

doi: 10.3969/j.issn.1672-4933.2026.01.003

人工耳蜗术中一体式蜗内耳蜗电图 应用及标准化流程探讨

Integrated Intracochlear Electrocochleography during Cochlear Implantation:
Clinical Application and Proposal for a Standardized Protocol

何妍荻¹ 任艾蓉² 李蕴^{1,3} 姬妍² 杨璐¹ 徐百成^{4#} 孙家强^{5#} 贾欢^{1,3,6#}

HE Yan-di, REN Ai-rong, LI Yun, JI Yan, YANG Lu, XU Bai-cheng, SUN Jia-qiang, JIA Huan

【摘要】目的 分析一体式蜗内耳蜗电图在人工耳蜗植入(CI)术中的应用情况,讨论其优势及局限,总结该技术的标准化流程。**方法** 收集2023年3月~2025年8月于本团队实施人工耳蜗术中一体式蜗内耳蜗电图的全部临床资料及术中监测数据,对监测成功率、监测指标变化规律等进行分析,建立术中监测三阶段分型(植入早期、中期和晚期;上升型、下降型、稳定型、波动型)。**结果** 共有44例(45耳)患者应用该技术(男24,女20),平均年龄 27.3 ± 19.2 岁,术前低频平均听力为 86.6 ± 21.1 dB HL,无明显的耳蜗畸形,均完成全部电极植入。15耳成功在术中引出CM波形,9耳于术毕或术后第2天引出波形,21耳未引出波形(其中9耳术中干扰严重,2耳术中耳机脱落)。在去除术中干扰严重的9耳和术中耳机脱落的2耳后,34耳的术中CM波形引出率与术前低频平均听力之间无统计学意义($n=34, \chi^2=1.145, P=0.451$),且该34耳以及术中成功引出15耳耳蜗微音电位(cochlear microphonics, CM)波形最大幅值与术前低频平均听力无明显相关($n=34, r=-0.015, P=0.931; n=15, r=0.237, P=0.395$)。15耳中,植入早期最常见为波动型[7耳(46.7%)],其中4耳依据波形变化采用优化植入干预方案;在中期为稳定型和波动型居多[均为5耳(33.3%)];在晚期,各类型比例相近,且波形下降趋势难以通过干预方案得到恢复。在本院完成术后开机随访且具有术前可测听力的12例(12耳)患者,术后低频听力完全保留率为75%,部分保留率为25%。术毕/术中最高幅值比与术后低频听力阈移呈显著负相关($r=-0.707, P=0.01$)。**结论** 术中应用ECochG技术可实时反馈电极植入对内耳的创伤,及时在损伤可逆期内进行微创化调整,有助于术后残余听力的保留。术中标准化流程的建立有助于提升该技术的术中引出率。术中监测三阶段分型的建立有助于电极植入对内耳创伤的机制分析。术中CM波形引出率、引出幅值与术前低频平均听力的关系仍待进一步探讨分析。

【关键词】 人工耳蜗植入;耳蜗电图;标准化流程;残余听力;蜗内记录**【中图分类号】** R764.35**【文献标识码】** A**【文章编号】** 1672-4933(2026)01-0012-08

【Abstract】 Objective To analyze the clinical utility of intraoperative integrated intracochlear electrocochleography (ECochG) system during cochlear implant (CI) surgery, discuss its advantages and limitations, and propose a standardized monitoring protocol. **Methods** Consecutive CI recipients who underwent intraoperative integrated intracochlear ECochG monitoring in our team between March 2023 and August 2025 were enrolled. Clinical data and real-time ECochG recordings were collected. Monitoring success rate, waveform characteristics, and amplitude trends were analyzed. A three-phase intraoperative pattern classification (Early, Mid, and Late Insertion; Type I, Type D, Type S, Type F) was established. **Results** Included were 45 ears (44 patients; mean age 27.3 ± 19.2 years; mean preoperative low-frequency pure-tone average [LF-PTA] 86.6 ± 21.1 dB HL) without radiological cochlear malformation. Full electrode insertion was achieved in all ears. Cochlear microphonic (CM) was successfully obtained intraoperatively in 15 ears; 9 additional ears showed CM at wound closure or on postoperative day (POD) 2; 21 ears remained non-responsive (9 due to electrical interference, 2 due to displaced earphone). After excluding the 9 ears with electrical interference and

基金项目:上海申康三年行动计划-临床“五新”创新研发项目(SHDC2020CR3010A);2022年九院优秀研究型医师培育项目(2022xyjxys-jh);上海市耳鼻疾病转化医学重点实验室(14DZ2260300)

作者单位:1 上海交通大学医学院附属第九人民医院耳鼻咽喉头颈外科 上海 200011

2 上海交通大学医学院 上海 200025

3 上海交通大学医学院耳科学研究所/上海市耳鼻疾病转化医学重点实验室 上海 200125

4 兰州大学第二医院耳鼻咽喉头颈外科 兰州 730000

5 中国科学技术大学附属第一医院(安徽省立医院)耳鼻咽喉头颈外科 合肥 230001

6 上海交通大学医学院医学技术学院 上海 200025

作者简介:何妍荻 硕士;研究方向:人工听觉重建及耳科新技术

通讯作者:贾欢, E-mail: huan.jia.ori@shsmu.edu.cn;孙家强, E-mail: sunjq0606@163.com;徐百成, E-mail: xbsuc@126.com

