·数字康复与神经发育·

脐血 S100β 蛋白、乳酸联合改良 Kidokoro 磁共振评分在中晚期早产儿神经发育障碍的早期预测研究

张惠月，施金桔，蔡红珠，苏翠敏

晋江市医院（上海市第六人民医院福建医院），福建 晋江 362200

摘 要：目的 探讨脐血 S100β 蛋白、乳酸联合改良 Kidokoro 磁共振评分（简称改良 Kidokoro 评分）在中晚期早产儿神经发育障碍早期预测中的应用价值，为临床早期识别高危患儿、制定干预策略提供依据。**方法** 采用回顾性研究，选取 2024 年 1 月—2025 年 1 月晋江市医院收治的 127 例中晚期早产儿为研究对象。所有早产儿在矫正 6 月龄时采用 0～6 岁儿童神经心理发育量表进行神经行为发育评估。按照评估结果分为神经发育障碍组（<85 分，16 例）和神经发育正常组（≥85 分，111 例），收集两组早产儿的临床资料、脐血 S100β 及乳酸，生后 7～14 天行头颅 MRI 检查，采用改良后的 Kidokoro 评分系统对脑白质、灰质及脑室系统进行定量评分，通过受试者工作特征（ROC）曲线分析各指标对中晚期早产儿脑损伤的预测效能。**结果** 神经发育障碍组患儿脐血 S100β 蛋白（$t=2.732$）、乳酸（$t=2.576$）及改良 Kidokoro 评分（$t=7.531$）均显著高于神经发育正常组（$P<0.05$）。ROC 曲线分析显示脐血 S100β 蛋白、乳酸及改良 Kidokoro 评分单独预测中晚期早产儿脑损伤的曲线下面积（AUC）分别为 0.719（95%*CI*：0.569～0.870）、0.686（95%*CI*：0.547～0.825）、0.918（95%*CI*：0.830～1.000）。基于 S100β 蛋白、乳酸、改良 Kidokoro 评分及胎龄构建的联合预测模型中，人工神经网络预测效能最优（AUC=0.937），准确率为 0.962，灵敏度为 0.850、特异度为 0.982。**结论** 脐血 S100β 蛋白、乳酸联合改良 Kidokoro 评分可显著提高对中晚期早产儿神经发育障碍的早期预测效能，为临床早期干预提供可靠的实验室及影像学依据。

关键词： 中晚期早产儿；神经发育障碍；S100β 蛋白；乳酸；改良 Kidokoro 磁共振评分；早期预测

中图分类号：R179 **文献标识码：**A **文章编号：**1008-6579(2026)08-0862-06 doi:10.11852/zgetbjzz2025-1224

Early predictive value of cord blood S100β protein and lactate combined with the modified Kidokoro MRI score for neurodevelopmental disorders in moderate and late preterm infants

ZHANG Huiyue, SHI Jinju, CAI Hongzhu, SU Cuimin

Jinjiang Municipal Hospital (Shanghai Sixth People's Hospital Fujian), Jinjiang, Fujian 362200, China

Corresponding author: SU Cuiming, E-mail: sucuimin@163.com

Abstract: Objective To investigate the early predictive value of cord blood S100β protein and lactate combined with the modified Kidokoro magnetic resonance imaging (MRI) score (the modified Kidokoro score) for neurodevelopmental disorders at 6 months of corrected age in moderate and late preterm infants. **Methods** A retrospective analysis was conducted on the clinical data of 127 moderate-to-late preterm infants admitted to Jinjiang Municipal Hospital between January 2024 and January 2025. Using the Neuropsychological Developmental Scale for Children Aged 0 - 6 Years, infants were assessed at corrected age of 6 months and categorized into neurodevelopmental disorder group ($n=16$) and normal neurodevelopment group ($n=111$). Clinical data, cord blood S100β protein and lactate levels of the preterm infants were collected. Cranial MRI was performed 7 - 14 days after birth, and brain abnormalities were quantitatively evaluated using the modified Kidokoro scoring system. Receiver operating characteristic (ROC) curve analysis was used to evaluate the predictive performance of individual and combined biomarker testing for brain injury in mid-to-late term preterm infants. **Results** The levels of umbilical cord blood S100β protein ($t=2.732$) and lactate ($t=2.576$), as well as the modified Kidokoro scores ($t=7.531$), were significantly higher in the neurodevelopmental disorder group than in the normal group ($P<0.05$). ROC curve analysis showed that the areas under the curve (AUC) of cord blood S100β protein, lactate and the modified Kidokoro score alone for predicting neurodevelopmental disorders were 0.719 (95%*CI*: 0.569 - 0.870), 0.686

