

应用于新生儿缺氧缺血性脑病的脑电背景分析新方法

方秀英¹ 田艺丽¹ 陈淑媛¹ 石权¹ 郑铎¹ 王英杰² 毛健²

(中国医科大学附属盛京医院 1.神经功能科; 2.新生儿科, 辽宁沈阳 110004)

[摘要] **目的** 探讨一种新的新生儿缺氧缺血性脑病 (hypoxic-ischemic encephalopathy, HIE) 脑电背景评价方法, 以及其与临床分度和头部磁共振成像 (magnetic resonance imaging, MRI) 分度的关系。**方法** 回顾性分析 2016 年 1 月—2022 年 8 月诊断为 HIE 患儿的出生 24 h 内视频脑电图 (video electroencephalography, vEEG) 和同步振幅整合脑电图 (amplitude-integrated electroencephalography, aEEG) 的监测资料。将脑电背景分析有关项目全部纳入评估系统, 按严重程度分层赋分, 汇总得到脑电图 (electroencephalography, EEG) 总分。对 EEG 总分与头部 MRI 总分和 Sarnat 总分 (total Sarnat score, TSS; 用于评估临床分度) 做相关分析。比较不同临床分度组和不同头部 MRI 分度组间 EEG 总分是否存在差异。采用受试者工作特征曲线的曲线下面积 (area under the curve, AUC) 评估 EEG 总分法对头部 MRI 中-重度异常和临床中-重度异常的诊断价值, 并与 aEEG 分度法相比较。**结果** 共收集 50 例 HIE 患儿。EEG 总分与头部 MRI 总分、TSS 均呈正相关 (分别 $r_s=0.840$ 、 0.611 , $P<0.001$)。不同临床分度组和不同头部 MRI 分度组间 EEG 总分比较差异均有统计学意义 ($P<0.05$)。EEG 总分法和 aEEG 分度法判断头部 MRI 中-重度异常的 AUC 分别为 0.936 和 0.617 ($P<0.01$), 判断临床中-重度异常的 AUC 分别为 0.887 和 0.796 ($P>0.05$)。界定 EEG 总分 ≤ 6 分、 $7\sim 13$ 分、 ≥ 14 分分别为 EEG 轻度、中度和重度异常, 与临床分度和头部 MRI 分度一致性最佳 ($P<0.05$)。**结论** 新的脑电背景评分方法可以量化反映脑损伤的严重程度, 适用于新生儿 HIE 的脑功能判断。

[中国当代儿科杂志, 2023, 25 (2): 128-134]

[关键词] 缺氧缺血性脑病; 脑电图; 振幅整合脑电图; 新生儿

A novel method for electroencephalography background analysis in neonates with hypoxic-ischemic encephalopathy

FANG Xiu-Ying, TIAN Yi-Li, CHEN Shu-Yuan, SHI Quan, ZHENG Duo, WANG Ying-Jie, MAO Jian. Department of Neonatology, Shengjing Hospital of China Medical University, Shenyang 110004, China (Mao J, Email: maoj@sj-hospital.org)

Abstract: Objective To explore a new method for electroencephalography (EEG) background analysis in neonates with hypoxic-ischemic encephalopathy (HIE) and its relationship with clinical grading and head magnetic resonance imaging (MRI) grading. **Methods** A retrospective analysis was performed for the video electroencephalography (vEEG) and amplitude-integrated electroencephalography (aEEG) monitoring data within 24 hours after birth of neonates diagnosed with HIE from January 2016 to August 2022. All items of EEG background analysis were enrolled into an assessment system and were scored according to severity to obtain the total EEG score. The correlations of total EEG score with total MRI score and total Sarnat score (TSS, used to evaluate clinical gradings) were analyzed by Spearman correlation analysis. The total EEG score was compared among the neonates with different clinical gradings and among the neonates with different head MRI gradings. The receiver operating characteristic (ROC) curve and the area under the curve (AUC) were used to evaluate the value of total EEG score in diagnosing moderate/severe head MRI abnormalities and clinical moderate/severe HIE, which was then compared with the aEEG grading method. **Results** A total of 50 neonates with HIE were included. The total EEG score was positively correlated with the total head MRI score and TSS ($r_s=0.840$ and 0.611 respectively, $P<0.001$). There were significant differences in the total EEG score between different clinical grading groups and different head MRI grading groups ($P<0.05$). The total EEG

