DOI:10.13210/j.cnki.jhmu.20251203.001
网络出版地址:https://link.cnki.net/urlid/46.1089.R.20251203.1335.002

帕金森病丘脑底核脑深部电刺激术后程控研究进展

黄小淦[1],艾祥柏[1],王诒田[1],李俊驹[2],赵建农[1]✉
(1.海南医科大学,海南 海口 570100;2.海南省人民医院,海南 海口 570100)

[摘要] 帕金森病(Parkinson's disease,PD)属于一种神经退行性疾病,临床通常采用左旋多巴类药物作为该疾病的首选治疗药物。对于患有晚期帕金森病的患者而言,外科手术是一项可供考虑的治疗方案,脑深部电刺激(deep brain stimulation,DBS)是一种证实有效的外科治疗方式,可以明显改善肌强直、静止性震颤和运动迟缓等主要症状,并且可以明显减少多巴类药物的用量。DBS术后程控是治疗的关键环节,通过调整刺激参数优化疗效并减少副作用。目前,刺激参数的调整很大程度上取决于个人经验,临床对具体程控策略尚无统一定论。本文概述了PD患者DBS术后程控策略在改善患者症状中的作用,以及DBS技术的最新进展。

[关键词] 帕金森病;脑深部电刺激;丘脑底核;程控;刺激参数
[中图分类号] R742.5 [文献标志码] A [文章编号] 2097-5953(2026)19-1513-08

Research progress of programming after subthalamic nucleus deep brain stimulation in Parkinson´s disease

HUANG Xiaogan[1], AI Xiangbai[1], WANG Yitian[1], LI Junju[2], ZHAO Jiannong[1]✉
(1. *Hainan Medical University*, *Haikou* 570100, *China*; 2. *Hainan General Hospital*, *Haikou* 570100, *China*)
[*Foundation Project*]: *This study was supported by the Hainan Provincial Natural Science Foundation* (821*RC*682)
[*Author*]: *HUANG Xiaogan*, *E-mail*: 285397149@qq.com.
[*Correspondence to*]: *ZHAO Jiannong*, *Ph.D.*, *Professor*, *Chief Physician*, *Researcher*, *Email*: *zhaojiannong@muhn.edu.cn.*
Received: 2025-07-11 *Revised*: 2025-11-14 *JHMU*, 2026;32(19):1513-1520

View from specialist: It is creative, and of certain scientific and educational value.

[Abstract] Parkinson's disease (PD) is a neurodegenerative disease, and levodopa is usually used as the first choice for the treatment of this disease. For patients with advanced Parkinson's disease, surgery is a treatment plan to be considered, and deep brain stimulation (DBS) is an effective surgical treatment, which can obviously improve the main symptoms such as muscle rigidity, resting tremor and bradykinesia, and can significantly reduce the dosage of dopa drugs. Program control after DBS is the key link of treatment, and the curative effect can be optimized and the side effects can be reduced by adjusting the stimulation parameters. At present, the adjustment of stimulation parameters depends largely on personal experience, and there is no unified conclusion on the specific program control strategy in clinic. This paper summarizes the role of program-controlled strategy in improving the symptoms of PD patients after DBS and the latest progress of DBS technology.

[Key words] Parkinson's disease; Deep brain stimulation; Subthalamic nucleus; Programming; Stimulation parameters

帕金森病(Parkinson's disease,PD)是一种由于黑质致密部中多巴胺能神经元的丢失及其向纹状体(尾状核和壳核)投射退化的神经退行性疾病[1,2]。PD的主要运动症状有震颤、肌强直、运动不能(包括运动迟缓、运动功能减退)。这些运动障碍在不同的患者之间可能不同,在同一患者的疾病发展过程中也可能不同。PD的非运动症状包括抑郁、疼痛、嗅觉丧失、睡眠障碍、便秘、泌尿障碍、体位性低血压,最终会导致患者认知减退及痴呆。脑深部电刺激(deep brain electrical stimulation,DBS)是一种

[基金项目] 海南省自然科学基金(821RC682)
[作者简介] 黄小淦,E-mail:285397149@qq.com。
[通讯作者] 赵建农,博士,教授,主任医师,研究员,E-mail:zhaojiannong@muhn.edu.cn。
[收稿日期] 2025-07-11 [修回日期] 2025-11-14 网络出版时间:2025-12-03 14:50:37

