

doi: 10.7499/j.issn.1008-8830.2402078

论著·临床研究

振幅整合脑电图在高原地区住院 新生儿中的监测结果分析

赵晓芬^{1,2} 程国强¹ 赵朋娜² 赵玫² 朱双燕² 李杨方² 周文浩^{1,3}

(1. 复旦大学附属儿科医院新生儿科, 上海 201102; 2. 昆明市儿童医院新生儿科, 云南昆明 650228;
3. 广州市妇女儿童医疗中心, 广东广州 510440)

[摘要] **目的** 分析高原地区住院新生儿进行振幅整合脑电图 (amplitude-integrated electroencephalography, aEEG) 监测的结果。**方法** 回顾性选取2020年1月—2022年12月在昆明市儿童医院新生儿科住院并接受aEEG监测的5 945例患儿为研究对象, 根据aEEG监测结果分为aEEG正常组与aEEG异常组。分析各系统疾病aEEG异常发生率, aEEG异常表现及aEEG异常与临床异常情况的一致性。**结果** 5 945例患儿中, aEEG异常率为19.28% (1 146/5 945), 其中危重患儿异常率29.58% (906/3 063), 非危重患儿异常率为8.33% (240/2 882), 差异有统计学意义 ($P<0.05$)。aEEG异常率较高的前三位主诊断疾病依次是遗传代谢性疾病60.77% (79/130)、中枢神经系统疾病42.22% (76/180)、早产儿35.53% (108/304)。aEEG异常组日龄及胎龄均小于aEEG正常组, 早产儿出生体重低于aEEG正常组 ($P<0.05$)。1 146例aEEG异常患儿中, aEEG异常类型主要有睡眠觉醒周期异常597例 (52.09%)、背景活动异常294例 (25.65%) 和痫样活动255例 (22.25%); 有异常临床表现者902例 (78.71%)。aEEG监测脑功能异常的灵敏度为33.51%, 特异度为92.50%。**结论** 高原地区住院新生儿尤其是危重儿、胎龄及日龄小的患儿, aEEG异常率较高, 提示脑损伤风险也较高, 故对住院新生儿常规进行aEEG监测有利于早期发现脑功能异常, 有助于决策治疗并做好脑保护策略。

[中国当代儿科杂志, 2024, 26 (8): 817-822]

[关键词] 振幅整合脑电图; 高原地区; 脑功能监测; 新生儿

Amplitude-integrated electroencephalography monitoring results of hospitalized neonates in plateau areas

ZHAO Xiao-Fen, CHENG Guo-Qiang, ZHAO Peng-Na, ZHAO Mei, ZHU Shuang-Yan, LI Yang-Fang, ZHOU Wen-Hao.
Department of Neonatology, Children's Hospital of Fudan University, Shanghai 201102, China (Zhou W-H, Email: zwhchfu@126.com)

Abstract: Objective To investigate the amplitude-integrated electroencephalography (aEEG) monitoring results of hospitalized neonates in plateau areas. **Methods** A retrospective analysis was conducted on 5 945 neonates who were admitted to the Department of Neonatology, Kunming Children's Hospital, and received aEEG monitoring from January 2020 to December 2022. According to the aEEG monitoring results, they were divided into a normal aEEG group and an abnormal aEEG group. The incidence rate of aEEG abnormalities was analyzed in neonates with various systemic diseases, as well as the manifestations of aEEG abnormalities and the consistency between aEEG abnormalities and clinical abnormalities. **Results** Among the 5 945 neonates, the aEEG abnormality rate was 19.28% (1 146/5 945), with an abnormality rate of 29.58% (906/3 063) in critically ill neonates and 8.33% (240/2 882) in non-critically ill neonates ($P<0.05$). The children with inherited metabolic diseases showed the highest aEEG abnormality rate of 60.77% (79/130), followed by those with central nervous system disorders [42.22% (76/180)] and preterm infants [35.53% (108/304)]. Compared with the normal aEEG group, the abnormal aEEG group had significantly lower age and