基金项目：泉州市科技计划项目（2023NS097）；泉州市科技计划项目（2023C014YR）

作者简介：张惠月（1984—），女，硕士学位，主要研究方向为危重新生儿救治。

通信作者：苏翠敏，E-mail：sucuimin@163.com

(95%*CI*: 0.547 - 0.825) and 0.918 (95%*CI*: 0.830 - 1.000), respectively. Among the machine learning algorithms, the artificial neural network (ANN) model, combining gestational age, lactate, S100β and the modified Kidokoro score, demonstrated the optimal predictive performance, with an AUC of 0.937, accuracy of 0.962, sensitivity of 0.850, and specificity of 0.982. **Conclusion** The combination of umbilical cord blood S100β protein, lactate, and the modified Kidokoro score effectively improves the early prediction of neurodevelopmental disorders in moderate-to-late preterm infants, which may provide reliable laboratory and imaging basis for early clinical intervention.

Keywords: moderate and late preterm infants; neurodevelopmental disorders; S100β protein; lactate; modified Kidokoro magnetic resonance score; early prediction

中晚期早产儿(moderate and late preterm, MLPT)是指出生胎龄在 32^{+1}～36^{+6} 周的新生儿,占全球早产儿的 84%[1]。其存活率随医学发展显著提升,但因神经系统发育不成熟,较足月儿更易出现认知迟缓、运动障碍、行为问题等神经行为发育障碍[2]。研究显示中期早产儿(32^{+1}～33^{+6} 周)与晚期早产儿(34～36^{+6} 周)的发育障碍发生率分别达 11%和 8%[3],严重影响患儿生活质量并加重家庭负担[2]。因此,分析其相关影响因素、构建风险预测模型对临床保健干预至关重要。

传统预测指标多聚焦于临床并发症,缺乏"脑影像-生物损伤"的多维度整合。改良 Kidokoro 磁共振评分(简称改良 Kidokoro 评分)为早产儿颅脑磁共振区域评分,其异常与远期发育障碍直接相关[4];S100β 蛋白主要由星形胶质细胞分泌,血清升高提示脑胶质细胞激活或血脑屏障破坏,是脑损伤敏感标志物;乳酸为机体无氧代谢产物,升高反映脑损伤缺氧缺血程度,与远期神经发育结局相关。

现有研究多单独探讨 MRI 评分或单一生物学标志物对早产儿脑损伤的预测价值,关于脐血 S100β 蛋白、乳酸联合改良 Kidokoro 评分在中晚期早产儿神经发育障碍中应用的研究较少。本研究通过检测中晚期早产儿脐血 S100β 蛋白、乳酸水平结合改良 Kidokoro 评分,分析 3 者对神经发育障碍的早期预测效能,旨在为临床提供更精准的预测工具,现将结果报道如下。

1　对象和方法

1.1　一般资料　选取 2024 年 1 月—2025 年 1 月晋江市医院收治的 127 例中晚期早产儿的临床资料。其中,母亲分娩年龄 18～42 岁,平均(30.44±5.25)岁;单胎 119 例,双胎 8 例;辅助生殖 7 例,自然受孕 120 例;男 75 例,女 52 例。纳入标准:1)出生后 24 h 内到本院住院治疗;2)出生胎龄为 32^{+1}～36^{+6} 周,男女不限;3)母亲与早产儿的临床资料完整。排除标准:1)母亲孕前和/或孕期有吸毒史;2)母亲孕期存在药物滥用史;3)早产儿患有严重心、肺、肝或肾等脏器疾病;4)早产儿先天性遗传代谢性疾病;5)早产儿先天性染色体异常;6)早产儿死亡或家属放弃治疗。本项目经晋江市医院(上海市第六人民医院福建医院)伦理委员会审批(批号:JJSYYYXLL-2023022),并豁免知情同意。