有价值的治疗选择，相关研究证实DBS优于最佳药物治疗（多巴丝肼片联合吡贝地尔缓释片），可以改善PD患者的生活质量[3]。DBS的治疗潜力在很大程度上取决于电极在靶点内的理想位置。将电极植入丘脑底核（subthalamic nucleus，STN）的背外侧区能够明显改善患者的运动症状，同时可避免患者出现刺激相关的副作用。在大多数情况下，通过操纵刺激参数，例如电极极性、频率、脉冲宽度和电压，调整组织激活体积（tissue activation volume，VTA），可以获得最佳临床反应，同时最大限度地减少刺激相关的副作用。正如《帕金森病脑深部电刺激疗法术后程控中国专家共识》中表明[4]，DBS主要依赖选择单个最优触点进行单极或双极刺激，目标是找到疗效和副作用之间的平衡点。而近期有研究发现，采用多触点刺激，通过同时激活多个触点并调整各触点的电流比例，可以精确地塑造电场形状，使其更完美地覆盖目标STN，同时避开不应激活的内囊或内侧的舌颤、感觉异常区域，这大大提高了治疗窗[5]。基于以上观点，研究PD中DBS术后程控最新技术、DBS的疗效及未来应用前景等方面展开讨论，系统对比不同程控策略的疗效差异，以期为临床PD患者STN-DBS术后程控管理方案提供一定方向和参考。

1 STN-DBS

1.1 STN-DBS新技术的发展

STN-DBS是治疗PD、肌张力障碍等运动障碍性疾病的重要技术，近年来在技术革新和临床应用中取得了明显进展。

1.1.1 精准靶向与手术规划技术 高场强核磁共振成像（magnetic resonance imaging，MRI）与纤维束成像：7T MRI的应用提高了STN的可视化和靶点定位精度，结合弥散张量成像可识别与运动/非运动功能相关的纤维束（如苍白球-丘脑束），减少副作用（如情绪或认知影响）。人工智能辅助手术规划：人工智能算法（如深度学习）可自动分割STN亚区，预测最佳电极路径，缩短手术时间并提高准确性。DBS治疗PD最常见的靶点是苍白球内侧部（globus pallidus，GPI）和STN。STN-DBS已成为治疗PD患者运动波动、顽固性震颤和运动障碍的成熟疗法。

1.1.2 定向电极与电流定向技术 定向电极和电流定向技术是近年来DBS领域的重大进展，旨在提高刺激精准度，减少副作用，优化治疗效果。定向电极：多触点电极允许电流定向释放，精准刺激STN的运动区（背外侧部分），避免刺激边缘或联想区，改善运动症状的同时减少言语障碍或情绪波动。电流定向编程：通过调整电极触点的电流方向，个性化调控刺激范围，提升疗效并降低能耗。DBS经过30多年的发展，不仅可以缓解各种运动障碍患者的病情，而且在PD的治疗中变得越来越重要[5]。相关研究表明，DBS与PD的最佳药物治疗相结合，在改善药物“开期”状态和生活质量方面优于单独使用最佳药物治疗[6,7]。在许多情况下，特别是在双侧STN-DBS中，存在减少左旋多巴药物需求和改善药物“关期”状态的潜力。

1.1.3 术后程控智能化 远程程控与人工智能优化：患者可通过手机APP调整参数，结合人工智能分析症状数据（如可穿戴设备）自动推荐最佳刺激方案。多目标协同刺激：同时刺激STN与邻近核团以处理复杂症状（如冻结步态）。

1.1.4 新型硬件与能源方案 无线充电与长寿命电池：可充电脉冲发生器延长设备寿命，减少更换手术次数。小型化/无导线设备：研发全植入式微型刺激器，降低感染风险。

1.2 术后程控的概念

DBS术后程控是优化治疗效果的关键步骤，需根据患者症状、刺激副作用及个体差异进行精细调整。PD患者接受DBS手术后，通常在术后1个月左右进行首次正式开机程控。这是因为术后早期存在微毁损效应和脑组织水肿，这些情况会在大约4周后消退，使得开机时能更准确地评估刺激效果。根据患者症状特点、结合术后影像了解的电极触点与核团关系等决定参数设置，在STN-DBS术后程控中，电压（幅度）、电流、脉宽和频率的配合是优化疗效、减少副作用的关键。程控需根据患者症状、电极位置及个体差异进行动态调整。决定刺激的强度，直接影响作用范围。电压控制（电压源）是传统模式，电流控制（电流源）可更稳定地克服组织阻抗变化。电流源模式下，刺激强度不受组织阻抗变化（如术后水肿消退或纤维包裹）影响，输出更稳定，适合长期程控。具体程控参数设置见表1。DBS术后程控需个体化调整，结合患者症状、影像学及电生理反馈。初期需频繁优化，稳定后定期随访。未来随着闭环技术和人工智能辅助程控的发展，精准化治疗以进一步提升疗效。

1.3 术后程控的策略

目前临床上关于脉冲发生器（pulser，IPG）的设计较前有所发展，其具有相当小的体积，可充电和不可充电，几乎所有当前可用的IPG都与MRI兼容，对未来MRI需求的预期不再是一个需要权衡的