[收稿日期] 2024-02-27; [接受日期] 2024-06-25

[基金项目] 国家自然科学基金资助项目 (82060291); 云南省周文浩专家工作站 (2019IC052)。

[作者简介] 赵晓芬, 女, 博士, 主任医师。

[通信作者] 周文浩, 男, 主任医师, 教授。Email: zwhchfu@126.com。

gestational age, as well as a significantly lower birth weight of preterm infants ($P<0.05$). Among the 1 146 neonates with aEEG abnormalities, the main types of aEEG abnormalities were sleep cycle disorders in 597 neonates (52.09%), background activity abnormalities in 294 neonates (25.65%), and epileptiform activity in 255 neonates (22.25%), and there were 902 neonates (78.71%) with abnormal clinical manifestations. The sensitivity and specificity of aEEG monitoring for brain function abnormalities were 33.51% and 92.50%, respectively. **Conclusions** In plateau areas, there is a relatively high rate of aEEG abnormalities among hospitalized neonates, particularly in critically ill neonates and those with smaller gestational ages and younger ages, suggesting a high risk of brain injury. Therefore, routine aEEG monitoring for the hospitalized neonates can help with the early detection of brain function abnormalities, the decision-making in treatment, and the formulation of brain protection strategies.

[Chinese Journal of Contemporary Pediatrics, 2024, 26(8): 817-822]

Key words: Amplitude-integrated electroencephalography; Plateau area; Brain function monitoring; Neonate

随着新生儿医学的发展,新生儿神经重症监护单元(neuro-neonatal intensive care unit, NNICU)的建设在新生儿脑保护方面获得很多研究成果,丰富了新生儿科医护人员的临床经验,使得危重新生儿神经系统后遗症明显降低,生活质量提高,并减轻家庭及社会负担。振幅整合脑电图(amplitude-integrated electroencephalography, aEEG)作为床旁脑功能监测手段,广泛应用于新生儿脑病及具有脑损伤高危因素等患儿,评价脑病的严重程度及预后,评估疗效;还可用于监测和初筛新生儿惊厥或疑似惊厥,以及评估新生儿脑发育成熟度^[1]。然而,由于新生儿大脑仍在发育过程中,任何影响大脑灌注的因素都可能导致急性神经系统损害,引起异常的脑电活动。脑电图是通过描记出实时动态的图像,间接反映脑电活动的变化。aEEG是在常规脑电图基础上,简化电极通道且操作方便,可连续监测并优化图像,结果更直观,易于分析。云南省作为高原地区,许多医院还没有建立NNICU。相对于国内东部及中部地区,昆明市儿童医院NNICU建立时间不长,aEEG的应用也处于相对不成熟阶段,并且目前很少有云贵高原地区大样本的监测数据分析,故本研究回顾性分析在昆明市儿童医院新生儿科2020年1月—2022年12月住院且接受aEEG监测的5 945例患儿的结果,探讨住院新生儿常规开展脑功能监测的必要性,可及时发现脑损伤,尽早做出临床干预决策。

1 资料与方法

1.1 研究对象

回顾性选择2020年1月—2022年12月在昆明市儿童医院新生儿科住院并接受aEEG监测的6 448例患儿为研究对象,因干扰及电极脱落等导致监测图像无法解读而剔除503例,最终纳入5 945例。

根据新生儿危重病例评分法(Neonatal Critical Ill Score, NCIS)^[2],将患儿分为危重组(NCIS单项指标或总分值 ≤ 90 分,入住NICU;3 063例)和非危重组(不符合NCIS单项指标或总分值 > 90 分,入住普通病房;2 882例)。根据脑功能监测结果分为aEEG正常组(4 799例)和aEEG异常组(1 146例)。本研究已获得昆明市儿童医院伦理委员会批准(2024-05-018-K001)。

