

doi: 10.3969/j.issn.1672-4933.2024.04.007

人工耳蜗植入儿童皮层听觉诱发电位与听觉言语能力的相关性研究

Cortical Auditory Evoked Potentials in Children with Cochlear Implants in Relation to Auditory Speech Performance

谢宇非 潘滔[#] 马芙蓉[#] 王宇 鲁兆毅

XIE Yu-fei, PAN Tao, MA Fu-rong, WANG Yu, LU Zhao-yi

【摘要】目的 研究不同电极位点刺激下人工耳蜗植入(CI)儿童的皮层听觉诱发电位(cortical auditory evoked potential, CAEP)与听觉行为分级-II(CAP-II)、言语可懂度分级标准(SIR)之间的相关性及其影响因素,为CAEP进入临床应用提供依据。**方法** 对26名CI儿童进行不同刺激位点(底转、中转、顶转)下CAEP测试,收集CAP-II、SIR得分,对CAEP的P1、N1波与听觉言语量表之间进行相关分析,探究可能的影响因素。**结果** ①顶转电极刺激下,植入年龄与P1潜伏期呈正相关($r=0.423, P<0.05$);②植入年龄与CAP-II得分呈负相关($r=-0.520, P<0.01$);植入年龄、开机后时间与SIR得分呈负相关($r=-0.409, P<0.05$; $r=0.481, P<0.05$);③底转电极刺激下,P1潜伏期与CAP-II呈负相关($r=-0.445, P<0.05$)。**结论** CAEP作为能够反映听觉皮层功能的客观评估方式,也能够用于听觉言语能力评估。植入年龄越早、开机后时间越长,听觉言语发育越成熟。

【关键词】 人工耳蜗植入;皮层听觉诱发电位;听觉言语量表

【中图分类号】 R764.43

【文献标识码】 A

【文章编号】 1672-4933(2024)04-0361-05

【Abstract】 Objective To investigate the correlation between cortical auditory evoked potentials (CAEP) and auditory behavior grading-II (CAP-II), as well as the Speech Intelligibility Rating (SIR) standards in children with cochlear implantation (CI) under different electrode stimulation sites, and their influencing factors, to provide further basis for the clinical application of CAEP. **Methods** CAEP tests were conducted on 26 CI children under different stimulation sites, and CAP-II and SIR scores were collected. A correlation analysis was performed between the P1 and N1 waves of CAEP and the auditory speech scale, and possible influencing factors were explored. **Results** 1) Under stimulation at the apical electrode, the age of implantation was positively correlated with the P1 latency ($r=0.423, P<0.05$), 2) The age of implantation was negatively correlated with CAP-II scores ($r=-0.520, P<0.01$), the ages of implantation and post-switch-on time were negatively correlated with SIR scores ($r=-0.409, P<0.05$; $r=0.481, P<0.05$), 3) Under stimulation at the basal electrode, the P1 latency was negatively correlated with CAP-II ($r=-0.445, P<0.05$). **Conclusion** There is a correlation between CAEP and the auditory speech scale, and different stimulation sites can influence this correlation. The earlier the age of implantation and the longer the post-switch-on time, the more mature the auditory speech development.

【Key words】 Cochlea implant; Cortical auditory evoked potential; Auditory speech scale

1 引言

皮层听觉诱发电位(cortical auditory evoked potential, CAEP)是听觉刺激后所得一系列代表皮层水平神经活动总和的波。由于对听觉皮层检测的无创性、简便性及经济性,且能够评估整个听觉通路直至听觉皮层的状态,CAEP能够广泛用于各年龄段多种疾病谱的人群。儿童CAEP的主要成分包含P1、N1波。其中,P1波

为初级听觉皮层以及其与丘脑之间的神经投射反应。P1波的形态、潜伏期长短能够用于评估听觉干预后的效果^[1]。

对于人工耳蜗植入(CI)儿童,CAEP是一种检测听觉皮层成熟度、评估听觉系统完整性的潜在有效方式^[2]。CAEP是相对主观行为测听、听觉言语量表而言更客观的检查手段,能够避免低龄儿童配合困难、旁人评估主观性

