

doi: 10.3969/j.issn.1672-4933.2026.02.009

人工耳蜗术中蜗内 ECoChG 监测技术

Intracochlear Electrocochleogram Monitoring Technology in Cochlear Implant Surgery

刘佳浩 梁茂金 郑亿庆 王雅静

LIU Jia-hao, LIANG Mao-jin, ZHENG Yi-qing, WANG Ya-jing

【摘要】目的 探讨人工耳蜗植入术中蜗内耳蜗电图(electrocochleography, ECoChG)实时监测技术的标准化操作流程。**方法** 在常规人工耳蜗植入手术中,建立术中蜗内ECoChG实时监测标准化流程,包括设备连接与校准、声刺激参数设置等,通过主刀医生与听力师协同操作,实时反馈术中动态监测结果,指导调整电极植入角度与速度,电极植入后行多通道ECoChG评估。**结果** 术中ECoChG监测可实时反映基底膜毛细胞功能状态,是保护残余听力、提高人工耳蜗植入精准性的关键手段。**结论** 术中蜗内ECoChG监测技术建立标准化操作流程可减少误差风险,为临床广泛推广提供参考。

【关键词】 人工耳蜗;耳蜗电图;微创手术;术中监测**【中图分类号】** R764.35**【文献标识码】** A**【文章编号】** 1672-4933(2026)02-0158-05

【Abstract】 Objective To establish a standardized protocol for real-time intracochlear ECoChG monitoring during cochlear implantation surgery. **Methods** During routine MED-EL cochlear implantation surgeries, a standardized real-time intracochlear ECoChG monitoring protocol was established, including equipment connection and calibration, acoustic stimulation parameter settings, etc. Through collaborative operation between the surgeon and audiologist, real-time ECoChG feedback guided intraoperative adjustments of electrode insertion trajectory and insertion rate. Post-electrode insertion and multi-channel ECoChG evaluation were performed. **Results** Intraoperative ECoChG monitoring can reflect the functional status of the basilar membrane hair cells in real time, serving as a critical measure for preserving residual hearing and improving the precision of cochlear implantation. **Conclusion** Establishing a standardized operational procedure for intracochlear ECoChG monitoring can reduce the risk of errors and provide a reference for broader clinical adoption.

【Key words】 Cochlear implant; Electrocochleography; Minimally invasive surgery; Intraoperative monitoring

人工耳蜗植入是重度至极重度感音神经性聋患者的重要治疗手段^[1,2]。技术的进步推动了手术理念和适应症的更新。微创手术理念(如圆窗植入、柔手术技术、软电极载药电极的应用等)显著保护了患者的残余听力和基底膜功能,同时扩大了人工耳蜗的受益群体^[3-5],尤其是术前有低频残余听力的患者。

在人工耳蜗手术过程中,保护耳蜗残余功能至关重要,已成为评估手术成效的关键指标之一。然而,即便在手术过程中严格遵循手术原则,部分患者仍会出现12%~30%的穿阶率^[6,7]。电极的穿阶现象会导致基底膜受损,使得内外淋巴液混合,进而导致离子梯度和耳蜗内电位的丧失,最终造成耳蜗残余功能不可逆性损伤。因此,尽管手术过程中采取了“柔”手术技术,仍仅有47%~82%^[8-10]的植入者能够实现不同程度的听力保护。电极植入过程中对耳蜗的损伤是导致术后听力损失的主要原

因。由于人工耳蜗电极植入是一个“盲插”过程,因此,如何实时监测电极植入的角度和速度,以及如何判断电极是否发生穿阶现象,成为了手术中监测的关键。

Campbell等^[11]于2010年首次在沙鼠中记录了术中耳蜗外耳蜗电图(electrocochleogram, ECoChG)电位,并首次证明了耳蜗微音电位(cochlear microphonic, CM)波振幅的下降与耳蜗结构损伤之间存在密切关联。这一发现为后来探索人工耳蜗植入术中实时ECoChG监测奠定了重要基础。2014年Calloway等^[12]首次记录到蜗内ECoChG电位,2017年Harris等^[13]在人工耳蜗植入过程中连续记录到CM波。这些研究不仅为耳蜗手术提供了精确的监测手段,也为提高手术成功率和保护患者听力提供了新的可能性。

