

麻醉方式和微电极记录对脑深部电刺激术治疗帕金森病效果的影响

王宇航 吕 坤 鄂语乾 曹胜武 赵春生 曹纹平

【摘要】目的 探讨麻醉方式和微电极记录(MER)对脑深部电刺激术(DBS)治疗帕金森病(PD)效果的影响。**方法** 回顾性分析 2016 年 1 月至 2020 年 12 月行双侧丘脑底核(STN)-DBS 治疗的 112 例 PD 的临床资料。根据麻醉方式和使用 MER 情况分为 4 组:局部麻醉(LA)+MER 组($n=22$), LA+非 MER 组($n=25$), 全身麻醉(GA)+MER 组($n=34$), GA+非 MER 组($n=31$)。记录术后并发症情况;术后复查 CT 计算靶点和实际电极尖端坐标,并采用欧氏距离(ED)评估电极植入精度;术后 1 个月开机,采用 UPDRS-Ⅲ 评分评估疗效。**结果** 术后 1 个月 UPDRS-Ⅲ 评分改善率:LA+MER 组[(50.04±7.20)%]、GA+MER 组[(51.80±8.04)%]和 GA+非 MER 组[(52.23±7.92)%]均明显高于 LA+非 MER 组[(40.37±9.76)%; $P<0.05$]。颅内积气:LA+MER 组[(8.17±5.38)ml]和 LA+非 MER 组[(10.27±4.22)ml]明显高于 GA+MER 组[(4.68±1.25)ml; $P<0.05$]和 GA+非 MER 组[(4.75±1.08)ml; $P<0.05$]。与其他三组相比,LA+非 MER 组第一靶点和第二靶点 Y 轴偏差均明显增大($P<0.05$)。**结论** 麻醉方式和 MER 的选择对 STN-DBS 治疗 PD 具有一定的影响。使用 MER 可纠正 GA 引起的脑脊液丢失和体位导致的靶点误差,提高植入电极的准确性。

【关键词】 帕金森病;脑深部电刺激术;丘脑底核;微电极记录;麻醉方式

【文章编号】 1009-153X(2024)06-0321-06 **【文献标志码】** A **【中国图书资料分类号】** R 742.5; R 651.1⁺1

Effects of anesthesia method and microelectrode recording on outcomes of deep brain stimulation for patients with Parkinson's disease

WANG Yu-hang, LÜ Kun, E Yu-qian, CAO Sheng-wu, ZHAO Chun-sheng, CAO Wen-ping. Department of Neurosurgery, The First Affiliated Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing 210000, China

【Abstract】 Objective To explore the effects of anesthesia method and microelectrode recording (MER) on the outcome of deep brain stimulation (DBS) for patients with Parkinson's disease (PD). **Methods** The clinical data of 112 PD patients who underwent bilateral subthalamic nucleus (STN)-DBS from January 2016 to December 2020 were retrospectively analyzed. According to the anesthesia method and the use of MER, they were divided into 4 groups: local anesthesia (LA)+MER group ($n=22$), LA+non-MER group ($n=25$), general anesthesia (GA)+MER group ($n=34$), and GA+non-MER group ($n=31$). The postoperative complications were recorded; the coordinates of the target and the actual electrode tip were calculated by postoperative CT images, and the Euclidean distance (ED) was used to assess the accuracy of electrode implantation; the stimulator was activated 1 month after the surgery, and the UPDRS-Ⅲ score was used to assess the therapeutic effect. **Results** The improvement rate of UPDRS-Ⅲ score 1 month after the surgery: the LA+MER group [(50.04±7.20)%], the GA+MER group [(51.80±8.04)%], and the GA+non-MER group [(52.23 ± 7.92)%] were significantly higher than the LA+non-MER group [(40.37±9.76)%; $P<0.05$]. Intracranial pneumatosis: the LA+MER group [(8.17±5.38) ml] and the LA+non-MER group [(10.27±4.22) ml] were significantly higher than the GA+MER group [(4.68±1.25) ml; $P<0.05$] and the GA+non-MER group [(4.75±1.08) ml; $P<0.05$]. Compared with the other three groups, the Y-axis deviations of the first and second targets in the LA+non-MER group were significantly increased ($P<0.05$). **Conclusions** The choice of anesthesia method and MER has a certain influence on the outcomes of STN-DBS for PD patients. The use of MER can correct the target errors caused by cerebrospinal fluid loss and body position under GA and improve the accuracy of electrode implantation.

