海涵飞医疗器械有限公司),选择 3~5 MHz 凸阵探头。为获取胃窦横切面,将探头置于剑突下偏右位置,探头长轴垂直于患者躯干长轴,探头标记点朝向患者右侧;通过调整角度,在肝左叶和腹主动脉所成夹角区域清晰显示胃窦横切面,经已置入的鼻胃管缓慢注入 100 mL 温水,持续记录 6 min 内胃窦收缩的次数,把每 2 分钟的胃窦收缩次数作为胃窦收缩频率(ACF),连续测量 3 次胃窦舒张面积( $S_{舒}$ )与收缩面积( $S_{收}$ ),并计算平均值。胃窦收缩幅度( $ACA$ ) =  $(S_{舒} - S_{收}) / S_{舒} \times 100\%$ ,MI 为  $ACF \times ACA$ 。根据所得的 MI 来设定 EN 液的输注速度<sup>[12]</sup>:若  $MI \leq 0.4$ ,EN 输注速度设定为 20~30 mL/h;若  $0.4 < MI \leq 0.8$ ,速度设定为 40~60 mL/h;若  $MI > 0.8$ ,速度设定为 70 mL/h,随后根据患者实际情况逐步增加至目标速度,一旦患者出现喂养不耐受,立即停止 EN。床旁超声检查由同一名高年资超声科医师实施。

### 1.2.2 营养耐受性评估

参照文献<sup>[13]</sup>拟定的标准,采用 EN 耐受性评估表对患者进行评价。评估频率为 1 次/6 h,观察期为机械通气期间。评估内容涵盖腹胀/腹痛、腹泻、恶心/呕吐、肠鸣音异常及误吸/反流共 5 个维度。每项采用 0~10 分评分法(0 分代表正常/无症状,10 分代表最严重),总分 0~50 分。分组标准:若患者在观察期内出现 1 次及以上总分 > 7 分,归为耐受不良组;若所有评估时点总分均 ≤ 7 分,则归为耐受良好组。

### 1.2.3 清蛋白水平检测

分别于通气 1、2、3 d 清晨抽取患者空腹外周静脉血,离心取上清液,使用溴甲酚绿法测定清蛋白水平,试剂盒购自贝克曼库尔特实验系统(苏州)有限公司,批号:AUZ3318。

### 1.2.4 基线资料收集

记录患者基线资料,包括性别、年龄、体质量指数(BMI)、合并疾病(高血压、冠心病、糖尿病、低钾血症)、是否使用抗菌药物、是否使用肌松药、EN 种类、是否使用促胃动力药物、单位时间喂养量、急性生理学与慢性健康状况评分 II (APACHE II 评分)<sup>[14]</sup>、危重患者营养风险(NUTRIC)评

分<sup>[15]</sup>、RASS 镇静评分<sup>[16]</sup>等。

### 1.3 统计学处理

采用 SPSS26.0 统计软件分析数据。呈正态分布且方差齐性的计量资料以  $\bar{x} \pm s$  表示,2 组间比较采用独立样本  $t$  检验,组内比较采用配对样本  $t$  检验;重复测量数据采用重复测量方差分析,若 Mauchly 球形检验不满足,采用 Greenhouse-Geisser 法校正,若存在时间与组间的交互效应,则进一步进行单独效应分析;计数资料以例数或百分率表示,组间比较采用  $\chi^2$  检验;采用多因素 Logistic 回归分析 ARDS 俯卧位机械通气患者 EN 不耐受的影响因素,并采用方差膨胀因子(VIF)检验自变量间的共线性(VIF > 10 则剔除变量);采用 R 语言软件 4.0 构建 EN 不耐受风险列线图预测模型,采用受试者工作特征(ROC)曲线及 Hosmer-Lemeshow 法验证模型。以  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 2 组不同时间 MI 值、清蛋白水平比较

