

# 儿童药物难治性癫痫外科治疗现状

张晓磊 董生 郭嘉禾 郭毅 杨学军

**【摘要】** 儿童药物难治性癫痫严重影响神经发育和生活质量,常伴有认知功能障碍和行为异常,给家庭和社会带来沉重经济和心理负担。外科手术是药物难治性癫痫的有效治疗方法,尤其对于药物治疗无效的患儿。本文综述儿童药物难治性癫痫的外科治疗现状,探讨手术必要性和手术时机、手术适应证及术前评估,介绍切除性手术和姑息性手术的应用,追踪新技术如激光间质热疗术和高强度聚焦超声的发展,为儿童癫痫外科向更微创化和精准化方向发展提供理论依据。

**【关键词】** 耐药性癫痫; 神经外科手术; 儿童; 综述

## Current status of surgical treatment for pediatric drug-resistant epilepsy

ZHANG Xiao-lei, DONG Sheng, GUO Jia-he, GUO Yi, YANG Xue-jun

Department of Neurosurgery, Beijing Tsinghua Changgung Hospital, Affiliated Hospital to Tsinghua University, Beijing 102218, China

Corresponding author: YANG Xue-jun (Email: yxja03728@btch.edu.cn)

**【Abstract】** Pediatric drug-resistant epilepsy (DRE) significantly affects children's neurodevelopment and quality of life, often accompanied by cognitive dysfunction and behavioral abnormalities, imposing a heavy economic and psychological burden on families and society. Surgery is an effective treatment for DRE, especially for children who do not respond to medication. This article reviews the current status of surgical treatment for pediatric DRE, discussing the necessity and timing of surgery, surgical indications, and preoperative evaluation. It introduces the applications of resective and palliative surgeries and explores the development of new technologies such as laser interstitial thermotherapy (LITT) and high-intensity focused ultrasound (HIFU). This review provides a theoretical foundation for the advancement of pediatric epilepsy surgery toward more minimally invasive and precise approaches.

**【Key words】** Drug resistant epilepsy; Neurosurgical procedures; Child; Review

This study was supported by Beijing Municipal Science and Technology Commission (No. Z231100004823012).

**Conflicts of interest:** none declared

癫痫系大脑神经元异常放电导致的反复发作性疾病。根据国际抗癫痫联盟(ILAE)的定义,药物难治性癫痫指经至少两种适宜、足量、足疗程的抗癫痫发作药物(ASM)治疗后,仍未完全控制发作<sup>[1]</sup>。有20%~40%的儿童癫痫患者可进展为药物难治性癫痫<sup>[2]</sup>。频繁的癫痫发作可以导致认知功能障碍、行为异常和社会交往障碍,进而影响患儿学习和未来职业发展<sup>[3]</sup>,家庭需承担高昂的医疗费用,照料者需面临巨大的心理压力,同时亦占用大量社会资源

如医疗资源、教育资源和社会福利等。业已证实,外科手术是治疗药物难治性癫痫的有效方法,特别是儿童患者,不仅可以控制发作,还可以改善认知功能和生活质量<sup>[4]</sup>。随着神经影像学技术的进步和医工结合技术的发展,癫痫外科手术的有效性和安全性不断提高,手术适应证不断扩大。本文综述儿童药物难治性癫痫的外科治疗现状,探讨手术必要性和手术时机、手术适应证及术前评估,介绍切除性手术和姑息性手术的应用,追踪新技术如激光间质热疗术(LITT)和高强度聚焦超声(HIFU)的发展,为儿童癫痫外科向更微创化和精准化方向发展提供理论依据。

### 一、手术必要性和手术时机

#### 1. 手术必要性 (1)抗癫痫发作药物的局限性:

doi:10.3969/j.issn.1672-6731.2024.10.005

基金项目:北京市科技计划“揭榜挂帅”项目(项目编号:Z231100004823012)