#为共同通讯作者

the 2 ears with displaced earphone, intraoperative CM acquisition rates were not significantly associated with preoperative LF-PTA ≤ 80 dB HL ($n=34, \chi^2=1.145, P=0.451$), and intraoperative CM amplitudes did not correlate with preoperative LF-PTA ($n=34, r=-0.015, P=0.931; n=15, r=0.237, P=0.395$). Among the 15 ears with acquired intraoperative CM, Type F pattern predominated in the early phase (7 ears, 46.7%). Of these, optimized intervention based on waveform changes was applied in 4 ears. Type S and Type F patterns both predominated in the mid phase (each accounting for 5 ears, 33.3%). In the late phase, the distribution of pattern types was similar across categories, and declining waveforms showed no response to intervention. Postoperative follow-up was completed in 12 ears. Complete hearing preservation (HP) was observed in 75%, and partial HP in 25%. The ratio of wound closure to intraoperative maximum CM amplitude correlated significantly and inversely with postoperative LF threshold shift ($r=-0.707, P=0.01$).

Conclusion Intraoperative application of ECochG monitoring provides real-time feedback on trauma during electrode insertion and allows for minimally invasive adjustment during the reversible phase, thereby facilitating postoperative residual hearing preservation. Implementing a standardized intraoperative protocol contributes to improving the intraoperative CM acquisition rate. The three-phase intraoperative pattern classification facilitates the analysis of the mechanisms underlying insertion-related trauma. The relationship between intraoperative CM acquisition rate or amplitude and preoperative LF-PTA remains to be further investigated.

【Key words】 Cochlear implant; Electrocochleography; Standardized protocol; Residual hearing; Intracochlear recording

人工耳蜗植入术是当前治疗重度至极重度感音神经性聋的有效手段^[1],随着技术的发展和微创理念的推广,越来越多不同程度低频残余听力的患者可成为CI受试者^[2],这类患者需要尽可能保留残余听力,不仅有助于改善噪声环境中的言语识别能力,还可提升其声音定位及音乐感知等听觉表现^[3,4]。为实现该目标并减少其他手术风险,微创人工耳蜗植入术形成了电极选择、手术入路、慢植入及辅助药物等一系列标准措施,同时,可反馈植入创伤的术中实时监测技术备受临床医生关注。

耳蜗电图(ECochG)可在CI术中实时记录内耳与听神经对刺激产生的多种电位,从而指导电极植入、减少损伤风险,对术后残余听力保留有益,已越来越多地应用于CI手术^[5-9]。耳蜗微音电位(cochlear microphonics, CM)可作为主要指标,其波形和振幅变化与耳蜗结构、术后听力保留等密切相关^[10-12]。然而,该技术目前仍处于临床探索阶段,操作及评价规范尚未统一,监测失败案例偶有发生,国内有研究对ECochG监测的CM波形变化与术后残余听力保留的关系展开探讨^[13],但对于术中ECochG监测下CM波形干扰因素的排除,以及术中ECochG监测标准化流程的建立,尚未展开讨论^[14],该技术普及的操作均质性仍需提升。

本研究通过一体式耳蜗电图技术在CI术中的应用情况,分析其监测结果的变化规律及其临床意义。针对术中CM波形进行三阶段分析并建立新的分型,同时结合术中疏波密波反应差值(difference, DIF)和快速傅里叶变换频率分析(fast fourier transform frequency analysis, FFT)的波形变化,筛排术中CM波形的干扰因素,归纳总结该技术的标准化流程并探讨其临床意义。

1 资料与方法

1.1 研究对象

患者资料来源于一项多中心前瞻性探索性连续病例

研究,该研究对CI手术的新技术进行探索性应用,通过上海交通大学医学院附属第九人民医院伦理委员会审批(SH9H-2023-T108-1),患者或/及家属均自愿签署知情同意书。纳入标准:2023年3月~2025年8月在该研究中的所有连续病例,术中采用一体式ECochG监测技术;排除标准:严重内耳畸形及蜗神经发育不良、脑损伤史、中耳手术病史。收集上述患者的临床资料、术前听力情况、术中监测波形数据、术后听力情况等。

1.2 方法

1.2.1 术中ECochG监测技术方案 本研究采用Cochlear一体式ECochG监测装置。硬件设备包含插入式耳机, Nucleus® CP910 声音处理器及线圈, Cochlear Wired Programming Pod; 软件设备包含 Windows 10 系统平台, Cochlear Research Platform 1.2 软件。采用短纯音脉冲产生声刺激,经耳道给声;同时,声音处理器触发ECochG信号的采集,植入体通过植入耳蜗内的电极阵列记录ECochG电生理信号,并将该信号回传至声音处理器和电脑端,处理、分析CM波形。