1.2　方法

1.2.1　随访及分组方法　所有早产儿娩出后均根据早产儿保健工作规范进行干预,自出院当天持续随访至矫正月龄 6 月龄,采用 0～6 岁儿童神经心理发育量表评估神经行为发育情况[5],包含大运动、精细动作、适应性、语言及社会行为 5 个领域。发育商<85 分为神经行为发育障碍组,≥85 分为神经行为发育正常组。

1.2.2　临床资料收集　收集母亲与早产儿的临床资料,母亲情况包括分娩年龄、是否发生妊娠期高血压、妊娠期糖尿病、妊娠期甲状腺功能异常、本次分娩方式、辅助生殖技术、产前是否应用激素及硫酸镁、胎盘早剥、前置胎盘、异常胎盘、羊膜腔感染等。早产儿情况包括性别、出生胎龄、脐血 S100β 蛋白、乳酸、出生时是否发生窒息(即轻度窒息:1min 或 5min Apgar 评分≤7 分,伴脐动脉血 pH<7.2;重度窒息:1min Apgar 评分≤3 分,或 5min≤5 分,伴脐动脉血pH<7.0)及改良 Kidokoro 评分结果等。所有患儿均于生后 7～14 天(生命体征平稳后)行头颅 MRI 检查,采用德国西门子 1.5T 超导磁共振成像仪(型号:MAGNETOM Prisma)。

由 2 名具有 5 年以上新生儿神经影像学诊断经验的放射科医师,双盲法独立阅片,参照原 Kidokoro 评分系统进行改良[4],从脑白质、灰质损伤、脑室扩张 3 个维度进行评分,总分 0～15 分,评分越高提示脑损伤越严重。评分差异>2 分,由第 3 名资深医师确定最终评分。

改良 Kidokoro 评分范围与分级:总分范围为 0～3 分(正常)、4～7 分(轻度异常)、8～11 分(中度异常)、≥12 分(重度异常)。具体量化脑白质、皮质与深部灰质损伤及小脑发育异常见表 1。

1.3　质量控制　由经过统一培训的新生儿保健医生采用 0～6 岁儿童神经心理发育量表评估神经

表 1 改良 Kidokoro 磁共振评分

Tab. 1 Modified Kidokoro magnetic resonance scoring

变量	0 分	1 分	2 分	3 分	4 分
脑白质					
信号异常	无	≤2 个直径＜2mm 的 T1 异常信号区域	3 个及以上直径＜2mm 的 T1 异常信号区域，或单一直径≥2mm 的 T1 异常信号区域，但范围未超过大脑半球的 5%	2 个及以上直径≥2mm 的 T1 异常信号区域，或 T1 异常信号范围超过大脑半球的 5%	
髓鞘化延迟	内囊后肢及中央放射冠髓鞘化	内囊后肢髓鞘化	内囊后肢未见髓鞘化		
皮层灰质					
信号异常	无	单侧局灶性点状	双侧局灶性点状	弥漫性多发点状或线性	
脑回发育	无延迟	明显发育延迟	存在无脑回、巨脑回、多小脑回、脑裂畸形		
深层灰质					
信号异常	无	单侧局灶性点状	双侧局灶性点状	弥漫性多发点状或线状	
体积	cDGMA≥9.5	9.5＞cDGMA≥8.5	8.5＞cDGMA≥7.5	7.5＞cDGMA	
小脑信号异常	无	单侧局灶性点状异常信号＜4mm	双侧局灶性点状异常信号＜4mm	单/双侧局灶性点状异常信号≥4mm	弥漫性多发点状或线性
脑室内出血	无	单/双侧室管膜下生发基质出血或出血破入脑室	脑室内出血伴脑室扩张	脑室内出血伴脑室扩张与脑实质出血	
脑外间隙	无异常信号	硬膜下出血/积液或蛛网膜下腔出血			

行为发育情况。量表信效度良好，信度上，总量表 Cronbach's α 系数 0.86～0.91；总发育商重测相关系数 0.971，5 个能区为 0.900～0.955；评分者信度肯德尔和谐系数 0.98～1.00，一致性和稳定性佳。效度上，建构效度经验证性因素分析显示 CFI、NNFI 均＞0.9，RMSEA＜0.1，因子载荷系数＞0.3，结构符合理论预期。