在目前的临床手术中,很难实时进行高分辨颞骨CT以指导电极精准植入。因此,ECoChG用于评估和监测内

基金项目:国家自然科学基金项目“语前聋青少年人工耳蜗术后言语发育特点及整合加工机制研究”(82101227);广州市科技基金“元音空间面积在聋儿人工耳蜗术后的发展及在康复中的应用”(2023A04J2091);国家自然科学基金项目“耳蜗术后患儿声源定位训练的作用及其中枢机制”(81900954)

作者单位:中山大学孙逸仙纪念医院耳鼻咽喉头颈外科 广州 510120

作者简介:刘佳浩 硕士 助理研究员;研究方向:临床听力学

通讯作者:王雅静, E-mail: wangyj95@mail.sysu.edu.cn

外毛细胞功能状态。通过实时记录耳蜗微音电位(CM波)^[14],手术医生实时调整电极植入的角度及速度,从而保护基底膜,避免急性损伤。

目前,国内人工耳蜗植入术中ECochG监测尚未广泛普及,且术中ECochG监测较复杂,存在可能导致误差的因素,无法获得可解释的信号。因此,为了准确记录数据,标准化的监测流程尤为重要^[15],不仅能够确保测量过程的准确及一致性,还是准确解读耳蜗电图信号的基础。本文详细阐述MED-EL人工耳蜗植入手术过程中蜗内ECochG监测技术的操作方法及流程,以期对相关医疗人员提供参考和借鉴。

1 手术操作方法及流程

1.1 术前准备

(1)术前清洁检查外耳道及检查鼓膜形态:外耳道分泌物或异物可能会干扰耳蜗电图的声波传导。(2)核对硬件设备:确保术中检测所需的硬件设备处于正常工作状态。(3)对患者实施麻醉后,插入耳塞:将耳塞连接到声管,深插入外耳道。此步骤非常重要,因为耳塞的移位可能会引起所传递的声压水平显著降低。(4)稳固耳塞与声管:在术耳的耳甲腔内放置一个棉粒,确保其固定在耳塞外侧,使用医用胶布将耳塞、声管及棉粒紧密固定,旨在防止耳塞和声管发生打折现象,同时避免耳塞在使用过程中发生位移。若耳塞和声管发生位移或打折,可能会引起信号衰减,此外,需用医用敷贴仔细覆盖耳廓部位,防止消毒液和血液渗入外耳道,确保耳道的清洁和干燥。(5)对手术部位消毒:按照常规程序对手术区域进行消毒,并覆盖无菌铺巾。

1.2 检测设备

(1)设备连接:使用USB线将Dataman 531与计算机连接。连接完成后,Dataman 531面板右侧的LED应呈现红色,表示设备已获得电源供应但初始化程序尚未完成。(2)触发器连接:将MAX编程接口背面的触发器与Dataman 531的SI输入端连接。(3)启动软件:点击桌面Maestro 904AS.exe快捷方式启动软件。此时Dataman 531面板右侧的LED指示灯应从红色逐渐转变为黄色,最终变为绿色,表示设备已顺利完成初始化过程。(4)连接耳机:将插入式耳机正确连接至Dataman 531的L输出端。(5)建立患者档案:创建所需的患者档案并点击“开始会话”按钮。(6)启动ART任务:选择单独的通道。在ART任务设置选项卡中,选择高级设置。确保声刺激面板处于可用状态且未灰显。若面板显示为禁用状态,则表明软件未能识别Dataman设备。

1.3 人工耳蜗植入手术流程

建议主刀医生与听力师面对面交流,以提高沟通效率。(1)磨骨槽、开放乳突:常规乳突进路,开放面隐窝,暴露圆窗龛。使用地塞米松反复冲洗术腔,确保术腔内无骨粉及血液残留,从而清晰地暴露圆窗膜。(2)将植入体置入骨槽、放置检测线圈:在电极植入前,听力师将非无菌刺激线圈给护士,由护士将线圈置入无菌套内。随后,将耳蜗线圈放置于接收线圈的磁铁上方,固定传输线圈,以防止在植入过程中发生位移。