作者单位:102218 清华大学附属北京清华长庚医院神经外科

通讯作者:杨学军,Email:yxja03728@btch.edu.cn

对于儿童药物难治性癫痫患者,增加药物剂量或调整药物种类通常无效,两次抗癫痫发作药物治疗失败后,再次药物治疗的有效率降至 $<5\%$ <sup>[1]</sup>。频繁的癫痫发作严重影响患儿神经发育,导致认知功能障碍和行为异常<sup>[5]</sup>,且增加癫痫持续状态和猝死风险。(2)手术的优势:外科手术可以从根本上控制发作,改善患儿预后。有研究显示,在 $\leq 3$ 岁接受手术治疗的癫痫患儿中,约66%术后无发作<sup>[5]</sup>。外科手术还可以减少抗癫痫发作药物的应用,减少药物不良反应,提高患儿生活质量<sup>[4]</sup>。因此,手术为儿童药物难治性癫痫提供一种有效的替代治疗方法。(3)对神经发育和认知功能的影响:频繁的癫痫发作和大剂量的抗癫痫发作药物给患儿神经发育和认知功能带来严重的负面影响,外科手术则可通过减少发作频率和强度而减轻对脑组织的损伤。术后认知功能和行为改善与术前神经发育状态密切相关,早期手术治疗有助于使神经发育潜力达最大化。

2. 手术时机 (1)早期手术的益处:手术时机的选择至关重要。早期手术可以充分利用儿童大脑可塑性,促进神经功能恢复<sup>[6]</sup>。有研究显示,手术每延迟1年,术后无发作概率减少12%<sup>[5]</sup>。因此,尽早术前评估和积极手术干预对患儿长期预后具有重要意义。(2)手术延迟的影响:手术延迟导致癫痫发作对大脑的持续损伤,亦降低手术疗效。手术延迟主要归因于信息缺乏、资源匮乏及转诊延误。长期反复癫痫发作不仅增加手术难度,还导致不可逆性神经损害。因此,及时予以术前评估,尽早制定手术方案,对改善患儿预后至关重要。

## 二、手术适应证

手术适应证的选择主要基于以下方面。(1)确诊药物难治性癫痫:至少两种规范的抗癫痫发作药物治疗无效<sup>[1]</sup>。(2)定位致痫灶:经影像学 and 脑电图检测等准确定位致痫灶。(3)明确致痫灶与功能区的关系:术前评估手术风险,术后尽可能保留功能。(4)整体健康状况:患儿能够耐受手术<sup>[4]</sup>。如果致痫灶定位于某个脑叶或多个相邻脑叶,宜行切除性手术,例如,局灶性皮质发育不良(FCD)行局部病灶切除术效果较好<sup>[7]</sup>;胚胎发育不良性神经上皮肿瘤(DNT)等神经发育性肿瘤因病变较局限,切除后效果较满意<sup>[8]</sup>;结节性硬化症(TSC)因病变多发,需多次手术或联合手术<sup>[9]</sup>;半侧巨脑症(HME)需行半球离断术(hemispherotomy)<sup>[10]</sup>。如果无法定位致痫灶、多个致痫灶或全面性癫痫,或者致痫灶位于重

要功能区,则宜行姑息性手术,如神经调控术、胼胝体切开术等。随着医疗技术的进步及医工结合技术的开展,既往被视为手术禁忌证的疾病如West综合征、Lennox-Gastaut综合征等,亦可从外科手术中部分获益。