基金项目:国家自然科学基金面上项目(82271168);北京大学第三医院创新转化基金雏鹰计划(BYSYCY2024012)

作者单位:北京大学第三医院 北京 100191

作者简介:谢宇非 博士 住院医师,研究方向:人工耳蜗电生理

通讯作者:潘滔, E-mail: pantao6422@163.com

马芙蓉, E-mail: furongma@126.com

#为共同通讯作者

强,导致对CI术后听觉效果评估准确性不佳的问题。但不同刺激条件下诱发的CAEP存在一定差异,现有研究中对于CAEP与听觉言语量表之间的相关性仍结论不一。

本研究采用电刺激CAEP作为反映听觉皮层功能的主要手段,探究不同电极位点刺激下CI儿童的CAEP与听觉言语量表:听觉行为分级-II(CAP-II)、言语可懂度分级标准(SIR)之间的相关性及其影响因素,为CAEP进入临床应用提供依据。

2 方法

2.1 被试

本研究选取中澳听力语言康复培训中心及小桔灯儿童康复教育中心语前聋CI术后患儿26例(26耳)。26例患儿中,男16例,女10例。行右侧CI者18例,左侧CI者4例;双侧同期植入者4例,均纳入单耳资料(P1潜伏期更短侧)。植入体为澳大利亚Cochlear公司的CI512或CI24RE(CA)。所有患者术前检测均为重度或极重度感音神经性聋,符合人工耳蜗植入标准,术后3~4周开机,开机后进行规律语言训练。内耳及蜗神经解剖结构均未见明显异常。纳入患儿测试年龄2.51~7.92岁,平均 4.69 ± 1.22 岁,植入年龄0.93~5.28岁,平均 2.44 ± 1.12 岁,开机后时间3.47~51.97月(中位数27.83月)。

2.2 测试方法

2.2.1 测试设备及参数 应用Custom Sound™ EP 4.0作为刺激软件,通过言语处理器连接至患者体内的人工耳蜗植入体。采用Bio-logic® Navigator® Pro为听觉诱发电位仪,通过programming pod进行刺激同步。采用AEP(Ver 7.0.0)作为记录软件进行波形记录。软件连接诱发电位记录仪,并通过高频滤波器与记录系统电极相连。记录系统电极包括记录电极、接地电极及参考电极,分别置于患者前额正中发际、眉间及对侧乳突。记录前测试患者体表电极间阻抗小于10 kΩ。采用双极刺激模式,刺激强度单位为电流级(current level, CL)。将MP1为参考电极,每脉冲序列采取脉冲宽度 $200\mu\text{s}\times 10$ 进行刺激,脉冲速率设置为455 Hz,每序列时长共20 ms,刺激速率设为0.9 Hz。刺激电极采用#4、#13、#20^[3~5],分别对应底转、中转、顶转的蜗内电极位点。触发方式设置为外触发,记录窗口宽度为533 ms,带通滤波1~70 Hz。平均叠加100次。

2.2.2 测试步骤 每个CAEP波形记录2次。测试过程中播放无声动画片使患儿保持清醒、安静状态。因患儿全程仅接收电刺激信号,测试在普通安静环境下即可进行,无需隔音环境。以120 CL作为初始刺激强度,滤波后取潜伏期50~250 ms中出现的第一个重复性佳的正波为

P1波,将最小可引出P1的刺激强度记录为阈值。因阈值处波形相对低缓,N1波形辨识、各波潜伏期测量误差可能较大,记录阈上20 CL的P1、N1的引出率及潜伏期^[4,6]。P1波峰对应点的横坐标为P1潜伏期;取位于P1后方、潜伏期在100~300 ms左右的负波记为N1波,波谷对应点的横坐标为N1潜伏期^[7]。向监护人或语言训练教师收集患儿听力言语量表得分作为对照。主观量表包括CAP-II、SIR,分别对应语言的接收与发出能力^[8],得分越高代表听觉或言语的能力越强。记录CAP-II得分(0~9分)、SIR得分(1~5分)。

