

新生儿振幅整合脑电图临床应用专家共识



扫一扫下载指南全文

中华医学会儿科学分会围产专业委员会

通信作者:侯新琳,北京大学第一医院儿科 100034,Email:houxinlin66@163.com;

程国强,复旦大学附属儿科医院新生儿科,上海 201102,Email:gqchengcm@163.com

【摘要】 振幅整合脑电图(amplitude-integrated electroencephalography, aEEG)是评价新生儿脑功能的重要电生理手段,可以用于新生儿脑发育的评价、脑损伤诊断及预后评估,亦可用于新生儿惊厥的监测,但目前临床应用尚缺乏统一方案。本共识主要包括 aEEG 的应用指征、具体检查操作方法及结果判读标准,以规范 aEEG 在新生儿脑功能监护中的临床应用。

【关键词】 振幅整合脑电图; 婴儿,新生; 共识

DOI:10.3760/cma.j.issn.2096-2932.2019.01.002

随着围产医学和新生儿医学的发展及危重新生儿抢救水平的提高,新生儿病死率逐渐下降,极早产儿和超早产儿存活率逐步上升^[1]。但是由于存活下来的危重新生儿和小胎龄早产儿均是发生围产期脑损伤的高危人群^[2-5],故新生儿神经系统后遗症发生率并无显著降低。新生儿神经重症监护单元(neuro-neonatal intensive care unit, NNICU)的理念是以“脑”作为新生儿病房管理的核心内容,期望能最大程度的减少围产期脑损伤的发生率、改善神经系统损伤患儿的预后^[6]。振幅整合脑电图(amplitude-integrated electroencephalography, aEEG)是 NNICU 中评价新生儿脑功能的重要电生理监测手段^[7],目前对该检查的临床应用指征、具体方法和结果判读标准尚缺乏统一方案。为此,在中华医学会儿科学分会围产专业委员会的组织下,在广泛阅读相关文献并经业内专家讨论的基础上制定本共识,以规范 aEEG 的临床应用范围和判读标准,使 aEEG 能更广泛而且规范的用于新生儿脑发育及脑损伤的评价。

一、aEEG 检测的适用范围

1. 有脑损伤表现或存在脑损伤高危因素的新生儿,高危因素包括围产期缺氧窒息史、新生儿顽固性低血糖、先天性遗传代谢病、颅内出血、脑卒中、中枢神经系统感染、严重高胆红素血症等,用于发现脑损伤、评价脑损伤的程度和预后;

2. 新生儿脑发育的评估;

3. 新生儿惊厥和可疑惊厥发作的检测;

4. 脑损伤治疗效果的评估,如亚低温治疗、抗

惊厥药物止惊治疗等。

二、技术操作

1. 电极选择:aEEG 常用电极为头皮电极,分为记录电极和参考电极。电极放置位置与国际脑电图 10-20 系统一致。仅一个参考电极时放在前额正中,两个参考电极时则另一个放在头顶部中心 Cz 位置。

(1)单导(单通道)aEEG:是 aEEG 检查的经典通道,在评价新生儿脑发育和脑损伤方面与脑电图(EEG)有较好的一致性^[8]。单导 aEEG 监测记录电极首选放置在双侧顶骨 P3-P4 或中央区 C3-C4 部位,这两组单通道监测对足月儿脑损伤程度的评估和早产儿脑发育成熟度的评价有较好的一致性^[9-11]。

(2)双导(双通道)aEEG:①应用于双侧大脑病变不对称的患儿,如一侧大脑中动脉梗塞,可以分别反应左右大脑半球脑功能受损的情况^[12],记录通道常选择 F3-P3 和 F4-P4 或 C3-P3 和 C3-P4^[13-14];②应用于新生儿惊厥患儿,可以提高新生儿惊厥检测的敏感度,记录通道可选择 C3-C4 和 P3-P4 同时记录,或 C3-C4、P3-P4 中任一通道联合 O1-O2、F3-F4、T3-T4 中任一通道同时记录^[15-17]。

(3)多导(多通道)aEEG:4 通道、8 通道等更多通道应用于 aEEG 监测可以提高新生儿惊厥的检出率^[18],记录电极可以选择放置在 C3、C4、O1、O2、Fp1、Fp2、T3、T4 等位置。需要注意的是,多通道 aEEG 并不能替代全导视频脑电图(video EEG, v-EEG)或传统脑电图(conventional EEG, c-EEG),

