

术后谵妄患者围术期脑电图特点的临床研究进展

苏龙泽¹, 张二飞^{2*}

¹延安大学延安医学院, 陕西 延安

²延安大学附属医院麻醉与围术期医学科, 陕西 延安

收稿日期: 2025年8月9日; 录用日期: 2025年9月2日; 发布日期: 2025年9月11日

摘要

术后谵妄作为手术患者常见的术后并发症, 因可导致患者康复延迟、认知功能受损、住院费用攀升及死亡率升高等一系列不良后果, 已成为临床医师重点关注的问题。脑电图作为一种兼具客观性与实用性的术中监测技术, 能够通过量化数据直观反映特定患者群体的生理特征。近年来, 围绕术后谵妄患者围术期脑电图特点的临床研究取得了快速发展, 相关成果已成为医学领域的研究热点。本综述以该领域临床研究进展为核心, 旨在系统梳理现有研究成果、深入分析当前面临的挑战, 并对未来研究方向进行展望。研究通过系统检索中国知网、PubMed等权威数据库, 筛选出近年发表的高质量相关文献, 经深入分析与归纳后, 重点综述了不同年龄、不同手术类型及围术期不同时间段患者的脑电图特征。研究结果显示, 尽管脑电图监测在探索术后谵妄患者围术期特征方面已取得显著进展, 但在以下方面仍存在挑战: 一是与其他生物学标志物的关联性研究不足; 二是深度机器学习算法在数据分析中的应用有待拓展; 三是大规模多中心研究的开展仍需推进。

关键词

术后谵妄, 脑电图, 全身麻醉

Clinical Research Progress on the Characteristics of Perioperative Electroencephalogram in Patients with Postoperative Delirium

Longze Su¹, Erfei Zhang^{2*}

¹Yan'an Medical College, Yan'an University, Yan'an Shaanxi

*通讯作者。

文章引用: 苏龙泽, 张二飞. 术后谵妄患者围术期脑电图特点的临床研究进展[J]. 临床医学进展, 2025, 15(9): 556-563.
DOI: 10.12677/acm.2025.1592526

²Department of Anesthesiology and Perioperative Medicine, Affiliated Hospital of Yan'an University, Yan'an Shaanxi

Received: Aug. 9th, 2025; accepted: Sep. 2nd, 2025; published: Sep. 11th, 2025

Abstract

Postoperative delirium, as a common postoperative complication for surgical patients, has become a key concern for clinicians due to a series of adverse consequences such as delayed recovery, impaired cognitive function, increased hospitalization costs and elevated mortality. Electroencephalogram (EEG), as an intraoperative monitoring technique that combines objectivity and practicality, can visually reflect the physiological characteristics of specific patient groups through quantitative data. In recent years, clinical research on the characteristics of perioperative electroencephalogram (EEG) in patients with postoperative delirium has developed rapidly, and the related achievements have become a research hotspot in the medical field. This review takes the clinical research progress in this field as its core, aiming to systematically sort out the existing research achievements, deeply analyze the current challenges, and look forward to the future research directions. The study conducted a systematic search of authoritative databases such as CNKI and PubMed, screened out high-quality relevant literature published in recent years, and after in-depth analysis and induction, focused on reviewing the electroencephalogram characteristics of patients of different ages, different surgical types, and different perioperative time periods. The research results show that although electroencephalogram (EEG) monitoring has made significant progress in exploring the perioperative characteristics of patients with postoperative delirium, there are still challenges in the following aspects: First, there is insufficient research on the association with other biological markers; Second, the application of deep machine learning algorithms in data analysis needs to be expanded. Third, the development of large-scale multi-center research still needs to be advanced.

