

DOI: 10.3969/j.issn.1005-8982.2025.03.003
文章编号: 1005-8982 (2025) 03-0013-06

新生儿疾病专题·论著

彩色多普勒超声参数联合振幅整合脑电图对 新生儿脑损伤预后的预测效能分析*

陈冰, 付杰, 刘金广

(亳州市人民医院 新生儿科, 安徽 亳州 236800)

摘要: **目的** 探讨彩色多普勒超声参数与振幅整合脑电图(aEEG)联合应用对新生儿脑损伤预后的预测效能。**方法** 选取2021年1月—2024年1月亳州市人民医院收治的92例脑损伤新生儿作为研究对象,根据新生儿行为神经测定量表(NBNA)评分分为预后不良组21例和预后良好组71例。同时选取50例非脑损伤新生儿作为对照组。采用彩色多普勒超声检测脑血流动力学参数,使用aEEG记录脑电活动;采用多因素一般Logistic回归分析影响新生儿脑损伤预后的危险因素;绘制受试者工作特征(ROC)曲线评估彩色多普勒超声参数联合aEEG的预测效能。**结果** 观察组患儿收缩期峰值血流速度(Vs)、舒张末期血流速度(Vd)均低于对照组($P < 0.05$),阻力指数(RI)高于对照组($P < 0.05$)。观察组患儿上边界电压、窄带宽度均高于对照组($P < 0.05$),下边界电压低于对照组($P < 0.05$)。预后不良组患儿体重、Vs、Vd和下边界电压均低于预后良好组($P < 0.05$),预后不良组患儿RI、上边界电压和窄带宽度均高于预后良好组($P < 0.05$)。多因素一般Logistic回归分析结果显示:Vs降低[OR = 0.165(95% CI: 0.043, 0.629)]、Vd降低[OR = 0.158(95% CI: 0.066, 0.377)]、RI升高[OR = 2.968(95% CI: 1.199, 7.346)]、上边界电压升高[OR = 2.633(95% CI: 1.161, 5.972)]及下边界电压降低[OR = 0.295(95% CI: 0.115, 0.759)]均为脑损伤新生儿预后不良的危险因素($P < 0.05$)。ROC曲线结果显示, Vs、Vd、RI、上边界电压、下边界电压联合预测的曲线下面积为0.979(95% CI: 0.952, 1.000),敏感性为95.2%(95% CI: 0.762, 0.999),特异性为97.2%(95% CI: 0.902, 0.997)。**结论** 彩色多普勒超声参数联合aEEG能有效预测新生儿脑损伤患儿预后,为临床提供关键的评估信息。

关键词: 脑损伤; 新生儿; 彩色多普勒超声; 振幅整合脑电图; 预后; 预测

中图分类号: R722.1

文献标识码: A

Analysis of the predictive efficiency of combined color doppler ultrasound parameters and amplitude-integrated electroencephalography in neonatal brain injury*

Chen Bing, Fu Jie, Liu Jin-guang

(Department of Neonatology, Bozhou People's Hospital, Bozhou, Anhui 236800, China)

Abstract: **Objective** To investigate the predictive efficiency of combined application of color Doppler ultrasound parameters and amplitude-integrated electroencephalography (aEEG) in neonatal brain injury. **Methods** A total of 92 neonates with brain injury treated at Bozhou People's Hospital from January 2021 to January 2024 were selected for the study. Based on the Neonatal Behavioral Neurological Assessment (NBNA) scores, the patients were divided into a poor prognosis group ($n = 21$) and a good prognosis group ($n = 71$). Additionally, 50 neonates without brain injury were enrolled as the control group. Cerebral hemodynamic parameters were detected using color

收稿日期: 2024-10-15

* 基金项目: 安徽省自然科学基金项目(No: 2108085QH360); 亳州市卫生健康科研项目(No: bzejw2022b002)