## 三、术前评估

全面的术前评估是手术成功的关键,旨在准确定位致痫灶、评估手术风险、制定个体化手术方案。

1. 神经发育和行为评估 (1)神经心理学评估:包括对智力、语言功能、记忆功能、执行功能、注意力的全面评估。有研究显示, $>50\%$ 的儿童药物难治性癫痫患者存在神经发育异常,其中智力低下比例高达40%,语言和记忆功能障碍亦较常见<sup>[3]</sup>。通过术前神经心理学评估,可预测术后认知功能改善或潜在风险,制定术后个体化康复计划。(2)行为和情绪评估:儿童癫痫患者常伴有行为和情绪异常,如焦虑、抑郁和注意力缺陷多动障碍(ADHD)。有文献报道,约30%的儿童药物难治性癫痫患者存在焦虑症状,20%存在抑郁症状<sup>[11]</sup>。术前行为和情绪评估有助于术后提供适当的心理支持和干预。

2. 癫痫病因的判断 明确癫痫病因对手术方案的制定和预后的预测至关重要,病因不同,手术方案不同,预后也不同。MRI可检出少部分患儿的明确病因,如海绵状血管瘤、海马硬化、局灶性皮质发育不良等,高分辨率MRI可在70%药物难治性癫痫患儿中发现结构异常,有助于定位致痫灶<sup>[12]</sup>。某些遗传性疾病如结节性硬化症、Dravet综合征等可能导致药物难治性癫痫,通过基因检测不仅可以明确致病基因,还可以指导药物选择和手术决策<sup>[13]</sup>,例如,对于Dravet综合征患儿,某些抗癫痫发作药物如钠通道阻断药可能加重癫痫发作,而基因检测可以避免此类药物的应用。代谢性疾病是婴幼儿癫痫的重要病因之一,多种代谢缺陷(如氨基酸代谢异常、线粒体功能障碍)可以诱发癫痫发作,对于此类患儿,基因检测和代谢评估有助于早期识别病因,并通过特殊饮食控制、代谢调节药物治疗等延缓疾病进展;早期明确诊断后,部分遗传代谢性疾病患儿甚至可能通过针对性治疗(如酶替代疗法)达到良好控制发作的效果<sup>[14]</sup>。

3. 病史采集及神经系统查体 详细的病史采集和神经系统查体是术前评估的重要部分,包括出生时缺氧窒息史、高热惊厥史等,对判断脑炎继发癫痫至关重要。详细的病史资料和神经系统查体资

料可以为 > 50% 的患儿提供关键信息,特别是缺乏明确影像学异常者。

4. 神经影像学检查 (1) 结构性影像学: MRI 是术前评估的最常用手段,用于发现脑结构异常。3.0T MRI 可显著提高致痫灶检出率,特别是常规序列( $T_1$ WI、 $T_2$ WI、DWI、FLAIR 等)难以发现的微小病灶。磁化准备快速梯度回波(MPRAGE)序列可以更好地展示解剖细节,有助于准确定位致痫灶;MP2RAGE 序列(MPRAGE 序列的变种,双反转扫描的  $T_1$  灰质成像)可以更好地展示丘脑的解剖细节,有助于丘脑结构如中央中核的辨认。(2) 功能性影像学: $^{18}$ F-FDG PET 可用于检测脑代谢异常,特别适用于 MRI 阴性患儿,致痫灶定位准确率达 85%<sup>[15]</sup>。发作期 SPECT(ictal SPECT)于发作期注射示踪剂,通过局部脑血流量(rCBF)的增加定位致痫灶。近期研究显示,SISCOM 技术(发作期 SPECT 减影与 MRI 融合)可以显著提高致痫灶定位的准确性<sup>[16]</sup>,但是由于儿童癫痫患者配合度较差,难以捕捉到发作期 SPECT。

5. 脑电图和视频脑电图检测 (1) 头皮脑电图检测:长程视频脑电图(LT-VEEG)通过同步记录脑电信号和临床发作而定位致痫灶,通常需监测数天以捕捉到足够的临床发作事件。约 80% 的儿童药物难治性癫痫经长程视频脑电图可捕捉到临床发作,为术前评估提供重要的脑电信息和症状学信息。(2) 侵入性脑电图检测:立体定向脑电图(SEEG)通过立体定向技术将电极植入脑深部,直接记录脑深部电活动,适用于多致痫灶、脑深部致痫灶或头皮脑电图难以定位的患儿。