Keywords

Postoperative Delirium, Electroencephalogram, General Anesthesia

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 研究背景

术后谵妄(POD)是临床上常见的以急性注意力和意识障碍为特征的疾病[1]。术后谵妄通常发生于术后早期,病程多变,基本临床特征为意识、注意、定向、认知和知觉障碍,是老年患者术后最常见的并发症之一,危害较大。在65岁以上患者的大手术中,约15%~20%的患者会出现谵妄[2]。术后谵妄可导致手术并发症增加,住院时间延长,再入院风险增加,住院费用增加,死亡率增加[3],这些都可导致患者短期和长期预后不良。因此,早期诊断和治疗术后谵妄对改善患者预后至关重要。

可能诱发术后谵妄的因素有很多,如术中引起的炎症[4]、术中苯二氮卓类药物的使用、术中低血压、缺氧、全身麻醉等[5]。此外,术后谵妄也与患者的年龄和手术类型有关[6]。POD通过多种机制发生,包括神经炎症和神经元损伤,手术应激反应促进促炎细胞因子的释放并改变神经递质浓度,生物节律改变,脑代谢改变,神经网络连通性受损[7]等。

2017年, 欧洲麻醉学学会(ESA)发布了术后谵妄指南, 指出所有患者无论年龄大小, 都应监测麻醉深度, 以避免麻醉过度[8]。2018年, 世界卫生组织和世界麻醉医师学会联合会在《麻醉安全操作国际标准》中建议, “虽然没有普遍推荐或使用电子设备来测量脑功能(处理过的脑电图、麻醉深度监测仪), 但建议使用电子设备, 特别是当有全身麻醉或术后谵妄的风险时。” [9]

脑电图(EEG)于1875年由英国医生卡顿(Caton)首次提出, 他在动物头骨上检测到不同方向的电流。伯杰后来将这项技术应用于人类, 并获得了人类脑电图[10]。目前的脑电图采集设备通过放置在头皮表面的电极获取脑电图信号。脑电图信号经过数字化、放大、滤波后, 可以与其他电信号(如心电、眼电)区分开来[11]。但是原始脑电信号过于复杂, 复杂的脑电信号波形可以通过傅里叶变换分解成单个不同幅度或频率的正弦波。这些波的频域是不同频率分量的波形的相对比例, 而时域是这些波随时间变化的模式。大多数临床医生没有足够的时间和技能来分析原始脑电图的意义, 因此研究人员创造了基于脑电图的麻醉深度监测仪, 如BIS监测仪。然而, 原始脑电图数据的重要性不容忽视。脑电图采集设备有3导联、12导联、32导联、64导联等。导联数量不同的设备具有不同的优点。例如, 前额的3导联脑电图可以聚焦额叶的EEG变化, 额叶是一个非常重要的大脑区域, 因为额叶在认知和情绪中起着重要的作用[12]。而64导联脑电图可以观察全脑的脑电图变化, 更为全面。另外, 各种手术方式和麻醉药物[13]对脑电图有不同的影响, 探讨这些影响的实际意义可以帮助我们更好地利用这一工具。本文旨在综述术后谵妄患者围术期的脑电图特点, 为术后谵妄的早期诊断和治疗提供参考。

2. 国内外研究现状

2.1. 成人术后谵妄患者的脑电图特征

众所周知, 当人类在清醒闭眼时, 脑电图中的 α 波占主导地位, 而当眼睛睁开时, α 波的强度明显降低。Leah Acker [14]等人的一项研究观察了60岁以上的非心脏和非神经外科患者, 他们在手术前进行了脑电图监测, 发现术前睁眼时 α 波衰减减少与术后注意力不集中有关, 而术后注意力不集中是术后谵妄[15]的主要特征之一。

目前, 临床医生广泛使用混淆评估法(Confusion Assessment Method, CAM) [16]来诊断术后谵妄。该方法通过四个维度进行综合评价。然而, 越来越多的证据指出, 有一部分患者不符合这些CAM标准但在特定领域仍存在CAM的改变, 如注意力不集中、意识水平改变或思维混乱, 这种情况被称为亚综合征性谵妄(PSSD) [17]。Rodrigo Gutierrez [1]等人的研究观察择期腹部大手术老年患者术中脑电图数据, 发现PD/PSSD患者术中绝对 α 功率和相对 α 功率均低于对照组。在ROC分析中, 相对 α 功率对PD/PSSD患者有较好的识别能力。