192 例患者中有 81 例(42.19%)纳入耐受良好组,111 例(57.81%)纳入耐受不良组。对耐受良好组、耐受不良组患者不同时间点的 MI 值、清蛋白水平进行正态性检验和方差齐性检验,结果显示 2 组患者的 MI 值、清蛋白水平均服从正态分布且方差齐性( $P > 0.05$ )。2 组不同时间点 MI 值、清蛋白水平的主效应检验结果显示:时间效应有统计学意义( $P < 0.05$ ),表明 2 组患者 MI 值、清蛋白水平随时间而改变;2 组患者 MI 值、清蛋白水平组间效应差异有统计学意义( $P < 0.05$ ),表明耐受良好组和耐受不良组的 MI 值、清蛋白水平存在差异;2 组患者 MI 值、清蛋白水平交互效应均有统计学意义( $P < 0.05$ ),说明时间因素对 MI 值、清蛋白水平的影响随耐受情况不同而有所不同。因此,需对 2 组患者时间效应和组间效应进行单独效应的检验。见表 1。

表 1 2 组患者不同时间的 MI 值、清蛋白水平的重复测量方差分析主效应检验结果

指标	时间效应		组间效应		交互效应	
	F	P	F	P	F	P
MI 值	12.817	<0.001	9.208	0.003	11.046	<0.001
清蛋白(g/L)	14.105	<0.001	9.725	<0.001	12.502	<0.001

分别在耐受良好组与耐受不良组内进行单因素重复测量方差分析,探讨不同通气时间对 ARDS 患者 MI 值、清蛋白水平的影响,结果显示:与通气 1 d 时比较,耐受良好组、耐受不良组患者通气 2、3 d 时的 MI 值( $F = 11.407, P < 0.001; F = 10.726, P < 0.001$ )、清蛋白水平均有所上升( $F = 13.512, P < 0.001; F = 12.604, P < 0.001$ )。采用 Bonferroni 法对检验水准  $\alpha = 0.05$  进行校正( $\alpha' = 0.016$ )后,耐受良好组不同时间 MI 值比较结果为通气 1 d < 通气 2 d < 通气 3 d

( $P < \alpha'$ ); 耐受不良组不同时间 MI 值比较结果为通气 1 d < 通气 3 d < 通气 2 d ( $P < \alpha'$ )。在清蛋白水平方面, 耐受良好组不同时间清蛋白水平比较结果为通气 1 d < 通气 2 d < 通气 3 d ( $P < \alpha'$ ); 耐受不良组不同时间清蛋白水平比较结果为通气 1 d < 通气 2 d < 通气 3 d ( $P < \alpha'$ )。多变量方差分析结果显示: 耐受良好组通气 3 d 时的 MI 值及清蛋白水平均高于耐受不良组 ( $F = 9.269, P < 0.001; F = 10.371, P < 0.001$ )。

见表 2。

**2.2 2 组基线资料比较** 与耐受良好组相比, 耐受不良组的性别、BMI、合并疾病、使用抗菌药物比例、EN 种类、使用促胃动力药物比例、单位时间喂养量、NUTRIC 评分及 RASS 镇静评分比较, 差异均无统计学意义 ( $P > 0.05$ ); 耐受不良组的年龄  $\geq 60$  岁比例、使用肌松药比例、APACHE II 评分  $\geq 20$  分占比高于耐受良好组, 差异均有统计学意义 ( $P < 0.05$ )。见表 3。

表 2 2 组不同时间的 MI 值、清蛋白水平比较 ( $\bar{x} \pm s$ )

指标	组别	n	通气 1 d	通气 2 d	通气 3 d	F	P
MI 值	耐受良好组	81	0.43 ± 0.06	0.53 ± 0.08 <sup>#</sup>	0.58 ± 0.12 <sup>#*</sup>	11.407	<0.001
	耐受不良组	111	0.44 ± 0.04	0.52 ± 0.07 <sup>#</sup>	0.48 ± 0.09 <sup>#*</sup>	10.726	<0.001
	F		0.896	0.920	9.269		
	P		0.438	0.359	<0.001		
清蛋白(g/L)	耐受良好组	81	30.76 ± 2.52	32.85 ± 2.81 <sup>#</sup>	35.07 ± 3.27 <sup>#*</sup>	13.512	<0.001
	耐受不良组	111	30.78 ± 2.60	32.44 ± 2.72 <sup>#</sup>	33.16 ± 2.70 <sup>#*</sup>	12.604	<0.001
	F		0.621	1.024	10.371		
	P		0.524	0.310	<0.001		

注: 与通气 1 d 比较, <sup>#</sup>  $P < \alpha'$ ; 与通气 2 d 比较, <sup>\*</sup>  $P < \alpha'$ 。

表 3 2 组基线资料比较 [ $n$ (%) 或  $\bar{x} \pm s$ ]