[通信作者] 付杰, E-mail: fujie8899@163.com; Tel: 15715516355

Doppler ultrasound, and brain electrical activity was recorded with aEEG. Multivariate regression analysis was applied to determine the influencing factors of poor prognosis in neonatal brain injury, and the diagnostic efficacy of the combined use of color Doppler ultrasound parameters and aEEG was evaluated using ROC curves. **Results** In the study group, systolic peak blood flow velocity (Vs) and end-diastolic blood flow velocity (Vd) were significantly lower than those in the control group ($P < 0.05$), while the resistance index (RI) was significantly higher ($P < 0.05$). Upper boundary voltage and narrow bandwidth were significantly higher in the study group, and lower boundary voltage was significantly lower ($P < 0.05$). In the poor prognosis group, birth weight, Vs, Vd, and lower boundary voltage were significantly lower than those in the good prognosis group ($P < 0.05$), while RI, upper boundary voltage, and narrow bandwidth were significantly higher ($P < 0.05$). Multivariate logistic regression analysis revealed that decreased Vs [$\hat{OR} = 0.165$ (95% CI: 0.043, 0.629)], decreased Vd [$\hat{OR} = 0.158$ (95% CI: 0.066, 0.377)], increased RI [$\hat{OR} = 2.968$ (95% CI: 1.199, 7.346)], increased upper boundary voltage [$\hat{OR} = 2.633$ (95% CI: 1.161, 5.972)], and decreased lower boundary voltage [$\hat{OR} = 0.295$ (95% CI: 0.115, 0.759)] were independent risk factors for poor prognosis in neonates with brain injury ($P < 0.05$). The ROC curve analysis showed that the combination of Vs, Vd, RI, upper boundary voltage, and lower boundary voltage had the highest area under the curve (AUC) at 0.979 (95% CI: 0.952, 1.000), with a sensitivity of 95.2% (95% CI: 0.762, 0.999) and specificity of 97.2% (95% CI: 0.902, 0.997). **Conclusion** The combination of color Doppler ultrasound parameters and aEEG effectively predicts the prognosis of neonatal brain injury, providing critical information for clinical assessment.

Keywords: brain injury; neonates; color Doppler ultrasound; amplitude-integrated electroencephalography; prognosis; prediction

新生儿脑损伤是一种严重神经系统疾病,指在出生过程中或出生后短时间内脑组织受到伤害^[1]。新生儿脑部结构和功能特殊,其对损伤的反应和成年人存在显著差异,这使得新生儿脑损伤的诊断和治疗面临特别的挑战。脑损伤可迅速发展,并可能导致永久性的神经发育障碍或死亡^[2]。因此,准确预测新生儿脑损伤的预后对制订有效的治疗方案和改善患儿的最终结果至关重要。目前,临床对新生儿脑损伤的评估主要依赖于神经系统检查、振幅整合脑电图(amplitude-integrated electroencephalography, aEEG)和影像学检查,如超声检测和磁共振成像^[3]。近年来,随着医学技术的进步,彩色多普勒超声和aEEG在新生儿脑损伤诊断中的应用逐渐增多。特别是这两种技术的联合使用为评估脑血流动态和监测脑电活动提供了更全面的信息^[4-5]。本研究拟分析彩色多普勒超声参数与aEEG在新生儿脑损伤患儿中的应用,探讨其对新生儿脑损伤的预测效能,以及作为疗效评估工具的潜力。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选取2021年1月—2024年1月亳州市人民医院收治的92例脑损伤新生儿作为观察组。纳入标

准:①符合《诸福棠实用儿科学》^[6]新生儿脑损伤的诊断标准;②为单胎妊娠;③接受彩色多普勒超声检查及aEEG检测;④有完整的临床资料和随访记录。排除标准:①合并先天颅脑畸形;②出生前母体围生期存在妊娠并发症;③合并有遗传性疾病、代谢异常或严重免疫缺陷。同时选取50例非脑损伤新生儿作为对照组。本研究经医院医学伦理委员会批准。

1.2 方法

1.2.1 收集临床资料 包括新生儿的胎龄、性别、体重,孕妇的分娩方式、胎次以及是否出现羊水污染。

1.2.2 彩色多普勒超声检测 使用彩色多普勒超声诊断仪(深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司,型号:DC-8)及线阵探头(3.0~8.0 MHz),新生儿安静状态下取仰卧位,通过前囟行冠状切面和矢状切面扫描,扫描范围覆盖由额叶至枕叶的颅内结构。启用血流显像功能,对大脑中动脉进行脉冲多普勒检测,测量收缩期峰值血流速度(systolic peak velocity, Vs)、舒张末期血流速度(end-diastolic velocity, Vd)以及阻力指数(resistance index, RI)。采样容积 ≤ 2 mm,校正角度 $< 30^\circ$,取连续3个心动周期的平均值,进行统计分析。