李军[18]等分析了髌关节或膝关节置换术后苏醒期谵妄(ED)患者的前额叶脑电图特征, 发现: 非ED患者麻醉苏醒期间 θ 波能量、 α 波能量和 α 峰值功率明显下降, 而ED患者麻醉苏醒期间 α 波能量和 α 峰值功率变化不明显, 样本熵和排列熵同时增加。

T. Numan [19]等在术前1天和术后3天对接受大手术的老年患者进行5分钟的单通道脑电图记录和闭眼时的认知功能评估, 结果显示谵妄组和可能谵妄组的相对 δ 功率(1~4 Hz)明显高于非谵妄组。在ROC分析中, 频率为1~6 Hz的EEG相对功率曲线下面积明显更高, 他们认为这种客观的检测方法有望成为术后谵妄的常规连续性检测方法。

2.2. 儿童术后谵妄患者的脑电图特征

术后谵妄也可发生在儿童身上, 而苏醒期谵妄(ED)是一个严重的问题[20]。导致儿童苏醒期谵妄的因素很多, 如使用挥发性麻醉剂七氟醚等[21]。Jessica C [22]等人的研究将麻醉后平静醒来的儿童与发生了

ED 的儿童脑电图进行了比较, 发现在七氟醚麻醉结束后, ED 和非 ED 儿童的脑电图均表现为 δ 频率下降, 额叶 α 活动占优势, 随后进入不确定状态(低电压、快频率活动延长状态)。在 ED 患儿中, 谵妄发生在出现正常清醒或睡眠模式之前的不确定状态, 而在非 ED 患儿中, 脑电图从不确定状态发展到可分类的睡眠或困倦状态, 然后平静地醒来。Jonghae Kim [23] 等也研究了七氟醚全麻患儿苏醒期谵妄期间的额叶脑电图活动, 发现 ED 组 δ 波相对功率高于非 ED 组, 而 ED 组 α 波和 β 波相对功率低于非 ED 组。

2.3. 利用脑电图指导麻醉的意义

随着科学技术和临床观念的进步, 麻醉医师越来越追求精准麻醉, 此外, 大量的前沿研究和国际会议也证实了过浅或过深麻醉对患者的有害后果[24]。因此, 使用脑电图监测来帮助麻醉医师测定麻醉深度可能是对手术患者一种有益的方法。

一项系统回顾和荟萃分析包含了 9 项研究, 包括 4648 名参与者[7], 旨在评估术中使用处理脑电图(pEEG)引导全麻对 POD 发病率的影响, 结果显示, 在 pEEG 引导全麻组或较轻 pEEG 靶组, POD 发病率为 19.0%。常规护理组和较深 pEEG 靶组 POD 发生率为 23.3%, 两组间存在显著异质性, 表明 pEEG 定向麻醉下 POD 发生率降低。

然而, 在另一项涉及 1140 例患者的多中心随机临床试验[25]中, 研究人员试图探讨利用脑电图引导麻醉来最小化脑电图抑制是否可以降低老年心脏手术患者术后谵妄的发生率, 结果显示脑电图引导麻醉组有 18.15% 的患者出现术后谵妄。常规护理组患者术后谵妄发生率为 18.10%, 两组差异无统计学意义, 这一结果提示不支持采用脑电图引导麻醉来预防老年心脏手术患者术后谵妄。