表1　程控参数设置

Tab 1　Program Control Parameter Settings

参数	范围	影响	调整策略
电压/电流	0.5～5 V(电压模式)或0.1～10 mA(电流模式)	过高→副作用(异感、肌肉抽搐);过低→无效	从低到高逐步增加,观察症状改善
频率	60～185 Hz(常用130 Hz)	高频(＞100 Hz)改善运动症状,低频(60 Hz)可能改善步态	PD通常采用130 Hz,特发性震颤可能用更高频率
脉宽	60～450 μs(常用60 μs～90 μs)	影响刺激范围,过宽可能增加副作用	初始60 μs,视情况调整
触点选择	4～8个触点	不同触点影响刺激靶点	结合影像和症状选择最佳触点

变量。电极将电脉冲传输至大脑深部的局部区域,这种DBS术与VTA相关,扩散至附近脑区时,可能会引起负面反应[8]。定向电极可以更精确地传递电场到靶点区域,四分之二的触点被分为3个径向分区,允许电流转向预期的目标脑区,同时避免刺激可能引发副作用的邻近脑区[9]。多重独立触点电流控制系统(multiple independent contact current control system,MICC)是一项允许对每个电极触点进行单独电流控制的新技术,允许同一电极内不同触点有独立电流变量。此外,MICC与定向电极的结合可实现更好的电流延展性,有助于更有效地刺激目标脑区。Vitek等[10]研究发现使用新型MICC装置治疗PD运动症状的STN-DBS具有更好的安全性和临床疗效。新的IPG可以连续记录局部场电位(local field potential,LFP),β波(13～30 Hz)与PD运动迟缓和僵硬相关,左旋多巴和DBS能减少波的爆发,改善运动症状,因此波可被用作神经电生理学的标志物。萧钟波等[11]研究表示具有闭环刺激功能双腔起搏器能有效防治血管迷走神经性晕厥。近几年来,还有相关研究发现闭环刺激是一种新兴的PD治疗方法,通过实时监测大脑神经活动并动态调整刺激参数,优化DBS的疗效[12];在闭环刺激或自适应脑深部电刺激术(deep brain electrical stimulation,aDBS),刺激参数会根据与患者症状相关的生物标志物不断调整。生物标志物可以是外部的可穿戴设备手指运动传感器、带加速度计的手表或内部的表面肌电图、皮质传感或LFP的基底神经节记录[13]。使用β波作为生物标志物的aDBS试验表明,相对于传统刺激方式,新的刺激方式刺激时间缩短了50%,且手术后出现构音障碍的概率更低,对震颤无明显影响[14]。目前aDBS方法仍需临床医生不断深入研究,并且并非所有症状都与每个特定的生物标志物密切相关,该技术尚未常规应用于临床。

1.4　STN-DBS的作用机制

STN-DBS通过高频电刺激调节STN及其相关神经环路的异常活动,改善PD等运动障碍性疾病的症状[15]。DBS治疗PD的疗效机制,主要有2种解释:(1)DBS抑制了被刺激核团的病理性活动,从而达到了功能性损毁效果;(2)DBS抑制了大脑复杂的神经结构网络。STN-DBS通过高频电刺激抑制STN神经元的异常同步化放电,减少病理性振荡活动(如β波振荡)。STN-DBS不仅影响STN,还通过神经网络调控基底神经节、丘脑和皮层的活动,恢复正常的运动控制。(3)此外,STN-DBS可能通过调节多巴胺、谷氨酸、GABA等神经递质的释放,改善基底神经节环路的神经化学平衡;通过神经网络影响远端脑区(如皮层、丘脑),产生广泛的治疗效果。

1.5　STN-DBS术后的管理与程控

STN-DBS术后患者管理要勤换药,注意患者伤口,注意患者与术前的肢体运动情况,术后当晚即可口服治疗帕金森药物。一般术后10 d拆线出院回家。在首次开机时,应在患者停止用药后的“关期”实施程控,以便准确观察刺激效果,确定每个电极触点的治疗窗。为了测试DBS的疗效和患者不良反应情况,一般会先治疗病情较重的一侧肢体,随后治疗病情较轻的一侧。同时,根据患者的症状,逐个测试相应的触点,以便更好观察其治疗效果和患者的不良反应情况。电压的大小与手术靶点的精确性有关,STN-DBS能取得良好的治疗效果的前提是电极能精确地植入到刺激靶点。单极刺激脉宽为60 μs、频率为130 Hz逐渐上调增加,在增加电压过程中,建议逐步增加(每次0.1～0.5 V),为了确保DBS治疗取得良好效果,需要及时观察并调整患者运动症状变化。在测试每个触点时要避免前一个触点的残留效应,需要在各个刺激间保持一定的时间间隔,以免干扰对下一个触点刺激效果的观察和评估。程控医生应接受充分培训后,负责DBS治疗的程控管理,了解DBS系统、目标解剖结构、刺激诱导的副作用和药物调整,并对术后患者进行终身程控随访。