后者仍是诊断惊厥的金标准。

(4)特殊情况下的电极放置:如患儿有头颅血肿、局部头皮破损或进行体外膜肺氧合等操作时,记录电极位置的选择需避开皮肤损伤处和影响操作的关键部位,但要注意双侧对称。

2. 检测时间:对于有脑损伤高危因素的新生儿,生后 6 h 内即开始首次检查;对于无高危因素、但临床出现脑病症状的,应尽快给予检测。检测时间不少于 2~4 h,存在睡眠-觉醒周期(睡眠周期)的新生儿,需记录至少一个完整的睡眠周期。对需持续监测病情变化的患儿,可延长检测时间,如进行亚低温治疗的中-重度缺氧缺血性脑病(hypoxic-ischemia encephalopathy, HIE)患儿持续监测至生后 72~96 h,对脑损伤恢复程度和预后评价,以及惊厥检测都有较高的敏感度和特异度^[19-20]。

3. 其他:

(1)建议 aEEG 检测同期应用视频监控:没有视频监控条件时,对检测过程中患儿出现的特殊事件,如可疑惊厥发作、呼吸暂停或喂奶、检查、治疗等操作,应记录发生时间及同期患儿表现。

(2)建议 aEEG 操作人员在监测过程中定时巡视:确保电极固定良好,阻抗 $\leq 20\text{ k}\Omega$,及时记录患儿在检测过程中发生的特殊事件。

三、aEEG 的基本指标

1. 上边界振幅:aEEG 波谱带的上边界电压为上边界振幅,反应脑电活动所能达到的最高强度。早产儿上边界振幅随胎龄增加而降低,至 37 周后上边界振幅随胎龄增加而增加^[21-23]。

2. 下边界振幅:aEEG 波谱带的下边界电压为下边界振幅,反应脑电活动的基础水平,随胎龄增加而增加^[21-23]。

3. 睡眠周期:指随睡眠-觉醒程度的变化,aEEG 波谱带呈现光滑正弦曲线样变化,分为活动睡眠(active sleep, AS)期和安静睡眠(quiet sleep, QS)期。AS 期波谱带相对窄,QS 期波谱带相对宽。足月儿 QS 期振幅值高于 AS 期。睡眠周期随胎龄增加逐渐成熟,分为以下几种情况:

(1)无睡眠周期:aEEG 背景活动无周期样变化,无法区分 AS 期和 QS 期。

(2)不成熟睡眠周期:背景活动可见一些周期样变化,但仅有较低振幅的周期样波动,没有出现典型的正弦样变化的背景活动。睡眠周期未达到相应胎龄的成熟度,以及睡眠周期与胎龄不符,也

称为睡眠周期不成熟。

(3)成熟睡眠周期:背景活动呈现平滑的正弦样周期性变化,一个睡眠周期持续 20 min 以上。

4. 异常放电:在 aEEG 上表现为下边界和(或)上边界振幅突然升高,紧随其后可能出现一段短暂的电压抑制期。其中单次惊厥发作表现为背景波谱带中断的“驼峰样”改变,反复惊厥发作表现为多次“驼峰样”改变,惊厥持续状态为惊厥发作时间超过 30 min, aEEG 表现为“锯齿样”波形^[24]。aEEG 可以监测到电极放置位置附近、超过 30 s、反复出现的惊厥发作^[25-27]。新生儿惊厥在 EEG 上表现为反复出现的刻板波形,有确定的起始、高峰和终止时间,发作过程中振幅波动 $> 2\text{ }\mu\text{V}$,持续时间 $\geq 10\text{ s}$ 。

5. 暴发间期(interburst intervals, IBI):指两次暴发之间电压抑制的时间,反应脑成熟度和脑损伤的严重程度。早产儿 IBI 随胎龄增加而缩短^[21-22,28]。IBI 长于相应胎龄提示患儿可能存在脑损伤,IBI 延长时间越长,脑损伤程度越重^[29]。