1.2.3 aEEG检测 在新生儿自然安静状态下,使用脑功能监测仪(美国Natus Nicolet Monitor公司)进

行4~6h的aEEG检查。按照10-20国际标准导联系统于双侧颞叶(T3,T4)、中央(C3,C4)、额叶(F3,F4)、枕叶(P3,P4)部位安装记录电极。常规消毒去脂后将导电膏注入电极,滤波频率为0.5~35.0Hz,电阻控制为20kΩ,灵敏度为7μV/mm,记录aEEG。从aEEG图像获取上下边界电压、窄带宽度。

1.2.4 预后分组 根据新生儿行为神经测定量表(neonatal behavioral neurological assessment, NBNA)评分预后分组。NBNA总分>35分者归入预后良好组,评分≤35分者归为预后不良组^[7]。足月新生儿依据出生后NBNA评分分组,早产儿则于矫正胎龄满40周时再进行NBNA评分。

1.3 统计学方法

数据分析采用SPSS 27.0统计软件。计量资料以均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示,比较采用t检验;计数资料以构成比或率(%)表示,比较采用χ²检验;采用多因素一般Logistic回归分析影响新生儿脑损伤预后的影响因素;绘制受试者工作特征(receiver operator characteristic, ROC)曲线。P<0.05为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 观察组与对照组新生儿彩色多普勒超声参数比较

观察组与对照组新生儿Vs、Vd和RI比较,经t检验,差异均有统计学意义(P<0.05);观察组Vs和Vd均低于对照组,RI高于对照组。见表1。

2.2 观察组与对照组新生儿aEEG参数比较

观察组与对照组新生儿上边界电压、下边界电

表1 观察组与对照组新生儿彩色多普勒超声参数比较
($\bar{x} \pm s$)

组别	n	Vs/(cm/s)	Vd/(cm/s)	RI
观察组	92	32.94 ± 4.18	7.04 ± 1.17	0.74 ± 0.08
对照组	50	48.81 ± 7.02	14.12 ± 2.55	0.59 ± 0.12
t值		16.888	22.648	8.901
P值		0.000	0.000	0.000

压和窄带宽度比较,经t检验,差异均有统计学意义(P<0.05);观察组上边界电压、窄带宽度均高于对照组,下边界电压低于对照组。见表2。

表2 观察组与对照组新生儿aEEG参数比较 ($\bar{x} \pm s$)

组别	n	上边界电压/μV	下边界电压/μV	窄带宽度/cm
观察组	92	32.51 ± 5.35	4.31 ± 1.28	26.75 ± 5.36
对照组	50	28.89 ± 5.41	5.58 ± 1.62	23.20 ± 4.57
t值		3.836	5.132	3.964
P值		0.000	0.000	0.000

2.3 预后不良组和预后良好组患儿的临床资料比较

预后不良组有21例(22.83%),预后良好组有71例(77.17%)。预后不良组与预后良好组患儿的胎龄、性别构成,孕妇的分娩方式、胎次和羊水污染构成比较,经t/χ²检验,差异均无统计学意义(P>0.05)。预后不良组与预后良好组患儿的体重、Vs、Vd、RI、上边界电压、下边界电压、窄带宽度比较,经t检验,差异均有统计学意义(P<0.05);预后不良组新生儿体重、Vs、Vd和下边界电压均低于预后良好组,预后不良组新生儿RI、上边界电压和窄带宽度均高于预后良好组。见表3。

