

doi: 10.3969/j.issn.1672-4933.2026.01.009

实时耳蜗电图监测技术在人工耳蜗植入术中的应用

Application of Real-Time Electrocochleography to Cochlear Implantation

姬妍^{1,2} 郭嘉² 俞桢² 陈裕涵^{1,2} 任艾蓉² 李心彤^{1,2} 李蕴^{3,4,5} 贾欢^{3,4,5}

JI Yan, GUO Jia, YU Zhen, CHEN Yu-han, REN Ai-rong, LI Xin-tong, LI Yun, JIA Huan

【摘要】人工耳蜗植入(CI)是治疗重度以上感音神经性耳聋的有效方法,但植入过程中引发的电极插入创伤,可能影响患者残余听力。早期轻微损伤存在可逆期,及时反馈损伤的实时监测技术被广泛开展,以期优化手术效果和提升术后疗效。近年来,耳蜗电图(electrocochleography, ECoG)技术成为这一领域的代表,展现出良好的效果。随之,实时监测设备得以被开发应用,进入临床。本文对该技术的应用现状进行阐述。

【关键词】耳蜗电图;人工耳蜗植入;术中监测;听力保护

【中图分类号】 R764.35

【文献标识码】 A

【文章编号】 1672-4933(2026)01-0046-05

【Abstract】 Cochlear implantation (CI) is the most effective treatment for severe to profound sensorineural hearing loss. However, the trauma caused by electrode insertion during the procedure may affect the patient's residual hearing. Considering that early mild injuries might have a reversible period, real-time monitoring technologies for detecting such damage have been widely developed to optimize surgical outcomes and improve postoperative efficacy. In recent years, electrocochleography (ECoG) has emerged as a representative technique in this field and has shown promising results. Subsequently, real-time monitoring devices have been developed and introduced into clinical practice. This paper will provide an overview of the current application of this new technology.

【Key words】 Electrocochleography; Cochlear implantation; Intraoperative monitoring; Hearing preservation

人工耳蜗通过植入的电极刺激听神经末梢细胞重建患者的言语理解能力,是治疗感音神经性聋的重要手段^[1]。然而,电极插入耳蜗通常会对脆弱的内耳结构造成一定创伤^[2],影响残余听力保留及电刺激效果,使CI者在言语识别、声源定位及音乐感知等方面受到影响^[3]。因此,术中及时反馈植入创伤对改善患者康复效果具有重要意义^[4]。耳蜗电图(electrocochleography, ECoG)是一种测量内耳响应声刺激而产生的电位的电生理技术,主要包括4种特征性电位成分^[5]:①耳蜗微音电位(cochlear microphonic, CM),反映外毛细胞功能;②听神经神经电位(auditory nerve neurophonic, ANN),反映早期神经及内毛细胞反应;③复合动作电位(compound action potential, CAP),反映早期听神经活动;④总和电位(summating potential, SP),反映内毛细胞反应。这些电位

成分共同构成评估内耳残余功能的重要电生理指标。临床上,耳蜗电图常被用作内淋巴水肿、梅尼埃病的监测^[6],还可用于诊断听神经病变、药物毒性或缺氧导致的内毛细胞损伤^[7],噪声暴露和年龄相关的突触病变^[8]以及遗传性突触病和神经病等疾病^[9]。

Battmer等^[10]于1986首次研究并报告了耳蜗电图在人工耳蜗植入中的应用。Harris等^[11]则在2017年首次采用人工耳蜗电极阵列实现了耳蜗内ECoG实时记录,并指出该技术可揭示人工耳蜗电极放置过程中的耳蜗微力学以及术中造成的耳蜗损伤。随着电极在内耳的植入,ECoG幅度通常呈现上升趋势,然而部分病例出现幅度不变或下降的现象,这可能反映了尚未阐明的耳蜗微力学机制,该技术可为电极植入过程提供实时监测手段,有助于评估手术造成的耳蜗损伤。

基金项目:第十九期上海交通大学医学院“大学生创新训练”(19250901)