1.4 *统计学方法* 采用 SPSS 26.0 软件分析数据。正态分布的计量资料以 $\bar{x}\pm s$ 表示，两组比较方差齐采用独立样本 t 检验，方差不齐采用 Welth 校正 t 检验（改良 Kidokoro 磁共振评分）。计数资料以例数（%）表示，两组间比较采用 χ^2 检验或 Fisher 确切概率法。在单个因素预测中晚期早产儿神经发育结局的基础上，结合 S100β、乳酸联合改良 Kidokoro 评分及胎龄，使用人工神经网络、支持向量机、随机森林、极端梯度提升和 logistic 回归分析结合十折交叉验证对中晚期早产儿的神经结局建立了 5 种机器学习模型。采用 ROC 曲线分析各指标的预测效能，计算 AUC、95%*CI* 等；AUC 比较采用 Z 检验。检验水准 α=0.05（双侧）。

2 结 果

2.1 *神经发育障碍组与神经发育正常组母亲及早产儿临床资料比较* 与神经发育正常组比较，神经发育障碍组母亲妊娠期糖尿病发生率更高，且早产儿胎龄更小、体重更低（P＜0.05）；两组在其他母婴因素方面，差异均无统计学意义（P＞0.05）。产前应用硫酸镁对神经发育具有保护作用（P＜0.05）。见表 2。

2.2 *中晚期早产儿神经发育障碍的早产儿脐血 S100β 蛋白、乳酸、改良 Kidokoro 评分结果比较*

神经发育障碍组脐血 S100β 蛋白、乳酸、改良 Kidokoro 评分均高于神经发育正常组，差异有统计学意义（P＜0.05）。见表 3。

2.3 *脐血 S100β 蛋白、乳酸、改良 Kidokoro 评分分别预测早产儿神经发育障碍的 ROC 分析结果* 脐血 S100β 蛋白、乳酸及改良 Kidokoro 评分预测中晚期早产儿神经发育障碍的 ROC 曲线下面积分别为 0.719、0.686、0.918（P＜0.05），3 者对神经发育障碍均有较高预测价值。见表 4、图 1。

2.4 *使用脐血 S100β 蛋白、乳酸、改良 Kidokoro 评分和胎龄预测中晚期早产儿神经发育障碍结果* 以胎龄、乳酸、S100β 及改良 Kidokoro 评分为联合预测因子，采用 5 种机器学习模型预测中晚期早产儿神经发育障碍。经十折交叉验证，人工神经网络预测效能最优（AUC=0.937），准确率为 0.962，灵敏度为 0.850、特异度为 0.982，识别阳性病例能力显著优于其他模型。见表 5。

3 讨 论

3.1 *中晚期早产儿神经发育障碍的现状与研究必要性* 全球每年约 1 500 万早产儿出生，晚期早产儿占 3/4[6-7]，死亡率和远期神经系统发育异常率高于足月儿[8]，中晚期早产儿虽较极早产儿成熟，但大

表 2　神经发育障碍组与神经发育正常组的母亲及早产儿临床资料对比

Tab. 2　Comparison of maternal and neonatal clinical characteristics between the neurodevelopmental disorder and normal development groups