【Key words】 Parkinson's disease; Deep brain stimulation; Subthalamic nucleus; Microelectrode recording; Anesthesia methods

帕金森病(Parkinson's disease, PD)的发病率越

来越高,预计到 2040 年,全球 PD 数量将增加到 1 000 万左右^[1]。PD 病人有运动症状(如运动迟缓、僵硬和震颤)和非运动症状(如便秘、功能减退、抑郁、认知能力下降和睡眠改变)^[2]。PD 早期药物治疗的效果显著,但随着疾病的进展,药物疗效明显减退,或并发严重的症状波动或异动症,这时可以考虑手术治疗^[3]。手术方法主要有神经核毁损术和脑深部电刺

doi:10.13798/j.issn.1009-153X.2024.06.001
基金项目:江苏省科教能力提升工程(ZDXK202225)
作者单位:210000 南京,南京医科大学第一附属医院神经外科(王宇航、吕 坤、鄂语乾、曹胜武、赵春生、曹纹平)
通信作者:曹纹平,Email:docaowp@126.com

激术(deep brain stimulation, DBS),其中 DBS 因相对无创、安全和可调控性而成为目前主要的手术方法^[4]。传统的 DBS 是在局部麻醉(local anesthesia, LA)下进行微电极记录(microelectrode recording, MER)和术中测试刺激,最终置入电极^[5]。近年来,研究报道“睡眠”DBS 改善 DBS 的安全性和可及性^[6]。这种所谓的“睡眠”DBS 是在全身麻醉(general anesthesia, GA)下进行的,病人可以更好地耐受,对可能不考虑 LA 手术的病人更有吸引力^[7]。研究表明,LA 和 GA 状态下 DBS 对 PD 病人具有相似的临床结局^[8,9]。本文探讨麻醉方式和 MER 对 DBS 治疗 PD 病人的影响。

1 资料与方法

1.1 病例纳入标准 符合 PD 的诊断标准,经规范药物治疗后仍存在运动波动、异动或严重功能障碍;临床特发性 PD;根据统一帕金森病评定量表(Unified Parkinson's Disease Rating Scale, UPDRS)第三部分的客观标准,急性左旋多巴激发试验显示左旋多巴改善率 $\geq 30\%$ 视为需要进行 DBS。排除重度认知障碍和精神症状的病人。

1.2 研究对象 2016 年 1 月至 2020 年 12 月纳入接受双侧丘脑底核(subthalamic nucleus, STN)-DBS 治疗的 PD 共 112 例,所有手术均由同一团队完成,根据麻醉方式及使用 MER 情况将病人分为 4 组:LA+MER 组($n=22$),LA+非 MER 组($n=25$),GA+MER 组($n=34$),GA+非 MER 组($n=31$)。四组病人基线资料无统计学差异($P>0.05$;表 1)。

1.3 手术方法

1.3.1 术前准备 手术当天,所有病人均在 LA 下放置立体定向头架行 CT 扫描。将术前 MRI 与手术当天 CT 导入计划软件进行重建,生成垂直于 AC-PC 线和正中矢状面的图像。基于解剖结构的可视化,永久

植入的电极尖端位于 STN 的背外侧运动部分,并与其他结构和内囊纤维保持安全距离。

1.3.2 麻醉过程 GA 组给予芬太尼($1\sim 2\text{ }\mu\text{g/kg}$)、丙泊酚($1\sim 2.5\text{ }\mu\text{g/kg}$)和肌松药($0.6\sim 1.5\text{ }\mu\text{g/kg}$)诱导,术中吸入七氟醚维持。安装带有 Mayfield 适配器的立体定向框架,使头架底座与床呈 45° (图 1)。LA 组在清醒状态下进行手术,头架与床面呈 15° ,在颈后放置海绵垫以支撑颈部肌肉,以保持舒适并帮助气道通畅,然后以利多卡因进行麻醉。

1.3.3 手术过程 所有病人根据术前计划坐标值以及计划穿刺角度设计切口。LA 组 MER 使用美敦力公司的单轨微电极记录,并在靶点上方 10 mm 处开始记录电活动,同时每向靶点位置推进 1 mm,记录一次。当获得满意的电信号记录时,采用临时刺激器测试,结合测试结果决定电极植入的最终位置。GA+MER 组不进行术中临时刺激器测试,其他手术步骤同 LA+MER 组。非 MER 组术中不进行电生理监测,局麻病人术中临时刺激器测试,全麻病人不做测试。所有病人电极植入后,利用延长导线连接锁