2 DBS的疗效

2.1 对运动症状的影响

2.1.1 震颤 开机初期通过系统地筛选每个触点的潜在益处和副作用来确定治疗窗口。方法是将电极其中一个触点作为负极(阴极),将IPG作为正极性(阳极),缓慢增加电压,同时保持频率、脉冲宽度不变,以确定每个触点的治疗窗口。通过调整不同的电压、脉冲宽度、频率、切换到不同的触点或双极模式,来避免刺激引起的相关副作用。为了判断STN-DBS的效果,肌僵直通常不会出现波动,可以在几秒钟内响应调整的刺激参数,并且不依赖于患者的疲劳或配合。当打开有效刺激时,肌僵直会在20 s内消失,而在停止刺激后,肌僵直会1 min内恢复[16]。在没有肌僵直的情况下,可以使用运动迟缓或静止性震颤来评估刺激效果,尽管运动迟缓对改变刺激参数的反应较慢,可能因疲劳和患者的不适而产生偏差,并且静止震颤可能会自发地波动。此外,低频刺激可能会加重震颤,而高频刺激可能会解决震颤,因此需要进行进一步的研究来推断何时应该使用高频刺激和低频刺激。

2.1.2 肌强直 从UPDRS-Ⅲ中选择的项目用于判断治疗效果,并系统记录参数调整后的效果[17]。不应单独使用单一的症状(例如肌强直)来判断治疗效果。临床经验表明,应从列表中选择两到三个最能体现患者症状的测试,并在程控期间系统地应用这些测试[18,19]。然后选择具有最低有益效果阈值和最宽治疗窗的触点用于长期刺激。展云涛等[20]研究结果发现,单纯影像定位与微电极记录辅助定位用于PD患者STN-DBS术中能获得满意电极定位,2组刺激参数电压、频率、脉宽比较,差异无统计学意义。

2.1.3 运动不能 通过对频率、脉宽和电压的具体贡献进行调查,发现相对于频率和脉宽的能量当量变化,电流对改善PD运动症状的作用最大。DBS的关键参数之一是刺激频率,可以是高频刺激(>100 Hz)或低频刺激(60 Hz)被更频繁地使用,并且在缓解包括PD在内的各种神经退行性疾病的运动症状方面具有更长的历史[21]。实际上,相较于没有刺激,频率为5~10 Hz的极低频率会使运动症状加剧,特别是运动迟缓[22]。与四肢症状相比,言语、步态和平衡等轴性症状对DBS的反应较差。几项研究已经检查了低频刺激(<100 Hz的频率)对中轴性PD症状的影响[23,24]。低频刺激可以改善一些患者的言语、步态和平衡能力,而且这种改善可以持久。然而,当标准高频刺激诱发或恶化这些症状时,低频刺激似乎可以更好地改善这些症状。此外,即使观察到中轴症状有所改善,一些患者也会因四肢症状恶化而无法承受低频刺激。在这些情况下,可以尝试使用相邻触点中的两个低频刺激程序进行交叉电脉冲的策略,因为它会引起电场重叠,从而产生高频刺激区域[25]。

2.2 对非运动症状的影响

多项临床试验表明,通过深部脑部刺激治疗可以有效地改善PD患者的症状,包括震颤、运动迟缓和僵硬的减少,生活质量会得到改善[26-28]。UPDRS-Ⅲ和PD生活问卷索引经常用于评估PD患者的运动功能及生活质量,较高的UPDRS-Ⅲ评分反映更严重的运动症状,较低的PD生活问卷索引评分反映更好的生活质量。DBS对认知、语言流畅性和精神症状等非运动结果的影响不太清楚,并且似乎目标靶点STN与Gpi相关。徐辉等[29]证实DBS治疗PD有较好的临床疗效,缓解患者病情,降低血清同型半胱氨酸水平,升高叶酸水平。张建英等[30]研究则发现STN-DBS能够明显改善PD患者精神症状、认知功能及生活质量。STN-DBS在PD的其他非运动症状包括焦虑症状和睡眠方面也显示出明显的益处[31-33]。与GPi-DBS相比,STN-DBS能明显减少多巴胺能药物的使用,药物剂量的降低表明可以减少其引起的副作用,包括嗜睡、强迫行为、直立性低血压和幻觉。

2.3 对睡眠质量的影响

STN-DBS对睡眠质量的影响较为复杂,既有改善作用,也可能因刺激参数或电极位置导致睡眠障碍加重。PD患者常因夜间运动不能、肌强直或震颤导致频繁觉醒,STN-DBS可改善夜间运动症状,减少觉醒次数,延长深睡眠(N3期)和REM睡眠时间。部分PD患者因长期服用多巴胺能药物(如左旋多巴)导致睡眠片段化或日间过度嗜睡(EDS)。STN-DBS可减少药物剂量,从而降低药物对睡眠的干扰。DBS手术不以停药为目的,而以症状最大改善及副反应最少,即患者睡眠质量的提高为目标,为进一步靠近该目标,研究同样对刺激相关副作用进行了相关探讨。