2.3 统计方法

应用SPSS 27.0进行统计分析。应用Cochran's Q检验比较不同刺激位点对P1及N1引出率的影响。应用单因素重复测量方差分析(analysis of variance, ANOVA)比较不同刺激位点下P1、N1潜伏期是否存在差异。用Pearson相关分析(符合正态分布样本)或Spearman相关分析(不符合正态分布样本)探究植入年龄及开机后时间与P1潜伏期、N1潜伏期、CAP-II得分及SIR得分之间的相关性,以及各位点刺激下P1、N1潜伏期及振幅与CAP-II、SIR量表得分之间的相关性。

3 结果

3.1 植入年龄及开机后时间与各位点刺激下P1、N1潜伏期的相关性

26名患儿各位点刺激下的P1引出率均为92.3%(24/26),各位点(#4、#13、#20)刺激下N1引出率分别为88.5%(23/26)、92.3%(24/26)、92.3%(24/26)。Cochran's Q检验显示,不同位点刺激下的N1引出率之间比较,差异无统计学意义($\chi^2=2.000, P=0.368$)。典型的P1-N1波如图1(a)。图1(b)表示未引出P1-N1波时的波形图。26名患儿中,引出各位点(#4、#13、#20)刺激下P1潜伏期的平均值分别为 75.38 ± 13.24 ms、 74.38 ± 14.26 ms及 72.98 ± 13.30 ms。各位点(#4、#13、#20)刺激下N1潜伏期的平均值分别为 154.30 ± 18.03 ms、 149.68 ± 15.78 ms及 149.25 ± 16.84 ms。ANOVA分析显示,不同位点刺激下的P1、N1潜伏期进行比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。

植入年龄及开机后时间与各位点(#4、#13、#20)刺激下CI儿童的P1、N1潜伏期的相关性见表1。Pearson相关性分析显示,#20电极刺激下,植入年龄与P1潜伏期呈正相关($r=0.423, P<0.05$)。其余条件下,植入年龄、开机后时间与P1、N1潜伏期之间的相关性无统计学意义($P>0.05$)。

3.2 植入年龄及开机后时间与CAP-II、SIR得分的相关性

26名患儿的CAP-II得分为1~8分,平均 5.12 ± 1.58

表1 植入年龄及开机后时间与各位点(#4、#13、#20)刺激下P1、N1潜伏期的相关性

CAEP成分	电极位点	植入年龄	开机后时间
P1潜伏期	#4	$r=0.290, P=0.169$	$r=0.195, P=0.362$
	#13	$r=0.316, P=0.132$	$r=0.203, P=0.341$
	#20	$r=0.423, P=0.040^*$	$r=0.060, P=0.779$
N1潜伏期	#4	$r=-0.207, P=0.344$	$r=-0.355, P=0.096$
	#13	$r=-0.023, P=0.916$	$r=-0.092, P=0.670$
	#20	$r=0.203, P=0.342$	$r=-0.239, P=0.261$

* $P<0.05$

分;SIR得分为1~5分,平均 2.92 ± 1.13 分。植入年龄及开机后时间与CAP-II、SIR得分的相关分析结果见表2。经Pearson相关分析,植入年龄与CAP-II得分呈负相关($r=-0.520, P<0.01$)。经Spearman相关分析,植入年龄与SIR得分呈负相关($r=-0.409, P<0.05$);开机后时间与SIR得分呈负相关($r=0.481, P<0.05$);CAP-II与SIR得分呈正相关($r=0.763, P<0.001$)。开机后时间与CAP-II得分之间的相关性无统计学意义($P>0.05$)。

表2 植入年龄及开机后时间与CAP-II、SIR得分的相关性

	Pearson相关性分析		Spearman相关性分析	
	CAP-II		SIR	
植入年龄	$r=-0.520, P=0.006^{**}$	$r=-0.409, P=0.038^*$		
开机后时间	$r=0.327, P=0.103$	$r=0.481, P=0.013^*$		

