

doi: 10.3969/j.issn.1672-4933.2025.04.012

皮层诱发电位测试评估双模式听力干预的康复效果

Cortical Evoked Potential Test for the Evaluation of the Rehabilitation Effect of Dual-Mode Hearing Intervention

芦婷^{1,2} 赵霞² 朱宁¹

LU Ting, ZHAO Xia, ZHU Ning

【摘要】目的 研究双模式听力干预听障儿童助听听阈及皮层诱发电位(CAEP)P1波潜伏期、幅值的发展规律,评估双模式听力干预的康复效果及中枢听觉皮层发育情况。**方法** 以29例采取双模式听力干预的听障儿童作为研究对象,进行声场下助听听阈评估,采用500、1000、2000、4000 Hz 4个频率的短纯音刺激声分别对受试者双模式听力干预及单侧人工耳蜗植入两种听力干预方式下进行CAEP测试,比较两种听力干预方式下P1波潜伏期及幅值,并根据年龄、助听器补偿效果进行分组,比较双模式听力干预CAEP测试P1波潜伏期及幅值。**结果** 人工耳蜗植入术后双模式干预组比单侧人工耳蜗组在4种不同频率短纯音刺激下CAEP P1波潜伏期缩短、幅值增大,幅值有显著差异($P<0.05$);年龄 >72 个月组比 <72 个月组在4种不同频率短纯音刺激下CAEP P1波潜伏期缩短、幅值增大无显著差异($P>0.05$);助听器补偿效果优组比补偿效果不佳组在500~2000 Hz短纯音刺激记录的CAEP P1波潜伏期短、幅值增大无显著差异($P>0.05$),4000 Hz短纯音CAEP的P1波潜伏期和振幅均无显著差异($P>0.05$)。**结论** 双模式听力干预可有效提高听障儿童的听觉能力,促进大脑中枢皮层发生跨模态重组,从而促进听觉皮层的发育成熟。

【关键词】 皮层诱发电位测试;双模式听力干预;中枢听觉皮层

【中图分类号】 R764.5

【文献标识码】 A

【文章编号】 1672-4933(2025)04-0409-04

【Abstract】 Objective To investigate the developmental patterns of aided hearing thresholds and cortical auditory evoked potential (CAEP)P1 latency and amplitude in children with hearing impairment following a cochlear implant surgery under bimodal auditory intervention, and to evaluate the auditory effects and development of the central auditory cortex plasticity after cochlear implant surgery with bimodal auditory intervention. **Methods** 29 children with hearing impairment with bimodal auditory intervention were selected as study subjects. Aided hearing threshold assessments were conducted in a sound field, and CAEP tests were performed using tone burst stimuli at 500Hz, 1000Hz, 2000Hz, and 4000Hz. The P1 latency and amplitude under the two auditory intervention methods were compared, and groups were formed based on age and hearing aid compensation effects to compare the CAEP P1 latency and amplitude under bimodal auditory intervention. **Results** The bimodal intervention group after cochlear implantation had shorter CAEP P1 latency and higher amplitude compared to the unilateral cochlear implant group ($P<0.05$). There was no statistical difference in CAEP P1 latency and amplitude between the group older than 72 months and the group younger than 72 months ($P>0.05$). Those with noticeable hearing compensation effects had shorter CAEP P1 latency and higher amplitude compared to those with poor hearing compensation effects with no statistical difference ($P>0.05$). **Conclusion** Bimodal auditory intervention can effectively improve the auditory ability of children with hearing impairment, promote the cross-modal reorganization in the central auditory cortex of the brain, and enhance the maturation of the auditory cortex.

【Key words】 Cortical auditory evoked potential; Bimodal artificial auditory intervention; Central auditory cortex

皮层听觉诱发电位(CAEP)是大脑对声音信号进行感觉、认知、记忆过程中产生的电位,常用于评估听觉中枢发育状态及可塑性。CAEP的P1波反映上行听觉通路的突触传递和皮层发育成熟度,可作为评估听觉言语中枢皮层发育情况的指标^[1,2]。临床中,人工耳蜗和助听器为听障患者听力重建和补偿创造了前提条件,为了让听

障患者像健听人一样达到双耳聆听,可以采用双模式听力干预,一侧植入人工耳蜗,一侧配戴助听器^[3]。双模式干预中,人工耳蜗植入后的电刺激一侧为主要声音信息来源,对侧助听器的声刺激作为补充信息,同时人工耳蜗听觉重建以高频为主,助听器听觉补偿以低频为主,从声音的能量和频率范围上可形成互补效应,提高声音的识