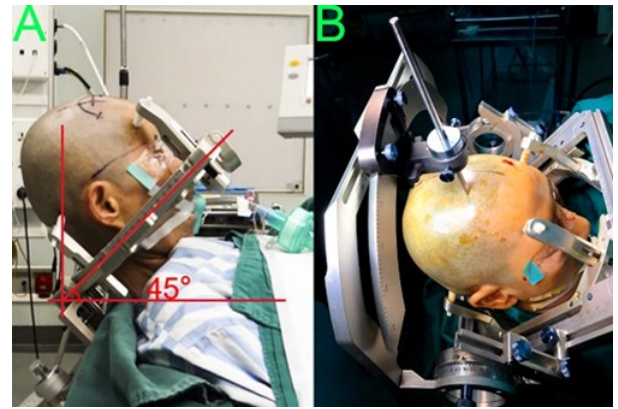


图 1 全麻下行脑深部电刺激术治疗帕金森病的头部位位
Figure 1 Head position of patients with Parkinson's disease undergoing deep brain stimulation under general anesthesia

表 1 双侧 STN-DBS 治疗的帕金森病病人的人口学特征和临床特征
Table 1 Demographic and clinical characteristics of patients with Parkinson's disease undergoing bilateral STN-DBS

基线资料	LA+MER 组($n=22$)	LA+非 MER 组($n=25$)	GA+MER 组($n=34$)	GA+非 MER 组($n=31$)	统计值	P 值
起病年龄(岁)	54.78 \pm 5.24	55.00 \pm 9.36	51.74 \pm 11.17	55.87 \pm 7.72	$F=0.41$	0.745
性别(例,女/男)	9/13	11/14	19/15	16/15	$\chi^2=1.55$	0.670
H-Y 分期(关)	3.05 \pm 0.90	2.92 \pm 0.81	3.04 \pm 0.74	2.89 \pm 0.75	$F=0.33$	0.817
MMSE 评分(分)	26.77 \pm 1.11	27.12 \pm 1.67	26.91 \pm 1.60	27.48 \pm 1.75	$F=0.86$	0.358
LCT 改善率(%)	46.83 \pm 9.69	47.36 \pm 10.43	44.72 \pm 8.56	44.64 \pm 10.47	$F=0.49$	0.631

注:STN. 丘脑底核;DBS. 脑深部电刺激术;LA. 局部麻醉;GA. 全身麻醉;MER. 微电极记录;MMSE. 简易精神状态评价量表;LCT. 左旋多巴冲击试验;LA+MER 组. 局麻手术,术中进行微电极记录;LA+非 MER 组. 局麻手术,术中不进行微电极记录;GA+MER 组. 全麻手术,术中进行微电极记录;GA+非 MER 组. 全麻手术,术中不进行微电极记录

骨下的脉冲发生器 (implantable pulse generator, IPG)。术后行头颅 CT 扫描,将术后 CT 与术前 MRI 图像进行融合,确定电极位置以及与手术前计划电极位置的相对距离,并检查有无气颅、颅内出血等并发症。术后 1 个月开机并进行参数设置,刺激器的参数一般选择脉宽 60~90 μ s,频率 130~150 Hz,电压 1.6~3.0 V。

1.4 电极植入精度的评估方法 将术后 CT 与术前计划目标图像进行融合,导入工作站,计算实际电极(最低触点)与规划轨迹的径向误差为: $\Delta x=|x_2-x_1|$, $\Delta y=|y_2-y_1|$, $\Delta z=|z_2-z_1|$ 。根据径向误差计算实际电极触点中心与计划电极触点中心之间的距离,由这两点之间的欧氏距离 ($ED=\sqrt{\Delta x^2+\Delta y^2+\Delta z^2}$) 确定。ED 是三维空间中的总距离,代表主要测量结果(图 2)。植入误差为术前计划植入位置与术后实际植入位置的 ED 绝对值。

1.5 评估指标 术后记录手术时间和并发症情况;术后复查头部 CT 评估电极植入精度;术后 1 个月开机,采用 UPDRS 评分评估疗效。

1.6 统计学分析 采用 SPSS 20.0 软件进行分析;正态

分布定量资料以 $\bar{x}\pm s$ 表示,采用 t 检验、单因素方差分析和 LSD- t 检验;定性资料采用 χ^2 检验;以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 手术结果 在药物和刺激器关期,四组术后 1 个月 UPDRS-III 评分无明显差异 ($P>0.05$;表 2);但在药物和刺激器开期,LA+非 MER 组 UPDRS-III 评分明显增高 ($P<0.05$;表 2),其 UPDRS 改善率明显降低 ($P<0.05$;表 2)。