1.2 aEEG监测

按照国际脑电图10~20系统标准安放电极,采用美国Nicolet监护仪进行监测。对有惊厥或疑似惊厥临床表现及明确缺氧缺血性病史的患儿安放8导联(F3~F4, P3~P4, C3~C4, T3~T4),其余患儿安放4导联(F3~F4, P3~P4),头皮与电极之间的电阻控制在20 k Ω 以内,每次记录时间不少于2 h。所有患儿以入院主诉及主诊断疾病分类并在入院后24 h内完成aEEG监测,对惊厥或疑似惊厥患儿监测至少6 h,进行亚低温治疗的中重度缺氧缺血性脑病患儿持续监测72~96 h。记录电极位置安放需注意双侧对称,如患儿有局部头皮破损或和水肿、头颅血肿等情况,需避开皮肤破损处和影响操作的关键部位。

1.3 aEEG判读标准

采用Hellström-Westas^[3]提出的标准,参考《新生儿振幅整合脑电图临床应用中国专家共识(2023)》^[1],根据背景活动、睡眠觉醒周期(sleep-wake cycle, SWC)、痫样活动,结合同期原始脑电图及临床等进行综合分析来判断脑功能结果。SWC与胎龄有关,胎龄28周以前无SWC,后逐渐出现,多数在胎龄34周时出现可识别的SWC,胎龄37周后SWC成熟,出现清晰可辨的周期性活动,呈“纺锤”状。(1)正常:振幅上边界波动于10~25 μV 之间,下边界波动于5~10 μV 之间,睡眠周期与相应胎龄相符,无痫样活动。

(2) 轻度异常：振幅下边界 $<5 \mu V$ ，上边界 $>10 \mu V$ 和振幅轻度异常，伴有睡眠周期落后于胎龄；或正常振幅伴痫样活动。(3) 重度异常：不连续和振幅重度异常，背景活动表现为暴发-抑制、持续低电压、电静息，无睡眠周期；或振幅轻度异常伴反复多次痫样活动或癫痫持续状态。早产儿 aEEG 的背景活动、SWC 随胎龄而变化，需结合纠正胎龄分析。aEEG 异常提示患儿可能存在脑损伤或脑发育成熟度延迟，最后结论描述为脑功能正常和脑功能异常（包括轻度异常和重度异常）^[4]。

1.4 临床表现异常

临床表现异常主要表现为神经系统的症状、体征，包括发热、易惊、惊厥、激惹、烦哭、反应低下、昏迷、前囟膨隆、颅骨缝增宽、肌张力增高或减低等，和/或有头颅 MRI 的异常表现。此外，还有非神经系统的异常表现，包括发绀、气促、腹胀、便血等。

1.5 统计学分析

采用统计软件 SPSS 26.0 进行分析。正态分布计量资料采用均值 \pm 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示，组间

比较采用两样本 t 检验；非正态分布计量资料以中位数（四分位数间距） $[M(P_{25}, P_{75})]$ 表示，组间比较采用 Mann-Whitney U 检验；计数资料以例和率 (%) 表示，率的比较采用 χ^2 检验或 Fisher 确切概率法。 $P < 0.05$ 差异有统计学意义。

2 结果

2.1 aEEG 异常组和 aEEG 正常组临床资料比较

共纳入 5 945 例患儿，男 3 521 例 (59.23%)，女 2 424 例 (40.77%)。aEEG 异常 1 146 例，aEEG 异常率为 19.28%，其中危重患儿 aEEG 异常率为 29.58% (906/3 063)，非危重患儿异常率为 8.33% (240/2 882)，差异有统计学意义 ($\chi^2=430.951, P < 0.001$)。aEEG 异常组和 aEEG 正常组患儿性别、足月儿出生体重比较差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。aEEG 异常组日龄、胎龄小于 aEEG 正常组，早产儿出生体重低于 aEEG 正常组，机械通气时间长于 aEEG 正常组，死亡比例高于 aEEG 正常组 ($P < 0.05$)。见表 1。