项目		神经发育正常组(n=111)*	神经发育障碍组(n=16)	χ^2/t 值	P 值
性别(例,%)	男	66(59.46)	9(56.25)	0.060[a]	0.807
	女	45(40.54)	7(43.75)		
年龄(月,$\bar{x}\pm s$)		30.60±5.07	29.38±6.44	0.871[b]	0.385
胎龄(周,$\bar{x}\pm s$)		34.88±1.36	33.45±1.34	3.942[b]	<0.001
出生体重(g,$\bar{x}\pm s$)		2 374.82±447.74	2 118.13±232.22	2.245[b]	0.027
产前是否应用激素(例,%)	无	29(27.10)	8(50.00)	3.470[a]	0.063
	有	78(72.90)	8(50.00)		
产前应用硫酸镁(例,%)	无	44(41.12)	11(68.75)	4.298[a]	0.038
	有	63(58.88)	5(31.25)		
新生儿窒息(例,%)	无	104(93.69)	15(93.75)		1.000[c]
	有	7(6.31)	1(6.25)		
羊水(例,%)	清	102(95.33)	15(93.75)		0.575[c]
	浑浊	5(4.67)	1(6.25)		
羊膜腔感染(例,%)	无	74(69.16)	10(62.50)	0.285[a]	0.593
	有	33(30.84)	6(37.50)		
甲状腺功能检查异常(例,%)		4(3.60)	1(6.25)		0.508[c]
新生儿呼吸窘迫综合征(例,%)		27(24.32)	3(18.75)		0.759[c]
小于胎龄儿(例,%)		6(5.41)	0(0.00)		1.000[c]
新生儿低血糖症(例,%)		11(9.91)	2(12.50)		0.357[c]
辅助生殖技术(例,%)		7(6.54)	0(0.00)		0.593[c]
胎盘早剥(例,%)		7(6.54)	1(6.25)		1.000[c]
前置胎盘(例,%)		11(10.28)	0(0.00)		1.000[c]
异常形态胎盘(例,%)		7(6.54)	0(0.00)		0.593[c]
脐带绕颈(例,%)		26(23.42)	3(18.75)		1.000[c]
高血压(例,%)		33(30.84)	6(37.50)	0.154	0.795
妊娠期糖尿病(例,%)		15(14.02)	6(37.50)	5.420	0.020

注:[a]χ^2 值,[b]t 值,[c]Fisher 确切概率法。* 神经发育正常组儿童 111 例,其中 4 对双胞胎,对应母亲 107 名。

表 3　中晚期早产儿神经发育障碍的早产儿脐血 S100β 蛋白及乳酸水平、改良 Kidokoro 评分结果比较($\bar{x}\pm s$)

Tab. 3　Comparison of umbilical cord blood S100β, lactate levels, and modified Kidokoro scores between the two groups of moderate and late preterm infants($\bar{x}\pm s$)

指标	神经发育障碍组(n=16)	神经发育正常组(n=111)	t 值	P 值
S100β 浓度(pg/mL)	857.52±373.96	590.24±364.79	2.732	0.007
乳酸(mmol/L)	3.43±1.72	2.42±1.43	2.576	0.011
改良 Kidokoro 评分	4.31±1.14	2.13±0.60	7.531	<0.001

脑发育仍脆弱,脑血流调节及血脑屏障功能不完善,脑损伤风险高[9],且因出生基数大,占早产儿 70%～80%,实际脑损伤病例数远超极早产儿。早产引发的脑损伤易导致认知、运动等长期神经发育障碍[10],加重医疗与家庭社会负担。本研究显示中晚期早产儿神经行为发育障碍的比例为 12.59%(16/127),与傅慧青等[11]研究的 13.60%相近,提示风险较高,故明确影响因素、构建预测模型并指导早期干预至关重要。

表 4　脐血 S100β 蛋白、乳酸、改良 Kidokoro 评分分别预测早产儿神经发育障碍的 ROC 分析

Tab. 4　ROC curve analysis of umbilical cord blood S100β, lactate, and modified Kidokoro score for predicting neurodevelopmental disorders in preterm infants

指标	Cut-off	敏感度	特异度	P 值	AUC	95%CI
S100β 浓度(pg/ml)	631.956	0.750	0.703	0.005	0.719	0.569～0.870
乳酸(mmol/L)	3.700	0.563	0.820	0.016	0.686	0.547～0.825
改良 Kidokoro 评分	3.000	0.875	0.946	<0.001	0.918	0.830～1.000

3.2　中晚期早产儿神经发育障碍受围生期多种因素影响　本研究证实,母亲妊娠期糖尿病、出生胎龄偏小、出生体重偏低与中晚期早产儿神经行为发育障碍具有相关性(P<0.05)。妊娠期糖尿病可能通过高血糖[12]、炎症和氧化应激[13]、血管病变[14]等机制影响胎儿脑发育。此外,产前应用硫酸镁具有神经保护作用(P<0.05),目前相关研究正将其适用范围拓展至中晚期早产儿[15]。