6. 暴发次数:指每小时出现暴发性脑电活动的次数,反应早产儿脑电活动的成熟度,同时也反应脑损伤的严重程度。

7. 连续性:指脑电活动是否始终能够保持一定波幅并围绕基线上下波动。连续性与胎龄有关,可反应脑发育的成熟度,其中 AS 期在校正胎龄 32 周以后、QS 期在校正胎龄 40 周以后均基本表现为连续图形^[11,23,30]。正常新生儿中胎龄 36 周后的 AS 期和胎龄 44 周后的 QS 期均应全部表现为连续图形^[31],但脑损伤新生儿连续性变化可落后于实际胎龄。aEEG 的连续性可分为以下几种情况:

(1)连续图形:aEEG 表现为波谱带宽度不变,下边界振幅波动于 $5\sim 10\text{ }\mu\text{V}$ 之间,上边界振幅波动于 $10\sim 25\text{ }\mu\text{V}$ 之间,EEG 中脑电活动始终保持一定波幅并围绕基线上下波动。

(2)不连续图形:aEEG 表现为波谱带增宽,下边界振幅降低。EEG 中表现为低电压背景下间断出现中-高波幅段的暴发性波群。

需要注意的是,aEEG 从原始脑电整合而来,分析 aEEG 的同时结合同期记录到的 EEG 可以获得更多评价患儿脑功能的信息,尤其是在新生儿惊厥检测时。EEG 导联更广泛,信息更完善,故在对惊厥的诊断和异常波的判断方面,aEEG 不能替代 EEG 的作用。关于 EEG 的具体内容在次不再赘述,可参考相关教材。

四、评估标准

1. 根据脑电背景活动对脑功能进行评价:即根据 aEEG 上、下边界振幅和连续性对新生儿脑电活动进行分类,目前普遍采用 Hellström-Westas 等^[21]提出的五分类方法:

(1)连续正常电压(continuous normal voltage, CNV):在 aEEG 上表现为下边界振幅波动于 5~7 或 10 μV 之间,上边界振幅波动于 10~25 μV ,最高不超过 50 μV 。

(2)不连续正常电压(discontinuous normal voltage, DNV):背景活动不连续,下边界振幅波动,但不超过 5 μV ,上边界振幅大于 10 μV 。

(3)暴发-抑制(burst suppression, BS):不连续的背景活动,下边界振幅波动于 0~2 μV 之间,暴发时的振幅超过 25 μV 。暴发次数 ≥ 100 次/h 称为 BS+, <100 次/h 称为 BS-。

(4)持续低电压(continuous low voltage, CLV):背景活动连续,振幅显著降低,上边界振幅小于 10 μV ,下边界振幅小于 5 μV 或在 5 μV 上下波动。

(5)电静止、平坦波(inactive, flat trace, FT):振幅小于 5 μV 并接近于 0 的极低电压,相当于电静息。

其中(1)为正常,(2)为轻度异常,(3)(4)为中-重度异常,(5)为重度异常。(3)(4)(5)预示患儿预后不良^[19]。

2. 根据睡眠周期进行评价:见前述“基本指标”中关于“睡眠周期”部分。睡眠周期与胎龄有关,胎龄 28 周以前无睡眠周期,后逐渐出现,多数胎龄 32 周的早产儿出现可以识别的睡眠周期,胎龄 37 周睡眠周期成熟,清晰可辨^[22,30,32-33]。新生儿脑损伤时可能出现睡眠周期成熟度落后于胎龄。

3. 根据是否存在惊厥进行评价:见前述“基本指标”中关于“异常放电”部分。仅应用单通道 aEEG (P3-P4 或 C3-C4) 检测惊厥敏感度较低,为 12%~45%。结合同期记录到的原始脑电图形,即采用 aEEG/EEG 模式进行结果判读,诊断惊厥的敏感度可达 76%~100%^[9,34]。双通道 aEEG 可使惊厥检测敏感度提高 18%^[17]。推荐单通道或双通道 aEEG 结合同期 EEG 共同判读用于新生儿惊厥的筛查。在新生儿惊厥患儿中,如 aEEG 表现为背景活动重度异常、暴发间期超过 30 s、aEEG 检测过程中检测到频繁发作(发作>7 次)及睡眠周期消失提示患儿预后不良^[26,35-36]。