与 LA 下手术病人相比,GA 下手术病人的手术时间明显缩短 ($P<0.05$,表 2),GA 下手术且不进行 MER 病人的手术时间最短 ($P<0.05$,表 2)。与 LA 病人相比,GA 病人术后颅内积气量明显减少 ($P<0.05$,表 2)。

2.2 靶点误差 四组第一个靶点和第二靶点 ED 值均无统计学差异 ($P>0.05$,表 3)。进一步分析 3 个矢量 x 、 y 、 z 轴绝对误差结果显示,与其他三组相比,LA+非 MER 组第一靶点和第二靶点 y 轴偏差均明显增大 ($P<0.05$,表 3)。

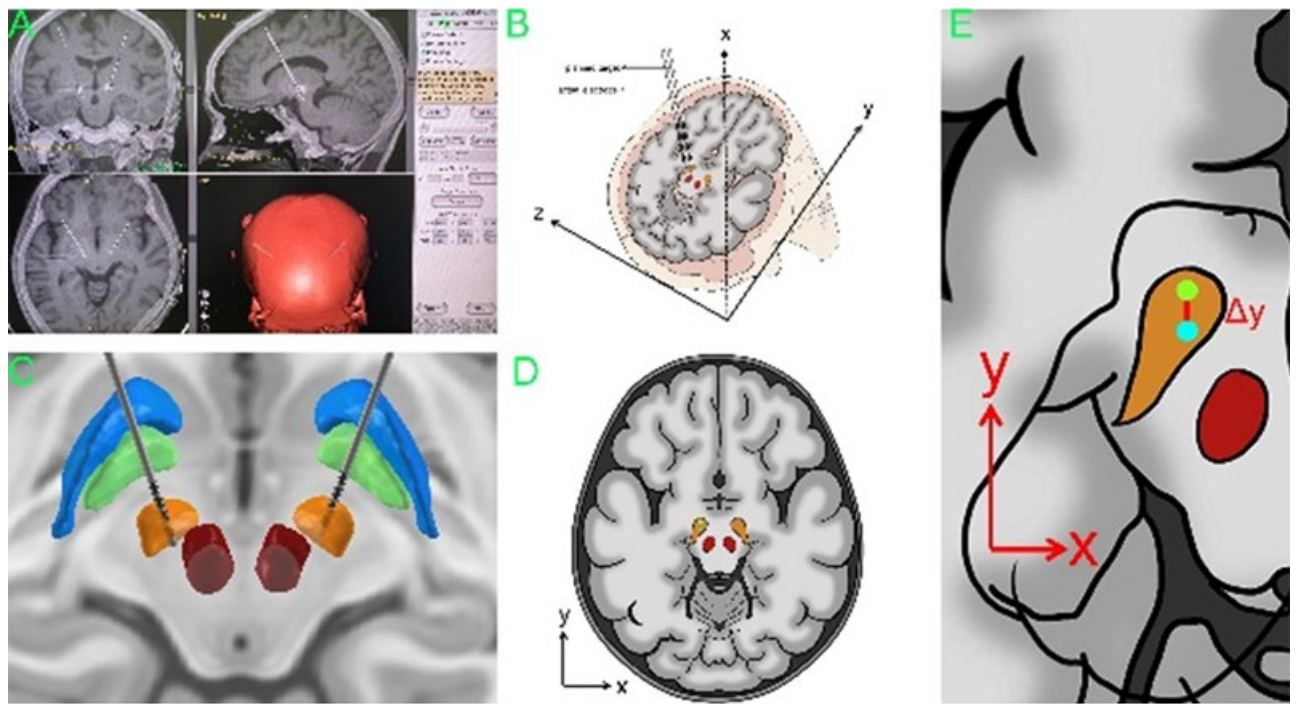


图2 脑深部电刺激术治疗帕金森病的电极植入精度的评估方法

A: 术中 CT 图像与术前 MRI 融合,显示目标电极;B: 靶点坐标 x 、 y 、 z 轴坐标方向示意图;C: 电极位置示意图,使用 Lead-DBS 2.6 (<https://www.lead-dbs.org/>);D: 植入电极偏移方向的示意图;E: 示意图显示计划目标(绿色)和实际电极(蓝色)在 y 轴上存在误差

Figure 2 Evaluation method of electrode implantation accuracy in deep brain stimulation for Parkinson's disease

A: Fusion of intraoperative CT with preoperative MRI shows the target electrode. B: Illustrations of the x , y , and z -axis coordinates of the targeting coordinate system. C: Diagram shows the position of the electrode, using Lead-DBS 2.6 (<https://www.lead-dbs.org/>). D: Illustrations shows the direction of electrode misplacement. E: Diagram shows the difference between the planned target (green) and the actual electrode (blue) in the y -axis.