组别	n	性别		年龄		BMI ( $k/m^2$ )	合并疾病			
		男	女	<60 岁	$\geq 60$ 岁		高血压	冠心病	糖尿病	低钾血症
耐受良好组	81	39(48.15)	42(51.85)	68(83.95)	13(16.05)	22.64 ± 1.53	37(45.68)	30(37.04)	27(33.33)	13(16.05)
耐受不良组	111	61(54.95)	50(45.05)	73(65.77)	38(34.23)	22.72 ± 1.71	57(51.35)	49(44.14)	43(38.74)	16(14.41)
$\chi^2/t$		0.869		7.939		0.334	0.603	0.977	0.591	0.098
P		0.351		0.005		0.738	0.437	0.323	0.442	0.755

组别	n	使用抗菌药物	使用肌松药	EN 种类			
				短肽 EN 液混悬液	高密度 EN 乳剂	整蛋白 EN 混悬液 1	整蛋白 EN 混悬液 2
耐受良好组	81	72(88.89)	36(44.44)	7(8.64)	22(27.16)	24(29.63)	28(34.57)
耐受不良组	111	102(91.89)	82(73.87)	13(11.71)	19(17.12)	33(29.73)	46(41.44)
$\chi^2/t$		0.497	17.122	3.210			
P		0.481	<0.001	0.360			

组别	n	使用促胃动力药物	单位时间喂养量(mL/h)	APACHE II 评分		NUTRIC 评分		RASS 镇静评分	
				$\geq 20$ 分	<20 分	>5 分	$\leq 5$ 分	<-1 分	$\geq -1$ 分
耐受良好组	81	38(46.91)	53.72 ± 11.97	35(43.21)	46(56.79)	25(30.86)	56(69.14)	37(45.68)	44(54.32)
耐受不良组	111	58(52.25)	51.48 ± 12.03	70(63.06)	41(36.94)	47(42.34)	64(57.66)	56(50.45)	55(49.55)
$\chi^2/t$		0.534	1.277	7.448		2.632		0.427	
P		0.465	0.203	0.006		0.105		0.514	

**2.3 多因素 Logistic 回归分析 ARDS 俯卧位机械通气患者 EN 不耐受的影响因素** 将年龄、使用肌松药、APACHE II 评分、通气 3 d 时 MI 值、清蛋白作为自变量, 患者是否 EN 耐受(不耐受=1, 耐受=0)作为因变量进行多因素 Logistic 回归分析, 所有变量 VIF 均 < 10, 提示各自变量间均不存在共线性。结果显示, 年

龄  $\geq 60$  岁、使用肌松药、APACHE II 评分  $\geq 20$  分是 ARDS 俯卧位机械通气患者 EN 不耐受的危险因素 ( $P < 0.05$ ), 通气 3 d 时 MI 值增大、清蛋白水平升高是其保护因素 ( $P < 0.05$ )。见表 4。

**2.4 ARDS 俯卧位机械通气患者 EN 不耐受预测模型的建立及验证** 根据多因素 Logistic 回归分析结

果,采用 R4.0 软件构建 ARDS 俯卧位机械通气患者 EN 不耐受风险列线图预测模型,总分范围为 51~364

分,对应风险范围为 0.1~0.9,分数越高 ARDS 俯卧位机械通气 EN 不耐受的风险越高。见图 1。

表 4 多因素 Logistic 回归分析 ARDS 俯卧位机械通气患者 EN 不耐受的影响因素

因素	赋值	$\beta$	SE	Wald $\chi^2$	OR	OR 的 95%CI	P
年龄	$\geq 60$ 岁=1,<60 岁=0	1.372	0.547	6.291	3.943	1.350~11.520	0.012
肌松药使用情况	是=1,否=0	0.864	0.348	6.164	2.373	1.200~4.693	0.013
APACHE II 评分	$\geq 20$ 分=1,<20 分=0	1.682	0.641	6.886	5.376	1.531~18.885	0.009
通气 3 d 时 MI 值	实测值	-0.992	0.325	9.317	0.371	0.196~0.701	0.002
通气 3 d 时清蛋白	实测值	-1.144	0.538	4.522	0.319	0.111~0.914	0.033
常数项	—	-0.093	0.048	3.538	—	—	—