作者单位:1 宁夏医科大学第一临床医学院 银川 750001

2 宁夏残疾人康复中心 银川 750002

作者简介:芦婷 本科 主治医师;研究方向:听力语言康复

通讯作者:朱宁, E-mail: 13995310532@163.com

别能力^[4]。探讨本研究人工耳蜗植入术后双模式听力干预的康复效果及其中枢听觉皮层发育情况。

1 资料与方法

1.1 研究对象

选择29例双模式听力干预听障儿童为双模式干预组,男16例(55.17%),女13例(44.83%),年龄77.48±36.95个月,其中年龄24~48个月5人、49~72个月13人、73~96个月6人、97个月以上5人;人工耳蜗配戴时长28.31±26.97个月,配戴6~12个月8人、13~36个月12人、37个月以上9人;所有听障儿童均在植入人工耳蜗后进行6个月以上听觉言语训练。双模式干预组听障儿童摘下助听器只配戴人工耳蜗为人工耳蜗组。本研究所有受试者均征得本人及监护人同意,并签署知情同意书。本研究经宁夏残疾人康复中心伦理委员会审查,符合伦理要求(编号:NKKF-2025-004)。

1.2 方法

1.2.1 双模式听力干预侧听辅设备调试 人工耳蜗调试包括阻抗值测试、听阈、最大舒适阈测试;助听器调试采用理想感觉级公式(desired sensation level, DSL)、麦克风设置为全向性,关闭降噪、移频等功能;耳模采用不带通气孔的软耳模、标准导声管。调试结束后,在标准声场下进行助听听阈测试,以保障受试者具有良好的听觉效果。

1.2.2 听觉皮层诱发电位(CAEP)测试 使用俄罗斯瑞索公司Neuro-Audio测试平台,在标准隔声室内进行测试,本底噪声小于25 dB(A);清洁皮肤、脱脂处理后配戴电极帽,记录电极置前额发际、颅顶,地线置前额鼻根部,参考电极置乳突,检测阻抗值均小于10 kΩ;声场为0°声场,扬声器与受试者耳部等高,距离为1 m;进行声场校准,刺激声信号为500、1000、2000、4000 Hz短纯音,受试者耳部所处位置的声强为60 dB SPL;参数设置:时程600 ms,刺激率0.5次/秒,极性交替带通波1~30 Hz,刺激伪迹±150 μV,刺激前基线100 ms,时间窗口500 ms,叠加

次数150次;测试过程中受试者观看无声动画,保持清醒、安静、警觉状态;每个频率测试至少2次及以上,具有重复性数据可采纳,停止测试并记录P1波形。

1.2.3 助听听阈 在标准隔声室,声场经过校准,进行助听听阈测试,2.5~5岁采用游戏测听,大于5岁采用纯音测听,测试由2名专业技术人员进行,所有患者均能够配合测试,反应可靠,记录双侧250、500、1000、2000、4000 Hz能听到的最小声音强度。

1.3 统计学分析

使用SPSS 23.0软件对数据进行统计学分析,数据用 $\bar{x}\pm s$ 表示,符合正态分布的采用配对 t 检验;不符合正态分布的,采用配对样本及独立样本非参数检验, $P<0.05$ 为具有统计学意义。

2 结果

2.1 双模式干预和单侧人工耳蜗植入在不同频率刺激声下CAEP波形特征

双模式干预组P1波波幅较人工耳蜗组增大($P<0.05$)。双模式干预组P1波潜伏期500、1000、2000 Hz频率较人工耳蜗组减小,2000 Hz频率双模式干预组与人工耳蜗组有显著差异($P<0.05$),500、2000 Hz频率双模式干预组较单侧人工耳蜗植入组无统计学差异,见表1。测试过程中各频率不同干预模式的声场CAEP波形图见图1、图2。

2.2 不同年龄双模式听力干预下不同频率刺激声下CAEP波形特征

CAEP P1波潜伏期及波幅在500~2000 Hz频率≤72个月组较>72个月组CAEP P1波潜伏期延长,4000 Hz频率≤72个月组较>72个月组CAEP P1波潜伏期缩短,5000~4000 Hz频率≤72个月组较>72个月组CAEP P1波幅值增大,无统计学意义($P>0.05$),见表2。