表 1 aEEG 异常组和 aEEG 正常组临床资料比较

项目	aEEG 正常组 ($n=4\ 799$)	aEEG 异常组 ($n=1\ 146$)	$\chi^2/Z/t$ 值	P 值
男性 [例(%)]	2 852(59.43)	669(58.38)	3.320	0.068
早产儿胎龄 [$M(P_{25}, P_{75})$, 周]	35.5(34.0, 36.3)	33.1(30.5, 35.0)	-9.716	<0.001
足月儿胎龄 ($\bar{x} \pm s$, 周)	39.3 \pm 2.5	38.6 \pm 2.1	-1.023	0.036
早产儿出生体重 ($\bar{x} \pm s$, g)	2 335 \pm 544	1 854 \pm 556	-10.151	<0.001
足月儿出生体重 ($\bar{x} \pm s$, g)	3 368 \pm 726	3 158 \pm 663	-0.692	0.489
日龄 [$M(P_{25}, P_{75})$, d]	10(5, 18)	8(3, 18)	-5.151	<0.001
机械通气时间 ($\bar{x} \pm s$, d)	4.9 \pm 1.6	6.4 \pm 3.4	2.998	0.003
死亡 [例(%)]	0(0)	4(0.35)	-	<0.001
危重 [例(%)]	2 157(44.95)	906(79.06)	430.951	<0.001

注：[aEEG] 振幅整合脑电图。

2.2 aEEG 异常的主诊断疾病分布

主诊断疾病的 aEEG 异常率从高到低依次为遗传代谢性疾病 60.77% (79/130)，中枢神经系统疾病 42.22% (76/180)，早产儿 35.53% (108/304)，围手术期术前患儿 21.61% (43/199) 等。消化系统疾病 aEEG 异常患儿均为 Bell 分期 II b~III c 新生儿坏死性小肠结肠炎 (necrotizing enterocolitis, NEC)，占 7.72% (38/492)。见表 2。

表 2 各主诊断疾病 aEEG 异常发生情况

疾病	例数	异常例数	异常率 (%)
遗传代谢性疾病	130	79	60.77
中枢神经系统疾病	180	76	42.22
早产儿	304	108	35.53
围手术期术前患儿	199	43	21.61
新生儿高胆红素血症	3 270	585	17.89
呼吸系统疾病	1 190	191	16.05
新生儿脓毒症及泌尿道感染	130	20	15.38
心脏疾病	50	6	12.00
消化系统疾病	492	38	7.72

2.3 aEEG 异常类型

1 146 例患儿中, aEEG 异常的类型主要表现为无 SWC 或 SWC 不成熟 597 例 (52.09%); 背景活动异常 294 例 (25.65%), 包括不连续电压 258 例, 持续低电压 32 例, 电静息 4 例; 痫样活动 255 例 (22.25%)。遗传代谢性疾病 aEEG 异常主要表现为痫样活动 (62 例, 78.5%); 中枢神经系统疾病包括缺氧缺血性脑病、新生儿化脓性脑膜炎、颅内出血及脑积水, 以无 SWC 及 SWC 不成熟为主 (46 例, 60.5%), 部分为痫样放电 (23 例, 30.3%), 少数患儿表现为低电压 (7 例, 9.2%)。无严重并发症的早产儿大多表现为不连续电压及不成熟 SWC (29 例, 26.9%)。新生儿高胆红素血症及呼吸系统等疾病以无 SWC 或 SWC 不成熟居多 (516 例, 66.5%)。

2.4 aEEG 异常与临床表现异常的一致性

1 146 例 aEEG 异常患儿中, 有异常临床表现者 902 例 (78.71%)。有神经系统异常表现者, aEEG 异常以痫样活动、无 SWC 或低电压为主; 以非神经系统异常表现者, 主要表现为 SWC 不成熟。4 799 例 aEEG 正常患儿中, 有异常临床表现者 1 790 例 (37.30%)。aEEG 监测脑功能异常的灵敏度为 33.51% (902/2 692), 特异度为 92.50% (3 009/3 253), 见表 3。

表 3 aEEG 诊断脑功能异常的特异度和灵敏度 (例)

组别	aEEG 异常	aEEG 无异常	合计
临床异常表现	902	1 790	2 692
临床无异常表现	244	3 009	3 253
合计	1 146	4 799	5 945

注: [aEEG] 振幅整合脑电图。灵敏度=真阳性/(真阳性+假阴性)=902/(902+1 790) × 100%; 特异度=真阴性/(真阴性+假阳性)=3 009/(244+3 009) × 100%。