造成上述两项研究结果存在差异的原因可能是多方面的, 具体可从以下几点分析: 首先, 两项研究的目标人群所接受的手术类型存在不同。心脏手术患者[25]往往具有更高的基础风险, 且术中创伤及炎症反应的强度更大, 这在一定程度上降低了通过脑电图引导麻醉来减少术后谵妄发生率的可行性。其次, 这项系统回顾与荟萃分析[7]涵盖了 9 项研究, 而评估术后谵妄的工具并非唯一。不同的评估方法在指标设定、操作标准等方面可能存在差异, 这也可能导致最终得出的术后谵妄发生率有所不同。此外, 判定麻醉深度的方式不一样也是潜在原因之一, 前者采用的是 pEEG 或 pEEG 引导的目标 BIS [7], 后者则以术中脑电图抑制时间为判定依据[25], 这种评估方式的差异可能直接影响研究结果的一致性。

2.4. 不同手术类型术后谵妄患者的脑电图特点

一项针对脊柱或前列腺手术患者的研究将受试者分为健壮组和虚弱组。术中和术前分别采集脑电图数据。结果表明, 清醒时虚弱组脑电图 0~30 HZ 的功率明显低于健壮组。术中脑电图谱参数比较显示虚弱组 α 峰值频率明显降低。 δ 、 θ 、 α 、 β 的峰值功率也低于健壮组[26]。脊柱外科手术涉及脊柱及其周围的神经和血管等重要结构, 外科手术可能对脊髓、神经根等造成一定的刺激或损伤, 影响神经传导和脑血供, 从而引发脑功能改变, 导致术后谵妄。

心脏是人体血液循环的核心器官。在外科手术过程中, 无论是使用体外循环还是对心脏本身进行手术, 都会对全身的血液循环产生重大影响, 从而导致大脑的血液和氧供发生变化。大脑对血液和氧气的供应极为敏感。这些变化容易引起脑功能异常, 从而增加术后谵妄的风险。此外, 心脏手术的麻醉深度需要精确控制, 麻醉药物的选择、剂量的调整和麻醉深度的控制都更加精细和个性化。不同的麻醉方案对大脑的电生理活动有不同的影响。通过术中脑电图监测, 可以实时了解麻醉药物对大脑的影响, 为优化心脏手术麻醉管理, 减少麻醉因素引起的术后谵妄提供依据。虽然一项评估脑电图引导麻醉是否能降低心脏手术后谵妄发生率的研究显示, 与常规护理组相比, 脑电图引导下给药以减少脑电图抑制并没有降低术后谵妄的发生率[25], 但监测心脏手术患者术中脑电图仍然非常重要。若能通过术中脑电图监测及

早预防和干预术后谵妄, 有利于保护患者脑功能, 提高患者长期认知能力和生活质量, 降低远期死亡率。

2.5. 术后谵妄患者在不同时期的脑电图特征

术前脑电图的某些特征可能与术后谵妄的发生密切相关。通过分析术前脑电图的频率、幅度、节律等指标, 可以识别出术后谵妄风险较高的患者。例如, 术前睁眼时 α 波衰减幅度降低提示与术后谵妄[14]相关。此外, 术前脑电图显示低 MDF (一种静息态脑电图生物标志物), 内源性 α 振荡(涉及空闲皮质状态)与老年患者 POD 相关[27]。对于术前脑电图提示异常的患者, 医生可以进一步加强对其认知功能、精神状态等方面的评估, 采取更有针对性的预防措施, 例如提前进行认知训练, 或调整围手术期用药方案, 避免使用可能诱发谵妄的药物, 从而降低术后谵妄的风险。

还有一些研究关注术后谵妄患者术中脑电图的特征, 如绝对 α 功率和相对 α 功率降低[1], α 峰值频率、 α 峰值功率、 δ 功率、 θ 功率、 α 功率和 β 功率降低[26]。术中脑电图实时监测可以捕捉到脑电活动的细微变化, 提前发现与术后谵妄相关的异常信号。当脑电图出现这些特征时, 说明大脑可能处于应激、缺血、缺氧或代谢紊乱状态。此类患者发生术后谵妄的风险明显增加。通过早期识别这些脑电图异常, 临床医师可以及时进行干预, 如调整麻醉深度、改善脑灌注等, 从而降低术后谵妄的发生率。