2.3 双模式听力干预声场下助听听阈评估

在声场下给出500、1000、2000、4000 Hz啜音,评估助

表1 双模式干预组和人工耳蜗组不同频率刺激声下的P1引出率、波潜伏期及幅值($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	刺激声频率(Hz)					
		500			1000		
		引出率(%)	波幅(μV)	潜伏期(ms)	引出率(%)	波幅(μV)	潜伏期(ms)
双模式干预组	29	100	6.19±2.76	125.86±30.83	96.55	7.61±3.36	128.25±29.78
人工耳蜗组	29	96.55	5.59±2.85	131.97±34.13	96.55	6.29±2.80	134.04±24.10
<i>P</i>			0.020*	0.150		0.000*	0.240
组别	例数	刺激声频率(Hz)					
		2000			4000		
		引出率(%)	波幅(μV)	潜伏期(ms)	引出率(%)	波幅(μV)	潜伏期(ms)
双模式干预组	29	96.55	7.55±3.26	121.78±25.44	79.31	6.10±2.74	126.89±28.44
人工耳蜗组	29	100	6.46±2.95	130.18±28.93	86.21	5.62±2.00	125.60±25.96
<i>P</i>			0.000*	0.030*		0.000*	0.530

* $P<0.05$,下同

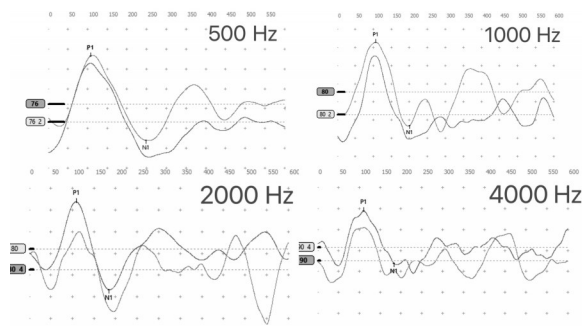


图1 500、1000、2000、4000 Hz短纯音声场人工耳蜗听觉皮层诱发电位测试图

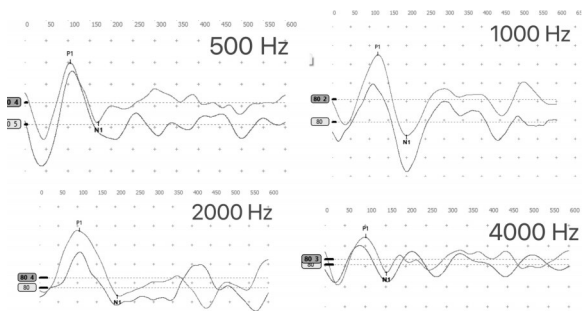


图2 500、1000、2000、4000 Hz短纯音声场双模式听力干预听觉皮层诱发电位测试图

听器及人工耳蜗植入后的助听听阈,频率越高,助听器补偿效果越差,人工耳蜗助听听阈为35~41 dB,见表3。

2.4 按照助听器干预效果分组,双模式听力干预不同频率刺激声下CAEP波形特征

根据助听器补偿效果进行分组,助听听阈最适、适合为补偿效果佳组,助听听阈较适、看话为补偿效果不佳组。在500~2000 Hz频率范围内助听器效果补偿佳组较

效果补偿不佳组的CAEP P1波潜伏期缩短、幅值增大;4000 Hz频率助听器效果补偿佳组的CAEP P1波潜伏期与补偿效果不佳组无显著差异,见表4。

3 讨论

本研究表明,双模式助听能够为双侧感音神经性聋患者提供双耳听觉,改善噪声下言语识别率,提高空间定位能力,加强声调识别能力,获得更清晰的言语感知及丰富的音乐识别和感受能力。同时避免非植入耳的迟发性听觉剥夺及大脑皮层的跨膜态重组^[2]。极重度听力损失双模式干预没有帮助,甚至有负面影响,建议尽快双侧植入人工耳蜗^[5,6]。目前对双侧植入人工耳蜗和双耳双模式干预的优劣尚无定论,还需要进一步研究^[7]。双模式听力干预后的效果评估方法众多,主要包括标准声场中双侧助听听阈评估、双耳聆听量表、全圆周声源定位、皮层听觉诱发电位等^[8]。双模式干预后康复效果评估要做到人工耳蜗与助听器间优化平衡,效果评估方法非常重要^[6],皮层听觉诱发电位是评估双模式听力干预的重要手段。皮层听觉诱发电位是指大脑在对声音信号进行感觉、认知、记忆过程中产生的电位,能够评估整个听觉传导通路至听觉皮层的状态,常用于评估中枢听觉发育状态及可塑性。CAEP的P1波反应上行听觉通路的突触传递和皮层发育成熟度,P1波的形态、潜伏期长短能够评估听觉干预效果^[9]。