1.4 术中检测

(1)设置声刺激参数:配置声刺激参数,将选定的刺激发送至Dataman 531设备,并启动记录程序。在触发事件发生时,插入式耳机将产生相应的声刺激。(2)主刀医生谨慎地打开圆窗膜,以避免吸取外淋巴液。随后将第一个电极插入圆窗,听力师随后执行阻抗检测,确保第一个电极阻抗值应低于10 k Ω 。(3)缓慢插入电极:主刀医生缓慢推进电极,同时听力师进行实时监测,准确无误地报告CM波是否出现信号,信号的变化情况,特别关注任何突发的信号波动,如图1。(4)处理CM波幅度下降情况:若CM波幅度降低超过30%,医生将停止电极的推进,并观察30秒的。若CM波幅在此期间恢复,医生继续缓慢植入电极。若CM波幅未能恢复,医生稍微撤回电极并持续观察,同时重复测量以观察CM波是否恢复。(5)电极完全插入后,听力师继续进行多频率、多通道的耳蜗电图监测^[16],如图2。(6)执行阻抗和神经反应遥测检测,以评估植入体电极的功能状况。(7)依次缝合伤口,并对耳后部位实施无菌保护措施。(8)移除声管和耳塞:检查是否存在弯曲或脱落情况。最后,检查外耳道及鼓膜。

2 讨论

目前,国内人工耳蜗植入术中ECochG实时监测技术尚未普及,且在术中ECochG监测过程中存在可能导致误差的因素。笔者团队首次在国内提出在MED-EL人工耳蜗电极植入过程中,采用蜗内耳蜗电图ECochG技术进行实时监测的流程,旨在为国内广泛开展术中ECochG监测提供参考。

随着人工耳蜗技术的不断进步,微创手术理念的普及,以及超软纤细电极和电极涂层等技术的应用,术中残余听力的保护日益受到重视^[17~19]。在人工耳蜗植入手术的过程中,耳蜗电图ECochG监测技术的重要性日益凸显。在众多术中ECochG监测的研究中,主要关注的是CM波的监测,因为CM波由毛细胞产生,能够实时反映基底膜毛细胞的功能状态^[20]。研究显示,通过人工耳蜗术中实时蜗内ECochG监测,可最大程度地减少耳蜗基底