2.4 刺激相关副作用

DBS开机后,由于颅内电极刺激靶点及其周围结构出现的不良反应称之为刺激相关副作用。DBS的一个常见潜在副作用是刺激性构音障碍,刺激靶点不同其严重程度不同。在双侧VIM(丘脑腹侧中间核)DBS中,存在构音障碍和平衡障碍的风险,主要是由于刺激扩散到邻近的运动内囊。在

GPi-DBS中,构音障碍也可能恶化,但比双侧VIM-DBS要轻。在STN中,除了构音障碍的风险外,也有行为障碍的风险,因为STN的腹内侧核区域与边缘皮质结构相连[34,35]。术后的这些言语变化可能继发于手术的损伤效应、疾病进展或刺激到言语相关区域,后者通过DBS术后程控解决。患者STN-DBS术后体重会增加,这种体重的增加可能由于肢体震颤的减少而使身体能量损失有关,体重增加可能导致严重的代谢紊乱,这就需要对接受DBS治疗的PD患者进行体重管理[36]。PD患者术后多巴胺激动剂的剂量如果没有减少,STN-DBS将增强其作用,导致冲动和躁狂增加。因STN-DBS能减少多巴胺能药物的剂量,从而有助于治疗晚期PD患者因药物诱导的冲激控制障碍[37]。

开机时一般设定为脉宽60 μs,频率130 Hz,根据患者的反应来调整电压,逐渐增加电压达到控制症状,每次增加0.2～0.5 V。电压增加过高可能引起对侧肢体麻木或投掷样的运动障碍等。如果电压需要大于3 V,可将脉宽增加;一般认为高电压、窄脉宽是较为理想的组合方式,对患者的症状改善最为有效。建议在调整DBS参数和多巴胺能药物期间仔细监测神经精神症状,如抑郁、焦虑和行为变化。大多数刺激诱导的副作用是可逆的,可以通过降低刺激电压、使用短脉宽、更换刺激模式或触点来限制其副作用[38]。

2.5 术后药物调整

马羽等[39]研究发现STN-DBS能够明显减少左旋多巴类药物用量及药物引起的异动症、运动波动等并发症的发生,同样表明,DBS和抗PD药物具有协同作用。具体来说,术后经过STN-DBS治疗后,DBS和左旋多巴单独治疗可以减轻PD症状的严重程度,但是二者联合治疗的效果却更为明显。因此,在发挥DBS和药物治疗的优势以及最大程度改善症状的考虑下,应该合理地调整术后药物和程控参数。不应该过度强化DBS的治疗强度,也不应该过度降低抗PD药物的应用。同时,不推荐在DBS手术后停服抗PD药物。在DBS参数稳定的治疗范围内,可以根据PD的靶点、运动并发症、患者症状的类型和程度等因素,综合调整药物的种类、剂量和组合[40]。

2.6 STN-DBS调控输入型

STN-DBS的调控输入型指依赖外部信号或患者反馈动态调整刺激参数的技术,与传统的固定参数模式相比,更具个体化和实时响应性。患者主观输入型,输入方式:患者自评:通过APP或手持设备记录症状(如震颤、情绪状态)。语音/手势控制:实验性系统允许患者语音指令调整刺激(如"增强左肢")。调控方式:医生预设安全范围,患者在限幅内微调电压或频率。结合人工智能算法,根据历史数据预测最佳参数。优势:提升患者参与感,尤其适用于剂末现象或情绪波动。环境情境输入型,输入信号:时间节律:根据昼夜规律自动调整(如夜间降低频率改善睡眠)。活动状态:通过智能手表识别运动/静止状态,切换刺激模式。应用场景:睡眠期间自动减少刺激,避免失眠。运动前预增强刺激,预防"关期"发作。

3 总结

STN-DBS是一种对症治疗,不会阻止疾病进展,但旨在改善震颤、运动迟缓和僵硬等运动障碍,不仅有效减少左旋多巴类药物的使用量,还能提高患者的生活质量。但认知能力下降以及难治性轴向症状(例如步态和平衡障碍)并没有通过STN-DBS手术得到改善。一旦植入DBS导线,对IPG进行参数调整是唯一可修改的因素,因此对整体治疗成功具有至关重要的影响。DBS术后,科学的程控策略不仅能优化症状控制,还能减少抗帕金森药物剂量、延缓疾病进展对疗效的影响,并延长电池寿命研究。精准程控是DBS长期成功的关键,可通过优化刺激替代部分药物作用,降低副作用风险,动态调整应对疾病进展,预防耐受性,节能延长设备寿命,此外还需结合患者症状、靶点选择和疾病阶段灵活调整,并总结电压、频率和脉冲宽度对临床症状的明确意义。DBS的传统调控依赖医生经验,而患者主动参与调控正成为新趋势,尤其在STN-DBS治疗PD中。通过实时反馈患者的运动、情绪或认知状态,可动态优化刺激参数,提高疗效并减少副作用。专注于研究闭环DBS技术,旨在通过自动化调整来提高治疗效果和便利性。经过证明,这些方法可以延长治疗时间,减少刺激引发的负面反应,更有效地管理非运动和中枢症状。尽管存在这些挑战,但STN-DBS为PD患者带来了希望,有助于提高患者生活质量。