3 讨论

在清醒状态下进行 DBS,病人需要停药 10 h 以上。然而,术前长时间停药会影响术中 MER 信号的采集以及术中测试,会降低术中病人的配合度,增加麻醉管理难度^[10]。这在有严重难治性高血压、幽闭恐惧症、阻塞性睡眠呼吸暂停综合征或焦虑等病人中尤其成问题^[11]。研究表明,GA 下行 DBS 与 LA+MER 具有相似的疗效^[12,13]。GA 可以提供更好的手术条件,包括更短的手术时间和更好的病人体验。此外,睡眠状态下进行 DBS 能更好地控制术中血压,减少手术耗时,会减少副作用,如更低的感染和脑出血风险^[14]。然而,也有报道显示,睡眠和清醒状态下进行 DBS 均可安全实施,并发症发生率、住院时间和 30 d 再入院率均无统计学差异^[15]。本研究结果发现术后病人都表现出不同程度的运动功能改善;无 MER 情况下,LA 组 UPDRS-III 评分改善程度远低于 GA 组;有趣的是,是否使用 MER 对 GA 结果没有显著影响,而对 LA 具有显著影响。GA 组病人避免了颅内过多的积气,减少了脑脊液的丢失,从而降低了植入电极的偏移程度。而电生理可以纠正这种偏移

程度,在 LA+非 MER 组时没有纠正这种偏移,所以植入电极的偏移程度最大,病人的术后改善率最低。

3.1 MER MER 可以精确定位到 STN 的背外侧,优化术前成像的视觉靶点,减少误差^[16,17]。然而,在整个手术过程中,病人必须被安置在头部框架中,并保持在一个固定的位置^[18]。老年 PD 病人多合并椎管狭窄、椎间盘突出症等,并伴有严重的多发性神经肌肉骨骼症状^[19]。除此之外,气动研磨钻头的巨大噪音也给大多数 PD 病人带来生理和心理上的困扰^[20]。由于 MER 的精准性,所有病人都达到了预期的临床效果,而未行 MER 的病人改善率较差。但为什么 GA+非 MER 也能提供良好的手术效果?我们发现,无论选择何种麻醉方式,MER 均能纠正脑组织移位导致的靶点误差,提高精度。如果 LA 下行 DBS,MER 的靶区误差小于非 MER。由于脑脊液丢失、重力、颅内积气等因素导致的计划脑组织靶区(计划靶区)与实际脑组织靶区(植入靶区)之间的差异需要更多的 MER 穿透才能到达实际靶区位置,这体现在误差值上。虽然这些发现可以用脑组织漂移来解释,但这些结果提示 MER 对 DBS 中靶点的确定至关重要。因为即使是很小的脑组织漂移也会造成计划轨

表 2 麻醉方式和 MER 对双侧 STN-DBS 治疗帕金森病效果的影响
Table 2 Effect of anesthesia method and MER on the efficacy of bilateral STN-DBS for Parkinson's disease

评估指标	LA+MER 组	LA+非 MER 组	GA+MER 组	GA+非 MER 组
手术时间(min)	373.09±23.97	328.32±18.45*	273.71±19.49**	241.94±17.69**
UPDRS-Ⅲ评分(关)	53.00±11.60	50.35±8.86	53.71±12.08	54.16±12.50
UPDRS-Ⅲ评分(开)	25.77±2.37	30.12±7.24*	25.09±2.76	25.06±2.98
UPDRS-Ⅲ评分改善率(%)	50.04±7.20	40.37±9.76*	51.80±8.04	52.23±7.92
颅内积气(ml)	8.17±5.38	10.27±4.22	4.68±1.25#	4.75±1.08#

注:与 LA+MER 组相应值比,* $P<0.001$;与 LA+非 MER 组相应值比,# $P<0.001$;STN. 丘脑底核;DBS. 脑深部电刺激术;LA. 局部麻醉;GA. 全身麻醉;MER. 微电极记录;LA+MER 组. 局麻手术,术中进行微电极记录;LA+非 MER 组. 局麻手术,术中不进行微电极记录;GA+MER 组. 全麻手术,术中进行微电极记录;GA+非 MER 组. 全麻手术,术中不进行微电极记录;UPDRS-Ⅲ. 统一帕金森病评定量表第三部分