注:—表示无数据。

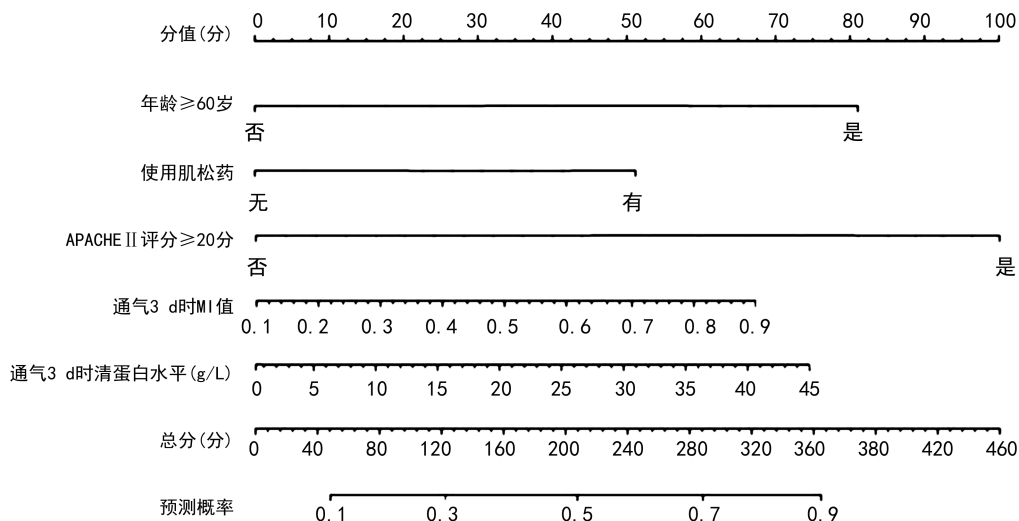


图 1 ARDS 俯卧位机械通气患者 EN 不耐受风险预测的列线图

2.5 ARDS 俯卧位机械通气患者 EN 不耐受的风险预测模型验证 根据 ARDS 俯卧位机械通气患者 EN 不耐受风险的列线图结果绘制 ROC 曲线,结果显示,该模型预测 ARDS 俯卧位机械通气 EN 不耐受的曲线下面积(AUC)为 0.911(95%CI:0.862~0.947),灵敏度为 93.69%、特异度为 83.95%、约登指数为 0.776。Bootstrap 校准曲线显示,该预测模型的校准曲线与实际曲线接近重合,Hosmer-Lemeshow  $\chi^2 = 0.794, P = 0.461$ 。见图 2、3。

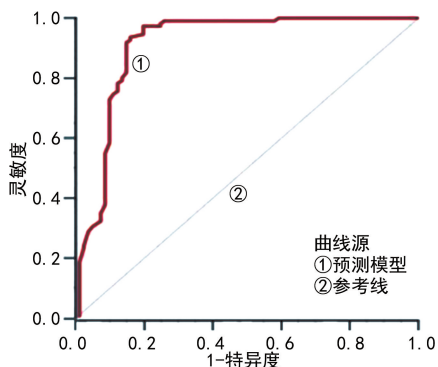
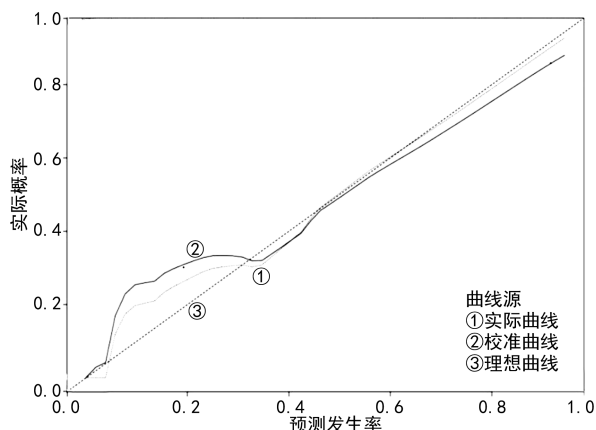


图 2 ARDS 俯卧位机械通气患者 EN 不耐受风险预测模型的 ROC 曲线



注:横坐标为模型预测的患者 EN 不耐受的风险值;纵坐标为患者实际发生 EN 不耐受的情况。

图 3 ARDS 俯卧位机械通气患者 EN 不耐受的校准曲线

### 3 讨论

ARDS 患者常存在顽固性低氧血症,俯卧位通气可有效改善其氧合状态。此外,接受俯卧位通气治疗的患者多病情危重,常需要进行营养支持<sup>[17]</sup>。EN 符合人体营养摄入的生理过程,是营养支持的优选方案<sup>[18]</sup>。超声 MI 可评估胃动力,为 EN 的合理实施提供指导依据。已有研究显示,通过超声监测 MI 能够