本研究通过对29例双模式听力干预听障儿童进行CAEP测试,双模式干预组比人工耳蜗组在4种不同频率短纯音刺激下CAEP P1波潜伏期缩短、幅值增大,P1波潜伏期缩短与听觉皮层发育水平高度相关^[10,11];随着婴幼儿

表2 不同年龄组双模式听力干预下在不同频率刺激声下CAEP的P1引出率、波潜伏期及幅值($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	刺激声频率(Hz)					
		500			1000		
		引出率(%)	波幅(μV)	潜伏期(ms)	引出率(%)	波幅(μV)	潜伏期(ms)
≤ 72 个月	29	62.07	6.41 \pm 3.03	130.9 \pm 26.30	60.71	8.19 \pm 3.53	128.83 \pm 28.51
>72	29	37.93	6.31 \pm 2.38	117.61 \pm 36.94	39.29	6.70 \pm 3.01	127.36 \pm 33.04
<i>P</i>			0.170	0.390		0.900	0.990
组别	例数	刺激声频率(Hz)					
		2000			4000		
		引出率(%)	波幅(μV)	潜伏期(ms)	引出率(%)	波幅(μV)	潜伏期(ms)
≤ 72 个月	29	64.28	7.93 \pm 3.30	123.54 \pm 24.74	69.57	6.34 \pm 2.67	121.22 \pm 21.95
>72	29	35.71	6.86 \pm 3.24	118.59 \pm 27.71	30.43	5.53 \pm 3.03	139.86 \pm 38.46
<i>P</i>			0.88	0.420		0.950	0.290

表3 双模式听力干预声场下助听听阈评估结果

组别	例数	刺激声频率(Hz)					
		250	500	1000	2000	3000	4000
助听器侧	29	46.3 \pm 20.02	53.97 \pm 23.47	58.62 \pm 26.11	60.34 \pm 24.31	68.28 \pm 27.20	68.97 \pm 27.69
人工耳蜗侧	29	35.34 \pm 6.40	38.97 \pm 7.72	39.14 \pm 6.82	40.86 \pm 6.13	41.90 \pm 7.61	40.17 \pm 7.85

表4 双模式干预下的助听器干预不同效果组在不同频率刺激声下P1引出率、波潜伏期及幅值($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	刺激声频率(Hz)					
		500			1000		
		引出率(%)	波幅(μV)	潜伏期(ms)	引出率(%)	波幅(μV)	潜伏期(ms)
助听器补偿效果佳	29	65.52	6.38 \pm 3.02	125.47 \pm 33.97	64.29	7.93 \pm 3.42	123.07 \pm 30.23
助听器补偿效果不佳	29	34.8	5.85 \pm 2.28	126.61 \pm 25.45	35.71	7.03 \pm 3.37	137.59 \pm 27.99
<i>P</i>			0.701	0.839		0.621	0.146

组别	例数	刺激声频率(Hz)					
		2000			4000		
		引出率(%)	波幅(μV)	潜伏期(ms)	引出率(%)	波幅(μV)	潜伏期(ms)
助听器补偿效果佳	29	64.29	7.98 \pm 3.28	121.63 \pm 24.99	69.57	6.10 \pm 2.37	127.34 \pm 31.69
助听器补偿效果不佳	29	35.71	6.76 \pm 3.24	122.04 \pm 27.61	30.43	6.09 \pm 3.68	125.87 \pm 21.29
<i>P</i>			0.356	0.944		0.820	0.820

儿听觉中枢的发育,同龄儿童CAEP P1波潜伏期长,往往言语感知能力较差,P1潜伏期缩短,则言语感知能力更好^[12]。听觉皮层诱发电位反应听觉传导通路的完整性和功能,可用于评估听障儿童的听觉发育水平和成熟度^[13]。本研究说明,双模式听力干预可提高听障儿童的言语感知能力,声电双刺激会相互融合、互相弥补,发挥双耳聆听的优势,有效激活听觉中枢的音频感受区细胞活动,提高听觉中枢皮层对声音的识别能力,有效促进听觉系统发育成熟。与晏小惠等^[12]研究结果一致,双耳双模式助听响度平衡的儿童CAEP P1波听觉反应速度增快,潜伏期提前,振幅提高。