从术后的脑电图特点来看, 髋、膝关节置换术后麻醉苏醒期 α 波功率和 α 峰值功率变化不明显, 样本熵和排列熵同时增加[18], 这可能是老年患者术后苏醒期谵妄的特征。此外, 全身麻醉后苏醒期的不确定状态(低电压、长时间快频率活动状态)可能是患儿术后苏醒期谵妄的高危状态[22]。同时, 苏醒期额叶 δ 波相对功率较高, α 波和 β 波相对功率较低也可能是七氟醚全身麻醉患儿发生苏醒期谵妄的指征[23]。术后谵妄的症状有时不典型, 容易与其他术后并发症混淆而延误诊断。脑电图可以实时、客观地反映脑电活动的变化。当患者术后脑电图发生具体变化时, 即使患者尚未表现出意识障碍、精神错乱等典型谵妄的明显症状, 也可警示临床医师警惕术后谵妄的发生, 从而及时采取干预措施, 抓住治疗的关键时机, 改善患者预后。

3. 现有研究的局限性及未来研究的方向

现有的多数研究受限于各种原因, 样本量常小于 100 例[1] [14] [18] [26], 且大多为单中心研究, 样本量较小会导致统计效能受到限制, 难以发现术后谵妄病人脑电图特点的细微变化, 进行亚组分析也有难度, 未来的研究应该扩大样本量, 在前瞻性队列研究的基础上开展随机对照研究及多中心研究, 使研究结果更具有说服力。

现有研究中研究对象的异质性高, 纳入标准及排除标准差别大, 并且部分研究仅聚焦于老年患者[14] [19]、儿童患者[22] [23]或者某一手术类别(如心脏手术[25]、骨科手术[18])的患者, 缺乏覆盖普遍人群的研究, 结果推广性受限, 未来的研究可以对研究对象的选择进行优化, 将研究结果推广到普遍人群。

根据术后谵妄的临床表现, 可将其分为不同的类型[28]: 1) 活动亢进型: 表现为高度警觉状态、躁动不安、对刺激过度敏感、可有幻觉或妄想, 一般易于发现并能及时诊断, 约占所有类型的 25%; 2) 活动抑制型: 表现为嗜睡、活动减少, 在老年人中较常见, 因症状不易被察觉, 常被漏诊, 预后更差, 约占所有类型的 50%; 3) 混合型: 包含上述两种类型的临床特点, 约占所有类型的 25%。现有的关于术后谵妄患者脑电图特点的研究仅揭示了术后谵妄病人的特点, 未对不同类型病人的特点进行细分, 并且依赖 CAM 量表或 CAM-ICU 量表来进行诊断, 主观性强, 评估时机与频率会影响诊断, 尤其容易漏诊活动抑制型谵妄, 未来的研究应该对不同类型术后谵妄病人的脑电图特点进行细分, 可以提高术后谵妄的诊断率。

不同地区、不同医院采集脑电图数据的设备是多种多样的, 部分研究[23] [26] [27]仅采集并分析了前

额叶的脑电图数据(对应 2 通道或 3 通道脑电图), 甚至有的研究[19]仅分析了单通道的脑电图数据, 这些研究虽然有可靠的结论, 但是与采集了 32 通道脑电图数据[14]以及 64 通道脑电图数据[22]的研究相比, 少通道的脑电图数据仅覆盖了局部脑区, 定位精度差, 并且无法分析脑区协同作用, 同时, 如有一个通道的脑电图数据中干扰与伪迹较多就会导致整个数据质量变差, 而多通道脑电图覆盖全脑皮层, 可精确溯源, 支持全脑功能连接和网络动态研究, 抗伪迹能力也较强, 可通过多通道算法剔除伪迹或者利用邻近通道的信号差异识别并剔除伪迹(如利用 ICA 去除眼电成分), 未来的研究应多开展多通道脑电图的分析, 突破单一脑区的限制, 探索术后谵妄病人不同脑区之间的协同作用机制。