* $P<0.05, **P<0.01$

3.3 不同位点刺激下P1、N1波潜伏期与CAP-II、SIR得分的相关性

不同位点(#4、#13、#20)刺激下P1、N1波潜伏期与CAP-II、SIR量表得分的相关性见表3。经Pearson相关分

析, #4电极刺激下, P1潜伏期与CAP-II呈负相关($r=-0.445, P<0.05$)。其余条件下P1、N1波潜伏期与CAP-II、SIR量表得分之间的相关性无统计学意义($P>0.05$)。

表3 各位点(#4、#13、#20)刺激下P1、N1波潜伏期与CAP-II、SIR量表得分的相关性

CAEP成分	电极位点	Pearson相关性分析		Spearman相关性分析
		CAP-II	SIR	
P1潜伏期	#4	$r=-0.445, P=0.030^*$	$r=-0.364, P=0.081$	
	#13	$r=-0.278, P=0.189$	$r=-0.055, P=0.799$	
	#20	$r=-0.324, P=0.122$	$r=-0.240, P=0.259$	
N1潜伏期	#4	$r=0.081, P=0.713$	$r=-0.025, P=0.909$	
	#13	$r=0.001, P=0.995$	$r=-0.015, P=0.943$	
	#20	$r=-0.133, P=0.537$	$r=-0.086, P=0.691$	

* $P<0.05$

4 讨论

4.1 CI儿童CAEP的影响因素

CAEP的P1潜伏期代表外周至中枢听觉通路所有突触延迟的总和。由于P1潜伏期显著的增龄性变化,近年来成为有效的反映听觉皮层发育的生物标志物^[1,4],并能够用于推断CI儿童接受听觉刺激后听觉系统发育的情况。在健听者中,听觉经验的增加能够促进听觉系统的发育及成熟,P1潜伏期存在下降趋势^[9]。

本研究发现,CI儿童的植入年龄与P1潜伏期呈正相关。表明植入年龄越小,听觉皮层可塑性越强,植入后P1潜伏期越短。对于CI儿童,当听觉干预时间较晚,长期未受过听觉刺激的听觉皮层将被视觉或躯体感觉重塑^[10],