表3 预后不良组和预后良好组患儿的临床资料比较

组别	n	胎龄/(周, $\bar{x} \pm s$)	男/女/ 例	体重/(g, $\bar{x} \pm s$)	分娩方式 例(%)		胎次 例(%)		羊水污染 例(%)	
					顺产	剖宫产	首胎	非首胎	有	无
预后不良组	21	35.58 ± 1.87	11/10	2 482.38 ± 53.29	12(57.14)	9(42.86)	16(76.19)	5(23.81)	8(38.10)	13(61.90)
预后良好组	71	36.12 ± 1.92	37/34	2 856.42 ± 85.74	50(70.42)	21(29.58)	58(81.69)	13(18.31)	17(23.94)	54(76.06)
t/χ ² 值		1.139	0.000	18.898		1.301		0.311		1.640
P值		0.258	0.983	0.000		0.254		0.577		0.200

组别	Vs/(cm/s, $\bar{x} \pm s$)	Vd/(cm/s, $\bar{x} \pm s$)	RI ($\bar{x} \pm s$)	上边界电压/(μV, $\bar{x} \pm s$)	下边界电压/(μV, $\bar{x} \pm s$)	窄带宽度/(cm, $\bar{x} \pm s$)
预后不良组	29.18 ± 3.57	5.07 ± 0.92	0.82 ± 0.15	37.06 ± 6.79	3.79 ± 1.05	28.69 ± 4.63
预后良好组	34.37 ± 3.45	7.80 ± 1.15	0.71 ± 0.13	31.15 ± 5.04	4.47 ± 1.40	26.19 ± 4.12
t值	6.009	9.964	3.287	4.344	2.058	2.374
P值	0.000	0.000	0.001	0.000	0.042	0.020

2.4 新生儿脑损伤预后不良的影响因素分析

以新生儿脑损伤是否预后不良(否=0,是=1)为因变量,以 V_s 、 V_d 、RI、上边界电压、下边界电压(均为实测值)为自变量,进行多因素一般 Logistic 回归分析,结果显示, V_s 降低[$\hat{OR}=0.165$ (95% CI: 0.043, 0.629)]、 V_d 降低[$\hat{OR}=0.158$ (95% CI: 0.066,

0.377)]、RI 升高[$\hat{OR}=2.968$ (95% CI: 1.199, 7.346)]、上边界电压升高[$\hat{OR}=2.633$ (95% CI: 1.161, 5.972)]及下边界电压降低[$\hat{OR}=0.295$ (95% CI: 0.115, 0.759)]均为新生儿脑损伤预后不良的危险因素($P < 0.05$)。见表 4。

表 4 新生儿脑损伤预后不良的多因素一般 Logistic 回归分析参数

自变量	b	S_b	Wald χ^2	P 值	\hat{OR}	95% CI	
						下限	上限
V_s	-1.802	0.683	6.970	0.008	0.165	0.043	0.629
V_d	-1.847	0.445	17.232	0.00	0.158	0.066	0.377
RI	1.088	0.462	5.532	0.019	2.968	1.199	7.346
上边界电压	0.968	0.418	5.372	0.020	2.633	1.161	5.972
下边界电压	-1.222	0.482	6.411	0.011	0.295	0.115	0.759

2.5 彩色多普勒超声参数联合 aEEG 对新生儿脑损伤预后不良的预测分析

基于彩色多普勒超声参数联合 aEEG 对新生儿脑损伤预后不良的预测效能绘制 ROC 曲线,结果显示, V_s 、 V_d 、RI、上边界电压、下边界电压联合预测的曲线下面积为 0.979(95% CI: 0.952, 1.000),敏感性为 95.2%(95% CI: 0.762, 0.999),特异性为 97.2%(95% CI: 0.902, 0.997),约登指数为 0.924。见图 1。