表 3 麻醉方式和 MER 对双侧 STN-DBS 治疗帕金森病电极植入精度的影响
Table 3 Effect of anesthesia method and MER on the accuracy of electrode implantation in bilateral STN-DBS for Parkinson's disease

评估指标	第一靶点				第二靶点			
	LA+MER	GA+MER	LA+非 MER	GA+非 MER	LA+MER	GA+MER	LA+非 MER	GA+非 MER
ED 值	1.22±0.37	1.16±0.25	1.35±0.22	1.18±0.22	1.28±0.32	1.23±0.25	1.45±0.23	1.25±0.23
x 轴	0.69±0.34	0.65±0.23	0.70±0.29	0.67±0.24	0.70±0.30	0.68±0.24	0.72±0.17	0.69±0.25
y 轴	0.67±0.34*	0.62±0.27*	0.88±0.18	0.65±0.28*	0.76±0.33*	0.73±0.22*	1.02±0.23	0.74±0.22*
z 轴	0.64±0.27	0.63±0.30	0.65±0.26	0.64±0.21	0.66±0.19	0.64±0.21	0.68±0.27	0.65±0.26

注:与 LA+非 MER 组相应值比,* $P<0.001$;STN. 丘脑底核;DBS. 脑深部电刺激术;LA. 局部麻醉;GA. 全身麻醉;MER. 微电极记录;LA+MER. 局麻手术,术中进行微电极记录;LA+非 MER. 局麻手术,术中不进行微电极记录;GA+MER. 全麻手术,术中进行微电极记录;GA+非 MER. 全麻手术,术中不进行微电极记录;ED. 两点之间的欧氏距离

迹和实际电极之间的差异^[21]。但 GA 病人在一定程度上克服了脑脊液丢失、颅内积气、脑组织因重力作用导致的偏移,也就是纠正这些可能导致电极植入偏移的因素。另外值得注意的是,DBS 中 STN 获得的 MER 信号与清醒程度有关,且干扰由 MER 识别的 STN 的背侧和腹侧缘^[22]。在某些情况下,GA 确实可以提供更好的手术体验,但同时也存在一些不利之处,例如 MER 信号采集受到干扰,手术过程基本停留于解剖定位。要克服 GA 的这些不利之处,可以采取以下策略:①持续改进手术技术和使用先进的设备,减少目标靶点的误差,如减少脑脊液丢失、气颅等,术前影像技术的不断提高可更清晰更直观地将目标靶点可视化;②麻醉团队可以通过更准确的麻醉药物剂量和多种麻醉监测指标来确保病人在手术中保持稳定的麻醉深度,以减少因麻醉抑制目标核团电活动而对 MER 信号采集的干扰;③可以不断改进 MER 信号采集技术,提高信号的稳定性和准确性,如优化电极的形状、大小和布局,以最大程度地减少噪音干扰和增强信号捕获,选择合适的参考电极以最小化共模噪音的影响等。然而,应对策略还需根据病人的病情和手术类型进行个体化制定。

文献报道,接受 MER 病人的颅内出血发生率在 2.1%~20.4%,而导致永久性神经功能缺损的脑出血发生率在 0%~4.1%^[23]。本研究接受 MER 的病人中有 5.3% 的无症状脑出血,是一过性的,不影响预后^[24]。反复穿刺可能导致术中出现多个平行轨迹,从而增加血管损伤的风险和脑出血的发生率^[25]。研究表明,MER 使用的微电极比永久性电极的尖端更尖锐,更有可能穿透微小血管^[26]。

3.2 麻醉方式 DBS 中多种因素会影响植入电极的准确性,例如框架和床头^[27]。另外,植入电极的准确性还受到大脑相对于颅骨位置变化的影响。对于 LA 病人的气道保护,将头位抬高到最佳角度是不可能的。相比之下,在 GA 中,头部位置可以抬高到垂直于地面的穿刺点。这保证了电极在运行过程中的轨迹基本垂直于地面,避免了重力引起的软电极 y 轴偏移。此外,手术头位较低会增加脑组织向后移位的趋势,钻孔过低也会导致脑脊液过度丢失,加重脑组织的漂移塌陷,影响电极植入的准确性。这就解释了为什么同样在非 MER 下,GA 的误差要远小于 LA,这就是本研究强调的一个重点,清醒 DBS 和睡眠 DBS 的区别之一是床头高度(head of bed, HOB),这可以很容易地在睡眠 DBS 中得到保证。影响 DBS 电极植入准确性的另一个重要因素是颅内空气体