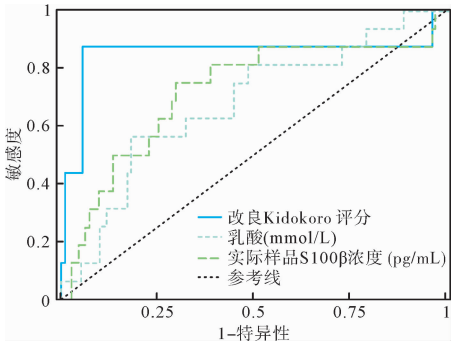


图 1 ROC 曲线图

Fig. 1 Receiver operating characteristic (ROC) curves for the predictors

表 5 基于脐血 S100β 蛋白、乳酸、改良 Kidokoro 评分和胎龄使用 5 种模型共同预测中晚期早产儿神经发育障碍分析

Tab. 5 Predictive performance of five machine learning models in predicting neurodevelopmental disorders in preterm infants based on umbilical cord blood S100β, lactate, modified Kidokoro score, and gestational age

模型	准确度	灵敏度	特异度	AUC
logistic 回归分析	0.929	0.750	0.964	0.927
人工神经网络	0.962	0.850	0.982	0.937
随机森林	0.944	0.650	0.982	0.928
极端梯度提升	0.929	0.550	0.973	0.923
支持向量机	0.929	0.600	0.973	0.906

3.3 脐血 S100β 蛋白、乳酸及改良 Kidokoro 评分对中晚期早产儿神经发育障碍的早期预测价值 S100β 蛋白是星形胶质细胞分泌的钙结合蛋白，主要分布于中枢神经系统[16]，是神经胶质缺氧缺血损伤的早期反应产物，脐血中易检出[17]。早产儿 S100β 水平高于足月儿且随胎龄增长下降[18]，可作为脑损伤生物标志物。本研究中，神经发育障碍组脐血 S100β 水平显著升高，ROC 曲线 AUC 为 0.719(95%*CI*：0.569～0.870，*P*＜0.05)，证实其对中晚期早产儿脑损伤有预测价值。这一结果提示神经胶质细胞早期损伤可能是后续神经发育障碍的重要病理环节[19-20]，为早期评估脑损伤风险提供依据。

乳酸是无氧酵解产物，升高提示组织缺氧或代谢障碍[19]。早产儿脑组织对缺氧缺血耐受性差，缺氧时启动无氧糖酵解导致乳酸蓄积，进而引发神经元和胶质细胞损伤[21]。本研究中神经发育障碍组脐血乳酸水平显著升高，ROC 曲线 AUC 为 0.686(95%*CI*：0.547～0.825，*P*＜0.05)。尽管乳酸并非脑损伤特异性标志物，但能敏感反映围生期缺氧应激，可为早期识别相关脑损伤风险提供线索。

MRI 是评估早产儿脑损伤的影像学“金标准”[4]，改良 Kidokoro 评分系统通过量化脑白质、灰质及脑室系统异常[4]，与神经行为发育结局高度相关。本研究中神经发育障碍组该评分显著更高，ROC 曲线 AUC 达 0.918(95%*CI*：0.830～1.000，*P*＜0.05)，能有效识别脑损伤程度，并反映神经系统成熟度与整合功能，早期异常可作为干预指征，与远期运动、认知功能障碍密切相关[22]，为多感官刺激[23]等早期干预提供依据，改善预后。

鉴于研究对象完善检查时胎龄跨度大、脑发育存在差异，本研究将胎龄纳入模型进一步建模。结果显示，整合乳酸、S100β、改良 Kidokoro 评分及胎龄构建的机器学习模型，可有效预测中晚期早产儿神经发育障碍，最高 AUC＝0.937。5 种算法对比中，神经网络模型优于传统逻辑回归及其他集成学习算法，这可能因其强大的非线性映射能力，能捕捉 S100β、乳酸与脑损伤结局的复杂交互关系，而传统线性模型难以充分利用该非线性特征。

3.4 脐血生物标志物与 MRI 联合预测的优势与临床价值 本研究亮点在于将脐血 S100β 蛋白、乳酸与改良 Kidokoro 磁共振评分联合预测。三者具有双重互补性：病理生理层面，S100β 蛋白反映胶质细胞损伤，乳酸反映缺氧代谢紊乱，从不同角度揭示脑损伤机制；时间窗层面，脐血标志物出生后即刻可得，提供早期风险评估，MRI 在生后 7～14 天进行，提供结构定量证据，弥补单一检测局限性，提升预测准确性。