#### 四、手术治疗

手术治疗主要包括切除性手术和姑息性手术,前者通过切除致痫灶以控制发作,达到根治目的;后者通过调节或中断癫痫网络以减少发作频率和强度。目前,儿童癫痫外科手术更加微创化、精准化,迷走神经刺激术(VNS)、脑深部电刺激术(DBS)和反应性神经刺激系统(RNS)作为神经调控技术,已在控制癫痫发作方面显示出显著疗效,激光间质热术和高强度聚焦超声等新技术通过微侵袭或非侵入性方法为复杂病灶(多致痫灶、双侧致痫灶或功能区致痫灶等)提供新的治疗选择。

1. 切除性手术 (1) 病灶切除术:病灶切除术是癫痫外科的最常见术式,主要针对局灶性病变如局灶性皮质发育不良、脑肿瘤等,通过切除致痫灶达

到控制发作目的,通常效果较好,手术成功的关键在于完全切除致痫灶。(2) 脑叶切除术/多脑叶切除术:致痫灶累及 1 个或多个脑叶时,需行相应的脑叶切除术。颞叶切除术最为常见,主要针对颞叶癫痫,效果较好。致痫灶累及多个脑叶时,临床多采用多脑叶离断术,即将多个脑叶与基底节及其他正常脑组织离断,不仅可以缩短手术时间、减少术中出血量,还可以显著降低因术后大面积脑组织缺失造成的并发症,如脑积水、硬膜下积液等<sup>[17]</sup>。然而,多脑叶离断术对手术技术要求较高,需一定的学习成本。(3) 半球切除术:半球切除术于 20 世纪 30 年代引入国内,用于治疗单侧广泛性脑损伤导致的药物难治性癫痫。目前多采用半球离断术,通过离断患侧大脑半球的纤维连接,减少手术创伤和并发症,且健侧大脑半球功能良好,主要用于半球性病变如 Rasmussen 脑炎(RE)、偏侧脑萎缩等。半球手术后长期无发作率达 75%~80%<sup>[18]</sup>。由此可见,半球切除术不仅可以减少发作频率和强度,还可以改善认知功能和运动功能,提高生活质量<sup>[18]</sup>。并发症主要包括健侧肢体瘫痪、感觉障碍、视野缺损等,但因此类患儿术前已存在严重的神经功能障碍,手术并未显著加重功能损害,术后康复训练至关重要。

2. 姑息性手术 (1) 迷走神经刺激术:通过植入装置刺激左侧迷走神经以调节大脑兴奋性,是一种开环神经调控技术。早在 20 世纪 80 年代即提出迷走神经刺激术治疗癫痫的潜在疗效,基于该项技术通过抑制大脑同步化放电以减少发作频率和强度,此后,逐渐成为药物难治性癫痫的重要辅助治疗方法,并于 1997 年获得美国食品与药品管理局(FDA)的批准。迷走神经刺激术适用于  $\geq 4$  岁、药物治疗无效的局灶性癫痫患儿,近年提出也可用于全面性癫痫尤其是原发性广泛性癫痫。其作用机制尚未完全阐明,通过激活蓝斑去甲肾上腺素能神经元,调控多个脑区如海马、丘脑和边缘系统,最终发挥抑制癫痫发作的作用。迷走神经刺激术的疗效已经多项研究证实,Panebianco 等<sup>[19]</sup>报告,16%~40% 的癫痫患者发作频率减少 > 50%。Elliott 等<sup>[20]</sup>进行 10 年随访,发现癫痫发作频率平均减少 76.3%,亦可改善患儿注意力、情绪和认知功能<sup>[20]</sup>。常见并发症包括声音嘶哑、咳嗽、感觉异常和呼吸困难,通常可随着时间推移而改善。Dye 等<sup>[21]</sup>报告,约 86.36% (19/22) 患儿术后出现阻塞性睡眠呼吸暂停(OSA),建议手术前后常规筛查睡眠呼吸暂停症状。其他