积。本文病例 LA 下手术时间远远大于 GA 下手术时间。手术时间的延长会导致脑脊液的过度丢失和颅骨内气体的积聚,可引起不同程度的脑组织移位。这就解释了为什么使用 MER 时发生了同样的 y 轴偏差,尤其是第二个靶点 ED 值的变化。因此,手术时间和头位变化对第二靶点误差影响较大。虽然 MER 有手术时间过长、脑移位过多等缺点,但联合 GA 可能会克服这些缺点。

本研究的局限性包括缺乏长期随访调查、样本量有限以及未纳入日常生活能力和术后期控参数等临床结局的比较。未来的研究应纳入更多病例,增加长期随访,并关注远期预后指标。

总之,麻醉方式和 MER 的选择对 DBS 治疗 PD 具有一定的影响。MER 提高了精度,并纠正了由于脑脊液丢失、重力和体位变化等因素导致的脑组织移位造成的靶点误差。需要注意的是,这些只是术后打开刺激器一个月后的临床结果,长期结果需要更多的随访数据。

【伦理学声明】:本研究遵循《赫尔辛基宣言》,所有病人和/或家属均签署知情同意书。本研究方案于 2015 年 12 月 22 日经南京医科大学第一附属医院伦理委员会审批,批号为 NYDFY-2015A247。

【利益冲突声明】:本文不存在任何利益冲突。

【作者贡献声明】:王宇航、吕坤收集数据、撰写论文;鄂语乾随访病人、收集数据;曹胜武、赵春生、曹纹平修改论文;曹纹平修改论文并最终定稿。

【参考文献】

[1] FAN HX, SHENG S, ZHANG F. New hope for Parkinson's disease treatment: targeting gut microbiota [J]. CNS Neurosci Ther, 2022, 28 (11): 1675-88.

[2] HAYES MT. Parkinson's disease and Parkinsonism [J]. Am J Med, 2019, 132(7): 802-7.

[3] Chinese Society of Parkinson's Disease and Movement Disorders, Parkinson's Disease and Movement Disorder Section of Neurologist Branch of Chinese Medical Doctor Association. Chinese guidelines for theTreatment of Parkinson's disease (fourth edition) [J]. Chin J Neurol, 2020, 53(12): 973-86.

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. 中国帕金森病治疗指南(第四版) [J]. 中华神经科杂志, 2020, 53(12): 973-986.