作者单位:1 上海交通大学医学院医学技术学院 上海 200032

2 上海交通大学医学院 上海 200025

3 上海交通大学医学院附属第九人民医院耳鼻咽喉科 上海 200023

4 上海交通大学医学院耳科学研究所 上海 200025

5 上海市耳鼻疾病转化医学重点实验室 上海 200032

作者简介:姬妍 本科;研究方向:听力与言语康复

通讯作者:贾欢, E-mail: huan.jia.orl@shsmu.edu.cn

近年来,学者围绕实时耳蜗电图在CI术中进行听觉功能状态评估的临床可行性和敏感性开展研究^[12,13],且为使监测更便捷化、普及,Cochlear^[14]、Advanced Bionics^[15]、MED-EL^[16]等公司还研发了一体式/集成式耳蜗电图系统。本文对这一技术应用进展进行综述。

1 文献回顾

结合2020已有团队对耳蜗电图在CI中应用的文献回顾^[13],本文检索了PubMed数据库2020年1月至今的相关文献,采用“Electrocochleography/EcochG”“Cochlear implant*/CI”“Hearing preservation”“Intraoperative monitoring”关键词检索得到199篇文章,再进行人工筛查。

最终纳入23篇文章,其中69.57%(16/23)的研究主题是ECochG监测结果与术后效果的关系,30.43%(7/23)的研究主题为ECochG监测过程的自动化、标准化、可视化,见表1。

2 临床技术流程

2.1 一体式

该技术为目前人工耳蜗植入术中ECochG监测的主流技术,均集成于人工耳蜗植入软硬件上,其操作流程如下^[17]:①检查人工耳蜗刺激盒软硬件、导声管连接状态。②术前评估耳道、鼓膜状况(防止盯聆影响采集耳蜗电图

过程中的声音传输),耳道内安置耳机,防止导声管折叠、脱离等。③根据手术室布局 and 患者体位,安置声音处理器、术中监测所用便携式电脑或平板。④术区消毒铺巾,特别注意防止相关线缆移位,并确保术中能及时定位线缆以便确认连接完整性。⑤按照常规手术流程进行皮肤切口、乳突切除、后鼓室径路等直至电极植入前。⑥电极植入和耳蜗电图测量:(a)将人工耳蜗植入体放于患者颞区(骨床)处。(b)将线圈包装在无菌套中,吸附于患者颞区皮肤上,注意线圈的吸附牢固性,避免其对手术区域、手术器械的干扰。(c)植入第一个电极(或数个,按不同方案),确认阻抗良好后,记录耳蜗电图基线。(d)植入电极,过程中同步实时测量耳蜗电图。耳蜗电图术中变化及时反馈给术者,可根据不同方案进行植入调整,如继续植入、停止植入、撤回部分植入电极等。⑦电极植入完毕后,按需进行神经反应遥测、耳蜗电图复测等事宜。⑧常规关闭术腔,缝合伤口。

2.2 分体式

早期因为软硬件集成度的问题,多采用分体式,其与一体式的主要差异在于需要在步骤①③处用同步电缆连接ECochG相关硬件平台及人工耳蜗植入术中测试盒,并完成相关刺激参数设计,其余步骤类似。此外,早期分体式还应用蜗外电极进行ECochG记录,需在步骤②中,将记录电极放置在鼓岬上^[18]。

表1 文献检索结果汇总

编号	作者	患者例数	耳蜗品牌	观察指标
1	Skarżyński PH et al ^[2] (2022)	1	MED-EL	CM
2	O'Leary S et al ^[4] (2023)	41	Cochlear	CM
3	Schuerch K et al ^[5] (2023)	20	MED-EL	DIF(Difference,差分响应,CM信号的差分形式) OR(ongoing response,CM和ANN的总和 EChchG-TR)
4	O'Leary S et al ^[14] (2020)	109	Cochlear	
5	Sijgers L et al ^[15] (2021)	6	Advanced Bionics	CM
6	Schuerch K et al ^[17] (2022)	12	MED-EL	CM
7	Schuerch K et al ^[18] (2022)	10	Med-EL	未提及
8	Valenzuela CV et al ^[19] (2021)	22	Advanced Bionics	ECochG-TR(ECochG-total response,不同频率的音调刺激在言语频谱中的ECochG反应相加计算得出)
9	Panario J et al ^[22] (2024)	113	Cochlear	CM+SP
10	Lenarz T et al ^[23] (2022)	68	Advanced Bionics	CM
11	Schleich M et al ^[24] (2025)	17	Advanced Bionics	CM
12	Harris MS et al ^[25] (2022)	85	Advanced Bionics	未提及
13	Buechner A et al ^[29] (2022)	47	Advanced Bionics	CM
14	WaliaA et al ^[30] (2022)	96	Advanced Bionics	ECochG-TR
15	WaliaA et al ^[31] (2022)	42	Cochlear	CM
16	WaliaA et al ^[32] (2022)	35	Cochlear	ECochG-TR
17	Haumann S et al ^[33] (2024)	6	MED-EL	OR
18	Wijewickrema S et al ^[34] (2022)	77	Cochlear	CM+ANN
19	Kashani RG et al ^[35] (2024)	21	Advanced Bionics+MED-EL	未提及
20	Gawęcki W et al ^[36] (2022)	2	Advanced Bionics	CM
21	Geys M et al ^[37] (2024)	3	Advanced Bionics	CM
22	Höing B et al ^[38] (2024)	50	Cochlear	CM
23	Eichler T et al ^[39] (2024)	8	MED-EL	CM