并发症还包括切口感染、创面出血和电极移位,但发生率较低。(2)胼胝体切开术:胼胝体切开术通过离断胼胝体,阻止癫痫发作在双侧大脑半球之间的传播,主要用于减少跌倒发作和全面性强直-阵挛发作(GTCS)频率。该术式适用于伴跌倒发作的患儿,如Lennox-Gastaut综合征或药物治疗无效且无法行切除性手术。有研究显示,部分胼胝体切开术后跌倒发作完全控制率约为42.6%,完全胼胝体切开术后增至63.3%,且术后总体癫痫发作频率减少,生活质量提高;并发症主要为失连接综合征,表现为异己手综合征(AHS)、失语、记忆障碍等,多数症状呈短暂性,可经康复训练改善<sup>[22]</sup>。(3)脑深部电刺激术:于2018年获美国食品与药品管理局批准用于治疗≥18岁的药物难治性局灶性癫痫,通过刺激丘脑前核(ATN)等脑深部结构调节癫痫网络兴奋性,提高发作阈值。Salanova等<sup>[23]</sup>的10年随访研究显示,脑深部电刺激术后发作频率减少75%,并发症包括电极移位、创面出血、切口感染以及认知功能和情绪障碍。目前也有脑深部电刺激术治疗4~18岁儿童癫痫患者的报道,并显示出一定疗效,85%(34/40)癫痫患儿发作频率减少,12.50%(5/40)达完全无发作(Engel I级)<sup>[24]</sup>。(4)反应性神经刺激系统:是一种闭环神经调控技术,可实时监测脑电活动并在出现发作先兆时自动刺激以阻止发作,于2013年获美国食品与药品管理局批准用于≥18岁、局灶性发作且致痫灶≤2个的癫痫患者。反应性神经刺激系统可以显著减少发作频率,Nair等<sup>[25]</sup>进行9年随访发现发作频率减少75%,并发症与脑深部电刺激术类似。近年亦有反应性神经刺激系统用于儿童癫痫患者的报道,发作频率减少75%,且安全性较高<sup>[26]</sup>。

3. 新技术 (1)激光间质热疗术:是一种微创手术式,利用激光热能精准破坏致痫灶。在影像学的引导下,激光间质热疗术特别适用于位于脑深部且难以经传统开颅手术治疗的致痫灶,如海马硬化和下丘脑错构瘤,疗效显著。一项回顾性研究显示,约92.96%(66/71)的下丘脑错构瘤患者激光间质热疗术后癫痫发作频率和强度均减少<sup>[27]</sup>。一项多中心临床研究采用激光间质热疗术治疗局灶性皮质发育不良及其他类型癫痫,术后84.04%(179/213)患儿发作得以控制,49.66%(74/149)达完全无发作(Engel I级)<sup>[28]</sup>。激光间质热疗术的适应证不仅限于特定癫痫类型,还可用于其他类型癫痫如局灶性皮质发育不良、结节性硬化症等。亦有胼胝体切

术中应用激光间质热疗术的报道,激光间质热疗术的微创辅助作用可以降低胼胝体切开术后并发症发生率<sup>[29]</sup>。(2)高强度聚焦超声:是一种非侵入性术式,最早用于成人运动障碍的治疗,近年开始逐渐治疗癫痫,通过将超声波聚焦于致痫灶造成局部热损伤而破坏病灶,主要用于位于脑深部且传统开颅手术难以处理的小病灶,如下丘脑错构瘤。高强度聚焦超声治疗小型下丘脑错构瘤可以有效减少癫痫发作频率,且不损伤周围组织<sup>[30]</sup>。虽然高强度聚焦超声的临床应用数据有限,但初步研究显示其治疗小型脑深部病变具有较高的有效性和安全性<sup>[31]</sup>。