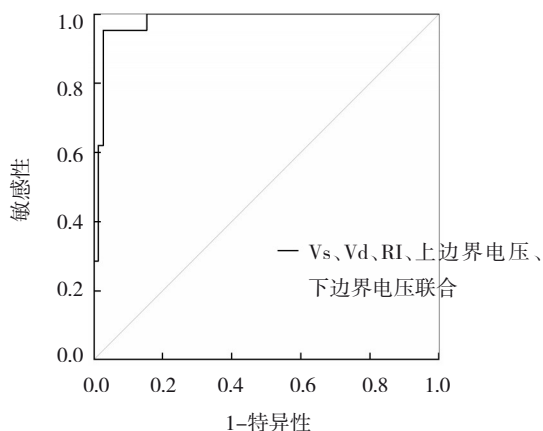


图 1 彩色多普勒超声参数联合 aEEG 预测新生儿脑损伤预后不良的 ROC 曲线

3 讨论

新生儿脑损伤是新生儿重症监护中的常见问题,其发病率随着早产率的增加而逐年上升^[8]。据估计,缺氧缺血性脑病在每 1 000 例足月新生儿中大

约发生 1~3 例;而早产儿由于脑血管系统未成熟,发生脑损伤的风险更高,尤其是极低出生体重早产儿,其发病率高达 25%^[9]。新生儿脑损伤的主要病因包括围生期窒息、缺氧缺血、感染和炎症反应等^[10-11]。这些病因导致脑部的血流和氧供应不足,进一步引发组织缺氧、脑水肿以及细胞坏死。早产儿的脑损伤多由脑室周围白质软化症引起,而足月儿的脑损伤则常表现为缺氧缺血性脑病^[12-13]。在这些病理过程中,脑部血流的改变及神经电活动的紊乱是病情加重的关键因素,早期识别这些变化有助于改善预后^[14-15]。随着超声和脑电图等技术的进步,彩色多普勒超声和 aEEG 逐渐成为评估新生儿脑损伤的重要工具。彩色多普勒超声能够提供实时的脑血流动力学信息,通过检测脑动脉的 RI 和血流速度变化,评估脑损伤的严重程度;与此同时,aEEG 通过监测脑电活动,特别是癫痫发作频率和背景电图的连续性,帮助评估新生儿的脑功能状态^[16-17]。研究表明,联合使用彩色多普勒超声参数和 aEEG 参数能够显著提高新生儿脑损伤的早期诊断准确性^[18]。如彩色多普勒超声通过测量大脑中动脉和前脑动脉的 RI 值,可以评估血流是否存在异常,而 aEEG 则能够通过检测异常脑电图,如低电压或癫痫活动,与 MRI 检测结果高度一致,有助于早期识别严重脑损伤^[19]。彩色多普勒超声和 aEEG 的联合应用为新生儿脑损伤预后评估提供了可靠的工具,能够更早、更准确地识别脑损伤并指导后续

的临床干预。

在脑损伤新生儿中,观察组患儿的Vs和Vd显著降低,而RI升高。这表明脑损伤导致血流动力学的显著改变,主要表现为血管阻力增加、脑部血流量减少^[20]。脑损伤后,血脑屏障功能和血管内皮细胞的损伤可能会引起脑血流调节的失调,导致血管内阻力增加,脑血流的灌注不足。RI的升高意味着脑血管弹性下降,血液流动的阻力增加,这可能是由于脑损伤引发的缺氧、炎症反应和神经细胞损伤等多种因素共同作用。低Vs和Vd反映血流量的减少,这可能会进一步加剧脑组织的缺血缺氧状态,进而导致神经元的功能受损和死亡^[21]。本研究观察组患儿的上边界电压和窄带宽度高于对照组,而下边界电压则低于对照组。这种现象可能与脑损伤所引发的电生理改变密切相关。脑损伤导致神经元的电活动发生改变,尤其是在大脑皮层和下丘脑区域,可能引起兴奋性和抑制性神经传递的不平衡,从而导致上边界电压升高^[22]。新生儿脑损伤的电生理特征变化可能与病理性神经活动的增强密切相关,并且这种增强可能伴随功能失调。上边界电压的增加反映了局部神经元的异常兴奋,可能与兴奋性和抑制性神经传递的不平衡有关。窄带宽度的升高则提示神经元同步活动的增强,表明在病理状态下可能存在局部异常放电,反映病变区域的功能失调。与此同时,下边界电压的降低表明观察组的电活动抑制能力下降,这可能是由于神经元损伤引起的。电生理变化的机制涉及神经元细胞膜兴奋性变化、神经递质释放的异常及炎症反应等多重因素^[23]。这些aEEG异常表明神经元损伤已显著影响大脑的功能活动,提示脑损伤的严重程度。临床上,这些aEEG和血流动力学指标的异常可作为早期识别脑损伤的有效工具,有助于优化治疗策略,降低长期神经发育后遗症的发生率。在新生儿脑损伤的预后方面,Vs、Vd降低和RI升高提示脑血流灌注的严重异常,这种低灌注状态可能导致持续的脑组织缺氧,进而引发神经元凋亡和炎症反应,这些机制与认知和运动功能的长期障碍密切相关^[24]。此外,aEEG的异常,特别是在生命早期记录到的低振幅、无规律的睡眠-觉醒周期,常常反映出严重的脑损伤,并与后续的发育迟缓和神经功能缺陷密切相关。这些指标不仅帮助判断脑损伤的严