作者贡献度说明:

黄小淦:论文选题、撰写与修改;艾祥柏、王诒田:论文审阅与修改;赵建农:指导老师。

所有作者声明不存在利益冲突关系。

参考文献

1 Putha S, Gayam SR, Kasaraneni BP, et al. Neuroscience-informed nomogram model for early prediction of

cognitive impairment in Parkinson's disease[J]. Neurosci Inform, 2025, 5(2): 100189.

2 Malatt C, Maghzi H, Hogg E, et al. Adrenergic blockers, statins, and non-steroidal anti-inflammatory drugs are associated with later age at onset in Parkinson's disease[J]. J Neurol, 2025, 272(3): 255.

3 李言磊. 吡贝地尔缓释片联合丘脑底核脑深部电刺激治疗帕金森病患者疗效观察[J]. 齐齐哈尔医学院学报, 2020, 41(2): 148-149.
Li YL. Therapeutic effect of piribedil sustained-release tablets combined with deep brain stimulation of subthalamic nucleus on Parkinson's disease[J]. J Qiqihar Med Coll, 2020, 41(2): 148-149.

4 中华医学会神经外科学分会功能神经外科学组, 中华医学会神经病学分会帕金森病与运动障碍学组, 中国医师协会神经外科医师分会功能神经外科专家委员会, 等. 帕金森病脑深部电刺激疗法术后程控中国专家共识[J]. 中华神经外科杂志, 2016, 32(12): 1192-1198.
Functional Neurosurgery Group of Neurosurgery Branch of Chinese Medical Association, Parkinson's Disease and Dyskinesia Group of Neurosurgery Branch of Chinese Medical Association, Functional Neurosurgery Expert Committee of Neurosurgeon Branch of Chinese Medical Association, et al. Expert Consensus of China on Program Control after Deep Brain Stimulation Therapy for Parkinson's Disease [J]. Chin J Neurosurg, 2016, 32(12): 1192-1198.

5 Gobeil AM, Guillemette A, Silhadi M, et al. Local field potential biomarkers of non-motor symptoms in Parkinson's disease: Insights from the subthalamic nucleus in deep brain stimulation[J]. Eur J Neurosci, 2025, 61(5): e70046.

6 Quintero EJ, Chau JM, Slevin TJ, et al. Two-year feasibility and safety of open-label autologous peripheral nerve tissue implantation during deep brain stimulation in patients with Parkinson's disease[J]. J Parkinsons Dis, 2025, 18(2): 409.

7 Ni Y, Xiao Y, Shen B, et al. Impact of deep brain stimulation on cognitive impairment in Parkinson's disease: A retrospective longitudinal study[J]. Neurotherapeutics, 2025, 22(3): e00561.

8 Zakharov N, Belova E, Gamaleya A, et al. Neuronal activity features of the subthalamic nucleus associated with optimal deep brain stimulation electrode insertion path in Parkinson's disease[J]. Eur J Neurosci, 2024, 60(12): 6987-7005.

9 Kramme J, Dembek TA, Treuer H, et al. Potentials and limitations of directional deep brain stimulation: A simulation approach [J]. Stereotact Funct Neurosurg, 2021, 99(1): 65-74.

10 Vitek JL, Jain R, Chen L, et al. Subthalamic nucleus deep brain stimulation with a multiple independent constant current-controlled device in Parkinson's disease (INTREPID): A multicentre, double-blind, randomised, sham-controlled study [J]. Lancet Neurol, 2020, 19(6): 491-501.

11 萧钟波, 孟素荣, 邹云新, 等. 闭环刺激双腔起搏器防治血管迷走神经性晕厥的疗效观察[J]. 心脏杂志, 2013, 25(1): 43-46, 50.
Xiao ZB, Meng SR, Zou YX, et al. Therapeutic effect of closed-loop stimulation of dual-chamber pacemaker on vasovagal syncope[J]. Heart J, 2013, 25(1): 43-46,50.

12 Luo B, Zou Y, Yan J, et al. Altered cognitive networks connectivity in Parkinson's disease during the microlesion period after deep brain stimulation[J]. CNS Neurosci Ther, 2024, 30(12): e70184.

13 Feldmann LK, Neumann WJ, Krause P, et al. Subthalamic beta band suppression reflects effective neuromodulation in chronic recordings[J]. Eur J Neurol, 2021, 28(7): 2372-2377.

14 Pina-Fuentes D, van Dijk J, van Zijl JC, et al. Acute effects of adaptive deep brain stimulation in Parkinson's disease[J]. Brain Stimul, 2020, 13(6): 1507-1516.