术中监测参数: ①选择 Continuous 2 Frequencies (C2F)刺激模式,在250 Hz处,采用112 dB HL的声学正弦波振幅,在500 Hz处,采用108 dB HL的声学正弦波振幅; ②阻抗监测提示“正常”; ③增益初始选择为70 dB,反应不佳调整为60 dB。术中ECochG监测结果如图1。软件界面将显示声刺激后对应的时域谱转换为频域谱的CM波形振幅在系列图上显示的动态变化(图A),疏波密波反应差值波形,即DIF波形(图B),以及差值曲线和叠加曲线经快速傅里叶变换后的结果,即FFT波形(图C)。CM波形以幅值较高者作为监测指标。CM波良好引出的评判标准: ①CM波形幅值持续4 s及以上并较为稳定地 $\geq 2 \mu V$; ②DIF波形无干扰信号,周期符合所测频率; ③FFT波形所对应的频率有峰值出现,且低频幅值较低。

术中实时监测流程如图2。在电极植入过程中,将系

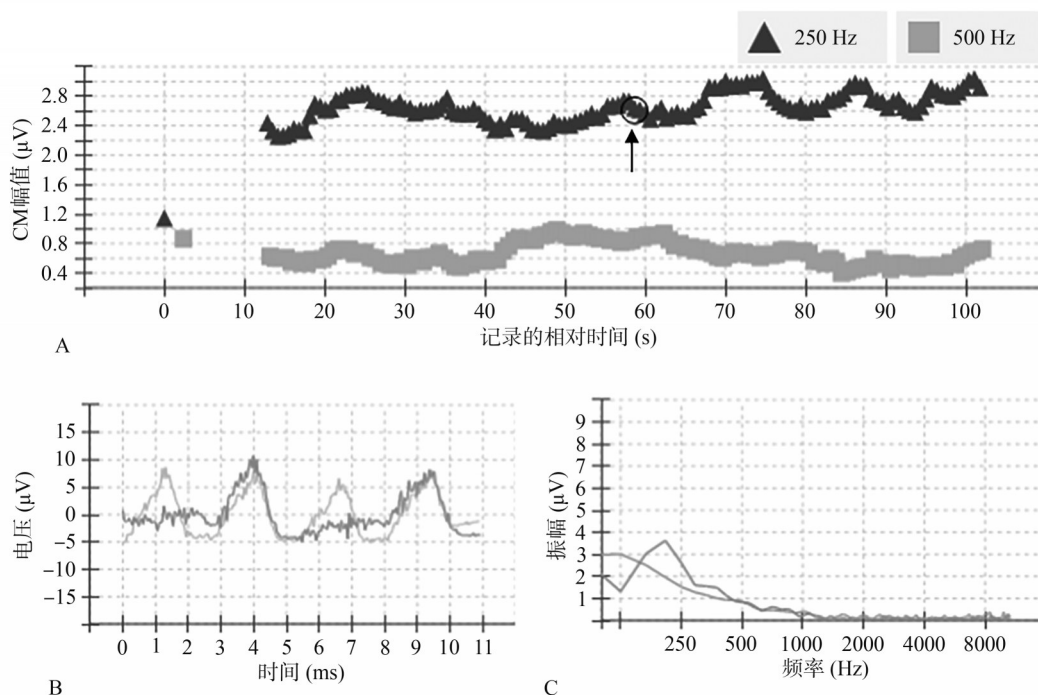


图1 术中ECoG监测结果

注:图A:时域谱转换为频域谱后的CM波形振幅在系列图上显示的动态变化,箭头指向的圆圈表明在该时间点,250 Hz处的CM幅值在 $2.6 \mu\text{V}$,且DIF波形和FFT波形较为理想(分别对应图B和图C);图B:术中疏波密波反应差值波形,即DIF波形;图C:差值曲线和叠加曲线经快速傅里叶变换后的结果,即FFT波形

列图设置为6秒平均显示,并向手术医生实时反馈CM波形结果。若CM幅值下降 $>30\%$,及时向手术医生反馈,调整电极植入的速度、角度,暂停、缓慢植入或将植入的电极缓慢退出,再缓慢植入。

1.2.2 术中CM波形三阶段分析及新分型的建立 参照Harris分型^[15]及电极植入损伤模式^[16],本研究采用术中CM波形三阶段分析,按手术中电极植入过程将CM波形划分为早期(植入第1~10个电极)、中期(植入第11~16个电极)、晚期(植入第17~22个电极),并对各时期的CM波形变化特征进行分类:I型(上升型),CM幅值呈持续上升趋势,幅值变化超过 30% ;D型(下降型),CM幅值呈持续下降趋势,幅值变化超过 30% ;S型(稳定型),CM幅值稳定在某一幅值,或在某一幅值上下小幅波动,幅值变化不超过 15% ;F型(波动型),CM幅值有2次或以上波动,每次波动幅值变化超过 30% 后又迅速恢复,见图3。