3 技术评价及研究进展

作为有效的监测内耳电生理的工具,ECochg振幅下降提示可能存在耳蜗损伤,并可能导致残余听力的损失。使用术中蜗内ECochg进行监测可以指导电极植入时的深度、角度、速度,减少电极插入创伤,帮助保留术后残余听力,改善人工耳蜗术后听力效果^[19-24]。但CochG反应幅度与术后听力保存率及言语感知能力无显著相关性,其预测价值仍需进一步验证^[19,25]。因术前ECochG能获得更大的反应幅度并更准确评估言语感知潜力,术前监测可能比术后监测更具预测价值^[26]。电极植入后影响言语感知的因素可能涉及复杂的非耳蜗生理机制,从而导致术后ECochG结果与言语评分脱节。这些发现强调需要更深入地研究ECochG的临床应用边界。

相较于蜗外电极记录的耳蜗电图,蜗内ECochG技术展现出三大优势:①更高的信噪比^[20,21];②更好的解剖特异性^[27,28];③可实现多点记录,提高空间分辨率^[26]。在此之后,蜗内ECochg逐步成为临床主流。

ECochG测量可以显著预测人工耳蜗植入后的言语感知结果,且比仅使用临床因素的模型表现更好;SP振幅及其位置是预测术后言语感知的重要因素,特别是当SP振幅为正且位于电极阵列的顶端时,术后言语感知结果更好;CM电极位置也是预测术后言语感知的重要因素,当CM振幅最大值位于基底电极时,言语感知结果更好;而神经源性ECochG标记物(如ANN和CAP)在该研究中未显示出显著的预测价值^[22]。单纯ECochG反应振幅波动与术后听力损失无显著相关性,于是有研究创新性地引入相位分析,将响应分为I型(振幅无下降)、II型(振幅下降伴相移)和III型(振幅下降无相移)3组。结果显示,I型和II型患者听力保护较好,而III型患者术后听力损失更显著,表明实施ECochG监测需要同时考虑振幅和相位特征^[29]。通过植入电极获取ECochG电位可为手术提供实时反馈,但需要进一步研究不同信号分量的影响机制,建立自动化预警系统。

考虑到术中耳蜗电图的敏感性,Amit Walia等^[30-32]开展了ECochG-TR技术研究,ECochG-TR是由不同频率的音调刺激在言语频谱中的ECochG反应相加计算得出,能够综合反映毛细胞和听神经的功能状态。ECochG-TR对人工耳蜗术后效果具有重要预测价值:①鼓岬ECochG-TR可解释成人CI患者56%的言语感知变异,并能解释术后3个月AzBio 51.8%和CNC 49.0%测试结果的变异;②实时ECochG监测虽可能减少完整电极插入数量,但能显著提高听力保留率(hearing preservation, HP)并改善言语感知能力^[31];③ECochG-TR与安静环境下言语感知能力高度相关($r=0.77$),能单独解释噪声中言语识别34%的变异,