[收稿日期] 2022-08-17; [接受日期] 2022-11-29

[作者简介] 方秀英, 女, 硕士, 主治医师。

[通信作者] 毛健, 男, 主任医师。Email: maoj@sj-hospital.org。

score and the aEEG grading method had an AUC of 0.936 and 0.617 respectively in judging moderate/severe head MRI abnormalities ($P<0.01$) and an AUC of 0.887 and 0.796 respectively in judging clinical moderate/severe HIE ($P>0.05$). The total EEG scores of ≤ 6 points, 7-13 points, and ≥ 14 points were defined as mild, moderate, and severe EEG abnormalities respectively, which had the best consistency with clinical grading and head MRI grading ($P<0.05$).

Conclusions The new EEG background scoring method can quantitatively reflect the severity of brain injury and can be used for the judgment of brain function in neonates with HIE.

[Chinese Journal of Contemporary Pediatrics, 2023, 25(2): 128-134]

Key words: Hypoxic-ischemic encephalopathy; Electroencephalography; Amplitude-integrated electroencephalography; Neonate

围生期窒息引起的缺氧缺血性脑病 (hypoxic-ischemic encephalopathy, HIE) 是足月新生儿最常见的脑损伤疾病之一, 也是新生儿死亡及远期神经精神发育障碍的主要原因。连续脑电监测在新生儿神经重症监护多维度精准管理中有着不可或缺的作用。HIE 患儿是连续脑电监测的核心人群, 而脑电背景活动变化是低温治疗、惊厥规范管理及预后判定的重要依据^[1-3]。

迄今为止, 对 HIE 患儿脑电图 (electroencephalography, EEG) 背景分度仍无统一标准, 对脑电活动模式的判断和解释在不同医生间差异性也很大^[4]。少数涉及 EEG 背景分度标准的研究^[1, 5], 存在参考指标不一致, 指标量化程度不同等情况。振幅整合脑电图 (amplitude-integrated electroencephalography, aEEG) 监测则缺乏对原始脑电的深入分析, 对脑损伤程度评估不全面^[3, 6-8]。此外, 惊厥发作也是与脑损伤严重程度密切相关的重要参考因素, 但既往研究却缺乏脑电背景分度中对惊厥发作及惊厥负荷的评估^[8]。

本研究联合多通道视频脑电图 (video electroencephalography, vEEG) 和 aEEG 监测, 参考美国临床神经生理学学会 (American Clinical Neurophysiology Society) 发布的新生儿脑电规范化解读指南^[9], 将脑电背景活动分析应包括的所有项目进行全面多维度分层赋分, 用 EEG 总分综合体现背景活动异常程度, 探索脑电背景活动量化分析方法的可行性, 为实现 EEG 判断的一致性及人工智能自动判读探索一种全新的方法。

1 资料与方法

1.1 研究对象

回顾性收集 2016 年 1 月—2022 年 8 月中国医科大学附属盛京医院收治的诊断为 HIE 的足月新生儿。HIE 诊断标准参考中华医学会儿科学分会新生儿学组于 2005 年制定的《新生儿缺氧缺血性脑病

诊断标准》^[10]。排除标准: (1) 怀疑有代谢性脑病或其他原因导致脑病的; (2) 出生 24 h 后入院; (3) 出生 24 h 内未进行 EEG 监测; (4) EEG 监测不符合要求; (5) 生后 7 d 内未进行头部磁共振成像 (magnetic resonance imaging, MRI) 检查。本研究获得我院伦理委员会批准 (2021PS596K)。

1.2 HIE 的临床分度

依据改良 Sarnat 评分法^[11], 包括意识状态、自发活动、姿势、肌张力、原始反射、自主神经系统 6 个方面, 分为轻、中、重度。计算 Sarnat 总分 (total Sarnat score, TSS), TSS 分值范围为 0~18 分, 分值越高, 异常程度越高。