1.2.3 术后第2天ECoG监测流程 CI术后第2天测量CM波的流程与术中监测流程大致相同,参数设置相同,主要区别:①术中监测是在麻醉状态下实时测量,术后第2天在清醒状态下进测量;②术中监测在软件界面中选择Intra-operative监测模块,C2F刺激模式在250 Hz处,采用112 dB HL声学正弦波振幅,术后第2天监测选择Post-operative监测模块,且C2F刺激模式在250 Hz处,采用

100 dB HL的声刺激(强度上限无法调整)。

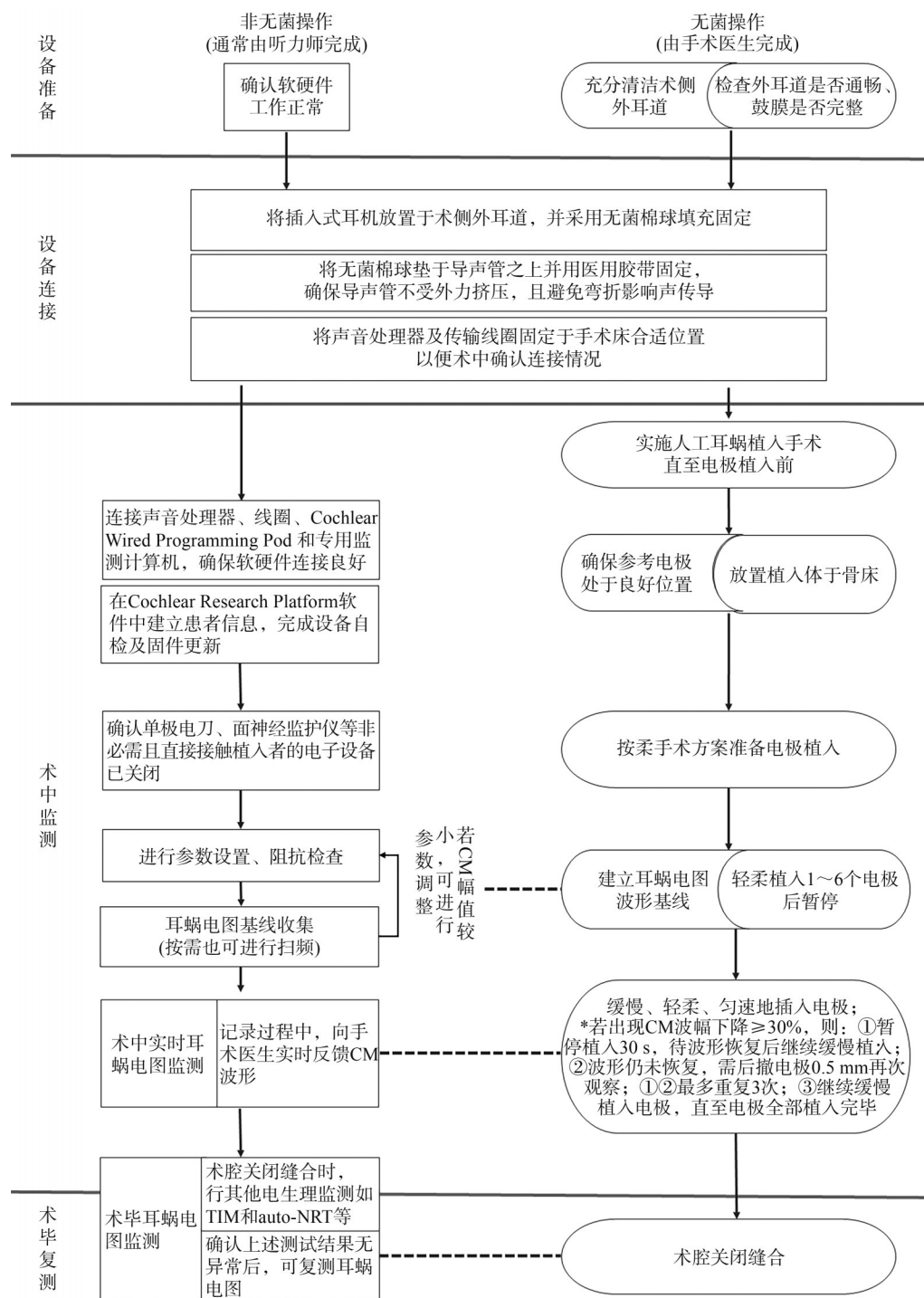
1.3 统计学分析

采用SPSS 27.0.1软件,计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,计数资料以频数及百分比表示,术前低频平均听力与术中CM波形引出幅值的关系用Spearman相关系数分析,术前低频平均听力与术中CM波形引出率的关系用 χ^2 检验,以 $P < 0.05$ 表明差异有统计学意义。