与MoCA评分联合建模可提升至60%,表明其对噪声环境下CI表现具有独特评估价值^[32]。Sijgers等^[20]2021年开展了一体式 and 分体式耳蜗电图的对比研究,发现在插入早期,耳蜗内ECochG记录中出现与相移和谐波失真相关的振幅下降,而耳蜗外记录中并无相应变化;插入结束时,无论是否伴有相移,耳蜗内外记录中的振幅下降都反映了可能的耳蜗损伤。由此,通过对比耳蜗内外ECochG记录,可有效区分技术性伪差与真实的耳蜗损伤。

Skarżyński等^[2]使用一种新的SPL Chirp声刺激信号,该信号是从人体体内测量中开发,其持续时间为12 ms,包含0.25、0.5、1、2和4 kHz频率。结果表明,使用多个特征频率和视频记录的实时术中监测可以使外科医生和听力学专家持续评估耳蜗术中功能。也有研究建议将耳蜗中电极的位置与发生器频率相匹配,以排除交叉发生器频率导致幅度下降^[33]。Wijewickrema等^[34]开发了一种基于机器学习的实时创伤检测系统。该系统参考CM与ANN信号,通过特征提取、分类算法和后处理3个步骤,实现了术中插入创伤的自动识别,其灵敏度和特异度分别达到94%和95%。系统响应时间 <0.75 ms,满足手术实时性要求。Kashani等和Gawęcki等研究展示了机器人辅助技术与ECochG监测的协同效应^[35,36]。Kashani等^[35]开发的智能平台能根据ECochG幅度变化自动调整电极插入参数,克服了人工操作的延迟问题。Gawęcki等^[36]利用RobOtol®手术机器人与ECochg连续测量实现动态调控,通过术后听力图和骨导阈值验证,这种精细控制实现了部分保留残余听力。

为解决耳蜗电图数据标准化、可视化等问题,Geys等^[37]开发了ZH-ECochG Bode图,该方法通过建立明确定义的坐标轴和可编辑的脚本模板,实现了基底膜电位记录的规范化呈现,促进了不同研究间数据的可比性。Schuerch等^[5]开发了一种基于深度学习的算法评估人工耳蜗术后ECochG。该算法将帮助建立标准化评估体系,消除专家主观差异,防止选择和报告偏差,且开源算法确保研究透明度,为ECochG数据的横向和纵向研究提供了统一的分析框架。Höing等和Eichler等研究均采用画中画技术进行ECochg可视化,引导电极植入,可显著改善人工耳蜗手术效果^[38,39]。画中画组手术时间延长($P=0.025$),但术后6周听力保留率显著提高($P=0.017$);术后1年,画中画组76%患者保留残余听力(对照组62%),尤其在250~1000 Hz频段表现更优;画中画组言语识别率提升46%,对照组提升38%^[38]。

为提升ECochG在人工耳蜗植入中的临床应用价值,研究者积极探索技术创新,通过结合智能算法和术中画可视化技术,实现了ECochG数据的自动分析与实时

显示。将ECochG监测系统与机器人辅助手术平台整合,旨在提高该技术的操作便捷性、精确性和临床可推广性。

4 展望

尽管术中实时耳蜗电图在人工耳蜗植入术中展现出重要的应用价值,但其临床应用仍面临若干关键性技术瓶颈。首先,ECochG信号的解读尚未建立统一的国际标准,目前仍高度依赖操作者的专业经验,存在显著的主观性差异。这种主观依赖性主要体现在3个方面:记录电极的定位精度、刺激参数的个性化设置以及对复杂波形特征的判读。ECochG信号易受多种技术因素干扰,包括但不限于记录电极的位置偏移、刺激强度的微小波动以及个体耳蜗解剖结构的变异,这些因素均可能导致信号解读的偏差甚至误判。更为关键的是,现有ECochG监测系统自动化程度方面仍存在明显不足普及难度较大。同时,ECochG监测对患者的残余听力水平的要求较高,也制约着这个技术的推广。

未来研究应着重解决标准化和自动化方面的技术瓶颈,以充分发挥ECochG的临床应用潜力。通过建立统一的信号采集和量化评估标准,结合深度学习算法,可实现对ECochG波形的实时解析与智能预警。在此基础上,新一代手术机器人将能够根据ECochG反馈信号自动调整电极植入参数,突破传统经验依赖型手术的局限,共同推动人工耳蜗手术向更高水平的安全性、可预测性和个性化方向发展,最终实现残余听力的最大化保留和听觉功能的最优化重建。