部分研究对于谵妄患者的随访时间过短, 例如仅在 PACU 中进行评估[18][22][23], 或者术后随访时间从三天到五天[1][19]不等, 一部分研究对患者随访直至出院[14], 随访时间短可能导致研究结果仅局限于术后短期内, 无法探讨术后谵妄病人脑电图特点与远期认知功能预后之间的相关性, 未来的研究可以对发生了术后谵妄的患者进行 ≥ 1 年的随访, 通过分析急性期脑电图变化情况与远期认知功能的相关性来探索脑电图作为认知功能预后生物标志物的潜力。

此外, 多数研究依赖人工判读 EEG, 耗时且易受主观偏差影响, 并且多数研究仅采集脑电图数据, 缺乏将脑电图指标与生物标志物(如炎症因子、脑脊液/血液生物学标志物)或影像学(如 fMRI)的联合分析, 少有研究尝试机器学习分析及构建多模态预测模型, 未来研究应聚焦于脑电图自动化分析与多模态整合。一方面, 引进人工智能技术利用深度学习算法对脑电图进行自动化特征提取, 结合 CAM 量表[16]等诊断金标准, 通过多中心队列构建并验证高敏感性和特异性的预测模型, 解决人工判读主观偏差大、模型泛化能力不足的问题; 另一方面, 同步采集脑电图、fMRI、脑脊液/血液生物标志物(如 IL-6、S100B 蛋白、tau 蛋白), 分析脑电活动与神经炎症、脑代谢网络的交互作用, 探索脑电图特征与谵妄预后的关联, 构建多模态预测模型, 明确导致术后谵妄的病理生理学基础。

4. 结论

综上所述, 随着医疗技术与科技的持续进步, 脑电图监测凭借其直观、客观、科学的显著优势, 正逐步成为手术患者常规监测体系中的重要组成部分。术后谵妄作为一种危害显著且临床常见的术后并发症, 深入探究此类患者的脑电图特征具有重要的临床价值。目前, 已有研究从多个维度揭示了术后谵妄患者的脑电图特点, 但该领域的研究前景仍十分广阔。未来可通过引入人工智能技术, 依托机器学习算法开展多中心、大规模的临床研究, 进一步阐明术后谵妄发生的病理生理机制; 同时, 构建多模态预测模型以实现术后谵妄的早期识别乃至精准预测, 从而有效降低此类并发症的危害, 助力手术患者实现快速、平稳的康复。

参考文献

- [1] Gutierrez, R., Egaña, J.I., Saez, I., Reyes, F., Briceño, C., Venegas, M., *et al.* (2019) Intraoperative Low Alpha Power in the Electroencephalogram Is Associated with Postoperative Subsyndromal Delirium. *Frontiers in Systems Neuroscience*, **13**, Article No. 56. <https://doi.org/10.3389/fnsys.2019.00056>
- [2] Trzepacz, P.T. (1996) Delirium. Advances in Diagnosis, Pathophysiology, and Treatment. *Psychiatric Clinics of North America*, **19**, 429-448. [https://doi.org/10.1016/s0193-953x\(05\)70299-9](https://doi.org/10.1016/s0193-953x(05)70299-9)
- [3] Marcantonio, E.R. (2012) Postoperative Delirium: A 76-Year-Old Woman with Delirium Following Surgery. *JAMA*, **308**, 73-81. <https://doi.org/10.1001/jama.2012.6857>
- [4] Aldecoa, C., Bettelli, G., Bilotta, F., Sanders, R.D., Aceto, P., Audisio, R., *et al.* (2023) Update of the European Society of Anaesthesiology and Intensive Care Medicine Evidence-Based and Consensus-Based Guideline on Postoperative Delirium in Adult Patients. *European Journal of Anaesthesiology*, **41**, 81-108. <https://doi.org/10.1097/eja.0000000000001876>
- [5] Rump, K. and Adamzik, M. (2022) Epigenetic Mechanisms of Postoperative Cognitive Impairment Induced by Anesthesia and Neuroinflammation. *Cells*, **11**, Article No. 2954. <https://doi.org/10.3390/cells11192954>