4. 正常足月儿 aEEG 特点:背景活动为连续正常电压,即脑电活动连续,下边界振幅 $\geq 5 \mu\text{V}$,上边

界振幅 $\geq 10 \mu\text{V}$,具有成熟的睡眠周期,未监测到异常波。如 aEEG 表现为背景异常或睡眠周期不成熟,提示患儿可能存在脑损伤^[37-39]。

5. 早产儿 aEEG 特点:背景活动、睡眠周期随胎龄变化,随胎龄的增加上边界振幅逐渐减低,下边界振幅逐渐升高,脑电图形逐渐由不连续图形过渡到交替图形最后变为连续图形,睡眠周期也从最早的无法辨认到出现成熟的正弦样变化,见表 1。故可通过 aEEG 图形变化定性评价早产儿的脑发育。

表 1 早产儿振幅整合脑电图图形随胎龄的变化特点^[21]

胎龄(周)	连续性	下边界振幅(μV)	上边界振幅(μV)	睡眠周期
24~25	不连续	2~5	25~50 (~100)	无
26~27	不连续	2~5	25~50 (~100)	无/不成熟
28~29	不连续/交替	2~5	25~30	不成熟
30~31	交替/连续	2~6	20~30	不成熟
32~33	32~37 周连续性变化均为 QS 期交替/连续图形, AS	2~6	20~30	不成熟
34~35		3~7	15~25	不成熟
36~37	期连续图形	4~8	17~35	不成熟/成熟

除定性评价外, Burdjalov 等建立了一套由 aEEG 的连续性、周期性、下边界振幅和带宽组成的评分系统,以定量评价早产儿脑发育成熟度,结果可靠。胎龄 24~25 周、27~28 周、29~30 周、31~32 周、34 周、36~37 周评分总分分别为 2、6、8、10、11、13 分,具体评分系统见表 2^[22,28]。需注意的是,仅应用该评分系统对早产儿脑发育进行评价,不能避免部分数据信息的丢失。

早产儿 aEEG 图形或脑功能评分是否与胎龄相符反应了脑发育成熟度,生后随日龄增长,还需动态监测评分是否与校正胎龄相符。发生脑损伤的早产儿,其分值较相应胎龄或校正胎龄降低^[40-42]。

五、复查指征和时间间隔

1. 脑损伤患儿:首次检查后每 24 h 复查一次,持续至 72 h 或 aEEG 正常,若 72 h 复查 aEEG 仍异常,1 周左右复查,其后每周 1 次,直至 aEEG 正常。惊厥患儿连续监测至惊厥控制(即患儿临床表现和 EEG 检查均未检测到发作)后 24 h^[14]。如持续脑电监测实施困难,可根据各单位具体情况适当调整。

2. 早产儿:建议每 2 周复查一次至校正胎龄 40 周或脑电成熟度同足月儿。

六、报告书写内容

1. 患儿信息:需包括检测当日的校正胎龄(出

表 2 早产儿脑发育成熟度评分系统^[28]

分值	连续性	睡眠-觉醒周期	下边界振幅	带宽与下边界振幅
0	不连续低电压:下边界振幅 $<3\mu\text{V}$,上边界振幅 $15\sim 30\mu\text{V}$	无周期性,无正弦波样变化	重度抑制($<3\mu\text{V}$)	抑制;低跨度($\leq 15\mu\text{V}$)和下边界为低电压($5\mu\text{V}$)
1	不连续高电压:下边界振幅 $3\sim 5\mu\text{V}$,上边界振幅 $20\sim 40\mu\text{V}$	首次出现正弦波样变化	部分抑制($3\sim 5\mu\text{V}$)	很不成熟:高跨度($>20\mu\text{V}$)或中等跨度($15\sim 20\mu\text{V}$)和下边界为低电压($5\mu\text{V}$)
2	连续性 aEEG:下边界振幅 $>5\mu\text{V}$,上边界振幅 $>10\mu\text{V}$	有些周期性,但不明确	无抑制($>5\mu\text{V}$)	不成熟:高跨度($>20\mu\text{V}$)和下边界为高电压($>5\mu\text{V}$)
3	-	明确周期性,但中断	-	成熟中:中等跨度($15\sim 20\mu\text{V}$)和下边界为高电压($>5\mu\text{V}$)
4	-	明确周期性,无中断	-	成熟:低跨度($<15\mu\text{V}$)和下边界为高电压($>5\mu\text{V}$)
5	-	规则、成熟周期:清晰明显的正弦波样变化,周期时程 $\geq 20\text{min}$	-	-