帮助重症患者更快实现喂养目标<sup>[19]</sup>。清蛋白是反映机体营养状况的重要指标,研究显示,清蛋白对危重患者早期 EN 不耐受具有较好的预测价值<sup>[20]</sup>;朱丹等<sup>[21]</sup>的研究表明,低蛋白血症是急诊老年脓毒性休克患者出现 EN 不耐受的危险因素。目前,关于俯卧位机械通气患者基于超声 MI 指导的 EN 与清蛋白关系的研究较少。鉴于此,本研究旨在构建一个整合 MI 与清蛋白风险的列线图预测模型。

超声检测 MI 可量化胃动力状态,为动态调整喂养策略提供依据。本研究结果显示,与通气 1 d 相比,耐受良好组 MI 值与清蛋白水平在通气 2、3 d 均升高;耐受不良组 MI 值在通气 2 d 升高、通气 3 d 回落,而清蛋白水平在通气 2、3 d 均升高。值得注意的是,2 组间差异在通气 3 d 达到最大。多变量方差分析显示,此时耐受良好组 MI 值显著高于耐受不良组,而 1 d 与 2 d 组间无显著差异;同样,2 组患者的清蛋白水平差异仅在通气 3 d 表现出差异统计学意义。这表明,通气 3 d 可能是借助 MI 指标与清蛋白水平判别患者 EN 耐受状态的最佳时间窗口。从病理生理学的角度分析,EN 不耐受现象大多集中出现在 EN 实施后的 48~72 h,此阶段机体对喂养负荷的适应能力逐渐趋于稳定,胃动力储备水平与蛋白质合成状态能够更为真实地反映患者胃肠道功能的实际耐受韧性<sup>[22-23]</sup>。同时,俯卧位通气对腹腔脏器空间分布的改善作用需要经过一定时间才能充分显现:在通气早期该干预措施或许仅能缓解腹腔脏器的急性压迫状态,而到了 3 d 才能明显体现出对胃窦收缩功能的持续性促进效果。耐受良好组患者稳定且较高的 MI 值提示了高效的胃排空,从而保障了营养物质的有效吸收,进一步为肝脏清蛋白的合成提供了充足支持;而耐受不良组患者则可能因反复发生胃潴留而被迫中断营养喂养,热量与蛋白质摄入的严重不足会加剧机体负氮平衡与低蛋白血症,最终形成胃肠功能障碍引发营养不良,营养不良进一步加重预后恶化的恶性循环<sup>[24]</sup>。

多因素 Logistic 回归分析结果发现,通气 3 d 时 MI 值增加、清蛋白水平升高是 ARDS 俯卧位机械通气患者 EN 不耐受的保护因素。MI 值较高提示胃排空效率更佳,这可能得益于俯卧位通气对腹腔压力分布和膈肌运动的优化作用。有研究表明,清蛋白 $\geq 35$  g/L 表明肝脏合成功能及蛋白质储备充足,支持肠道黏膜修复及免疫屏障功能,降低细菌移位风险<sup>[25]</sup>。BHURAYANONTACHAI 等<sup>[26]</sup>研究证实,高清蛋白水平可拮抗炎症反应、减轻肠道水肿,促进营养物质吸收,显著增强 EN 耐受性。本研究显示通气 3 d 时清蛋白水平与 EN 耐受性有关,但需注意清蛋白半衰期较长,其水平变化可能滞后于实际营养状态改变;且近期研究表明,对于俯卧位机械通气患者,单纯依

赖单次清蛋白检测可能掩盖急性期蛋白质代谢紊乱<sup>[27]</sup>。因此,在临床实践中,若以清蛋白作为评估指标,应认识其局限性。可考虑结合短半衰期蛋白(如视黄醇结合蛋白、前清蛋白)、腹内压以及液体平衡状态进行动态综合评估,以更及时、准确地反映患者的营养代谢状况及 EN 耐受风险。