2 结果

2.1 研究对象基本情况及整体术中监测情况

44例(45耳)患者纳入本研究,平均年龄 27.3 ± 19.2 岁,男24例,女20例。术前低频平均听力为 86.6 ± 21.1 dB HL,9例(20%)伴有前庭导水管扩大和/或Mondini畸形,8例植入Cochlear-422,1例植入Cochlear-512,13例植入Cochlear-522,23例植入Cochlear-622。15耳成功引出术中CM波形,9耳于术毕或术后第2天引出波形。另有21耳未引出波形,其中2例术中耳机脱落,9例术中干扰严重(怀疑干扰信号的出现可能与手术室内单极电刀、面神经监护等电子设备有关)。关闭上述电子设备、采用优化ECoG增益参数等策略后,术中CM波形幅值有所上升,且疏波密波反应差值(difference, DIF),由粗干扰信号转变为MW形。术中



注: *术中电极植入时根据CM波形变化情况及时进行干预的方案

图2 术中实时监测流程图

干扰者的DIF波形主要表现为粗干扰信号;FFT波形主要表现为在 <250 Hz处能量很高,但在250 Hz和或500 Hz没有峰的情况。对上述34耳进行分析,结果显示,术中CM波形引出率与术前低频平均听力优于80 dB之间无统计学意义($n=34$, $\chi^2=1.145$, $P=0.451$),且引

出幅值与术前低频平均听力无明显相关($n=34$, $r=-0.015$, $P=0.931$);若仅对术中成功引出CM波形的15耳进行分析,亦发现引出幅值与术前低频平均听力无明显相关($n=15$, $r=0.237$, $P=0.395$),14例(14耳)患者在本院完成术后开机随访,其中具有术前可测听力的为12耳。

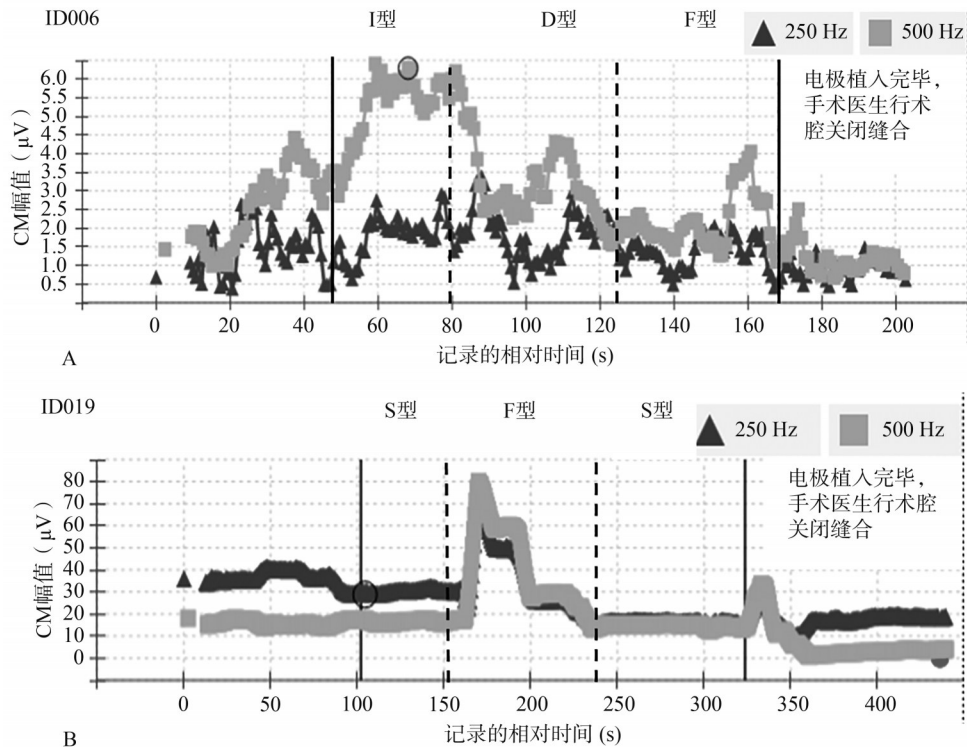


图3 术中ECoG CM波形变化三阶段分型

注:图A:术中成功引出CM波形者的系列图,早期为I型,中期为D型,晚期为F型(患者序号006);图B:术中成功引出CM波形者的系列图,早期为S型,中期为F型,晚期为S型(患者序号019)

除9例术中干扰严重与2例术中耳机脱落的34耳中,有14耳增益选择60 dB,引出率为71.4%,有20耳增益选择70 dB,引出率为25%;成功引出术中CM波形的15耳,增益在60 dB处的术中CM波形成功率(47.6%)高于增益在70 dB处(20.8%)。9耳于术毕或术后比较不同增益参数下的CM波形,发现相同状态下增益在40 dB和50 dB处,DIF曲线出现较明显的粗干扰信号,增益在60 dB处的CM幅值普遍高于70 dB的CM幅值。

2.2 术中ECoG引出者波形特征分析

对成功引出术中CM波形的15例进行分析,根据Harris分型,在C2F刺激模式下,在250 Hz处,A型(上升型)有4耳(26.7%),C型(下降型)有3耳(20.0%),CC型(波动型)有7耳(46.7%),D型(无反应型)有1耳(6.7%);在500 Hz处,A型有4耳(26.7%),C型有3耳(20.0%),CC型有3耳(20.0%),D型有5耳(33.3%)。同时,对上述15例的电极植入时长进行分析,根据Harris分型,在C2F刺激模式下,在250 Hz处,C型时间最长,平均为163.3±90.7 s,其次是CC型,平均时长为130.0±67.8 s,A型平均时长为65.3±24.8 s,D型只有1耳,时长为60 s;在500 Hz处,CC型时间最长,平均为166.7±28.9 s,其次是C型,平均时长为120±87.1 s,D型平均时长为113.0±92.7 s,A型平均