注:“-”表示该项目在此分数段无评分标准,无此分值

生胎龄+生后日龄)、使用药物(主要是镇静剂、抗癫痫药物)、低温治疗的程度及持续时间、可能影响脑损伤和脑发育的高危因素,如早产儿、围产期缺氧窒息史、颅内出血、低血糖、严重高胆红素血症等。

2. 脑电图形及图形描述:附完整的 aEEG 图形,在图形中标注睡眠周期,同时对特殊事件进行标记。同期特征性的 EEG 图形也应附在报告中,如暴发-抑制、惊厥发作、不连续图形等。图形描述需包括 aEEG 背景活动(上、下边界的振幅和图形连续性)、睡眠周期及有无惊厥发作。如检测到惊厥发作,需描述发作的开始、持续和结束时间,如存在惊厥持续状态,需记录开始和结束的时间。

3. 结论:根据前述 aEEG 背景五分类法将脑电活动分为正常、轻度、中度或重度异常;早产儿需结合胎龄特点进行结果解释;如有惊厥要单独诊断。

本共识以目前国内外 aEEG 在新生儿脑发育及脑损伤评价领域中的临床研究为基础,为 aEEG 的规范化应用做出推荐,以供临床参考。还有待更多大规模、多中心随机对照临床研究为 aEEG 在新生儿脑功能监护中的应用提供更高级别的临床证据,并在今后的临床实践中进一步更新和完善此共识。

(刘黎黎 侯新琳 执笔)

参与本共识制定的专家(按单位及姓氏拼音排列):北京大学第三医院(刘云峰);北京大学第一医院(侯新琳、刘黎黎、汤泽中、杨志仙、周丛乐);北京市朝阳区妇幼保健院(刘敬);复旦大学附属儿科医院(程国强、王来栓);广州市妇女儿童医疗中心(卢伟能);南方医科大学南方医院(黄为民);上海市儿童医院(裘刚);苏州大学附属儿童医院(冯星);浙江大学医学院附属儿童医院(陈理华、罗芳)

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参 考 文 献

- [1] Horbar JD, Carpenter JH, Badger GJ, et al. Mortality and

neonatal morbidity among infants 501 to 1 500 grams from 2000 to 2009[J]. Pediatrics, 2012, 129(6): 1019-1026. DOI: 10.1542/peds.2011-3028.

- [2] Hintz SR, Kendrick DE, Wilson-Costello DE, et al. Early-childhood neurodevelopmental outcomes are not improving for infants born at <25 weeks' gestational age[J]. Pediatrics, 2011, 127(1): 62-70. DOI: 10.1542/peds.2010-1150.
- [3] Synnes AR, Anson S, Arksteijn A, et al. School entry age outcomes for infants with birth weight ≤ 800 grams[J]. J Pediatr, 2010, 157(6): 989-994.e1. DOI: 10.1016/j.jpeds.2010.06.016.
- [4] Claas MJ, Bruinse HW, Koopman C, et al. Two-year neurodevelopmental outcome of preterm born children ≤ 750 g at birth[J]. Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed, 2011, 96(3): F169-177. DOI: 10.1136/adc.2009.174433.
- [5] Moore T, Hennessy EM, Myles J, et al. Neurological and developmental outcome in extremely preterm children born in England in 1995 and 2006: the EPICure studies[J]. BMJ, 2012, 345: e7961. DOI: 10.1136/bmj. e7961.
- [6] 新生儿神经重症监护单元建设专家共识工作组, 中华医学会儿科学分会新生儿学组. 新生儿神经重症监护单元建设专家共识[J]. 中国循证儿科杂志, 2018, 13(4): 241-247. DOI: 10.3969/j.issn.1673-5501.2018.04.001.
- [7] 俞秀雅, 程国强, 周文浩. 新生儿神经重症监护单元如何应用振幅整合脑电图[J]. 中国循证儿科杂志, 2015, 10(2): 119-125. DOI: 10.3969/j.issn.1673-5501.2015.02.008.
- [8] Toet MC, van der Meij W, de Vries LS, et al. Comparison between simultaneously recorded amplitude integrated electroencephalogram (cerebral function monitor) and standard electroencephalogram in neonates[J]. Pediatrics, 2002, 109(5): 772-779.
- [9] Shellhaas RA, Soaita AI, Clancy RR. Sensitivity of amplitude-integrated electroencephalography for neonatal seizure detection[J]. Pediatrics, 2007, 120(4): 770-777. DOI: 10.1542/peds.2007-0514.
- [10] 张丹丹, 丁海艳, 刘云峰, 等. 电极位置对振幅整合脑电图的影响[J]. 中国生物医学工程学报, 2009, 28(2): 317-320. DOI: 10.3969/j.issn.0258-8021.2009.02.029.
- [11] Hellström-Westas L. Atlas of amplitude-integrated EEGs in the newborn[M]. Informa Healthcare, 2008.
- [12] Shellhaas RA, Chang T, Tsuchida T, et al. The American clinical neurophysiology society's guideline on continuous electroencephalography monitoring in neonates[J]. J Clin Neurophysiol, 2011, 28(6): 611-617. DOI: 10.1097 / WNP.0b013e31823e96d7.