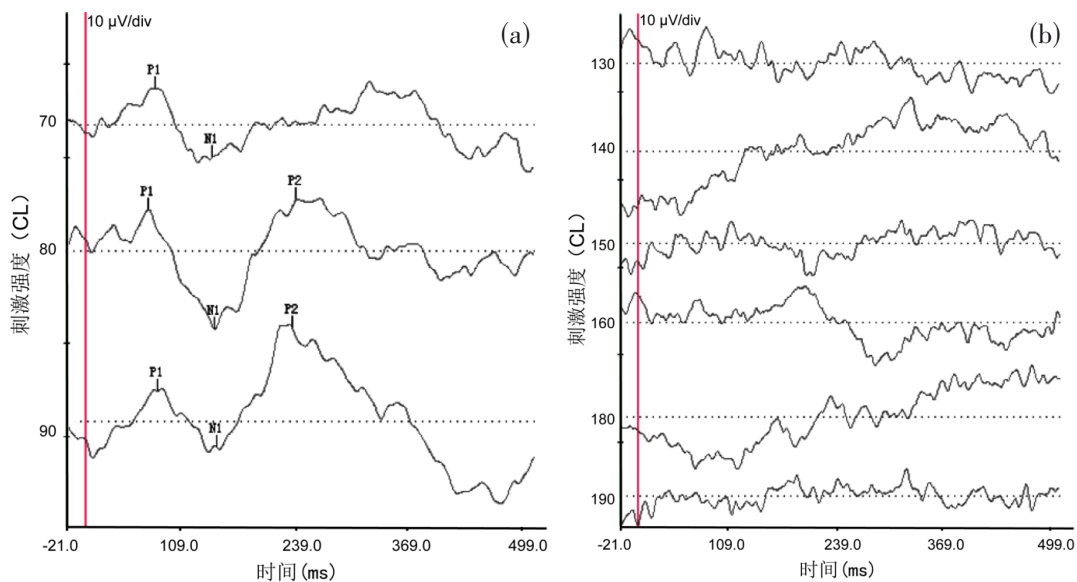


图1 2例CI术后儿童的电刺激CAEP波形

注:图(a)为典型的电刺激CAEP波形;图(b)为电刺激CAEP波形未引出时的测试图形

功能连接的形成受到阻碍,突触新生延缓,突触修剪增加,最终导致听觉中枢的发育延迟^[11],听觉康复效果不佳。因此,听觉皮层的发育存在敏感期。先天性听障儿童在听觉敏感期接受人工耳蜗的有效刺激后,听觉剥夺带来的发育延迟能够得到补偿。3.5岁前行CI者的P1潜伏期能够落入正常范围内,而7岁以上行CI者的P1潜伏期则较健听同龄人明显延迟,同时将不会出现N1波形^[9]。

此外,本研究并未发现纳入患儿的开机后时间为CAEP的影响因素,考虑可能原因为:①纳入患者植入年龄0.93~5.28岁,部分植入时间在3.5岁后,可能造成一定发育延迟,皮层可塑性降低,P1潜伏期并未如期缩短;②大部分纳入患者的开机后时间长于6月,此时P1潜伏期可能进入缓慢缩短的平台期^[12],因此二者之间的相关性无统计学意义。随着人工耳蜗植入及康复时间的延长,P1潜伏期越短,皮层发育成熟度越高^[2]。待扩大样本量以进一步验证开机后时间与CAEP之间的相关性。

既往研究通常采用声刺激诱发CAEP作为研究手段^[9]。声刺激的方式更贴近日常环境,能够在无听觉植入设备人群中应用。但需要的声场条件严格,测试消耗时间长、需患者配合。电刺激CAEP的电信号能够越过言语处理器,直接刺激耳蜗内电极,传递至整个听觉传导通路。与声刺激CAEP相比,电刺激的干扰及延迟更少,刺激变量控制更灵活,患者更易配合。在CI患者中,电刺激CAEP可能成为在皮层水平评估语言功能及术后辅助调机的更有利工具^[13]。因此,本研究应用了电刺激CAEP作为研究手段,刺激耳蜗内不同位点电极,模拟不同频率刺激。

本研究还发现,植入年龄、开机后时间均与CI术后听觉言语量表得分具有相关性。植入年龄与量表得分呈负相关,植入年龄越小,量表得分越高,听觉发育能力越强;而当开机后时间逐渐延长,听觉言语量表得分也更高。无论应用主观还是客观的研究手段,最终得出的结论均倾向于越早植入人工耳蜗植入效果更好。因此,在有条件的情况下,尽早对语前聋儿童进行CI手术仍为其获得听力、促进听觉系统发育的最佳干预方式。

4.2 CAEP与CAP-II、SIR得分之间的相关性

本研究发现,P1潜伏期与听觉言语量表之间具有相关性,是反映CI术后患儿言语能力、听觉皮层功能的良好指标。#4电极刺激下,P1潜伏期与CAP-II得分呈负相关。表明当P1潜伏期越短时,CAP-II得分越高,听觉能力越强。本研究中P1潜伏期与SIR得分的相关性虽无统计学意义,但呈现负相关的趋势,即当P1潜伏期越短时,SIR得分越高。以上结果再次印证P1潜伏期为较好的反映CI术后患儿听觉言语能力的客观指标,与既往研究存

在一致性^[4,14]。

此外,刺激位点可能能够影响CAEP的潜伏期,从而影响其与听觉言语能力之间的相关性。本研究发现,当刺激位点越靠近耳蜗底部时,CAEP的平均潜伏期相对更长,但差异无统计学意义。结果与既往对话后聋成人的研究一致^[3,15]。分析其可能的原因,多数语前聋儿童术前具有低频残余听力,高频对应位点接收听觉刺激相对少,神经同步性稍差,所以刺激耳蜗底转位点的P1潜伏期相对更长。此外,本研究中仅底转位点刺激下发现P1潜伏期与听觉言语表现呈负相关,其余位点刺激下P1潜伏期与量表得分相关性无统计学意义。该结果与既往研究存在差异^[3]。由于各刺激位点下潜伏期差异亦无统计学意义,其与量表得分之间的相关性仍有待扩大样本量以进一步验证。