时长为74.0±21.2 s。

上述15例术中CM波形根据三阶段分型,在早期,I型(上升型)有4耳(26.7%),D型(下降型)有2耳(13.3%),S型(稳定型)有2耳(13.3%),F型(波动型)有7耳(46.7%),波动型的7耳中有5耳在电极植入时出现下降趋势,其中4耳采用术中标准化监测流程中的干预方案后出现波形恢复;在中期,I型(上升型)有4耳(26.7%),D型(下降型)有1耳(6.7%),F型(波动型)有5耳(33.3%),S型(稳定型)有5耳(33.3%);在晚期,I型(上升型)有3耳(20.0%),F型(波动型)有4耳(26.7%),S型(稳定型)有4耳(26.7%),D型(下降型)有4耳(26.7%),而该4耳难以通过干预方案得到恢复。同时,对上述15例的电极植入时长进行分析,根据三阶段分型,在早期,D型时间最长,平均时长为160.0±141.4 s,其次是I型,平均时长为125.0±64.5 s,F型平均时长为100.1±62.6 s,S型平均时长为100.0±70.7 s;在中期,D型只有1耳,时长为150 s,其次是F型,平均时长为124.0±85.6 s,S型平均时长为108.2±64.7 s,I型平均时长为102.5±79.3 s;在晚期,D型时间最长,平均时长为157.5±71.4 s,其次是F型,平均时长为147.5±80.6 s,I型平均时长为86.7±55.1 s,S型平均时长为60.3±15.9 s。

此外,将Harris分型与术中CM波形变化三阶段分型

进行比较,发现与传统 Harris 分型相比,三阶段分型按照电极植入的早、中、晚 3 个阶段对术中 CM 波形进行分型,能更细致地向手术医生反馈电极植入早、中、晚各阶段的 CM 波形情况,以便手术医生及时调整电极植入的速度、角度,暂停、缓慢植入或将植入的电极缓慢退出再缓慢植入,减少术中电极植入创伤。

2.3 术毕、术后第 2 天 ECochG 结果

44 例(45 耳)患者中,18 耳于术毕或/及术后第 2 天行 ECochG 监测,发现术中成功引出 CM 波形的 5 耳(早期入组的另 10 例患者未在该时间点复查),均能在术后第 2 天引出,且幅值与术中 CM 波形引出幅值相近。其中,9 耳术中未引出但于术毕或术后第 2 天可成功引出 CM 波形,术前低频平均听力为 77.2 ± 26.9 dB HL;术中、术毕和术后第 2 天均未引出 CM 波形的 4 耳,术前低频平均听力为 86.9 ± 19.8 dB HL。

2.4 CM 波形与术后残余听力保留情况

完成术后听力随访且具有术前可测听力的 12 耳,根据 Skarzynski 分级标准^[17],术前低频(250 Hz、500 Hz)听力为 80.6 ± 21.8 dB HL,完全保留率为 75%,部分保留率为 25%。其中,术前低频听力优于 80 dB HL 耳,术前低频听力为 63.3 ± 14.5 dB HL,术后低频听力为 72.5 ± 12.3 dB HL,完全保留率为 83%,部分保留率为 17%,见表 1。对上述 12 耳的术毕/术中最高幅值比与术后低频听力阈移分析发现,两

者呈显著负相关($r=-0.707, P=0.01$)。

3 讨论

随着 CI 技术的进步及适应证拓展,越来越多低频残余听力的患者可能成为 CI 者,因此对电极植入时微创化实现反馈愈发重要,ECochG 也在此背景下作为一种实时监测技术得以广泛研究^[18]。但该技术在国内开展较晚且国际上无相关标准化流程,仍按照 ECochG 监测软件提供的用户手册实施。本研究对该技术进行探索性应用,纳入的 45 耳连续病例在术中 ECochG 监测过程中出现许多手册中并未提及的情况,如出现严重干扰、软件报错、CM 波形无法引出等。因此,通过分析 45 耳的术中 ECochG 应用情况,结合术中 DIF 和 FFT 的波形变化,初步归纳出合适的标准化监测流程图及干扰筛排流程,可在一定程度上减少术中 CM 波形引出失败率。该监测技术的主要应用细节有:①放置插入式耳机后,须用无菌棉球填充固定,以免导声管与耳机脱落;②确保导声管直线走向,避免外力挤压及严重弯折;③确保听骨链完整性不受影响、震动不受遮挡;④若采用圆窗局部地塞米松灌注,控制中耳液体量,以免引起声传导中的能量损失;⑤监测过程中尽量关闭手术室内无关电子设备,尤其是与患者有直接接触的装置,如配置锌板的单极电刀、面神经监护等;⑥根据术中干扰大小,优化