- [13] al Nageeb N, Edwards AD, Cowan FM, et al. Assessment of neonatal encephalopathy by amplitude-integrated electroencephalography[J]. *Pediatrics*, 1999, 103 (6 Pt 1): 1263-1271.
- [14] Lavery S, Shah DK, Hunt RW, et al. Single versus bihemispheric amplitude-integrated electroencephalography in relation to cerebral injury and outcome in the term encephalopathic infant[J]. *J Paediatr Child Health*, 2008, 44(5): 285-290. DOI: 10.1111/j.1440-1754.2007.01270.x.
- [15] Toet MC, Lemmers PM. Brain monitoring in neonates[J]. *Early Hum Dev*, 2009, 85(2): 77-84. DOI: 10.1016/j.earlhumdev.2008.11.007.
- [16] Shellhaas RA, Clancy RR. Characterization of neonatal seizures by conventional EEG and single-channel EEG[J]. *Clin Neurophysiol*, 2007, 118(10): 2156-2161. DOI: 10.1016/j.clinph.2007.06.061.
- [17] van Rooij LG, de Vries LS, van Huffelen AC, et al. Additional value of two-channel amplitude integrated EEG recording in full-term infants with unilateral brain injury[J]. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*, 2010, 95(3): F160-168. DOI: 10.1136/adc.2008.156711.
- [18] Lawrence R, Mathur A, Nguyen The Tich S, et al. A pilot study of continuous limited-channel aEEG in term infants with encephalopathy[J]. *J Pediatr*, 2009, 154(6): 835-841.e1. DOI: 10.1016/j.jpeds.2009.01.002.
- [19] 全国新生儿窒息多器官损害临床诊断多中心研究协作组. 新生儿窒息多器官损害的临床诊断标准. *中华围产医学杂志*, 2016, 19(4): 241-242. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1007-9408.2016.04.001.
- [20] 宋小燕, 陈红武, 廖卫华, 等. 持续脑功能监测评估亚低温治疗缺氧缺血性脑病新生儿预后的临床价值[J]. *中华新生儿科杂志(中英文)*, 2018, 33(1): 7-11. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2096-2932.2018.01.003.
- [21] Hellström-Westas L, Rosén I, de Vries LS, et al. Amplitude-integrated EEG classification and interpretation in preterm and term infants[J]. *Neoreviews*, 2006, 7(2): e72-e87.
- [22] 施亿赞, 程国强, 邵肖梅, 等. 正常早产儿振幅整合脑电图特点的研究[J]. *中华儿科杂志*, 2011, 49(9): 648-654. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0578-1310.2011.09.003.
- [23] Zhang D, Liu Y, Hou X, et al. Reference values for amplitude-integrated EEGs in infants from preterm to 3.5 months of age[J]. *Pediatrics*, 2011, 127(5): e1280-1287. DOI: 10.1542/peds.2010-2833.
- [24] Hellström-Westas L. Amplitude-integrated electroencephalography for seizure detection in newborn infants[J]. *Semin Fetal Neonatal Med*, 2018, 23(3): 175-182. DOI: 10.1016/j.siny.2018.02.003.
- [25] Frenkel N, Friger M, Meledin I, et al. Neonatal seizure recognition—comparative study of continuous-amplitude integrated EEG versus short conventional EEG recordings[J]. *Clin Neurophysiol*, 2010, 122(6): 1091-1097. DOI: 10.1016/j.clinph.2010.09.028.
- [26] Zhang L, Zhou YX, Chang LW, et al. Diagnostic value of amplitude-integrated electroencephalogram in neonatal seizures[J]. *Neurosci Bull*, 2011, 27(4): 251-257. DOI: 10.1007/s12264-011-1413-x.