5 结论

本研究主要得出以下结论:①CAEP作为能够反映听觉皮层功能的客观评估方式,也能用于听觉言语能力评估;②植入年龄越早、开机后时间越长时,听觉言语发育越成熟。

参考文献

- [1] 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.
- [2] Alvarenga KDF, Vicente LC, Lopes RCF, et al. Development of P1 cortical auditory evoked potential in children presented with sensorineural hearing loss following cochlear implantation: a longitudinal study [J]. *Codas*, 2013, 25(6):521-526.
- [3] Liebscher T, Alberter K, Hoppe U. Cortical auditory evoked potentials in cochlear implant listeners via single electrode stimulation in relation to speech perception [J]. *Int J Audiol*, 2018, 57(12):933-940.
- [4] Xiong S, Jiang L, Wang Y, et al. The Role of the P1 Latency in Auditory and Speech Performance Evaluation in Cochlear Implanted Children [J]. *Neural Plast*, 2022, 2022:6894794.
- [5] 谢宇非, 潘滔, 王宇, 等. 儿童电刺激皮层听觉诱发电位P1-N1-P2的参数优化研究 [J]. *中华耳科学杂志*, 2022, 20(6):916-922.
- [6] 王宇, 潘滔, 周娜, 等. 电诱发听性脑干反应的电生理特征及其在人工耳蜗植入中的评估价值 [J]. *临床耳鼻咽喉头颈外科杂志*, 2013, 27(1):8-12.
- [7] Sharma A, Dorman MF, Spahr AJ. Rapid development of cortical auditory evoked potentials after early cochlear implantation [J]. *Neuroreport*, 2002, 13(10):1365-1368.
- [8] Wang L, Shen M, Liang W, et al. Validation of the Mandarin versions of CAP and SIR [J]. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, 2020, 139:110413.
- [9] Sharma A, Dorman MF, Spahr AJ. A sensitive period for the development of the central auditory system in children with cochlear

- implants: implications for age of implantation [J]. *Ear Hear*, 2002, 23 (6):532-539.
- [10] 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.
- [11] Kral A, Kronenberger WG, Pisoni DB, et al. Neurocognitive factors in sensory restoration of early deafness: a connectome model [J]. *Lancet Neurol*, 2016, 15(6):610-621.
- [12] Lenarz M, Sönmez H, Joseph G, et al. Long-term performance of cochlear implants in postlingually deafened adults [J]. *Otolaryngol Head Neck Surg*, 2012, 147(1):112-118.
- [13] Martins KVC, Gil D. Cortical Auditory Evoked Potentials with Simple (Tone Burst) and Complex (Speech) Stimuli in Children with Cochlear Implant [J]. *Int Arch Otorhinolaryngol*, 2017, 21(4):351-357.
- [14] 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.
- [15] Visram AS, Innes-Brown H, El-Derey W, et al. Cortical auditory evoked potentials as an objective measure of behavioral thresholds in cochlear implant users [J]. *Hear Res*, 2015, 327:35-42.

收稿日期 2024-03-23
责任编辑 蒋 春

(上接350页)

调图(mapping),即言语处理器的开机和调机过程。但是,部分患者难以主动配合上述mapping过程,包括低龄儿童、多重残疾者等,导致行为学T、C值的准确设置存在困难。客观的电生理测试在预估行为学结果方面起重要作用。

既往有研究对成人和儿童CI患者进行术后EABR测试,发现,EABR阈值与T值、C值均呈显著相关,EABR阈值高于T值而低于C值,与C值更为接近^[15]。王宇等^[16]对23例儿童CI患者研究发现,EABR阈值与行为学T值、C值、神经反应遥测(neural response telemetry, NRT)阈值均呈线性相关,EABR阈值介于行为学T值和C值之间。本研究发现,电极位置亦会影响EABR阈值对行为学结果的预测价值。蜗顶刺激时,EABR阈值与T、C值均有显著相关性,而蜗中刺激时无此相关性。平均EABR阈值对应于T、C值之间约2/3水平,更接近C值。这一结果提示,蜗顶电刺激诱发的EABR有助于指导CI术后患者开机和调机时的参数设置。