- [4] PAHWA R, FACTOR SA, LYONS KE, *et al.* Practice Parameter: treatment of Parkinson disease with motor fluctuations and dyskinesia (an evidence-based review): report of the Quality Standards Subcommittee of the American Academy of Neurology [J]. *Neurology*, 2006, 66(7): 983-995.
- [5] BLOEM BR, OKUN MS, KLEIN C. Parkinson's disease [J]. *Lancet*, 2021, 397(10291): 2284-303.
- [6] WANG JJ, TIAN H, RAO J, *et al.* Efficacy and safety of general anesthesia deep brain stimulation for dystonia: an individual patient data meta-analysis of 341 cases [J]. *Neurol Sci*, 2021, 42(7): 2661-2671.
- [7] LIU Z, HE S, LI L. General anesthesia versus local anesthesia for deep brain stimulation in Parkinson's disease: a meta-analysis [J]. *Stereotact Funct Neurosurg*, 2019, 97(5-6): 381-390.
- [8] HOLEWIJN RA, VERBAAN D, DE BIE R MA, *et al.* General Anesthesia versus Local Anesthesia in Stereotaxy (GALAXY) for Parkinson's disease: study protocol for a randomized controlled trial [J]. *Trials*, 2017, 18(1): 417.
- [9] SHESHADRI V, ROWLAND NC, MEHTA J, *et al.* Comparison of general and local anesthesia for deep brain stimulator insertion: a systematic review [J]. *Can J Neurol Sci*, 2017, 44(6): 697-704.
- [10] PARK HR, LIM YH, SONG EJ, *et al.* Bilateral subthalamic nucleus deep brain stimulation under general anesthesia: literature review and single center experience [J]. *J Clin Med*, 2020, 9(9): 3044.
- [11] JIANG N, LING Y T, YANG C, *et al.* Optimized propofol anesthesia increases power of subthalamic neuronal activity in patients with Parkinson's disease undergoing deep brain stimulation [J]. *Neurol Ther*, 2021, 10(2): 785-802.
- [12] SALEH S, SWANSON KI, LAKE WB, *et al.* Awake neurophysiologically guided versus asleep MRI-guided STN DBS for Parkinson disease: a comparison of outcomes using levodopa equivalents [J]. *Stereotact Funct Neurosurg*, 2015, 93(6): 419-426.
- [13] CHEN T, MIRZADEH Z, CHAPPLE K, *et al.* Complication rates, lengths of stay, and readmission rates in "awake" and "asleep" deep brain stimulation [J]. *J Neurosurg*, 2017, 127(2): 360-369.
- [14] DELAVALLEE M, DELAUNOIS J, RUWET J, *et al.* STN DBS for Parkinson's disease: results from a series of ten consecutive patients implanted under general anaesthesia with intraoperative use of 3D fluoroscopy to control lead placement [J]. *Acta Neurochir (Wien)*, 2016, 158(9): 1783-1788.
- [15] TSAI ST, CHUANG WY, KUO CC, *et al.* Dorsolateral subthalamic neuronal activity enhanced by median nerve stimulation characterizes Parkinson's disease during deep brain stimulation with general anesthesia [J]. *J Neurosurg*, 2015, 123(6): 1394-1400.
- [16] FOLTYNIE T, ZRINZO L, MARTINEZ-TORRES I, *et al.* MRI-guided STN DBS in Parkinson's disease without microelectrode recording: efficacy and safety [J]. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 2011, 82(4): 358-363.
- [17] SOARES MI, SOARES-DOS-REIS R, ROSAS MJ, *et al.* Intraoperative microelectrode recording in Parkinson's disease subthalamic deep brain stimulation: analysis of clinical utility [J]. *J Clin Neurosci*, 2019, 69: 104-108.
- [18] LOZANO CS, RANJAN M, BOUTET A, *et al.* Imaging alone versus microelectrode recording-guided targeting of the STN in patients with Parkinson's disease [J]. *J Neurosurg*, 2018; 130(6): 1847-1852.
- [19] BORSCHKE M, PEREIRA SL, KLEIN C, *et al.* Mitochondria and Parkinson's disease: clinical, molecular, and translational aspects [J]. *J Parkinsons Dis*, 2021, 11(1): 45-60.
- [20] SEIFRIED C, WEISE L, HARTMANN R, *et al.* Intraoperative microelectrode recording for the delineation of subthalamic nucleus topography in Parkinson's disease [J]. *Brain Stimul*, 2012, 5(3): 378-387.
- [21] GARONZIK IM, HUA SE, OHARA S, *et al.* Intraoperative microelectrode and semi-microelectrode recording during the physiological localization of the thalamic nucleus ventral intermediate [J]. *Mov Disord*, 2002, 17 Suppl 3: S135-144.
- [22] BJERKNES S, TOFT M, KONGLUND AE, *et al.* Multiple microelectrode recordings in STN-DBS surgery for Parkinson's disease: a randomized study [J]. *Mov Disord Clin Pract*, 2018, 5(3): 296-305.
- [23] HERZOG J, VOLKMANN J, KRACK P, *et al.* Two-year follow-up of subthalamic deep brain stimulation in Parkinson's disease [J]. *Mov Disord*, 2003, 18(11): 1332-1337.
- [24] HAMANI C, RICHTER E, SCHWALB JM, *et al.* Bilateral subthalamic nucleus stimulation for Parkinson's disease: a systematic review of the clinical literature [J]. *Neurosurgery*, 2005, 56(6): 1313-1324.
- [25] KRACK P, BATIR A, VAN BLERCOM N, *et al.* Five-year follow-up of bilateral stimulation of the subthalamic nucleus in advanced Parkinson's disease [J]. *N Engl J Med*, 2003, 349(20): 1925-1934.
- [26] KWON WK, KIM JH, LEE JH, *et al.* Microelectrode recording (MER) findings during sleep-awake anesthesia using dexmedetomidine in deep brain stimulation surgery for Parkinson's disease [J]. *Clin Neurol Neurosurg*, 2016, 143: 27-33.
- [27] LIN SH, LAI HY, LO YC, *et al.* Decreased power but preserved bursting features of subthalamic neuronal signals in advanced Parkinson's patients under controlled desflurane inhalation anesthesia [J]. *Front Neurosci*, 2017, 11: 701.