1.3 头部 MRI 检查及 MRI 总分

头部 MRI 检查进行常规 T_1 加权成像、 T_2 加权成像及弥散加权成像序列扫描, MRI 仪器型号及扫描参数与本团队之前的研究^[12] 相同。MRI 异常程度依据改良的 Barkovich 评分法^[13], 分为轻、中、重度。并将 3 种序列中不同损伤部位及损伤程度进行评分, 选择各序列中损伤部位的最高分相加获得 MRI 总分, 分值范围为 0~13 分, 分值越高, 损伤程度越高。

1.4 脑电监测及脑电背景活动定量评价

出生 24 h 内完成首次 vEEG 及 aEEG 同步监测, 监测时长 ≥ 4 h。参考国际 10/20 系统安放记录电极, aEEG 导联方式为 C3—O1 和 C4—O2, vEEG 记录导联包括 FP1、FP2、C3、C4、P3、P4、O1、O2、T3、T4、Cz、Pz。睡眠觉醒周期、电压和连续模式比例通过 aEEG 图形进行判定。暴发间期 (interburst interval, IBI) 时长的评估方法为平均 IBI 时长或参考多数 IBI 时长。监测过程中各种可疑临床发作事件, 必须经 vEEG 证实是否为惊厥发作。惊厥持续状态 (status epilepticus, SE) 指监测中任一小时内电发作或电-临床发作时长总和 $\geq 50\%$ 时^[9], 即可认定。如在监测过程中使用镇静药物或抗惊厥药物, 则用药后的脑电背景活动各项评分予以不同的分值加权。项目评分及细则见表 1。

表 1 EEG 背景项目评分及细则

项目	得分	EEG 评分细则
A. 睡眠觉醒变化 ^[9, 14]	0	睡眠觉醒周期建立, 且符合相应胎龄
	1	睡眠觉醒周期存在, 宽带及窄带分化异常, 符合以下两种情况之一: (1) 宽带总时长占监测时长比例 $\geq 50\%$ 或 $\leq 15\%$; (2) 宽带和窄带带宽差异 $< 50\%$
	2	睡眠觉醒周期不存在, 无明显的宽窄带之分, 下边界或上边界略有变化 (除外干扰及发作), 且持续时间 ≥ 10 min
	3	因发作频繁无法区分宽窄带或上下边界的变化 (除外干扰及发作, 监测时长 ≥ 2 h)
	4	无明确宽窄带或上下边界的变化 (除外干扰及发作, 监测时长 ≥ 2 h)
B. 电压 ^[15]	0	上边界 $\geq 10 \mu\text{V}$, 下边界 $\geq 5 \mu\text{V}$, 同时满足两条
	1	上边界 $< 10 \mu\text{V}$, 下边界 $< 5 \mu\text{V}$, 满足其中一条或两条
	2	上边界 $\geq 50 \mu\text{V}$, 下边界 $\geq 2 \mu\text{V}$, 同时满足两条
	3	上边界 $\leq 5 \mu\text{V}$, 下边界 $\geq 0 \mu\text{V}$, 同时满足两条
	4	上边界 $\leq 2 \mu\text{V}$
C. 连续模式比例 ^[14]	0	连续模式脑电活动 $\geq 50\%$
	1	连续模式脑电活动 $< 50\%$
	2	当脑电活动明显减少, 不能区分暴发段与抑制段时, 或无明确脑电活动时
D. 脑电活动数量 ^[14, 16]	0	各频段脑电活动数量及分布正常, 符合相应胎龄
	1	各频段脑电活动数量明显增多, 符合以下两种情况之一: (1) β 波或 α 波增多, 并且波形相对高尖; (2) 尖形 θ 波或尖形 δ 波活动增多
	2	各频段脑电活动数量不同程度减少, 符合以下两种情况之一: (1) α 、 β 或 θ 波活动减少相对明显; (2) δ 波活动减少相对明显
	3	各频段脑电活动明显减少, 只有个别导联偶有短暂脑电活动 (除外干扰及各种伪迹)
	4	监测全程无明确脑电活动 (除外干扰及各种伪迹)
E. IBI 时长 ^[16]	0	≤ 6 s
	1	7~10 s
	2	11~30 s
	3	> 30 s
	4	当脑电活动明显减少, 不能区分暴发段与抑制段时, 或无明确脑电活动时
F. 同步性及对称性 ^[9]	0	同步性及对称性 $\geq 50\%$
	1	同步性或非对称性 $< 50\%$
	2	当脑电活动明显减少, 不能区分暴发段与抑制段时, 或无明确脑电活动时
G. 变化性及反应性 ^[9]	0	反应性及变化性存在
	1	反应性及变化性不存在
H. 异常波活动 ^[9]	0	无异常波活动
	1	有异常波活动, 以下每项各得 1 分: 正相或负相尖波、棘波、畸形 δ 波、畸形 δ 刷、紊乱波、短暂节律性放电、周期性放电、节律性 δ 波活动
I. 发作负荷 ^[17]	0	无电发作或电-临床发作
	1	出现电发作或电-临床发作, 发作次数 ≤ 2 次, 且未达到 SE
	2	出现电发作或电-临床发作, 发作次数 ≤ 7 次, 且未达到 SE
	3	出现电发作或电-临床发作, 发作次数 > 7 次, 且未达到 SE
	4	出现电发作或电-临床发作, 无论发作次数多少, 任一小时内达到 SE
J. 应用镇静药或抗惊厥药物 ^[9]	0	符合以下两种情况之一时, 不加分或减分: (1) 未用镇静药物或抗惊厥药物; (2) A~G 项, 各项原始评分为 0 分
	1	H~I 项, 无论原始得分多少, 各项分别加 1 分
	-1	A~G 项, 各项原始评分 ≥ 1 分时, 各项分别减 1 分