15 张峰, 孟凡刚. 帕金森病自主神经功能障碍丘脑底核脑深部电刺激术治疗进展[J]. 中国现代神经疾病杂志, 2024, 24(7): 510-515.
Zhang F, Meng FG. Progress in the treatment of autonomic nervous dysfunction in Parkinson's disease by deep brain stimulation of subthalamic nucleus [J]. Chin J Contemporary Neurol Neurosurg, 2024, 24(7): 510-515.

16 王宽, 詹彦, 蒋理, 等. 丘脑底核脑深部电刺激术治疗伴有异动的帕金森病的疗效分析[J]. 第三军医大学学报, 2020, 42(24): 2426-2432.
Wang K, Zhan Y, Jiang L, et al. Therapeutic effect of deep brain stimulation of subthalamic nucleus on Parkinson's disease with abnormality [J]. J Third Military Med Univ, 2020, 42(24): 2426-2432.

17 张路, 赵沃娃, 葛颖, 等. 爆发力训练对帕金森病患者康复治疗作用的随机对照研究[J]. 中国康复, 2024, 39(6): 344-349.
Zhang L, Zhao WW, Ge Y, et al. Randomized controlled study on the effect of explosive force training on rehabilitation of Parkinson's disease patients [J]. Chin Rehabilitat, 2024, 39(6): 344-349.

18 李向, 张琪林, 陈菲, 等. 视觉诱发电位评估帕金森病视幻觉视觉传导通路临床价值[J]. 中国神经精神疾病杂志, 2024, 50(5): 257-262.

Li X, Zhang QL, Chen F, et al. Clinical value of visual evoked potential in evaluating visual conduction pathway of visual hallucination in Parkinson's disease [J]. Chin J Nervous Mental Dis, 2024, 50(5): 257-262.

19 于九江, 熊赤, 牛朝诗. PKG腕表在DBS治疗帕金森病患者运动迟缓症状定量评估中的应用[J]. 立体定向和功能性神经外科杂志, 2020, 33(1): 1-4.
Yu JJ, Xiong C, Niu CS. Application of PKG wrist watch in quantitative evaluation of bradykinesia symptoms in patients with Parkinson's disease treated by DBS [J]. Chin J Stereotact Functional Neurosurg, 2020, 33(1): 1-4.

20 展云涛, 成军群, 王瑞馨. 单纯影像定位与MER辅助定位在帕金森病患者STN-DBS术中的应用价值[J]. 安徽医学, 2024, 45(7): 890-893.
Zhan YT, Cheng JQ, Wang RX. The application value of simple image localization and MER - assisted localization in STN-DBS surgery for Parkinson's disease [J]. Anhui Med, 2024, 45(7): 890-893.

21 Chanu PM, Kumar G, Vinjamuri KR, et al. Computational model for control of hand movement in Parkinson's disease using deep brain stimulation[J]. Exp Brain Res, 2025, 243(3): 74.

22 Hawkins EK, Holden J, Chiarovano E, et al. Vestibular evoked myogenic potentials (VEMPs) in Parkinson's disease patients with monopolar deep brain stimulation[J]. Signals, 2025, 6(1): 10.

23 Bispo MMF, Dornas MF, Viana GY, et al. Functioning, emotion, and pain perception of individuals with Parkinson's disease after deep brain stimulation surgery [J]. J Bod Move Ther, 2025, 4(2): 763-768.

24 Mofatteh M, Mohamed A, Mashayekhi SM, et al. Deep brain stimulation of the hypothalamic region: A systematic review [J]. Acta Neurochir (Wien), 2025, 167(1): 33.

25 Vachez MY, Bahout M, Magnard R, et al. Unilateral and bilateral subthalamic deep brain stimulation differently favour apathy in Parkinson's disease[J]. Eur J Neurosci, 2025, 61(4): e70019.

26 马航, 白岩, 魏巍, 等. 磁共振成像技术在帕金森病震颤诊断及脑刺激治疗中的研究进展[J]. 磁共振成像, 2022, 13(1): 143-146.
Ma H, Bai Y, Wei W, et al. Research progress of magnetic resonance imaging in tremor diagnosis and brain stimulation treatment of Parkinson's disease [J]. Magnet Res Imag, 2022, 13(1): 143-146.

27 纪凡, 李萌, 顾锐, 等. 帕金森病病人DBS后愉悦性活动的影响因素分析[J]. 中国临床神经外科杂志, 2020, 25(5): 289-292.
Ji F, Li M, Gu R, et al. Analysis of influencing factors of pleasurable activity in patients with Parkinson's disease after DBS [J]. Chin J Clin Neurosurg, 2020, 25(5): 289-292.