本研究以6岁为界限,对比不同年龄段儿童CAEP P1波潜伏期及波幅,发现随着年龄增长,P1波的幅值减小,潜伏期缩短,但无统计学差异。Romero等^[14]将0~6岁儿童分为不同年龄段,发现P1波潜伏期在0~6岁保持稳定,6岁开始显著减小;同时P1波振幅在5岁后下降,说明CAEP P1的振幅随听觉成熟的发生逐渐降低。本研究结果与其观点相似,随着年龄的增长,CAEP P1幅值减小,潜伏期缩短。但本研究在4000 Hz对6岁以下儿童较6岁以上儿童CAEP P1波潜伏期延长,考虑本研究为双模式干预,助听器高频效果补偿不佳,缺乏有效的外周刺激。对于人工耳蜗植入儿童,听觉干预时间较晚,长期未接受充足听觉刺激的听觉皮层将被视觉或躯体感觉重塑,出现听觉皮层跨模态重组^[15],影响P1波的分化。同时因P1波的影响因素较多,后续研究将继续扩大样本量进一步观察不同年龄段P1波的潜伏期及幅值变化。

双模式干预能够有效防止或减缓未植入人工耳蜗侧听觉剥夺效应产生,双耳聆听可产生累加效应,有效减轻听觉疲劳,提高聆听舒适度。助听器的补偿效果对大脑皮层发育有重要影响,助听器补偿效果佳较补偿不佳组大脑皮层发育更加成熟,但助听器效果不佳组对听觉中枢皮层也起到一定刺激作用,因此建议对于无法双侧植入人工耳蜗的听障儿童坚持配戴助听器,也可有效促进大脑皮层的发育,避免听觉剥夺的发生。

参考文献

- [1] 王兴龙,王春芳,张平等. 皮层听觉诱发电位评估人工耳蜗植入语前聋儿童的中枢听觉系统发育[J]. 听力学及言语疾病杂志, 2020, 28(3):301-305.
- [2] 刘一迪,郑琪,倪广健,等. 双模式助听儿童的皮层听觉诱发电位特征研究[J]. 听力学及言语疾病杂志, 2020, 28(5):550-554.
- [3] 王倩,刘晶,李楠,等. 人工耳蜗/助听器双模式新技术进展[J]. 中国听力语言康复科学杂志,2022,20(2):120-123.
- [4] Ching TYC, Wanrooy EV, Dillon H. Binaural-Bimodal Fitting or Bilateral Implantation for Managing Severe to Profound Deafness: A Review[J]. Trends in Amplification, 2007, 11(3):161-192.
- [5] Davidson LS, Geers AE, Uchanski RM, et al. Effects of Early Acoustic Hearing on Speech Perception and Language for Pediatric Cochlear Implant Recipients[J]. Speech Lang Hear Res, 2019, 62(9):3620-3637.
- [6] 黄美萍,李进,杨璐,等. 儿童听力障碍双模式干预远期效果分析[J]. 中国听力语言康复科学杂志,2023,21(2):125-129.
- [7] 史文迪,陈莹,王永华. 人工耳蜗与助听器的双耳双模式干预[J]. 中国听力语言康复科学杂志,2020,18(5):363-366.
- [8] 黄炎,刘玉和. 人工听觉技术跨界研讨会——人工耳蜗/助听器双模式干预圆桌会议纪要[J]. 中国听力语言康复科学杂志,2021,19(3):238-240.
- [9] Campbell JD, Cardon G, Sharma A. Clinical Application of the P1 Cortical Auditory Evoked Potential Biomarker in Children with Sensorineural Hearing Loss and Auditory Neuropathy Spectrum Disorder [J]. Semin Hear, 2011, 32(2):147-155.
- [10] 郭倩倩,陈雪清,莫玲燕,等. 皮层听觉诱发电位评估耳聋儿童助听器验配效果的意义[J]. 听力学及言语疾病杂志,2016,24(1):62-66.
- [11] 王俊博,梁茂金,刘佳浩,等. P1成分对人工耳蜗术后儿童听觉的研究价值及观测指标的选择[J]. 中国耳鼻咽喉头颈外科,2019,26(1):34-36.
- [12] 晏小惠,周梦莹,赵燕,等. 婴幼儿人工耳蜗与助听器双模干预的调试与客观评估[J]. 中华耳科学杂志,2023,21(2):272-276.
- [13] 裘若琪,徐飞. 0~12岁婴幼儿听觉皮层诱发电位应用研究进展[J]. 中国听力语言康复科学杂志,2023,21(3):286-289.
- [14] Romero ACL, Frizzo ACF, Chagas EFB, et al. Cortical auditory evoked potential in babies and children listeners[J]. Braz J Otorhinolaryngol, 2020, 86(4):395-404.
- [15] Sharma A, Campbell J, Cardon G. Developmental and cross-modal plasticity in deafness: evidence from the P1 and N1 event related potentials in cochlear implanted children[J]. Int J Psychophysiol, 2015, 95(2):135-144.

收稿日期 2024-12-25
责任编辑 蒋春