注: [EEG] 脑电图; [IBI] 暴发间期; [SE] 惊厥持续状态。

1.5 aEEG 分度

采用 Hellström-Westas aEEG 分度标准^[6]，对所有患儿的同步 aEEG 单独判读。根据严重程度分别赋予 0~3 分：连续性 0 分，非连续性 1 分，暴发抑制或低电压 2 分，平坦波 3 分。

1.6 统计学分析

采用 SPSS 22.0 软件进行统计学分析。正态分布的计量资料采用均数 ± 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示，非正态分布的计量资料采用中位数（四分位数间距） $[M(P_{25}, P_{75})]$ 表示，两组比较用 Mann-Whitney U 检验，多组比较用 Kruskal-Wallis H 检验，组间两两比较采用事后检验分析。EEG 总分、头部 MRI 总分及 TSS 之间的关系采用 Spearman 秩相关分析。绘制受试者工作特征 (receiver operating characteristic, ROC) 曲线，计算曲线下面积 (area under the curve, AUC)，比较 EEG 总分法和 aEEG 分度法对头部 MRI 中-重度异常和临床中-重度异常的诊断效能，采用 Hanley 和 McNeil 法，比较两种方法的 AUC 值的差异性。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 临床特征分析

共收集到 76 例 HIE 患儿，排除 26 例后，共纳入 50 例。男性 31 例 (62%)，平均胎龄 (38.9 ± 1.5) 周，平均出生体重 ($3\,369 \pm 452$) g。按临床

分度，轻度组 12 例 (24%)，中度组 26 例 (52%)，重度组 12 例 (24%)，三组患儿性别 ($\chi^2=3.093$, $P=0.213$)、胎龄 ($F=2.571$, $P=0.191$)、出生体重 ($F=2.488$, $P=0.094$) 比较，差异均无统计学意义。所有患儿均于出生 24 h 内完成首次 vEEG+aEEG 检查，平均检查时间为生后 (15.8 ± 0.5) h，监测时长均超过 4 h。首次完成头部 MRI 时间为生后 3~7 d。

2.2 EEG 总分与头部 MRI 总分和 TSS 的相关性

通过 Spearman 秩相关性检验，EEG 总分与头部 MRI 总分、TSS 之间的相关系数分别为 0.840 和 0.611 ($P < 0.001$)，说明 EEG 总分与头部 MRI 总分和 TSS 均具有显著的正相关关系。

2.3 不同临床分度组 EEG 总分、头部 MRI 总分和 TSS 的比较

临床分度为轻度组、中度组、重度组患儿的 EEG 总分、头部 MRI 总分、TSS 比较差异均有统计学意义 ($P < 0.001$)。通过事后检验分析显示，重度组患儿 EEG 总分、头部 MRI 总分、TSS 高于轻度组、中度组，中度组患儿 EEG 总分、头部 MRI 总分、TSS 高于轻度组 ($P < 0.05$)。见表 2。