3 讨论

本研究共纳入 5 945 例患儿, aEEG 异常率为 19.28%, aEEG 监测脑功能异常的灵敏度为 33.51%, 特异度为 92.50%。aEEG 异常率排在前三位的分别是遗传代谢性疾病、中枢神经系统疾病及早产儿。aEEG 异常组早产儿出生体重较 aEEG 正常组低, 而足月儿出生体重在两组间比较差异无统计学意义。aEEG 异常组日龄及胎龄均小于 aEEG 正常组, 说明日龄及胎龄越小, 脑发育越不

成熟, 因此在疾病状态下, 大脑更易受损伤, 发生 aEEG 异常的概率越高。同时本研究发现术前患儿的 aEEG 异常率也较高, 达 21.61%; 新生儿高胆红素血症为 17.89%, 心脏疾病为 12.00%, 呼吸系统疾病 16.05%; Bell 分期为 II b~III c 的 NEC 患儿 aEEG 异常率占 7.72%。可能原因为: (1) 本研究病例数较多, 且非危重患儿所占比例较大, 故 aEEG 监测的灵敏度较低, 但特异度较高; (2) NEC 可引起严重的全身性系统性炎症反应, 研究表明感染和脑损伤之间存在相关性, 以及 NEC 产生的炎症反应可导致脑损伤或死亡^[5-6]。

昆明隶属于云贵高原地区, 市区海拔约 1 900 m。有学者对高海拔地区的儿童研究发现其脑血流量低于低海拔地区儿童, 可能会受到疾病状态的不利影响, 增加脑损伤的风险^[7-9]; 对认知功能有一定影响, 海拔 1 600 m 以上睡眠模式会受到影响^[8], 且低氧环境惊厥易感性增加^[10]。秦胜娟等^[11]对平原地区的住院新生儿进行 aEEG 监测, 其 aEEG 异常类型以背景活动异常为主, 达 74.4%, 而本研究中以 SWC 不成熟或无 SWC 为主 (52.09%), 是否与高海拔有关, 需进一步探索。危重组 aEEG 异常率明显高于非危重组。部分入住 NICU 的危重患儿没有神经系统原发疾病而被诊断为脑损伤, 首先这种损伤可能继发于呼吸或血流动力学不稳定, 从而对脑灌注和代谢产生不利影响^[12]; 其次这些危重儿可能使用了镇痛镇静药物, 无法监测到神经系统的变化。有研究发现多器官功能障碍与新生儿脑病的严重程度相关; NCIS 首次评分越低, 器官功能障碍越多, 病死率越高^[13-14]。新生儿感染性休克、肺动脉高压、需要有创呼吸支持的呼吸窘迫综合征、有血流动力学改变的动脉导管未闭等, 均可能会引起惊厥和脑损伤^[12]。故对危重新生儿进行神经监测可识别脑功能改变, 并为提供神经保护疗法或进一步神经学评估提供基础; 对于脑功能监护仪不足的单位, 尤其高原地区, 建议优先监测除了新生儿脑病外的所有危重新生儿及先天畸形患儿, 尽早发现脑功能异常并采取临床干预措施, 做好脑保护策略。

aEEG 的背景活动反映整体脑功能的脑电活动, SWC 反映脑发育成熟度^[15]。新生儿大脑正处于发育中, 尤其是早产儿的脑电活动与胎龄密切相关。因此, 在进行 aEEG 监测时, 需结合纠正胎龄评估脑电活动背景及成熟度。本研究中 aEEG 异

常类型以无SWC或SWC不成熟为主，占52.09%；背景活动异常占23.65%，痫样活动占22.25%。在中低收入国家，当EEG不易获得时，aEEG有助于很好地识别惊厥^[16]。遗传代谢性疾病aEEG异常主要表现为痫样活动，与Yan等^[17]研究相似。有研究报道新生儿高胆红素血症患儿行aEEG检查发现总胆红素水平与SWC发生率呈显著负相关，原本无高胆红素血症存在SWC的患儿，随着总胆红素水平升高，其SWC逐渐甚至完全消失^[18-19]，本研究中新儿高胆红素血症患儿aEEG异常类型与之^[18-19]相似。感染也是新生儿脑病的重要原因之一^[20]，本研究中新儿脓毒症及泌尿道感染aEEG异常率为15.38%，炎症发作期的aEEG结果及血液生物标志物与神经发育不良有关^[6]。有研究报道发生NEC的早产儿aEEG监测显示异常，表现为不连续性电压、无SWC及出现电痫样活动，与同胎龄及日龄没有发生NEC的早产儿相比，更易出现神经发育迟缓^[21]。