- [6] Evered, L.A., Chan, M.T.V., Han, R., Chu, M.H.M., Cheng, B.P., Scott, D.A., *et al.* (2021) Anaesthetic Depth and Delirium after Major Surgery: A Randomised Clinical Trial. *British Journal of Anaesthesia*, **127**, 704-712. <https://doi.org/10.1016/j.bja.2021.07.021>
- [7] Sumner, M., Deng, C., Evered, L., Frampton, C., Leslie, K., Short, T., *et al.* (2023) Processed Electroencephalography-Guided General Anaesthesia to Reduce Postoperative Delirium: A Systematic Review and Meta-Analysis. *British Journal of Anaesthesia*, **130**, e243-e253. <https://doi.org/10.1016/j.bja.2022.01.006>
- [8] Aldecoa, C., Bettelli, G., Bilotta, F., Sanders, R.D., Audisio, R., Borozdina, A., *et al.* (2017) European Society of Anaesthesiology Evidence-Based and Consensus-Based Guideline on Postoperative Delirium. *European Journal of Anaesthesiology*, **34**, 192-214. <https://doi.org/10.1097/eja.0000000000000594>
- [9] Gelb, A.W., Morriss, W.W., Johnson, W. and Merry, A.F. (2018) World Health Organization-World Federation of Societies of Anaesthesiologists (WHO-WFSA) International Standards for a Safe Practice of Anesthesia. *Anesthesia & Analgesia*, **126**, 2047-2055. <https://doi.org/10.1213/ane.00000000000002927>
- [10] Hajat, Z., Ahmad, N. and Andrzejowski, J. (2017) The Role and Limitations of EEG-based Depth of Anaesthesia Monitoring in Theatres and Intensive Care. *Anaesthesia*, **72**, 38-47. <https://doi.org/10.1111/anae.13739>
- [11] Rampil, I.J. (1998) A Primer for EEG Signal Processing in Anesthesia. *Anesthesiology*, **89**, 980-1002. <https://doi.org/10.1097/00000542-199810000-00023>
- [12] Henri-Bhargava, A., Stuss, D.T. and Freedman, M. (2018) Clinical Assessment of Prefrontal Lobe Functions. *Continuum*, **24**, 704-726. <https://doi.org/10.1212/con.0000000000000609>
- [13] Gibbs, A., Gibbs, E.L. and Lennox, W.G. (1937) Effect on the Electroencephalogram of Certain Drugs which Influence Nervous Activity. *Journal of the American Medical Association: Internal Medicine*, **60**, 154-166.
- [14] Acker, L., Wong, M.K., Wright, M.C., Reese, M., Giattino, C.M., Roberts, K.C., *et al.* (2024) Preoperative Electroencephalographic Alpha-Power Changes with Eyes Opening Are Associated with Postoperative Attention Impairment and Inattention-Related Delirium Severity. *British Journal of Anaesthesia*, **132**, 154-163. <https://doi.org/10.1016/j.bja.2023.10.037>
- [15] Meagher, D., Adamis, D., Trzepacz, P. and Leonard, M. (2012) Features of Subsyndromal and Persistent Delirium. *British Journal of Psychiatry*, **200**, 37-44. <https://doi.org/10.1192/bjp.bp.111.095273>
- [16] Inouye, S.K., van Dyck, C.H., Alessi, C.A., Balkin, S., Siegel, A.P. and Horwitz, R.I. (1990) Clarifying Confusion: The Confusion Assessment Method: A New Method for Detection of Delirium. *Annals of Internal Medicine*, **113**, 941-948. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-113-12-941>