另外,本研究中年龄 $\geq 60$ 岁、使用肌松药、APACHE II 评分 $\geq 20$ 分均是 ARDS 俯卧位机械通气患者 EN 不耐受的危险因素。老年患者因胃动力减退、肠道吸收功能下降,易出现胃潴留及营养吸收障碍,叠加多器官衰退与基础营养不良,进一步降低机体对 EN 的耐受性<sup>[28]</sup>。肌松药物可能通过抑制神经肌肉信号转导,削弱胃窦平滑肌收缩力,延缓胃排空;长期使用还可引发肌肉萎缩、蛋白分解加速,损害肠黏膜屏障功能<sup>[29]</sup>。高 APACHE II 评分反映全身炎症反应失控与多器官功能障碍,导致蛋白质合成受阻、代谢紊乱,同时因机械通气参数较高加重腹腔压力,这 2 个方面共同作用,抑制了 EN 的耐受性。YAHYAPOOR 等<sup>[30]</sup>研究表明,APACHE II 评分升高是重症监护病房机械通气患者 EN 不耐受的危险因素,与本研究结果一致。因此,临床中除关注 ARDS 俯卧位机械通气患者 MI 值及清蛋白水平外,还应重视年龄 $\geq 60$ 岁、使用肌松药、APACHE II 评分 $\geq 20$ 分的患者,且必要时调整营养支持方案。

本研究基于上述影响因素构建 ARDS 俯卧位机械通气 EN 不耐受风险预测模型,并通过列线图将 ARDS 俯卧位机械通气 EN 不耐受预测指标的效能可视化,同时对该模型进行验证。ROC 曲线分析结果显示,该模型预测 ARDS 俯卧位机械通气 EN 不耐受性的 AUC 为 0.911,灵敏度为 93.69%、特异度为 83.95%,同时 Bootstrap 校准曲线显示,该预测模型的校准曲线与实际曲线接近重合,提示本研究建立的 ARDS 俯卧位机械通气患者 EN 不耐受风险的列线图预测模型区分度、拟合度均较好。该模型可在超声 MI 监测后,用于快速评估患者 EN 不耐受风险,有助于临床医生及时识别高风险患者,并采取个体化干预措施(如优化俯卧位管理、调整喂养速度或使用促胃肠动力药),以期改善 EN 实施效果,最终可能对患者营养状况及临床预后产生积极影响。

综上所述,EN 耐受不良患者 MI 值、清蛋白水平较耐受良好患者低,年龄 $\geq 60$ 岁、使用肌松药、APACHE II 评分 $\geq 20$ 分是 ARDS 俯卧位机械通气患者 EN 不耐受的危险因素,通气 3 d 时 MI 值增大、清蛋白水平升高是其保护因素,基于此构建的列线图预测模型,经内部验证显示出良好的区分度与校准度,对 EN 不耐受具有较高的预测价值。本研究也具有一定局限性,如为回顾性研究且数据均取自单中心的电子病历系统,可能引发混杂偏倚;此外,本研究的纳

入样本量相对有限。因此,未来研究可采用多中心、大样本的资料,引入实时监测技术,结合时间进行协变量分析,通过控制肌松药物使用时长、营养支持方案调整等混杂因素,进一步验证该模型的外部效度。

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突。

**作者贡献** 谭代弟:查阅文献、研究设计、资料整理、论文撰写;范乐乐:资料收集与汇总,论文修改;马靓:思路指导、论文审校与修改、论文定稿。

### 参考文献

[1] BOS L D J, WARE L B. Acute respiratory distress syndrome: causes, pathophysiology, and phenotypes[J]. *Lancet*, 2022, 400(10358): 1145-1156.

[2] MATTHAY M A, ZEMANS R L, ZIMMERMAN G A, et al. Acute respiratory distress syndrome[J]. *Nat Rev Dis Prim*, 2019, 5(1): 18.

[3] WISCHMEYER P E, BEAR D E, BERGER M M, et al. Personalized nutrition therapy in critical care: 10 expert recommendations [J]. *Crit Care*, 2023, 27(1): 261.

[4] 杜芷祎, 孔祥莓, 朱晓东. 急性呼吸窘迫综合征机械通气治疗时自主呼吸的调节[J]. *临床儿科杂志*, 2024, 42(4): 355-360.

[5] 侯瑶, 孔楠, 吴玉芹, 等. 改良式俯卧位通气联合支气管镜肺泡灌洗对 ARDS 患儿呼吸力学及血流动力学的影响及有效性评价[J]. *昆明医科大学学报*, 2025, 46(1): 117-122.