2.4 不同头部 MRI 分度组 EEG 总分的比较

头部 MRI 分度为正常-轻度组、中度组、重度组患儿的 EEG 总分比较差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。通过事后检验分析显示，重度组患儿 EEG 总分高于正常-轻度组、中度组，中度组患儿 EEG 总分高于正常-轻度组 ($P < 0.05$)。见表 3。

表 2 不同临床分度组间 EEG 总分、头部 MRI 总分及 TSS 的比较 $[M(P_{25}, P_{75})]$ ，分

组别	例数	EEG 总分	头部 MRI 总分	TSS
轻度组	12	4.0(1.0, 4.8)	0(0, 2.0)	3.5(1.3, 5.0)
中度组	26	6.0(3.8, 8.0) ^a	2.0(0, 4.0) ^a	5.0(2.8, 6.3) ^a
重度组	12	20.0(10.8, 20.0) ^{a,b}	9.0(6.3, 12.3) ^{a,b}	14.5(8.8, 16.0) ^{a,b}
H 值		27.964	26.754	20.936
P 值		<0.001	<0.001	<0.001

注：[EEG] 脑电图；[MRI] 磁共振成像；[TSS] Sarnat 总分。a 示与轻度组比较， $P < 0.05$ ；b 示与中度组比较， $P < 0.05$ 。

表 3 不同头部 MRI 分度组间 EEG 总分比较

$[M(P_{25}, P_{75})]$ ，分

组别	例数	EEG 总分
正常-轻度组	30	4.0(2.0, 6.0)
中度组	10	8.0(6.8, 8.3) ^a
重度组	10	20.0(19.0, 20.3) ^{a,b}
H 值		31.477
P 值		<0.001

注：[EEG] 脑电图。a 示与正常-轻度组比较， $P < 0.05$ ；b 示与中度组比较， $P < 0.05$ 。

2.5 EEG 总分法与 aEEG 分度法对头部 MRI 中-重度异常和临床中-重度异常的诊断效能

对于判断头部 MRI 中-重度异常，EEG 总分法与 aEEG 分度法的 AUC 分别为 0.936 和 0.617，差异有统计学意义 ($Z=3.578$, $P=0.003$)。对于判断临床中-重度异常两种方法的 AUC 分别为 0.887 和 0.796，差异无统计学意义 ($Z=1.179$, $P=0.239$)。EEG 总分法对判断头部 MRI 中-重度异常和临床

中-重度异常的灵敏度及特异度均高于 aEEG 分度法。见表 4。

表 4 EEG 总分与单独 aEEG 分度法判断头部 MRI 中-重度异常和临床中-重度异常的诊断效能和 AUC 的比较

项目	灵敏度 (%)	特异度 (%)	最佳界值 (分)	AUC	95%CI
头部 MRI 中-重度异常 (n=20)					
EEG 总分法	80.0	93.3	7	0.936	0.868~1.004
aEEG 分度法	45.0	73.3	1	0.617	0.455~0.778
临床中-重度异常 (n=38)					
EEG 总分法	73.0	92.3	5	0.887	0.797~0.976
aEEG 分度法	67.6	84.6	0	0.796	0.675~0.918

注：[MRI] 磁共振成像；[EEG] 脑电图；[aEEG] 振幅整合脑电图；[AUC] 曲线下面积；[95%CI] 95% 置信区间。

2.6 EEG 总分分度的假设

结合以上 EEG 总分与临床分度、头部 MRI 分度之间的对应关系，为了区分 EEG 的轻、中、重度异常，将 EEG 总分分值进行多次不同界定，并

分别与临床分度和头部 MRI 分度进行统计分析。最终界定 EEG 总分≤6 分为轻度组，7~13 分为中度组，≥14 分为重度组时，与临床分度和头部 MRI 分度一致性最佳，有统计学意义 ($P<0.001$)，见表 5。

表 5 EEG 总分分度与临床分度、头部 MRI 分度之间的对应关系 [例 (%)]