本研究具有重要临床意义：一是提供了快速无创的早期预测工具，通过出生后即刻检测脐血 S100β 蛋白、乳酸，结合后续 MRI 评分，可精准识别高危患儿，争取干预的关键窗口期；二是通过指标组合分析实现个性化风险评估与精准治疗，依据不同标志物特征推断病理机制，制定针对性干预策略。未来研究需进一步拓展，优化预测模型，最终改善早产儿神经发育结局、提高生活质量。

利益冲突声明 本文不存在利益冲突

数据可用性声明 本研究数据包含了参与者的个人信息、健康状况等敏感内容。在整个研究过程中，研究团队采取了多重数据保护措施，如数据加密、匿名化处理等，以确保数据的安全性和保密性。鉴于数据的敏感性质，无法公开原始数据。

参考文献

[1] Rite Gracia S, Agüera Arenas JJ, Ginovart Galiana G, et al. Management of respiratory distress syndrome in moderate/late preterm neonates: A Delphi consensus[J]. An De Pediatría(Engl Ed), 2024, 101(5): 319-330.

[2] Xu L, Cheng J, Dong X, et al. Associations of prenatal blood pressure trajectory and variability with child neurode-

velopment at 2 years old[J]. BMC Med, 2024, 22(1): 220.
[3] Necula AI, Stoiciu R, Radulescu Botica R, et al. Neurological outcomes in late preterm infants: An updated review of recent research and clinical insights[J]. Diagnostics, 2025, 15(12): 1514.
[4] Griesmaier E, Schreiner C, Winkler I, et al. Association of aEEG and brain injury severity on MRI at term-equivalent age in preterm infants[J]. Acta Paediatr, 2024, 113(2): 229-238.
[5] Chen SL, Zhao JZ, Hu XL, et al. Children neuropsychological and behavioral scale-revision 2016 in the early detection of autism spectrum disorder[J]. Front Psychiatry, 2022(13): 893226.
[6] 张沂洁, 朱燕, 陈超. 早产儿发生率及变化趋势[J]. 中华新生儿科杂志, 2021, 36(4): 74-77.
[7] Sharma D, Padmavathi IV, Tabatabaii SA, et al. Late preterm: A new high risk group in neonatology[J]. J Matern Fetal Neonatal Med, 2021, 34(16): 2717-2730.
[8] Gill JV, Boyle EM. Outcomes of infants born near term[J]. Arch Dis Child, 2017, 102(2): 194-198.
[9] Dewan MV, Weber PD, Felderhoff-Mueser U, et al. A simple MRI score predicts pathological general movements in very preterm infants with brain injury—Retrospective cohort study[J]. Children, 2024, 11(9): 1067.
[10] Song IG. Neurodevelopmental outcomes of preterm infants[J]. Clin Exp Pediatr, 2023, 66(7): 281-287.
[11] 傅慧青, 黄为民, 陈志权, 等. 婴儿运动表现测试联合全身运动评估及头颅磁共振成像对早产儿神经运动发育结局的预测价值[J]. 川北医学院学报, 2024, 39(9): 1171-1175.
Fu HQ, Huang WM, Chen ZQ, et al. Analysis of the predictive value of infant motor performance tests combined with GMs and cranial MRI for neuromotor developmental outcomes in preterm infants[J]. Journal of North Sichuan Medical College, 2024, 39(9): 1171-1175. (in Chinese)
[12] Ueda K, Tsuda K, Yamada T, et al. Incidence andrisk factors of white matter lesions in moderate and late preterm infants[J]. Diagnostics, 2025, 15(7): 881.
[13] Wang Y, Zhu J, Zou N, et al. Pathogenesis fromthe microbial-gut-brain axis in white matter injury in preterm infants: A review[J]. Front Integr Neurosci, 2023, 17: 1051689.
[14] Cho KHT, Xu B, Blenkiron C, et al. Emergingroles of miRNAs in brain development and perinatal brain injury[J]. Front Physiol, 2019(10): 227.
[15] Crowther CA, Ashwood P, Middleton PF, et al. Prenatal-intravenous magnesium at 30 to 34 weeks' gestation and neurodevelopmental outcomes in offspring: The MAGENTA randomized clinical trial[J]. Obstet Anesth Dig, 2024, 44(2): 94.
[16] Strzalko B, Karowicz-Bilinska A, Wyka K, et al. Serum S100β protein concentrations in SGA/FGR newborns[J]. Ginekol Pol, 2021. doi: 10.5603/gp.a2021.0119.
[17] Ladyman SR, Larsen CM, Taylor RS. et al. Case-control study of prolactin and placental lactogen in SGA pregnancies[J]. Reprod Fertil, 2021, 2(4): 244-250.
[18] Velipaşaoglu M, Yurdakök M, Özyüncü Ö, et al. Neural injury markers to predict neonatal complications in intrauterine growth restriction[J]. J Obstet Gynaecol, 2015, 35(6): 555-560.
[19] Perrone S, Grassi F, Caporilli C, et al. Brain damage in preterm and full-term neonates: Serum biomarkers for the early diagnosis and intervention[J]. Antioxidants, 2023, 12(2): 309.
[20] Qian J, Zhou D, Wang YW. Umbilical artery blood S100β protein: A tool for the early identification of neonatal hypoxic-ischemic encephalopathy[J]. Eur J Pediatr, 2009, 168(1): 71-77.
[21] Pellkofer Y, Hammerl M, Griesmaier E, et al. The effect of postnatal cytomegalovirus infection on (micro)structural cerebral development in very preterm infants at term-equivalent age[J]. Neonatology, 2023, 120(6): 727-735.
[22] Yin J, Wu Y, Shi Y, et al. Relationship between the quantitative indicators of cranial MRI and the early neurodevelopment of preterm infants[J]. Comput Math Methods Med, 2021, 2021: 6486452.
[23] Badr EA, Ismail MS. Neurobehavioral outcome of multisensory stimulation intervention in preterm neonates: Randomised controlled trial[J]. J Neonatal Nurs, 2024, 30(6): 661-667.