表 1 在本院完成术后听力随访且具有术前可测听力的 12 例患者基本情况

序号	LF-PTA _{PRE} (dB HL)	术中植入早期 CM 变化	术中植入中期 CM 变化	术中植入晚期 CM 变化	术毕/术中最高 幅值比(%)	LF-PTA _{POST} (dB HL)	术后 LF-PTA 阈移 (dB HL)
001	82.5	F*	I	D*	18.2	105.0	22.5
012	92.5	F	F	F	60.0	102.5	10.0
016	80.0	F*	I	D*	64.7	87.5	7.5
023	72.5	F*	S	I	100.0	82.5	10.0
024	95.0	F	F	F	100.0	100.0	5.0
027	72.5	I	S	D*	33.3	80.0	7.5
028	57.5	S	S	S	100.0	62.5	5.0
033	110.0	S	F	S	86.0	117.5	7.5
035	57.5	D*	S	D*	75.0	65.0	7.5
040	40.0	F	F	F	16.7	57.5	17.5
041	110.0	F	F	F	33.3	117.5	7.5
042	97.5	D*	S	S	10.0	110.0	12.5

注: LF-PTAPRE=preoperative low-frequency (250 Hz, 500 Hz) pure-tone average; LF-PTApost=postoperative (1-2months) low-frequency(250 Hz, 500 Hz) pure-tone average; *术中电极植入时采用暂停植入干预措施

ECochG增益参数。既往国外研究针对术中ECochG监测流程,未提及术中ECochG监测参数设置以及术中CM波形出现干扰情况的解决方案^[19]。本研究有7耳于术毕比较不同增益参数下的CM波形,发现相同状态下增益在40 dB和50 dB处,CM波形受到干扰的可能性高于增益在60 dB和70 dB处,且增益在60 dB处的CM波形引出率高于增益在70 dB处的CM波形引出率。表明在相同状态下,不同参数设置会对术中CM波形的引出率产生影响。

本组病例中,术中CM波形的实际引出率不高(约44%),可能与新技术的应用经验不足,以及入选者残余听力不佳有关。本研究植入者的平均听阈为86.6 dB,而该技术推荐低频听力水平及多数研究纳入情况均优于80 dB^[10,15,20]。其中,有1例听神经病患者因毛细胞功能正常,术中CM波形引出幅值可达63 μ V。相比术中的低引出率,术毕或术后第2天有部分受试者可引出CM波形,提示CM波形可能与手术室环境干扰,甚至与药物或受试者麻醉水平有关,需要进一步研究。

Harris分型是常用的术中ECochG分型^[15],该分型通常适用于电极完成植入后的整体分析,不适用于实时分析内耳创伤情况。因此本研究提出了术中CM波形变化三阶段分型,早期波形以上升型和波动型为主,但如若排除术中及时预警干预的因素,波形下降者理应更多,这也反映出电极最优植入角在电极底圈植入时的重要性^[21];在中期,波形以稳定型和波动型为主;在晚期,波形以波动型、下降型和稳定型为主,亦可为上升型。波形的波动与电极植入过程中的创伤特征有关,即电极植入的创伤多数在耳蜗底圈开始弯曲位置(约180°)和远端(顶端电极水平)^[16]。根据术中CM波形三阶段分析,结合术中标准化监测流程中电极植入时的干预方案,发现早期CM波形出现下降趋势时,可及时干预,使CM波形恢复,此时对内耳的创伤是可逆的;晚期CM波形出现下降趋势时,难以通过干预进行恢复,且产生的创伤多为不可逆。因此,该新分型的建立有助于实时反馈电极植入对内耳的创伤,并在可逆期及时干预,以减少术中植入创伤,有助于术后残余听力的保留。对上述15例的电极植入时长进行分析,发现在早期,D型时间最长,其次是I型,在中期,D型时间最长,其次是F型,在晚期,D型时间最长,其次是F型。结果显示,下降型和波动型普遍时间较长,表明在术中CM波形出现幅值下降或波动时,手术医生根据听力师的反馈及时调整电极植入的速度、角度,暂停、缓慢植入或将植入的电极退出再植入,导致电极植入时间延长。同时,本研究额外提出的术中CM波形变化三阶段分型在中、晚期的电极植入时长能与Harris分型在250 Hz处的

植入时长相对应,初步验证了三阶段分型的可靠性。

由于本团队前期患者例数较少,没有就术后残余听力保留情况发表相关文章。在应用术中ECochG监测新技术后,开始关注术后残余听力保留情况,并分析在本院完成术后开机随访的12例(12耳)患者,发现术后低频听力完全保留率为75%,部分保留率为25%,与既往国外报道结果类似^[6]。术毕/术中最高幅值比与术后低频听力阈移呈显著负相关,说明术中应用实时ECochG技术可助于术后残余听力保留的预测。

本研究存在一定局限性,一方面样本量较小,另一方面,随访患者数量较少,难以对术中ECochG监测与术后残余听力保留的关系进行充分分析。后续会继续扩大受试者数量,提升患者随访率,进一步验证术中CM波形变化三阶段分型以及术中ECochG监测标准化流程的可靠性和有效性。