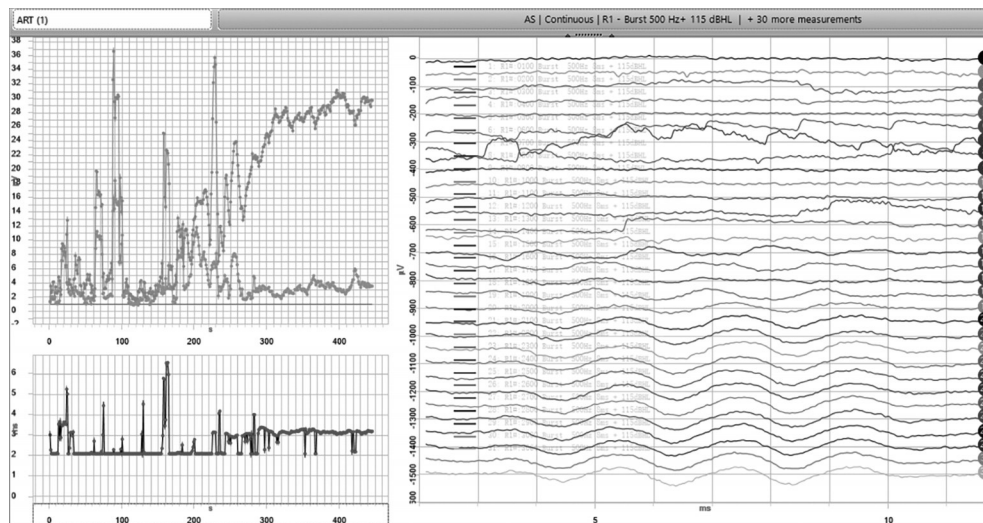


图1 术中耳蜗电图监测结果示例图

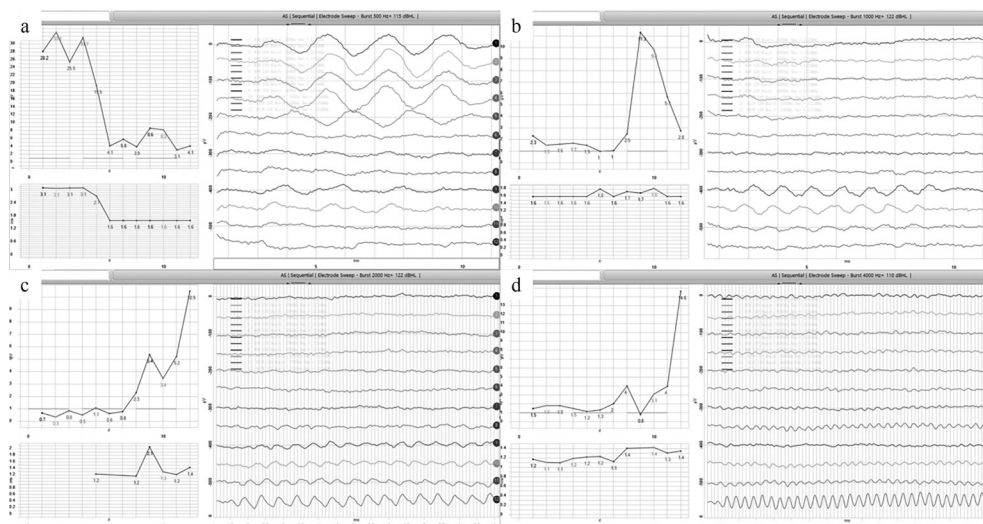


图2 术后多频率、多通道耳蜗电图监测结果示例图

注:a给声刺激为Burst500 Hz+115 dB HL的12个电极扫描结果;b给声刺激为Burst1000+122 dB HL的12个电极扫描结果;c给声刺激为Burst2000+122 dB HL的12个电极扫描结果;d给声刺激为Burst4000+110 dB HL的12个电极扫描结果

膜的损伤^[21,22]。同时,使用人工耳蜗电极进行蜗内记录,记录到的CM波振幅明显高于耳蜗外记录的CM波(如鼓膜表面、鼓岬、圆窗处),且可以在电极植入过程中实时且同步记录^[23]。

在ECochG监测过程中,须确保声刺激传输不受阻碍,同时传输和接收线圈之间的耦合须保持良好且稳定。在第一个电极进入圆窗时,应立即进行阻抗测试,如果阻抗值低于10 k Ω ,则可开始进行ECochG监测。若阻抗值偏高,则需要先观察等待阻抗降低,必要时可采取一系列措施,如确保接地电极阻抗通过,确保电极尖端与外淋巴液良好接触。若阻抗值持续偏高,可考虑使用第二或第三个电极重复阻抗测量,或将电极更深地插入耳蜗^[24,25]。

植入过程中医生和听力师之间应保持实时且良好的沟通,根据听力师的反馈,医生实时调整电极植入的角度和速度。若在电极插入过程中,CM波振幅下降,可能电极在植入过程中对基底膜毛细胞产生了影响,此时听力师应立即与医生沟通,共同分析原因并采取相应的调整措施,包括微调电极位置或暂时停止电极植入,并进一步评估患者状况。通过紧密协作,可以最大程度地减少手术风险,提高手术成功率^[15]。当CM幅度下降超过30%时,小幅撤回电极有助于显著改善术后残余听力^[26]。

电极阻抗测量可实时反映电极与周围组织(如淋巴液或纤维组织)的耦合状态,判断是否存在短路或开路;ECochG监测能敏锐捕捉基底膜毛细胞的实时功能状态;

电诱发复合动作电位(electrically evoked compound action potential, ECAP)则直接反映听神经元的同步放电情况,用以评估神经对电刺激的反应阈值与兴奋性;而电诱发听性脑干反应(electrically evoked auditory brainstem response, EABR)可进一步验证听觉通路从耳蜗至脑干的传导完整性。通过上述指标的多模态交叉验证,得以构建一个系统的术中监测体系,从物理耦合、机械-电转导、神经元兴奋到中枢传导等多层面综合分析术中事件,有效规避单一指标可能导致的误判风险。

随着人工耳蜗适应症范围的不断扩大,越来越多有低频残余听力的患者选择植入人工耳蜗,因此,在手术过程中对残余听力的保护显得尤为重要^[27]。ECochG的实时监测在人工耳蜗植入中发挥越来越重要的作用^[28~30],但目前对研究较少。笔者也将继续收集术中监测数据,其术后进行长期随访,让术中ECochG精准监测成为人工耳蜗术中残余听力保护中的重要工具。通过更深入更长期的随访研究,进一步揭示ECochG电位与人工耳蜗植入术后效果之间的关联。