综上所述,儿童药物难治性癫痫给神经发育和生活质量造成深远影响,外科手术成为有效治疗方法,可以显著减少发作频率和强度,改善认知功能,提高生活质量。通过详细的术前评估和个体化手术方案制定,手术成功率和安全性显著提高。神经调控技术的应用和新技术的发展为无法通过切除性手术治疗的儿童药物难治性癫痫患者提供了新的希望。未来尚待更多随机对照临床试验和长期随访研究,以进一步优化手术策略,相信有更多的患儿能够从这些手术方法中获益。

利益冲突 无

## 参 考 文 献

- [1] Kwan P, Arzimanoglou A, Berg AT, Brodie MJ, Allen Hauser W, Mathern G, Moshé SL, Perucca E, Wiebe S, French J. Definition of drug resistant epilepsy: consensus proposal by the ad hoc task force of the ILAE Commission on therapeutic strategies[J]. *Epilepsia*, 2010, 51:1069-1077.
- [2] Berg AT, Rychlik K, Levy SR, Testa FM. Complete remission of childhood-onset epilepsy: stability and prediction over two decades[J]. *Brain*, 2014, 137(Pt 12):3213-3222.
- [3] Elliott IM, Lach L, Smith ML. I just want to be normal: a qualitative study exploring how children and adolescents view the impact of intractable epilepsy on their quality of life[J]. *Epilepsy Behav*, 2005, 7:664-678.
- [4] Moosa AN, Jehi L, Marashly A, Cosmo G, Lachhwani D, Wyllie E, Kotagal P, Bingaman W, Gupta A. Long-term functional outcomes and their predictors after hemispherectomy in 115 children[J]. *Epilepsia*, 2013, 54:1771-1779.
- [5] Frank NA, Greuter L, Guzman R, Soleman J. Early surgical approaches in pediatric epilepsy: a systematic review and meta-analysis[J]. *Childs Nerv Syst*, 2023, 39:677-688.
- [6] Iwasaki M, Iijima K, Kawashima T, Tachimori H, Takayama Y, Kimura Y, Kaneko Y, Ikegaya N, Sumitomo N, Saito T, Nakagawa E, Takahashi A, Sugai K, Otsuki T. Epilepsy surgery in children under 3 years of age: surgical and developmental outcomes[J]. *J Neurosurg Pediatr*, 2021, 28:395-403.
- [7] Wang S, Zhang H, Liu C, Liu Q, Ji T, Wang W, Yu G, Cai L, Liu X. Surgical treatment of children with drug-resistant epilepsy involving the Rolandic area[J]. *Epileptic Disord*, 2021, 23:376-384.