28 陈玮, 李锦汶, 郑初蕾, 等. 局部麻醉与全身麻醉下行STN-DBS治疗帕金森病临床效果对比观察[J]. 山东医药, 2024, 64(13): 21-25.
Chen W, Li JW, Zheng CL, et al. Comparative observation on the clinical effect of STN-DBS under local anesthesia and general anesthesia in the treatment of Parkinson's disease [J]. Shandong Med, 2024, 64(13): 21-25.

29 徐辉, 刘雷婧. DBS治疗帕金森的临床疗效分析[J]. 湖南师范大学学报(医学版), 2021, 18(3): 223-225.
Xu H, Liu LJ. Clinical efficacy analysis of DBS in treating Parkinson's disease [J]. J Hunan Normal Univ (Med Edition), 2021, 18(3): 223-225.

30 张建英, 马立山. DBS对帕金森病病人精神症状及认知功能的影响[J]. 中国临床神经外科杂志, 2020, 25(10): 703-704.
Zhang JY, Ma LS. Effect of DBS on mental symptoms and cognitive function of patients with Parkinson's disease [J]. Chin J Clin Neurosurg, 2020, 25(10): 703-704.

31 张小小, 林正钰, 戴璐璘, 等. 双侧丘脑底核脑深部电刺激对PD患者焦虑症状的短期影响[J]. 中华神经医学杂志, 2021, 20(1): 56-60.
Zhang XX, Lin ZY, Dai LL, et al. Short-term effect of deep brain stimulation of bilateral subthalamic nuclei on anxiety symptoms of PD patients [J]. Chin J Neuromed, 2021, 20(1): 56-60.

32 孔祥薇, 商慧芳, 宋伟. 脑深部电刺激术对帕金森病睡眠觉醒障碍的影响[J]. 中国神经精神疾病杂志, 2020, 46(7): 426-429.
Kong XW, Shang HF, Song W. Effect of deep brain stimulation on sleep arousal disorder in Parkinson's disease [J]. Chin J Nervous Mental Dis, 2020, 46(7): 426-429.

33 黄琦, 沈慧, 李文, 等. 帕金森病病人血清25-羟维生素D、Hcy水平与运动、非运动症状的相关性分析[J]. 中西医结合心脑血管病杂志, 2024, 22(5): 938-941.
Huang Q, Shen H, Li W, et al. Correlation analysis of serum 25-hydroxyvitamin D and Hcy levels with exercise and non-exercise symptoms in patients with Parkinson's disease[J]. J Cardiovasc Cerebrovasc Dis Int Tradit Chin Western Med, 2024, 22(5): 938-941.

34 Olaru M, Hahn A, Shcherbakova M, et al. Deep brain stimulation-entrained gamma oscillations in chronic home recordings in Parkinson's disease [J]. Brain Stimul, 2025, 18(2): 132-141.

35 Hofmann LA，Widmann J，Brandstetter L，et al. Development and application of a clinical core data set for deep brain stimulation in Parkinson′s disease，dystonia or tremor：From data collection to data exchange and data sharing[J]. Neurol Res Pract，2025，7(1)：5.

36 Leung SHC，Simpson DH，Thyagarajan D. The place of local field potentials in deep brain stimulation programming for Parkinson′s disease：A review[J]. Brain Sci，2025，15(2)：116.

37 Amstutz D，Paschen S，Lachenmayer ML，et al. Management of impulse control disorders with subthalamic nucleus deep brain stimulation in Parkinson′s disease[J]. CNS Neurol Disord Drug Targets，2020，19(8)：611-617.

38 Bruhin CL，Single M，Naef CA，et al. Changes in sensor recorded activity patterns and neuropsychiatric symptoms after deep brain stimulation for Parkinson′s disease：5 case reports[J]. BMC Neurol，2025，25(1)：25.

39 马羽，王运杰，张建国，等. 帕金森病脑深部电刺激术治疗的术后药物调整与程控配合[J]. 中华神经外科杂志，2007，23(6)：452-454.
Ma Y，Wang YJ，Zhang JG，et al. Drug adjustment and program control coordination after deep brain stimulation for Parkinson′s disease [J]. Chin J Neurosurg，2007，23(6)：452-454.

40 中华医学会神经外科学分会功能神经外科学组，中华医学会神经病学分会帕金森病及运动障碍学组，中国医师协会神经内科医师分会帕金森病及运动障碍学组，等. 中国帕金森病脑深部电刺激疗法专家共识(第二版)[J]. 中华神经外科杂志，2020，36(4)：325-337.
Functional Neurosurgery Group of Neurosurgery Branch of Chinese Medical Association，Parkinson′s Disease and Dyskinesia Group of Neurology Branch of Chinese Medical Association，Parkinson′s Disease and Dyskinesia Group of Neurophysicians Branch of Chinese Medical Association，et al. Expert Consensus of Deep Brain Stimulation Therapy for Parkinson′s Disease in China (2nd Edition) [J]. Chin J Neurosurg，2020，36(4)：325-337.

[本文编辑] 朱 昊