EEG 总分分度组	例数	临床分度			头部 MRI 分度		
		轻度	中度	重度	正常-轻度	中度	重度
轻度组	26	12(46)	14(54)	0(0)	24(92)	2(8)	0(0)
中度组	15	0(0)	12(80)	3(20)	6(40)	8(53)	1(7)
重度组	9	0(0)	0(0)	9(100)	0(0)	0(0)	9(100)
χ^2 值		46.036			58.359		
P 值		<0.001			<0.001		

注：[EEG] 脑电图；[MRI] 磁共振成像。

3 讨论

连续 EEG 监测对评估 HIE 新生儿脑损伤具有重要意义^[18-19]。本研究结合 vEEG 与 aEEG 分析，将脑电背景分析的各项指标全部纳入评估系统，按严重程度分层赋分，以直观的数字形式代表脑功能异常的严重程度，EEG 总分就是脑电背景活动的综合体现。研究表明，EEG 总分越高反映脑电背景异常程度越高，神经影像学损伤程度越严重，临床症状表现越重。通过明确界定评估系统中各种脑电活动模式及相应的分值，可能会提高脑电背景判断和解释的一致性。

脑电背景分析是对脑电活动的多维度综合评价的过程。aEEG 可以反映脑电活动整体变化趋势，包括对脑电活动的连续性、整体电压值及睡眠觉醒周期的快速判断。而多通道 vEEG 监测对脑电活动的时空分辨能力更高，因此对识别局部的脑电活动特征更有优势。通过 vEEG 监测，观察生理性脑电活动状态，发现各种异常脑电活动，并

且准确判断惊厥的发作及对惊厥负荷的评估，弥补了以往脑电背景分度的不足之处。本研究发现，vEEG 和 aEEG 联合评估背景活动的方法明显优于以往单独 aEEG 分度法，提高了对中枢神经系统损伤判断的灵敏度和特异度。另外，本评价系统中，充分考虑到了抗惊厥药物或镇静药物对脑电活动的影响作用，校正后的分值，可能更接近真实的大脑神经功能状态。据我们所知，这是第一个在分析脑电背景活动评分或分度时，涉及药物对脑电活动影响作用的研究方案。

在 HIE 损伤早期，准确判断病情严重程度是决定治疗方案的关键。虽然头部 MRI 是评估 HIE 患儿脑损伤的金标准^[20-21]，但影像学提供脑损伤证据的时间相对晚。而多项相关研究表明，EEG 的异常程度与头部 MRI 提示的脑损伤程度相关性很高，特别是重度异常背景改变^[22-24]。本研究也进一步验证了生后早期的脑电背景异常是可以预测脑损伤严重程度的。另外，本研究初步对 HIE 脑电背景活动的 EEG 总分分值进行分度界定，以期可以更

加直观地反映脑功能状态,并预测头部 MRI 损伤程度。但是因样本量有限,回顾性研究中缺乏对一些混杂因素的控制、随访资料欠缺等原因,可能在样本的选择上出现偏倚。此外,我们没有评估评分系统中每个单项对损伤程度的贡献,分值设定方式是否精准,应该进行更深入的结合 HIE 演变过程进行系统性前瞻性研究。但是,此方法在有限的样本初步研究中显示与临床分度、头部 MRI 分度有很好的相关性,提示我们值得进一步深入研究。

本研究应用更详细的评分系统,提供了一种量化的脑电背景活动判断方法,有助于新生儿科医生能够准确地判断 HIE 患儿的神经功能,合理分配 EEG 监测资源,也为将来开发人工智能自动化阅图和分度模型的建立探索一种新的方法。

利益冲突声明:所有作者均声明不存在利益冲突。

[参 考 文 献]