- [27] Mastrangelo M, Fiocchi I, Fontana P, et al. Acute neonatal encephalopathy and seizures recurrence: a combined aEEG/EEG study[J]. *Seizure*, 2013, 22(9): 703-707. DOI: 10.1016/j.seizure.2013.05.006.
- [28] Burdjalov VF, Baumgart S, Spitzer AR. Cerebral function monitoring: a new scoring system for the evaluation of brain maturation in neonates[J]. *Pediatrics*, 2003, 112(4): 855-861.
- [29] Wikström S, Pupp IH, Rosén I, et al. Early single-channel aEEG/EEG predicts outcome in very preterm infants[J]. *Acta Paediatr*, 2012, 101(7): 719-726. DOI: 10.1111/j.1651-2227.2012.02677.x.
- [30] 刘晓燕, 临床脑电图学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2017: 541-593.
- [31] 徐素华. 早产儿惊厥[J]. *国际儿科学杂志*, 2018, 45(9): 666-670. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4408.2018.09.004.
- [32] 周丛乐. 新生儿振幅整合脑电图[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2018: 39-51.
- [33] 张喆, 卢伟能, 李薇, 等. 早产儿振幅整合脑电图的背景活动[J]. *中华围产医学杂志*, 2011, 14(7): 436-438. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1007-9408.2011.07.012.
- [34] 侯新琳, 张丹丹, 刘云峰, 等. 振幅整合脑电图对新生儿惊厥的评价意义[J]. *中华围产医学杂志*, 2011, 14(2): 102-105. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1007-9408.2011.02.011.
- [35] Rakshasbhuvankar A, Paul S, Nagarajan L, et al. Amplitude-integrated EEG for detection of neonatal seizures: a systematic review[J]. *Seizure*, 2015, 33: 90-98. DOI: 10.1016/j.seizure.2015.09.014.
- [36] Thoresen M, Hellström-Westas L, Liu X, et al. Effect of hypothermia on amplitude-integrated electroencephalogram in infants with asphyxia[J]. *Pediatrics*, 2010, 126(1): e131-e139.
- [37] Toso PA, González AJ, Pérez ME, et al. Clinical utility of early amplitude integrated EEG in monitoring term newborns at risk of neurological injury[J]. *J Pediatr (Rio J)*, 2014, 90(2): 143-148. DOI: 10.1016/j.jpeds.2013.07.004.
- [38] Massaro AN, Murthy K, Zaniletti I, et al. Intercenter cost variation for perinatal hypoxic-ischemic encephalopathy in the era of therapeutic hypothermia[J]. *J Pediatr*, 2016, 173: 76-83. e1. DOI: 10.1016/j.jpeds.2016.02.033.
- [39] 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. DOI: 10.1038/jp.2017.14.
- [40] Bruns N, Dransfeld F, Hüning B, et al. Comparison of two common aEEG classifications for the prediction of neurodevelopmental outcome in preterm infants[J]. *Eur J Pediatr*, 2017, 176(2): 163-171. DOI: 10.1007/s00431-016-2816-5.
- [41] LVS M, MIB W, Bragatti JA, et al. Early amplitude-integrated electroencephalogram as a predictor of brain injury in newborns with very low birth weight: a cohort study[J]. *J Child Neurol*, 2018, 33(10): 659-663. DOI: 10.1177/0883073818778468.
- [42] Fogtman EP, Plomgaard AM, Greisen G, et al. Prognostic accuracy of electroencephalograms in preterm infants: a systematic review[J]. *Pediatrics*, 2017, 139(2): DOI: 10.1542/peds.2016-1951.

(收稿日期: 2018-12-04)

(本文编辑: 刘卫华)