[6] 安祥, 张志杰, 章明阳, 等. ICU 俯卧位通气患者肠内营养管理的最佳证据总结[J]. *现代临床护理*, 2023, 22(6): 75-82.

[7] YONG A, LI X X, PENG L L, et al. Efficacy and safety of enteral nutrition in prone position among critically ill ventilated patients: a Meta-analysis [J]. *Wideochir Inne Tech Malo Inwazyjne*, 2024, 19(2): 168-177.

[8] 俞祎婧, 刘文明. 重症患者肠内营养是否需要常规监测胃残余量[J]. *中华危重病急救医学*, 2022, 34(7): 764-768.

[9] 黄晓星, 张华根, 曾伟坚, 等. 床旁超声胃窦运动指数与脓毒症胃肠功能障碍患者预后的相关性分析[J]. *中国急救复苏与灾害医学杂志*, 2023, 18(3): 344-347.

[10] 李缺缺, 杜晓敏, 魏鹏芳. 相位角及血清前白蛋白在脓症患者营养状况评估中的价值及其与临床预后的关系[J]. *临床和实验医学杂志*, 2024, 23(9): 926-930.

[11] 乔良, 刘志. 急性呼吸窘迫综合征的诊断标准及

早期识别[J]. *中华急诊医学杂志*, 2015, 24(3): 237-240.

[12] 孙杨, 曹岚. 超声胃窦运动指数在俯卧位机械通气患者肠内营养中的应用[J]. *中国实用护理杂志*, 2020, 36(19): 1482-1485.

[13] MCCLAVE S A, MARTINDALE R G, VAN-EK V W, et al. Guidelines for the provision and assessment of nutrition support therapy in the adult critically ill patient: Society of Critical Care Medicine (SCCM) and American Society for Parenteral and Enteral Nutrition (A. S. P. E. N.) [J]. *JPEN J Parenter Enteral Nutr*, 2009, 33(3): 277-316.

[14] MANN S L, MARSHALL M R, WOODFORD B J, et al. Predictive performance of Acute Physiological and Chronic Health Evaluation releases II to IV: a single New Zealand centre experience[J]. *Anaesth Intensive Care*, 2012, 40(3): 479-489.

[15] RAHMAN A, HASAN R M, AGARWALA R, et al. Identifying critically-ill patients who will benefit most from nutritional therapy: further validation of the "modified NUTRIC" nutritional risk assessment tool[J]. *Clin Nutr*, 2016, 35(1): 158-162.

[16] TARAN Z, NAMADIAN M, FAGHIHZADEH S, et al. The effect of sedation protocol using Richmond Agitation-Sedation scale (RASS) on some clinical outcomes of mechanically ventilated patients in intensive care units: a randomized clinical trial[J]. *J Caring Sci*, 2019, 8(4): 199-206.

[17] BATTAGLINI D, IAVARONE I G, ROBBA C, et al. Mechanical ventilation in patients with acute respiratory distress syndrome: current status and future perspectives[J]. *Expert Rev Med Devices*, 2023, 20(11): 905-917.

[18] 亚洲急危重症协会中国腹腔重症协作组. 重症病人胃肠功能障碍肠内营养专家共识(2021 版) [J]. *中华消化外科杂志*, 2021, 20(11): 1123-1136.

[19] 吴琪, 朱保锋, 陈建荣, 等. 床旁超声联合监测胃残余量和胃窦运动指数在危重症患者肠内营养中的应用研究[J]. *临床急诊杂志*, 2024, 25(4): 180-187.

[20] 苏小平, 徐静娟, 赵亚东, 等. 危重患者早期肠内营养喂养不耐受风险预测模型的构建[J]. *护理学报*, 2022, 29(17): 47-51. (下转第 796 页)