重程度,还对预测短期和长期的神经发育预后具有重要的参考价值^[25]。结合这些血流动力学和电生理指标的动态变化,临床医师能够更加精准地识别高危新生儿,及时采取干预措施,改善预后并减少长期功能障碍的发生率。本研究ROC曲线分析显示,彩色多普勒超声参数(Vs、Vd、RI)与aEEG参数联合预测的曲线下面积为0.979,具有较高的准确性,敏感性和特异性分别为95.2%和97.2%,表明该联合模型在筛查脑损伤高危新生儿时能够有效区分预后良好与不良的个体。该模型的约登指数为0.924,进一步支持其在临床实践中的应用价值。这种基于多重生理指标的综合评估方法有助于个体化治疗策略的制订,提高新生儿神经保护的成功率,从而改善长期神经发育结局,降低后续认知、运动功能障碍的发生率。

综上所述,联合应用彩色多普勒超声参数和aEEG对新生儿脑损伤预后具有较高预测效能和临床应用潜力,具有较好的可推广性。然而,本研究对象来自单一医疗机构,样本量相对有限,可能限制了结果的广泛适用性。此外,未涉及长期随访和干预措施的效果评估,限制对长期预后预测的可靠性。未来研究应扩大样本量,纳入多中心研究,同时结合其他神经影像学 and 生物标志物,以进一步提升脑损伤评估的准确性,并探索干预措施对改善预后的效果,为临床提供更全面的决策依据。

参考文献:

- [1] 尹娇,高慧萍,朱荣平. 支气管肺发育不良早产儿并发脑损伤的影响因素及预测模型[J]. 中国现代医学杂志, 2024, 34(12): 95-100.
- [2] 简茹,张慧平,卜婧愉,等. 合并脑损伤高危因素小于胎龄儿的生后早期运动发育特点[J]. 中华围产医学杂志, 2024, 27(2): 126-132.
- [3] 朱杰,宋彬. 多模态头颅MRI对轻型颅脑损伤的评估价值[J]. 中国CT和MRI杂志, 2023, 21(10): 14-16.
- [4] 王昭宇,王漫琪,王延佳,等. 超声研究胎儿生长受限对新生儿脑发育及脑损伤的影响[J]. 中国临床医学影像杂志, 2023, 34(5): 360-363.
- [5] 任瑞芳,邓彩艳,常晶,等. Dubowitz评估联合振幅整合脑电图诊断早产儿脑损伤的价值[J]. 保健医学研究与实践, 2023, 20(2): 47-51.
- [6] 江载芳,申昆玲,沈颖. 诸福棠实用儿科学[M]. 第8版. 北京: 人民卫生出版社, 2015.
- [7] 邢珊,刘俐,李改莲,等. NBNA评分在评价早产儿脑发育、脑