- [8] Slegers RJ, Blumcke I. Low-grade developmental and epilepsy associated brain tumors: a critical update 2020 [J]. *Acta Neuropathol Commun*, 2020, 8:27.
- [9] Roth J, Constantini S, Ekstein M, Weiner HL, Tripathi M, Chandra PS, Cossu M, Rizzi M, Bollo RJ, Machado HR, Santos MV, Keating RF, Oluigbo CO, Rutka JT, Drake JM, Jallo GI, Shimony N, Treiber JM, Consales A, Mangano FT, Wisoff JH, Teresa Hidalgo E, Bingaman WE, Gupta A, Erdemir G, Sundar SJ, Benifla M, Shapira V, Lam SK, Fallah A, Maniquis CAB, Tisdall M, Chari A, Cinalli G, Blount JP, Dorfmueller G, Christine Bulteau, Uliel-Sibony S. Epilepsy surgery in infants up to 3 months of age: safety, feasibility, and outcomes. A multicenter, multinational study [J]. *Epilepsia*, 2021, 62:1897-1906.
- [10] Kim JS, Park EK, Shim KW, Kim DS. Hemispherotomy and functional hemispherectomy: indications and outcomes [J]. *J Epilepsy Res*, 2018, 8:1-5.
- [11] Kellermann TS, Wagner JL, Smith G, Karia S, Eskandari R. Surgical management of pediatric epilepsy: decision-making and outcomes [J]. *Pediatr Neurol*, 2016, 64:21-31.
- [12] Bernasconi A, Cendes F, Theodore WH, Gill RS, Koepp MJ, Hogan RE, Jackson GD, Federico P, Labate A, Vaudano AE, Blümcke I, Ryvlin P, Bernasconi N. Recommendations for the use of structural magnetic resonance imaging in the care of patients with epilepsy: a consensus report from the international league against epilepsy neuroimaging task force [J]. *Epilepsia*, 2019, 60:1054-1068.
- [13] Wirrell EC, Hood V, Knupp KG, Meskis MA, Nabbout R, Scheffer IE, Wilmshurst J, Sullivan J. International consensus on diagnosis and management of Dravet syndrome [J]. *Epilepsia*, 2022, 63:1761-1777.
- [14] Hundallah K, Tabarki B. Treatable inherited metabolic epilepsies [J]. *Neurosciences (Riyadh)*, 2021, 26:229-235.
- [15] Kassem H, El Shiekh F, Wafaie A, Abdelfattah S, Farghaly H, Afifi L. Presurgical evaluation of refractory temporal lobe epilepsy: comparison of MR imaging, PET and ictal SPECT in localization of the epileptogenic substrate [J]. *Egypt J Radiol Nucl Med*, 2013, 44:641-649.
- [16] O'Brien TJ, So EL, Mullan BP, Hauser MF, Brinkmann BH, Bohnen NI, Hanson D, Cascino GD, Jack CR Jr, Sharbrough FW. Subtraction ictal SPECT co-registered to MRI improves clinical usefulness of SPECT in localizing the surgical seizure focus [J]. *Neurology*, 1998, 50:445-454.
- [17] Galan FN, Beier AD, Sheth RD. Advances in epilepsy surgery [J]. *Pediatr Neurol*, 2021, 122:89-97.
- [18] Baumgartner ME, Qiu L, Philipp LR, Galligan K, Halpern C, Kennedy BC. Technological advances in pediatric epilepsy surgery [J]. *Curr Probl Pediatr Adolesc Health Care*, 2024, 54:101588.
- [19] Panebianco M, Rigby A, Marson AG. Vagus nerve stimulation for focal seizures [J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2022, 7:CD002896.
- [20] Elliott RE, Morsi A, Tanweer O, Grobelny B, Geller E, Carlson C, Devinsky O, Doyle WK. Efficacy of vagus nerve stimulation over time: review of 65 consecutive patients with treatment-resistant epilepsy treated with VNS > 10 years [J]. *Epilepsy Behav*, 2011, 20:478-483.
- [21] Dye TJ, Hantragool S, Carosella C, Huang G, Hossain MM, Simakajornboon N. Sleep disordered breathing in children receiving vagus nerve stimulation therapy [J]. *Sleep Med*, 2021, 79:101-106.
- [22] Matern TS, DeCarlo R, Ciliberto MA, Singh RK. Palliative epilepsy surgery procedures in children [J]. *Semin Pediatr Neurol*, 2021, 39:100912.