参考文献

- [1] Starr A, Brackmann DE. Brain stem potentials evoked by electrical stimulation of the cochlea in human subjects [J]. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 1979, 88(4 Pt 1): 550-556.
- [2] 唐鸣, 张盼盼, 邓红霞, 等. 人工耳蜗植入者EABR和行为测听电流级阈值相关性研究 [J]. *中华耳科学杂志*, 2020, 18(3): 475-480.
- [3] 楼高忠, 郑海昌, 王钰, 等. 人工耳蜗植入者电诱发听性脑干反应阈值与行为测听阈值相关性研究 [J]. *中国耳鼻咽喉头颈外科*, 2020, 27 (4): 216-218.
- [4] Wang Y, Pan T, Deshpande SB, et al. The Relationship Between EABR and Auditory Performance and Speech Intelligibility Outcomes in Pediatric Cochlear Implant Recipients [J]. *Am J Audiol*, 2015, 24(2): 226-234.
- [5] 王宇, 潘滔, 马芙蓉. 电诱发听性脑干反应在人工耳蜗植入中的应用进展 [J]. *中华耳科学杂志*, 2015, 13(3): 469-475.
- [6] Gibson WP, Sanli H, Psarros C. The use of intra-operative electrical auditory brainstem responses to predict the speech perception outcome after cochlear implantation [J]. *Cochlear Implants Int*, 2009, 10 (Suppl 1): 53-57.
- [7] 程靖宁, 曹克利, 李原, 等. 人工耳蜗植入前电诱发听性脑干反应测试的临床应用 [J]. *听力学及言语疾病杂志*, 2008, 16(3): 193-196.
- [8] 金毅. 人工耳蜗植入前EABR检测参数的优化及临床应用[D]. 北京协和医学院中国医学科学院, 2013.
- [9] Kileny PR, Miller JM, Kemink JL, et al. Prediction of auditory nerve survival in humans using the electrical auditory brainstem response [J]. *Am J Otol*, 1992, 13(4): 381-382.
- [10] Kubo T, Yamamoto K, Iwaki T, et al. Significance of auditory evoked responses (EABR and P300) in cochlear implant subjects [J]. *Acta Otolaryngol*, 2001, 121(2): 257-261.
- [11] Allum JH, Shallop JK, Hotz M, et al. Characteristics of electrically evoked 'auditory' brainstem responses elicited with the nucleus 22-electrode intracochlear implant [J]. *Scand Audiol*, 1990, 19(4): 263-267.
- [12] Shallop JK, Beiter AL, Goin DW, et al. Electrically evoked auditory brain stem responses (EABR) and middle latency responses (EMLR) obtained from patients with the nucleus multichannel cochlear implant [J]. *Ear Hear*, 1990, 11(1): 5-15.
- [13] Firszt JB, Chambers RD, Kraus, et al. Neurophysiology of cochlear implant users I: effects of stimulus current level and electrode site on the electrical ABR, MLR, and N1-P2 response[J]. *Ear and hearing*, 2002, 23:502-15.
- [14] Guiraud J, Gallego S, Arnold L, et al. Effects of auditory pathway anatomy and deafness characteristics? (1): On electrically evoked auditory brainstem responses [J]. *Hear Res*, 2007, 223(1-2): 48-60.
- [15] Brown CJ, Abbas PJ, Fryauf-bertschy H, et al. Intraoperative and postoperative electrically evoked auditory brain stem responses in nucleus cochlear implant users: implications for the fitting process [J]. *Ear Hear*, 1994, 15(2): 168-176.
- [16] 王宇, 潘滔, 周娜, 等. 电诱发听性脑干反应的电生理特征及其在人工耳蜗植入中的评估价值 [J]. *临床耳鼻咽喉头颈外科杂志*, 2013, 27 (1): 8-12.

收稿日期 2024-03-23
责任编辑 蒋 春