本研究为回顾性分析，局限性在于aEEG异常的患儿在住院期间未进行复查，未能动态观察其变化；围手术期患儿未进行术后aEEG监测对比。今后应该在临床工作中进行精细化管理，动态复查及做好后期随访事宜，对该类患儿评估脑损伤程度及判断预后更有临床价值。

总之，aEEG可床旁连续监测，且图形直观，非EEG专业医护人员经过培训即可掌握。因此，对于住院新生儿，尤其是危重患儿、胎龄及日龄小的患儿，aEEG异常率较高，且多无神经系统症状体征，应常规开展aEEG，可及时发现脑功能异常，有助于临床医师及早做出治疗决策，并为早期干预及短期预后提供参考。

作者贡献声明：赵晓芬负责数据收集、分析、解释数据、起草稿件；程国强指导文章撰写；赵朋娜、赵玫、朱双燕、李杨方负责数据收集；周文浩负责研究设计及审查稿件。

利益冲突声明：所有作者声明不存在利益冲突。

[参 考 文 献]

[1] 中国抗癫痫协会脑电图与神经电生理分会新生儿脑电图学组. 新生儿振幅整合脑电图临床应用中国专家共识 (2023) [J]. 中华新生儿科杂志 (中英文), 2023, 38(3): 129-135.

DOI: 10.3760/cma.j.issn.2096-2932.2023.03.001.

[2] 中华医学会急诊学分会儿科学组, 中华医学会儿科学分会急诊学组、新生儿学组. 新生儿危重病例评分法 (草案) [J]. 中华儿科杂志, 2001, 39(1): 42-43.
DOI: 10.3760/j.issn:0578-1310.2001.01.013.

[3] Hellström-Westas L. Amplitude-integrated electroencephalography for seizure detection in newborn infants[J]. *Semin Fetal Neonatal Med*, 2018, 23(3): 175-182. PMID: 29472139.
DOI: 10.1016/j.siny.2018.02.003.

[4] Yuan X, Song J, Gao L, et al. Early amplitude-integrated electroencephalography predicts long-term outcomes in term and near-term newborns with severe hyperbilirubinemia[J]. *Pediatr Neurol*, 2019, 98: 68-73. PMID: 31253564.
DOI: 10.1016/j.pediatrneurol.2019.04.015.

[5] Sharabi H, Khatib N, Ginsberg Y, et al. Therapeutic N-acetylcysteine (Nac) following initiation of maternal inflammation attenuates long-term offspring cerebral injury, as evident in magnetic resonance imaging (MRI)[J]. *Neuroscience*, 2019, 403: 118-124. PMID: 29406268.
DOI: 10.1016/j.neuroscience.2018.01.013.

[6] Lee ES, Kim EK, Shin SH, et al. Factors associated with neurodevelopment in preterm infants with systematic inflammation[J]. *BMC Pediatr*, 2021, 21(1): 114. PMID: 33685414. PMID: PMC7938564.
DOI: 10.1186/s12887-021-02583-6.

[7] Flück D, Morris LE, Niroula S, et al. UBC-Nepal expedition: markedly lower cerebral blood flow in high-altitude Sherpa children compared with children residing at sea level[J]. *J Appl Physiol* (1985), 2017, 123(4): 1003-1010. PMID: 28572497. PMID: PMC5668443. DOI: 10.1152/jappphysiol.00292.2017.

[8] Aboouf MA, Thiersch M, Soliz J, et al. The brain at high altitude: from molecular signaling to cognitive performance[J]. *Int J Mol Sci*, 2023, 24(12): 10179. PMID: 37373327. PMID: PMC10299449. DOI: 10.3390/ijms241210179.