4 结论

本研究主要得出以下结论:(1)手术操作环境、术中操作情况以及术中ECochG监测的参数设置会对术中CM波形引出率产生一定的影响,术中标准化流程的建立有助于提升该技术的术中引出率;(2)植入过程中CM波形三阶段分型的建立有助于实时反馈电极植入对内耳的创伤及在可逆期进行调整,对减少术中植入创伤有所帮助;(3)术毕与术中最高幅值之比和术后低频听力阈移呈显著负相关,提示术中内耳精细结构保留微创技术有助于术后残余听力的保留;(4)术中CM波形引出率、引出幅值与术前低频平均听力的关系有待进一步分析。

(致谢:感谢中国科学技术大学附属第一医院(安徽省立医院)耳鼻咽喉头颈外科的孙家强主任、兰州大学第二医院耳鼻咽喉头颈外科的徐百成主任对于术中ECochG监测标准化流程建立的帮助,同时感谢本次研究的所有参与者。)

参考文献

- [1] 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.
- [2] Gantz BJ, Hansen M, Dunn CC. Clinical perspective on hearing preservation in cochlear implantation, the university of iowa experience [J]. Hearing Research, 2022, 426: 108487.
- [3] Bleckly F, Lo CY, Rapport F, et al. Music perception, appreciation, and participation in postlingually deafened adults and cochlear implant

- users: A systematic literature review[J]. Trends in Hearing, 2024, 28: 23312165241287391.
- [4] Panario J, Bester C, O'Leary S. Predicting postoperative speech perception and audiometric thresholds using intracochlear electrocochleography in cochlear implant recipients[J]. Ear and Hearing, 2024, 45(5): 1173-1190.
- [5] Trecca EMC, Riggs WJ, Mattingly JK, et al. Electrocochleography and cochlear implantation: A systematic review[J]. Otology & Neurotology, 2020, 41(7): 864-878.
- [6] Lenarz T, Buechner A, Gantz B, et al. Relationship between intraoperative electrocochleography and hearing preservation[J]. Otology & Neurotology, 2022, 43(1): e72-e78.
- [7] Giardina CK, Brown KD, Adunka OF, et al. Intracochlear electrocochleography: Response patterns during cochlear implantation and hearing preservation[J]. Ear and Hearing, 2019, 40(4): 833-848.
- [8] 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.
- [9] 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]. Otology & Neurotology, 2020, 41(9): 1222-1229.
- [10] 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 and Hearing, 2023, 44(2): 358-370.
- [11] Cooper J, Mittal J, Zalta M, et al. Bridging the gap: A systematic review of intraoperative electrocochleography during cochlear implantation and preservation of residual hearing[J]. PloS One, 2025, 20(5): e0323493.
- [12] Kim JS. Clinical applications of intracochlear electrocochleography in cochlear implant users with residual acoustic hearing[J]. Journal of Audiology & Otology, 2024, 28(2): 100-106.
- [13] 王睿婕, 罗建芬, 戴清蕾, 等. 微创人工耳蜗术中耳蜗电图监测用于残余听力保留的临床研究[J]. 临床耳鼻咽喉头颈外科杂志, 2025, 39(5): 425-432.
- [14] Weder S, Bester C, Collins A, et al. Toward a better understanding of electrocochleography: Analysis of real-time recordings[J]. Ear and Hearing, 2020, 41(6): 1560-1567.
- [15] 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]. Otology & Neurotology, 2024, 45(8): 887-894.
- [16] Torres R, Daoudi H, Gu W, et al. Exploring trauma patterns and contributing factors with slim straight electrode array after cochlear implantation[J]. Otolaryngology--Head and Neck Surgery, 2024, 171(2): 521-529.
- [17] Skarzynski H, van de Heyning P, Agrawal S, et al. Towards a consensus on a hearing preservation classification system[J]. Acta Oto-Laryngologica. Supplementum, 2013(564): 3-13.
- [18] Scheperle R, Etler C, Oleson J, et al. Evaluation of real-time intracochlear electrocochleography for guiding cochlear implant electrode array position[J]. Journal of Clinical Medicine, 2023, 12(23): 7409.
- [19] Schuerch K, Waser M, Mantokoudis G, et al. Increasing the reliability of real-time electrocochleography during cochlear implantation: A standardized guideline[J]. European archives of oto-rhino-laryngology, 2022, 279(10): 4655-4665.
- [20] Yin LX, Barnes JH, Saoji AA, et al. Clinical utility of intraoperative electrocochleography (ECochG) during cochlear implantation: A systematic review and quantitative analysis[J]. Otology & Neurotology, 2021, 42(3): 363-371.
- [21] Torres R, Drouillard M, De Seta D, et al. Cochlear Implant Insertion Axis Into the Basal Turn: A Critical Factor in Electrode Array Translocation. [J]. Otology & Neurotology, 2018;39(2):168-176.

收稿日期 2025-09-09

责任编辑 蒋 春