致谢:感谢奥地利MED-EL公司的Marek Polak博士、周芸工程师及吴向东工程师提供的技术支持及指导。

参考文献

- [1] 刘军, 杨仕明. 人工耳蜗及相关技术的进展[J]. 中国耳鼻咽喉颅底外科杂志, 2019, 25(5): 449-455.
- [2] Buchman CA, Gifford RH, Haynes DS, et al. Unilateral Cochlear Implants for Severe, Profound, or Moderate Sloping to Profound Bilateral Sensorineural Hearing Loss: A Systematic Review and Consensus Statements[J]. JAMA Otolaryngology- Head & Neck Surgery, 2020, 146(10): 942-953.
- [3] 胡恒坤, 赵斯君, 黄敏. 人工耳蜗植入术残余听力保留现状和研究进展[J]. 中国耳鼻咽喉颅底外科杂志, 2023, 29(6): 102-106.
- [4] Adunka OF, Dillon MT, Adunka MC, et al. Cochleostomy Versus Round Window Insertions: Influence On Functional Outcomes In Electric-Acoustic Stimulation of The Auditory System[J]. Otology & Neurotology, 2014, 35(4): 613-618.
- [5] Zwolan TA, Schwartz-Leyzac KC, Pleasant T. Development of a 60/60 Guideline For Referring Adults For a Traditional Cochlear Implant Candidacy Evaluation[J]. Otology & Neurotology, 2020, 41(7): 895-900.
- [6] Shaul C, Dragovic AS, Stringer AK, et al. Scalar Localisation of Peri-Modiolar Electrodes And Speech Perception Outcomes[J]. The Journal of Laryngology And Otology, 2018, 132(11): 1000-1006.
- [7] Klabbers TM, Heutink F, Huinck WJ, et al. Intracochlear Electrode Array Position And Cochlear Implant Outcomes Using The Nucleus Slim Modiolar Electrode And The Extended Round Window Approach: a Follow-Up Study[J]. European Archives of Oto-Rhino-Laryngology, 2022, 279(10): 4735-4743.
- [8] Carlson ML, Driscoll CL, Gifford RH, et al. Implications of Minimizing Trauma During Conventional Cochlear Implantation[J]. Otology & Neurotology, 2011, 32(6): 962-968.
- [9] Anagiotos A, Hamdan N, Lang-Roth R, et al. Young Age Is a Positive Prognostic Factor For Residual Hearing Preservation In Conventional Cochlear Implantation[J]. Otology & Neurotology, 2015, 36(1): 28-33.
- [10] Marinelli JP, Carlson ML. Hearing Preservation In Pediatric Cochlear Implantation[J]. Current Opinion In Otolaryngology & Head And Neck Surgery, 2024, 32(6): 410-415.
- [11] Campbell AP, Suberman TA, Buchman CA, et al. Correlation of Early Auditory Potentials And Intracochlear Electrode Insertion Properties: An Animal Model Featuring Near Real-Time Monitoring[J]. Otology & Neurotology, 2010, 31(9): 1391-1398.
- [12] Calloway NH, Fitzpatrick DC, Campbell AP, et al. Intracochlear Electrocochleography During Cochlear Implantation[J]. Otology & Neurotology, 2014, 35(8): 1451-1457.
- [13] Harris MS, Riggs WJ, Giardina CK, et al. Patterns Seen During Electrode Insertion Using Intracochlear Electrocochleography Obtained Directly Through a Cochlear Implant[J]. Otology & Neurotology, 2017, 38(10): 1415-1420.
- [14] Lorens A, Walkowiak A, Polak M, et al. Cochlear Microphonics In Hearing Preservation Cochlear Implantees[J]. The Journal of International Advanced Otology, 2019, 15(3): 345-351.
- [15] Schuerch K, Waser M, Mantokoudis G, et al. Performing Intracochlear Electrocochleography During Cochlear Implantation[J]. J Vis Exp, 2022, (181):1-14.
- [16] Haumann S, Timm ME, Buchner A, et al. Intracochlear Recording of Electrocochleography During And After Cochlear Implant Insertion Dependent On The Location In The Cochlea[J]. Trends In Hearing, 2024, 28: 23312165241248973.
- [17] Andonie RR, Wimmer W, Schraivogel S, et al. Electrocochleography in Cochlear Implant Recipients: Correlating Maximum Response With Residual Hearing[J]. Ear Hear, 2025, 46(1):16-23.
- [18] Shepherd R, Gantz B. Hearing preservation in cochlear implantation[J]. Hear Res. 2023;434:108787.
- [19] Schleich M, Galvin JJ 3rd, Micaletti F, et al. Longitudinal study of hearing preservation and electrocochleography after cochlear implantation in adults[J]. Braz J Otorhinolaryngol, 2025, 91(4):101584.
- [20] O'Leary S, Mylanus E, Venail F, et al. Monitoring Cochlear Health With Intracochlear Electrocochleography During Cochlear Implantation: Findings From an International Clinical Investigation[J]. Ear Hear, 2023, 44(2):358-370.
- [21] Torres R, Daoudi H, Gu W, et al. Exploring Trauma Patterns and Contributing Factors With Slim Straight Electrode Array After Cochlear Implantation[J]. Otolaryngol Head Neck Surg, 2024, 171(2): 521-529.
- [22] Greisiger R, Bester C, Sorensen T, et al. Intraoperative Measured Electrocochleography and Fluoroscopy Video to Detect Cochlea Trauma[J]. Otol Neurotol, 2024, 45(1):36-45.
- [23] Harris MS, Koka K, Thompson-Harvey A, et al. Amplitude Parameters Are Predictive of Hearing Preservation in a Randomized Controlled Trial of Intracochlear Electrocochleography During Cochlear Implant Surgery[J]. Otol Neurotol, 2024, 45(8):887-894.
- [24] Haumann S, Timm ME, Buchner A, et al. Intracochlear Recording of Electrocochleography During and After Cochlear Implant Insertion