[9] Ze B, Liu L, Yang Jin GS, et al. Near-infrared spectroscopy monitoring of cerebral oxygenation and influencing factors in neonates from high-altitude areas[J]. *Neonatology*, 2021, 118(3): 348-353. PMID: 34107488. DOI: 10.1159/000514403.

[10] Xu Y, Fan Q. Relationship between chronic hypoxia and seizure susceptibility[J]. *CNS Neurosci Ther*, 2022, 28(11): 1689-1705. PMID: 35983626. PMID: PMC9532927.
DOI: 10.1111/cns.13942.

[11] 秦胜娟, 张丽, 刘敬, 等. 新生儿住院患者振幅整合脑电图监测结果分析[J]. 中华全科医师杂志, 2021, 20(8): 858-862.
DOI: 10.3760/cma.j.cn114798-20210611-00456.

[12] El-Dib M, Abend NS, Austin T, et al. Neuromonitoring in neonatal critical care part II: extremely premature infants and critically ill neonates[J]. *Pediatr Res*, 2023, 94(1): 55-63. PMID: 36434203. DOI: 10.1038/s41390-022-02392-2.

[13] Sweetman DU, Strickland T, Isweisi E, et al. Multi-organ dysfunction scoring in neonatal encephalopathy (MODE Score) and neurodevelopmental outcomes[J]. *Acta Paediatr*, 2022, 111

- (1): 93-98. PMID: 34528287. DOI: 10.1111/apa.16111.
- [14] 聂川, 周文浩. 中国新生儿危重病例评分法的应用及展望[J]. 中国小儿急救医学, 2023, 30(6): 457-460. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4912.2023.06.011.
- [15] Variane GFT, Rodrigues DP, Pietrobom RFR, et al. Newborns at high risk for brain injury: the role of the amplitude-integrated electroencephalography[J]. J Pediatr (Rio J), 2022, 98(6): 565-571. PMID: 34986412. PMCID: PMC9617284. DOI: 10.1016/j.jpmed.2021.10.008.
- [16] Vegda H, Krishnan V, Variane G, et al. Neonatal seizures-perspective in low-and middle-income countries[J]. Indian J Pediatr, 2022, 89(3): 245-253. PMID: 35050459. PMCID: PMC8857130. DOI: 10.1007/s12098-021-04039-2.
- [17] Yan K, Cheng G, Zhou W, et al. Incidence of neonatal seizures in China based on electroencephalogram monitoring in neonatal neurocritical care units[J]. JAMA Netw Open, 2023, 6(7): e2326301. PMID: 37505497. PMCID: PMC10383014. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2023.26301.
- [18] Zhang L, Zhou Y, Li X, et al. Hyperbilirubinemia influences sleep-wake cycles of term newborns in a non-linear manner[J]. PLoS One, 2017, 12(1): e0169783. PMID: 28072860. PMCID: PMC5224785. DOI: 10.1371/journal.pone.0169783.
- [19] Chang H, Zheng J, Ju J, et al. Amplitude-integrated electroencephalography improves the predictive ability of acute bilirubin encephalopathy[J]. Transl Pediatr, 2021, 10(3): 647-656. PMID: 33880334. PMCID: PMC8041610. DOI: 10.21037/tp-21-35.
- [20] Car KP, Nakwa F, Solomon F, et al. The association between early-onset sepsis and neonatal encephalopathy[J]. J Perinatol, 2022, 42(3): 354-358. PMID: 35001084. DOI: 10.1038/s41372-021-01290-5.
- [21] Chen S, Xiao X, Lin S, et al. Early aEEG can predict neurodevelopmental outcomes at 12 to 18 month of age in VLBWI with necrotizing enterocolitis: a cohort study[J]. BMC Pediatr, 2021, 21(1): 582. PMID: 34930183. PMCID: PMC8686651. DOI: 10.1186/s12887-021-03056-6.

(本文编辑: 王颖)

(版权所有©2024中国当代儿科杂志)