5 结论

综上所述,耳蜗电图作为一种实时、客观的术中内耳功能监测手段,在人工耳蜗植入术中展现出重要的应用价值。通过监测ECochG振幅与相位变化,可有效反映电极插入过程中的耳蜗状态,辅助术者及时调整植入策略,减少插入性损伤,提高残余听力保留率。虽然临床应用中仍存在标准化与解释一致性的挑战,但通过可视化创新、算法自动化和机器人协同等技术的持续发展,ECochG正逐步从单一的电生理工具演进为智能化术中监测导引系统,有望在未来推动人工耳蜗植入向更精准、安全和个体化的方向发展。

参考文献

- [1] Zeng FG. Celebrating the one millionth cochlear implant[J]. JASA Express Lett, 2022,2(7):077201.
- [2] Skarżyński PH, Lorens A, Walkowiak A, et al. Multi-Frequency Intraoperative Monitoring of Hearing Preservation during Cochlear Implantation[J]. Life (Basel), 2022,12(5):636-636.
- [3] Gantz BJ, Hansen M, Dunn CC. Clinical perspective on hearing preservation in cochlear implantation, the University of Iowa experience[J]. Hear Res, 2022,426:108487.
- [4] 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.
- [5] Schuerch K, Wimmer W, Rummel C, et al. Objective evaluation of intracochlear electrocochleography: repeatability, thresholds, and tonotopic patterns[J]. Front Neurol, 2023,14:1181539.
- [6] Yang CH, Yang MY, Hwang CF, et al. Functional and Molecular Markers for Hearing Loss and Vertigo Attacks in Meniere's Disease[J]. Int J Mol Sci, 2023,24(3):2504.
- [7] Harrison RV. An animal model of auditory neuropathy[J]. Ear Hear, 1998, 19(5):355-361.
- [8] Kujawa SG, Liberman MC. Synaptopathy in the noise-exposed and aging cochlea: Primary neural degeneration in acquired sensorineural hearing loss[J]. Hear Res, 2015,330(Pt B): 191-199.
- [9] Trecca EMC, Riggs WJ, Mattingly JK, et al. Electrocochleography and Cochlear Implantation: A Systematic Review[J]. Otol Neurotol, 2020, 41(7):864-878.
- [10] Battmer RD, Lehnhardt E, Laszig R. Promontoriumstest und Elektrokochleografie im Hinblick auf die Indikation zum Cochlear-Implant [J]. HNO, 1986,34(4): 139-142.
- [11] Harris MS, Riggs WJ, Koka K, et al. Real-Time Intracochlear Electrocochleography Obtained Directly Through a Cochlear Implant [J]. Otol Neurotol, 2017,38(6):e107-e113.
- [12] Trecca EMC, Riggs WJ, Hiss MM, et al. Intraoperative Monitoring of Auditory Function During Lateral Skull Base Surgery[J]. Otol Neurotol, 2020,41(1):100-104.
- [13] 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.
- [14] O'Leary S, Briggs R, Gerard JM, et al. Intraoperative Observational Real-time Electrocochleography as a Predictor of Hearing Loss After Cochlear Implantation: 3 and 12 Month Outcomes[J]. Otol Neurotol, 2020,41(9):1222-1229.
- [15] Sijgers L, Pfiffner F, Grosse J, et al. Simultaneous Intra- and Extracochlear Electrocochleography During Cochlear Implantation to Enhance Response Interpretation[J]. Trends Hear, 2021, 25: 2331216521990594.
- [16] Schuerch K, Wimmer W, Dalbert A, et al. An intracochlear electrocochleography dataset - from raw data to objective analysis using deep learning[J]. Sci Data, 2023,10(1):157-157.
- [17] Schuerch K, Waser M, Mantokoudis G, et al. Performing Intracochlear Electrocochleography During Cochlear Implantation[J]. J Vis Exp, 2022,(181):10.3791/63153.
- [18] Schuerch K, Waser M, Mantokoudis G, et al. Increasing the reliability of real-time electrocochleography during cochlear implantation: a standardized guideline[J]. Eur Arch Otorhinolaryngol, 2022, 279(10): 4655-4665.
- [19] Valenzuela CV, Lichtenhan JT, Lefler SM, et al. Intracochlear Electrocochleography and Speech Perception Scores in Cochlear