- [17] American Psychiatric Association (2013) Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders. 5th Edition, American Psychiatric Association.
- [18] 李珺, 叶晨玄, 钱景, 等. 髋或膝关节置换术患者术后苏醒期谵妄的前额脑电特征[J]. 临床麻醉学杂志, 2024, 40(6): 606-611.
- [19] Numan, T., van den Boogaard, M., Kamper, A.M., Rood, P.J.T., Peelen, L.M., Slooter, A.J.C., *et al.* (2019) Delirium Detection Using Relative Delta Power Based on 1-Minute Single-Channel EEG: A Multicentre Study. *British Journal of Anaesthesia*, **122**, 60-68. <https://doi.org/10.1016/j.bja.2018.08.021>
- [20] Vljakovic, G.P. and Sindjelic, R.P. (2007) Emergence Delirium in Children: Many Questions, Few Answers. *Anesthesia & Analgesia*, **104**, 84-91. <https://doi.org/10.1213/01.ane.0000250914.91881.a8>
- [21] Chandler, J.R., Myers, D., Mehta, D., Whyte, E., Groberman, M.K., Montgomery, C.J., *et al.* (2013) Emergence Delirium in Children: A Randomized Trial to Compare Total Intravenous Anesthesia with Propofol and Remifentanyl to Inhalational Sevoflurane Anesthesia. *Pediatric Anesthesia*, **23**, 309-315. <https://doi.org/10.1111/pan.12090>
- [22] Martin, J.C., Liley, D.T.J., Harvey, A.S., Kuhlmann, L., Sleight, J.W. and Davidson, A.J. (2014) Alterations in the Functional Connectivity of Frontal Lobe Networks Preceding Emergence Delirium in Children. *Anesthesiology*, **121**, 740-752. <https://doi.org/10.1097/aln.0000000000000376>
- [23] Kim, J., Lee, H., Byun, S., Lim, H., Lee, M., Choung, Y., *et al.* (2021) Frontal Electroencephalogram Activity during Emergence from General Anaesthesia in Children with and without Emergence Delirium. *British Journal of Anaesthesia*, **126**, 293-303. <https://doi.org/10.1016/j.bja.2020.07.060>
- [24] Romagnoli, S., Franchi, F. and Ricci, Z. (2019) Processed EEG Monitoring for Anesthesia and Intensive Care Practice. *Minerva Anestesiologica*, **85**, 1219-1230. <https://doi.org/10.23736/s0375-9393.19.13478-5>
- [25] Deschamps, A., Ben Abdallah, A., Jacobsohn, E., Saha, T., Djaiani, G., El-Gabalawy, R., *et al.* (2024) Electroencephalography-Guided Anesthesia and Delirium in Older Adults after Cardiac Surgery: The Engages-Canada Randomized Clinical Trial. *JAMA*, **332**, 112-123. <https://doi.org/10.1001/jama.2024.8144>
- [26] Fang, P., Zhang, H., Hao, X., Shang, Z., Li, J. and Liu, X. (2024) Intraoperative Electroencephalogram Features Related to Frailty in Older Patients: An Exploratory Prospective Observational Study. *Journal of Clinical Monitoring and*

-
- Computing*, **38**, 613-621. <https://doi.org/10.1007/s10877-024-01126-5>
- [27] Kim, J., Park, S., Kim, K., Ha, Y., Shin, S., Cha, W., *et al.* (2023) Resting-State Prefrontal EEG Biomarker in Correlation with Postoperative Delirium in Elderly Patients. *Frontiers in Aging Neuroscience*, **15**, Article ID: 1224264. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2023.1224264>
- [28] 罗爱林, 张杰. 2017 版欧洲麻醉学会《基于循证和专家共识的术后谵妄指南》解读[J]. 临床外科杂志, 2018, 26(1): 29-33.