- [23] Salanova V, Sperling MR, Gross RE, Irwin CP, Vollhaber JA, Giftakis JE, Fisher RS; SANTÉ Study Group. The SANTÉ study at 10 years of follow-up: effectiveness, safety, and sudden unexpected death in epilepsy [J]. *Epilepsia*, 2021, 62:1306-1317.
- [24] Yan H, Toyota E, Anderson M, Abel TJ, Donner E, Kalia SK, Drake J, Rutka JT, Ibrahim GM. A systematic review of deep brain stimulation for the treatment of drug-resistant epilepsy in childhood [J]. *J Neurosurg Pediatr*, 2019, 23:274-284.
- [25] Nair DR, Laxer KD, Weber PB, Murro AM, Park YD, Barkley GL, Smith BJ, Gwinn RP, Doherty MJ, Noe KH, Zimmerman RS, Bergey GK, Anderson WS, Heck C, Liu CY, Lee RW, Sadler T, Duckrow RB, Hirsch LJ, Wharen RE Jr, Tatum W, Srinivasan S, McKhann GM, Agostini MA, Alexopoulos AV, Jobst BC, Roberts DW, Salanova V, Witt TC, Cash SS, Cole AJ, Worrell GA, Lundstrom BN, Edwards JC, Halford JJ, Spencer DC, Ernst L, Skidmore CT, Sperling MR, Miller I, Geller EB, Berg MJ, Fessler AJ, Rutecki P, Goldman AM, Mizrahi EM, Gross RE, Shields DC, Schwartz TH, Labar DR, Fountain NB, Elias WJ, Olejniczak PW, Villemarette - Pittman NR, Eisenschenk S, Roper SN, Boggs JG, Courtney TA, Sun FT, Seale CG, Miller KL, Skarpaas TL, Morrell MJ; RNS System LTT Study. Nine-year prospective efficacy and safety of brain-responsive neurostimulation for focal epilepsy [J]. *Neurology*, 2020, 95:e1244-e1256.
- [26] Kerezoudis P, Gyftopoulos A, Alexander AY, Keith Starnes D, Nickels KC, Worrell GA, Wirrell EC, Lundstrom BN, Van Gompel JJ, Miller KJ. Safety and efficacy of responsive neurostimulation in the pediatric population: evidence from institutional review and patient-level meta-analysis [J]. *Epilepsy Behav*, 2022, 129:108646.
- [27] Curry DJ, Raskin J, Ali I, Wilfong AA. MR-guided laser ablation for the treatment of hypothalamic hamartomas [J]. *Epilepsy Res*, 2018, 142:131-134.
- [28] Arocho-Quinones EV, Lew SM, Handler MH, Tovar-Spinoza Z, Smyth MD, Bollo RJ, Donahue D, Perry MS, Levy M, Gonda D, Mangano FT, Kennedy BC, Storm PB, Price AV, Couture DE, Oluigbo C, Duhaime AC, Barnett GH, Muh CR, Sather MD, Fallah A, Wang AC, Bhatia S, Eastwood D, Tarima S, Graber S, Huckins S, Hafez D, Rumalla K, Bailey L, Shandley S, Roach A, Alexander E, Jenkins W, Tsering D, Price G, Meola A, Evanoff W, Thompson EM, Brandmeir N; Pediatric Stereotactic Laser Ablation Workgroup. Magnetic resonance imaging-guided stereotactic laser ablation therapy for the treatment of pediatric epilepsy: a retrospective multiinstitutional study [J]. *J Neurosurg Pediatr*, 2023, 3:1-14.
- [29] Badger CA, Lopez AJ, Heuer G, Kennedy BC. Systematic review of corpus callosotomy utilizing MRI guided laser interstitial thermal therapy [J]. *J Clin Neurosci*, 2020, 76:67-73.
- [30] Yamaguchi T, Hori T, Hori H, Takasaki M, Abe K, Taira T, Ishii K, Watanabe K. Magnetic resonance-guided focused ultrasound ablation of hypothalamic hamartoma as a disconnection surgery: a case report [J]. *Acta Neurochir (Wien)*, 2020, 162:2513-2517.
- [31] Tierney TS, Alavian KN, Altman N, Bhatia S, Duchowny M, Hyslop A, Jayakar P, Resnick T, Wang S, Miller I, Ragheb J. Initial experience with magnetic resonance-guided focused ultrasound stereotactic surgery for central brain lesions in young adults [J]. *J Neurosurg*, 2022, 137:760-767.

(收稿日期:2024-09-14)

(本文编辑:彭一帆)