- [1] Murray DM, Boylan GB, Ryan CA, et al. Early EEG findings in hypoxic-ischemic encephalopathy predict outcomes at 2 years[J]. *Pediatrics*, 2009, 124(3): e459-e467. PMID: 19706569. DOI: 10.1542/peds.2008-2190.
- [2] Garvey AA, Pavel AM, O'Toole JM, et al. Multichannel EEG abnormalities during the first 6 hours in infants with mild hypoxic-ischaemic encephalopathy[J]. *Pediatr Res*, 2021, 90(1): 117-124. PMID: 33879847. PMCID: PMC8370873. DOI: 10.1038/s41390-021-01412-x.
- [3] Chandrasekaran M, Chaban B, Montaldo P, et al. Predictive value of amplitude-integrated EEG (aEEG) after rescue hypothermic neuroprotection for hypoxic ischemic encephalopathy: a meta-analysis[J]. *J Perinatol*, 2017, 37(6): 684-689. PMID: 28252661. DOI: 10.1038/jp.2017.14.
- [4] Massey SL, Shou H, Clancy R, et al. Interrater and intrarater agreement in neonatal electroencephalogram background scoring[J]. *J Clin Neurophysiol*, 2019, 36(1): 1-8. PMID: 30383719. PMCID: PMC6322680. DOI: 10.1097/WNP.0000000000000534.
- [5] Nash KB, Bonifacio SL, Glass HC, et al. Video-EEG monitoring in newborns with hypoxic-ischemic encephalopathy treated with hypothermia[J]. *Neurology*, 2011, 76(6): 556-562. PMID: 21300971. PMCID: PMC3053178. DOI: 10.1212/WNL.0b013e31820af91a.
- [6] Hellström-Westas L, Rosén I, Svenningsen NW. Predictive value of early continuous amplitude integrated EEG recordings on outcome after severe birth asphyxia in full term infants[J]. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*, 1995, 72(1): F34-F38. PMID: 7743282. PMCID: PMC2528413. DOI: 10.1136/fn.72.1.f34.
- [7] Chalak LF, Nguyen KA, Prempunpong C, et al. Prospective research in infants with mild encephalopathy identified in the first six hours of life: neurodevelopmental outcomes at 18-22 months[J]. *Pediatr Res*, 2018, 84(6): 861-868. PMID: 30250303. PMCID: PMC6445543. DOI: 10.1038/s41390-018-0174-x.
- [8] 王英杰, 毛健. 新生儿缺氧缺血性脑病脑电图监测关键问题研究进展[J]. *发育医学电子杂志*, 2020, 8(4): 359-364. DOI: 10.3969/j.issn.2095-5340.2020.04.015.
- [9] Tsuchida TN, Wusthoff CJ, Shellhaas RA, et al. American Clinical Neurophysiology Society standardized EEG terminology and categorization for the description of continuous EEG monitoring in neonates: report of the American Clinical Neurophysiology Society Critical Care Monitoring Committee[J]. *J Clin Neurophysiol*, 2013, 30(2): 161-173. PMID: 23545767. DOI: 10.1097/WNP.0b013e3182872b24.
- [10] 中华医学会儿科学分会新生儿学组. 新生儿缺氧缺血性脑病诊断标准[J]. *中国当代儿科杂志*, 2005, 7(2): 97-98. DOI: 10.3969/j.issn.1008-8830.2005.02.001.
- [11] Chalak LF, Adams-Huet B, Sant'Anna G. A total Sarnat score in mild hypoxic-ischemic encephalopathy can detect infants at higher risk of disability[J]. *J Pediatr*, 2019, 214: 217-221. e1. PMID: 31301853. DOI: 10.1016/j.jpeds.2019.06.026.
- [12] 巴瑞华, 毛健. 新生儿缺氧缺血性脑病磁共振影像学评分与临床分度的相关性研究[J]. *中国当代儿科杂志*, 2018, 20(2): 83-90. PMID: 29429453. PMCID: PMC7389240. DOI: 10.7499/j.issn.1008-8830.2018.02.001.
- [13] 中国医师协会新生儿科医师分会. 新生儿缺氧缺血性脑病磁共振诊断与损伤类型的分类建议[J]. *中国当代儿科杂志*, 2017, 19(12): 1225-1233. PMID: 29237520. PMCID: PMC7389802. DOI: 10.7499/j.issn.1008-8830.2017.12.001.
- [14] Lamblin MD, Walls Esquivel E, André M. The electroencephalogram of the full-term newborn: review of normal features and hypoxic-ischemic encephalopathy patterns[J]. *Neurophysiol Clin*, 2013, 43(5-6): 267-287. PMID: 24314754. DOI: 10.1016/j.neucli.2013.07.001.
- [15] 中华医学会儿科学分会围产专业委员会. 新生儿振幅整合脑电图临床应用专家共识[J]. *中华新生儿科杂志*, 2019, 34(1): 3-7. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2096-2932.2019.01.002.
- [16] Bourel-Ponchel E, Gueden S, Hasaerts D, et al. Normal EEG during the neonatal period: maturational aspects from premature to full-term newborns[J]. *Neurophysiol Clin*, 2021, 51(1): 61-88. PMID: 33239230. DOI: 10.1016/j.neucli.2020.10.004.
- [17] Pressler RM, Cilio MR, Mizrahi EM, et al. The ILAE classification of seizures and the epilepsies: modification for seizures in the neonate. Position paper by the ILAE task force on neonatal seizures[J]. *Epilepsia*, 2021, 62(3): 615-628. PMID: 33522601. DOI: 10.1111/epi.16815.
- [18] Natarajan N, Benedetti G, Perez FA, et al. Association between early EEG background and outcomes in infants with mild HIE undergoing therapeutic hypothermia[J]. *Pediatr Neurol*, 2022, 134: 52-58. PMID: 35835026. DOI: 10.1016/j.pediatrneurol.2022.06.006.
- [19] Benedetti GM, Vartanian RJ, McCaffery H, et al. Early