- 损伤及预后中的应用[J]. 中国儿童保健杂志, 2016, 24(2): 191-194.
- [8] 李贞娴, 刘应南, 秦胜堂, 等. 10年间早产率和经产率的变化及经产作为可能的早产危险因素初步探讨[J]. 中华妇产科杂志, 2024, 59(9): 682-691.
- [9] CAMFFERMAN F A, de GOEDEREN R, GOVAERT P, et al. Diagnostic and predictive value of doppler ultrasound for evaluation of the brain circulation in preterm infants: a systematic review[J]. *Pediatr Res*, 2020, 87(Suppl 1): 50-58.
- [10] 林先红, 赵振, 史乐洋, 等. 新生儿缺氧缺血性脑病磁共振检查特点及与脑损伤的相关性分析[J]. 中国CT和MRI杂志, 2024, 22(6): 12-15.
- [11] REISS J D, PETERSON L S, NESAMONEY S N, et al. Perinatal infection, inflammation, preterm birth, and brain injury: a review with proposals for future investigations[J]. *Exp Neurol*, 2022, 351: 113988.
- [12] MITO R, PARKER D M, ABBOTT D F, et al. White matter abnormalities characterize the acute stage of sports-related mild traumatic brain injury[J]. *Brain Commun*, 2022, 4(4): fcac208.
- [13] 洪菲, 宋磊, 季菊花, 等. 磁共振波谱成像联合弥散加权成像在早产儿脑白质损伤诊断及预后评估中的应用[J]. 中国CT和MRI杂志, 2024, 22(2): 28-31.
- [14] NATIQUE K R, DAS Y, MAXEY M N, et al. Early use of transcranial doppler ultrasonography to stratify neonatal encephalopathy[J]. *Pediatr Neurol*, 2021, 124: 33-39.
- [15] 王佳佳, 许永强, 郝娟, 等. 彩色多普勒血流成像对新生儿颅脑损伤诊断的价值研究[J]. 临床和实验医学杂志, 2024, 23(15): 1667-1670.
- [16] HADŽIMURATOVIĆ E, BRANKOVIĆ S, HADŽIMURATOVIĆ A, et al. Prognostic value of colour doppler brain sonography for the neurodevelopmental outcome in term neonates with hypoxic ischaemic encephalopathy[J]. *Med Glas (Zenica)*, 2022, 19(2): 173-177.
- [17] 黄云倩, 吴晓萍. aEEG在窒息新生儿早期脑损伤与预后预测中的应用及其临床意义[J]. 卒中与神经疾病, 2020, 27(1): 78-81.
- [18] 吴晶, 刘丽, 郑军. 多普勒超声评估亚低温疗法治疗新生儿缺氧缺血性脑病效果的临床价值[J]. 中国妇幼保健, 2021, 36(4): 813-816.
- [19] SAKPICH AISAKUL K, EL-DIB M, MUNSTER C, et al. Amplitude-integrated electroencephalography evolution and magnetic resonance imaging injury in mild and moderate to severe neonatal encephalopathy[J]. *Am J Perinatol*, 2024, 41(S01): e2463-e2473.
- [20] 云永子, 刘宇杰, 冯岚, 等. 脑血流动力学参数联合动脉血气分析早期识别早产儿脑损伤的临床价值[J]. 中国现代医学杂志, 2023, 33(10): 84-88.
- [21] 莫韦宽, 刘小兰, 徐梅. 颅脑超声联合相关血清指标诊断新生儿缺血缺氧性脑病价值[J]. 中国计划生育学杂志, 2023, 31(4): 936-939.
- [22] 王君, 罗琼, 张美. 改良aEEG评分联合S-100 β 和GFAP对儿童癫痫性脑病早期诊断价值的分析[J]. 中国妇幼健康研究, 2023, 34(5): 25-29.
- [23] LEE S, KIM S H, KIM H D, et al. Genetic diagnosis in neonatal encephalopathy with hypoxic brain damage using targeted gene panel sequencing[J]. *J Clin Neurol*, 2024, 20(5): 519-528.
- [24] 赵桂桂, 刘俊霞, 朱方乔. 彩色多普勒超声在诊断新生儿缺氧缺血性脑病中的应用[J]. 影像科学与光化学, 2023, 41(1): 182-186.
- [25] CASTAGNA A, BUTTI N, CORDOLCINI L, et al. Severity of developmental delay and parenting behavior in toddlers with neurodevelopmental disabilities[J]. *Front Psychol*, 2024, 14: 1306227.

(张蕾 编辑)

本文引用格式: 陈冰, 付杰, 刘金广. 彩色多普勒超声参数联合振幅整合脑电图对新生儿脑损伤预后的预测效能分析[J]. 中国现代医学杂志, 2025, 35(3): 13-18.

Cite this article as: CHEN B, FU J, LIU J G. Analysis of the predictive efficiency of combined color doppler ultrasound parameters and amplitude-integrated electroencephalography in neonatal brain injury[J]. *China Journal of Modern Medicine*, 2025, 35(3): 13-18.