收稿日期:2025-10-28　**修回日期**:2026-05-12　**本文编辑**:李少闻

(上接第 841 页)

[10] Li ZY, Hou YF, Su GT, et al. Does acupuncture combined with MOTOmed movement therapy have a better rehabilitation effect on post-stroke hemiplegia patients? A systematic review and meta-analysis[J]. Top Stroke Rehabil, 2024, 32(5): 512-530.
[11] Zhuang M, Gu Y, Wang Z, et al. Effects of 12-week whole-body vibration training versus resistance training in older people with sarcopenia[J]. Sci Rep, 2025, 15: 6981.
[12] Alfieri GR, Eaton AC, Dourvetakis K, et al. Impact of whole-body vibration therapy in elderly populations: A scoping review[J]. Cureus, 2025, 17(2): e79296.
[13] Akan Begoğlu F, Yılmaz F, Öncü Alptekin J, et al. Effects of whole-body vibration in horizontal position on bone, quality of life, and balance in postmenopausal osteoporosis[J]. Turk J Phys Med Rehab, 2024, 70(4): 433-442.
[14] 任雪松, 蔡志军, 张小安, 等. 全身振动训练联合肉毒毒素注射对痉挛型双瘫脑瘫儿童尖足及粗大运动功能的影响[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2019, 41(9): 688-692.
Ren XS, Cai ZJ, Zhang XA, et al. Whole body vibration combined with botulinum neurotoxin A injection in the treatment of spastic diplegic cerebral palsy[J]. Chin J Phys Med Rehabil, 2019, 41(9): 688-692. (in Chinese)
[15] 李鑫, 余礼梅, 龙耀斌. 全身振动训练结合束腹带对痉挛型脑性瘫痪运动能力的影响[J]. 中国儿童保健杂志, 2020, 28(11): 1294-1297.
Li X, Yu LM, Long YB. Effect of whole-body vibration training and combined with belly band for motor function of children with spastic cerebral palsy[J]. J Child Health Care, 2020, 28(11): 1294-1297. (in Chinese)

收稿日期:2026-02-03　**修回日期**:2026-06-08　**本文编辑**:李少闻