- electroencephalogram background could guide tailored duration of monitoring for neonatal encephalopathy treated with therapeutic hypothermia[J]. *J Pediatr*, 2020, 221: 81-87. e1. PMID: 32222256. DOI: 10.1016/j.jpeds.2020.01.066.
- [20] Parmentier CEJ, de Vries LS, Groenendaal F. Magnetic resonance imaging in (near-)term infants with hypoxic-ischemic encephalopathy[J]. *Diagnostics (Basel)*, 2022, 12(3): 645. PMID: 35328199. PMCID: PMC8947468. DOI: 10.3390/diagnostics12030645.
- [21] Thayyil S, Chandrasekaran M, Taylor A, et al. Cerebral magnetic resonance biomarkers in neonatal encephalopathy: a meta-analysis[J]. *Pediatrics*, 2010, 125(2): e382-e395. PMID: 20083516. DOI: 10.1542/peds.2009-1046.
- [22] Obeid R, Sogawa Y, Gedela S, et al. The correlation between a short-term conventional electroencephalography in the first day of life and brain magnetic resonance imaging in newborns undergoing hypothermia for hypoxic-ischemic encephalopathy[J]. *Pediatr Neurol*, 2017, 67: 91-97. PMID: 28089767. DOI: 10.1016/j.pediatrneurol.2016.10.020.
- [23] Weeke LC, Boylan GB, Pressler RM, et al. Role of EEG background activity, seizure burden and MRI in predicting neurodevelopmental outcome in full-term infants with hypoxic-ischaemic encephalopathy in the era of therapeutic hypothermia[J]. *Eur J Paediatr Neurol*, 2016, 20(6): 855-864. PMID: 27370316. DOI: 10.1016/j.ejpn.2016.06.003.
- [24] 白文娟, 方秀英, 石权, 等. 新生儿缺氧缺血性脑病脑电背景演变与脑损伤程度的相关性研究[J]. *中国当代儿科杂志*, 2021, 23(9): 909-915. PMID: 34535205. PMCID: PMC8480165. DOI: 10.7499/j.issn.1008-8830.2105054.
- (本文编辑: 王颖)

· 消息 ·

川崎病专栏征稿启事

本刊在焦富勇教授等国内知名川崎病专家的策划、指导下开辟了川崎病专栏, 常年面向各位专家、学者征稿。本专栏聚焦国内外川崎病领域的新研究新进展, 发表川崎病诊疗相关的指南、共识, 以及最实用的临床实践经验和最新的研究成果, 并邀请专家回答读者关于川崎病的相关问题, 致力于为广大学者提供一个川崎病学术交流的权威平台。热忱欢迎大家投稿!

投稿邮箱: www.zgddek.com。投稿时注明“川崎病专栏”, 本刊将对本栏目文章予以优先处理与发表。

《中国当代儿科杂志》编辑部
2023 年 1 月 31 日