· 论 著 · DOI:10.3969/j.issn.1672-9455.2026.06.012

## 儿童大叶性肺炎治疗无效的危險因素及列线图模型建立\*

李萍,戴红臣,李桂涛<sup>△</sup>,赵春秀,孙雅娟

安徽省阜阳市人民医院儿科,安徽阜阳 236000

**摘要:**目的 分析儿童大叶性肺炎治疗无效的危險因素,建立儿童大叶性肺炎治疗无效的列线图模型。**方法** 选取 2021 年 2 月至 2025 年 6 月该院收治的 465 例大叶性肺炎患儿作为研究对象,根据入院 2 周后患儿的疗效将其分为无效组和有效组。收集 2 组的年龄、性别、发病季节、病灶分布、支原体感染情况、发热时间、发热程度、胸腔积液量、肺实变情况、肺不张情况、C 反应蛋白(CRP)水平、支气管肺泡灌洗术时机、病灶范围等资料。采用多因素 Logistic 回归筛选儿童大叶性肺炎治疗无效的影响因素,采用 R4.2.3 软件构建儿童大叶性肺炎治疗无效的列线图模型。通过受试者工作特征(ROC)曲线、校准曲线和决策曲线评估模型性能。**结果** 无效组 62 例,有效组 403 例。无效组与有效组在年龄、性别、发病季节、病灶分布情况、发热时间、发热程度、肺实变占比等方面比较,差异均无统计学意义( $P>0.05$ ),而 2 组支原体感染情况、胸腔积液量、肺不张占比、CRP $\geq 10$  mg/L 占比、支气管肺泡灌洗术时机 $>7$  d 占比、病灶范围比较,差异均有统计学意义( $P<0.05$ )。多因素 Logistic 回归分析结果显示,支原体感染、胸腔积液量增加、肺不张、CRP $\geq 10$  mg/L、支气管肺泡灌洗术时机 $>7$  d、病灶范围扩大均是儿童大叶性肺炎治疗无效的危險因素( $P<0.05$ )。儿童大叶性肺炎治疗无效的列线图模型的曲线下面积为 0.828(95%CI:0.768~0.889);Hosmer-Lemeshow 检验结果 $\chi^2=12.824$ , $P=0.118$ ,提示校准曲线的预测值和实际值基本拟合;决策曲线分析显示,阈值概率为 5%~100%时,列线图对儿童大叶性肺炎治疗无效的预测具有良好的获益。**结论** 支原体感染、胸腔积液量增加、肺不张、CRP $\geq 10$  mg/L、支气管肺泡灌洗术时机 $>7$  d、病灶范围扩大均是儿童大叶性肺炎治疗无效的危險因素,基于上述危險因素构建的儿童大叶性肺炎治疗无效的列线图模型临床实用性较好。

**关键词:**大叶性肺炎; 支气管肺泡灌洗术; 疗效; 危險因素; 列线图模型; 儿童

中图法分类号:R725.6;R446.1

文献标志码:A

文章编号:1672-9455(2026)06-0790-07

**Risk factors for treatment failure and nomogram development  
in children with lobar pneumonia\***

LI Ping, DAI Hongchen, LI Guitao<sup>△</sup>, ZHAO Chunxiu, SUN Yajuan

Department of Pediatrics, Fuyang People's Hospital, Fuyang, Anhui 236000, China

**Abstract: Objective** To analyze the risk factors and develop a predictive nomogram model for treatment failure in children with lobar pneumonia. **Methods** A total of 465 children with lobar pneumonia admitted to the hospital from February 2021 to June 2025 were enrolled as study subjects. Based on treatment efficacy at two weeks after admission, the patients were divided into a non-response group and a response group. Data on age, gender, season of onset, lesion distribution, Mycoplasma infection, fever duration, fever severity, pleural effusion volume, pulmonary consolidation, atelectasis, C-reactive protein (CRP) level, timing of bronchoalveolar lavage and lesion extent were collected in both groups. Multivariate Logistic regression analysis was used to identify influencing factors for treatment failure in pediatric lobar pneumonia. A nomogram model for predicting treatment failure was constructed using R software (version 4.2.3). The performance of the model was evaluated using the receiver operating characteristic (ROC) curve, calibration curve and decision curve analysis. **Results** There were 62 cases in the non-response group and 403 cases in the response group. There were no statistically significant differences in age, gender, season of onset, lesion distribution, fever duration, fever severity or the proportion of pulmonary consolidation ( $P>0.05$ ). Significant differences were found be-

\* 基金项目:安徽省阜阳市重点研究与开发计划项目(FK20245551)。

作者简介:李萍,女,主治医师,主要从事儿童呼吸与危重症方向的研究。△ 通信作者,E-mail:song5264713@163.com。

引用格式:李萍,戴红臣,李桂涛,等.儿童大叶性肺炎治疗无效的危險因素及列线图模型建立[J].检验医学与临床,2026,23(6):790-796.