- Implant Recipients[J]. Laryngoscope, 2021,131(10):E2681-E2688.
- [20] Calloway NH, Fitzpatrick DC, Campbell AP, et al. Intracochlear electrocochleography during cochlear implantation[J]. Otol Neurotol, 2014,35(8):1451-1457.
- [21] Campbell L, Kaicer A, Briggs R, et al. Cochlear response telemetry: intracochlear electrocochleography via cochlear implant neural response telemetry pilot study results[J]. Otol Neurotol, 2015,36(3):399-405.
- [22] 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.
- [23] Lenarz T, Buechner A, Gantz B, et al. Relationship Between Intraoperative Electrocochleography and Hearing Preservation[J]. Otol Neurotol, 2022,43(1):e72-e78.
- [24] 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.
- [25] Harris MS, Koka K, Riggs WJ, et al. Can Electrocochleography Help Preserve Hearing After Cochlear Implantation With Full Electrode Insertion? [J]. Otol Neurotol, 2022,43(7):789-796.
- [26] Dalbert A, Pfiffner F, Rösli C, et al. Extra- and Intracochlear Electrocochleography in Cochlear Implant Recipients[J]. Audiol Neurotol, 2015,20(5):339-348.
- [27] Koka K, Saoji AA, Litvak LM. Electrocochleography in Cochlear Implant Recipients With Residual Hearing: Comparison With Audiometric Thresholds[J]. Ear Hear, 2017,38(3):e161-e167.
- [28] Helmstaedter V, Lenarz T, Erfurt P, et al. The Summating Potential Is a Reliable Marker of Electrode Position in Electrocochleography: Cochlear Implant as a Theragnostic Probe[J]. Ear Hear, 2018,39(4):687-700.
- [29] Buechner A, Bardt M, Haumann S, et al. Clinical experiences with intraoperative electrocochleography in cochlear implant recipients and its potential to reduce insertion trauma and improve postoperative hearing preservation[J]. PLoS One, 2022,17(4):e0266077.
- [30] Walia A, Shew MA, Lee DS, et al. Promontory Electrocochleography Recordings to Predict Speech-Perception Performance in Cochlear Implant Recipients[J]. Otol Neurotol, 2022,43(8):915-923.
- [31] Walia A, Shew MA, Etyreddy A, et al. Early Hearing Preservation Outcomes Following Cochlear Implantation With New Slim Lateral Wall Electrode Using Electrocochleography[J]. Otol Neurotol, 2022, 43(4):443-451.
- [32] Walia A, Shew MA, Kallogjeri D, et al. Electrocochleography and cognition are important predictors of speech perception outcomes in noise for cochlear implant recipients[J]. Sci Rep, 2022,12(1):3083.
- [33] Haumann S, Timm ME, Büchner 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.
- [34] Wijewickrema S, Bester C, Gerard JM, et al. Automatic analysis of cochlear response using electrocochleography signals during cochlear implant surgery[J]. PLoS One, 2022,17(7):e0269187.
- [35] Kashani RG, Kocharyan A, Bennion DM, et al. Combining Intraoperative Electrocochleography with Robotics-Assisted Electrode Array Insertion. Otol Neurotol, 2024,45(2):143-149.
- [36] Gawęcki W, Balcerowiak A, Podlaska P, et al. Robot-Assisted Electrode Insertion in Cochlear Implantation Controlled by Intraoperative Electrocochleography-A Pilot Study[J]. J Clin Med, 2022,11(23):7045.
- [37] Geys M, Sijgers L, Dobrev I, et al. ZH-ECochG Bode Plot: A Novel Approach to Visualize Electrocochleographic Data in Cochlear Implant Users[J]. J Clin Med, 2024,13(12):3470.
- [38] Höing B, Eichler T, Juelly V, et al. Digital live imaging of intraoperative electrocochleography during cochlear implantation: the first 50 patients[J]. Eur Arch Otorhinolaryngol, 2024,281(3):1175-1183.
- [39] Eichler T, Lakomek A, Waschkes L, et al. Two different methods to digitally visualize continuous electrocochleography potentials during cochlear implantation: a first description of feasibility[J]. Eur Arch Otorhinolaryngol, 2024,281(6):2913-2920.

收稿日期 2025-09-09

责任编辑 蒋 春