- Dependent on the Location in the Cochlea[J]. Trends Hear, 2024,28: 23312165241248973.
- [25] Andonie RR, Wimmer W, Wildhaber RA, et al. Electrocochleography Latency: Correlation With Electrode Position During Cochlear Implantation[J]. Ear Hear, 2025,46(5):1130-1140.
- [26] Bester C, Collins A, Razmovski T, et al. Electrocochleography Triggered Intervention Successfully Preserves Residual Hearing During Cochlear Implantation: Results of a Randomised Clinical Trial[J]. Hearing Research, 2022, 426: 108353.
- [27] Haumann S, Timm ME, Buchner A, et al. Does the audiogram shape influence the intracochlear recording of Electrocochleography during and after cochlear implantation? [J].Front Neurosci, 2024,18:1530216.
- [28] Panario J, Bester C, O'Leary S. Predicting Postoperative Speech Perception and Audiometric Thresholds Using Intracochlear Electrocochleography in Cochlear Implant Recipients[J]. Ear Hear, 2024,45(5):1173-1190.
- [29] Sijgers L, Sorensen T, Soulby A, et al. Classification of Acoustic Hearing Preservation After Cochlear Implantation Using Electrocochleography[J]. Trends Hear, 2023,27:23312165231220997.
- [30] Walia A, Shew MA, Varghese J, et al. Electrocochleography-Based Tonotopic Map: II. Frequency-to-Place Mismatch Impacts Speech-Perception Outcomes in Cochlear Implant Recipients[J]. Ear Hear, 2024,45(6):1406-1417.

收稿日期 2025-07-07
责任编辑 蒋 春

声 明

近期,网络出现冒用本刊进行在线投稿的网站,该网站获取了作者的发表论文信息、手机号码、微信、邮箱等个人信息,给一些不明真相的作者带来经济损失,造成不良的社会影响。为维护广大作者权益及本刊声誉,特作如下声明:

一、本刊从未委托任何机构与个人以任何名义处理稿件。

二、《中国听力语言康复科学杂志》官方网址为:<http://www.chsr.cn>,投稿、稿件处理、稿件状态查询均登录此网站。官方网站截图:

三、本刊电话:010-84639344;

E-mail:shjournal@163.com

感谢广大读者和作者长期以来对本刊的支持与厚爱。

