

doi: 10.3969/j.issn.1672-4933.2024.04.005

# 听觉重塑中时间因素对人工耳蜗植入后电诱发中潜伏期反应的影响分析

Analysis of the Effects of Temporal Factors on Electrically Evoked Auditory Middle Latency Response after Cochlear Implantation in Auditory Remodeling

鲁兆毅 潘滔<sup>#</sup> 王宇 马芙蓉<sup>#</sup>

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

**【摘要】目的** 对影响人工耳蜗植入后电诱发中潜伏期反应(electrically evoked auditory middle latency response, EMLR)的时间因素,包括植入时年龄、植入后时间及现年龄等进行分析研究,探究听觉重塑过程中不同时间因素的影响。**方法** 对46例2008年~2014年在北京大学第三医院耳鼻咽喉科进行人工耳蜗植入的患者在术后进行EMLR测试。比较语前聋儿童与语后聋成人EMLR的差异,以及语前聋儿童中现年龄、植入时年龄及植入后时间等因素对EMLR的影响。**结果** 语前聋儿童EMLR各波潜伏期及波间潜伏期普遍较成人组长,各波间幅值普遍较成人组大,其中Po、Na、Pa、Nb及Pb波潜伏期, PoNa、NaPa及PaNb波间潜伏期, PoNa、NaPa、PaNb及NbPb波间幅值均存在统计学差异( $P<0.05$ )。语前聋儿童中, Pa、Nb波潜伏期及NaPa波间期与现年龄及植入后时间存在显著负相关、与植入时年龄存在显著正相关( $P<0.05$ )。**结论** EMLR在语前聋儿童与语后聋成人存在较显著差异,对于语前聋儿童,较大的年龄、较长的植入时间、较小的植入年龄对应更为成熟的EMLR波形,提示上述因素在听觉重塑过程中的重要性。

**【关键词】** 电诱发中潜伏期反应;人工耳蜗植入;听觉诱发电位;听觉重塑

**【中图分类号】** R764.43

**【文献标识码】** A

**【文章编号】** 1672-4933(2024)04-0351-05

**【Abstract】 Objective** To study the temporal factors affecting the electrically evoked auditory middle latency response (EMLR) after cochlear implantation, including age at implantation, post-implantation duration, and present age, in order to investigate the effects of different temporal factors in the process of auditory remodeling. **Methods** Forty-six patients who underwent cochlear implantation at the ENT Department, Peking University Third Hospital between 2008 and 2014 were tested for EMLR after surgery. Differences in EMLR between pre-lingual children and post-lingual adults were compared, as well as the effects of temporal factors such as present age, age at implantation, and post-implantation duration on EMLR in pre-lingual children. **Results** The latencies and intervals were generally longer and the inter-peak amplitudes were generally larger in the pre-lingual children than in the adults, with statistically significant differences ( $P<0.05$ ) in Po, Na, Pa, Nb, and Pb latencies, PoNa, NaPa, and PaNb intervals, and PoNa, NaPa, PaNb, and NbPb inter-peak amplitudes on EMLR. In pre-lingual children, Pa and Nb latencies and NaPa intervals showed significant negative correlations with present age and post-implantation duration, and positive correlations with age at implantation ( $P<0.05$ ). **Conclusion** There were significant differences in EMLR between pre-lingual children and post-lingual adults. In pre-lingual children, older age, longer post-implantation duration, and younger age at implantation corresponded to more mature EMLR waveforms, suggesting the importance of the above factors in the process of auditory remodeling.

**【Key words】** Electrically evoked auditory middle latency response (EMLR); Cochlear implant; Auditory evoked potential (AEP); Auditory remodeling

人工耳蜗植入(CI)是双耳重度、极重度感音神经性聋患者恢复听觉及言语能力的有效手段。随着CI技术的逐渐发展和成熟,以电刺激为诱发形式的听觉诱发电位(auditory evoked potential, AEP)随之兴起,目前以电诱发

听性脑干反应(electrically evoked auditory brain-stem response, EABR)研究居多<sup>[1,2]</sup>。相比之下,电诱发中潜伏期反应(electrically evoked auditory middle latency response, EMLR)由于其波形成熟较晚,在儿童中波形变

基金项目:海淀创新转化专项科研研发“矫正乳突根治术后耳廓下陷的支撑材料的开发和应用”(HDCXZHKC2022211)

作者单位:北京大学第三医院 北京 100191

作者简介:鲁兆毅 博士 副主任医师;研究方向:耳科学,人工耳蜗听觉电生理

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

异较大,目前研究相对不多,且以动物模型及成人CI患者为主<sup>[3]</sup>。

对于CI患者,早期听觉剥夺会导致听觉系统发育延迟,而CI的介入会使发育进程再次推进。由于EMLR潜伏期相对较长,可反映听觉通路中丘脑以至听皮层等高级中枢情况,这种听觉系统随时间的可塑性亦会在EMLR上有所体现。McGee等<sup>[4]</sup>对常规的声诱发中潜伏期反应(acoustic auditory middle latency response, AMLR)随年龄的发育情况做系统总结,Na波从出生后即出现,Pa波的检出率随年龄增长逐渐升高,约在12岁完全成熟,Pb波则持续发育至成人阶段。目前对于EMLR随时间的听觉可塑性研究相对较少。笔者团队曾对不同植入年龄和植入后时间的CI患者进行EMLR检测<sup>[5]</sup>,统计分析表明,不同时间因素影响下,EMLR的波潜伏期、波间幅值等数值存在显著差异。由于多种时间因素通常同时出现,存在混杂偏倚,本研究将进一步对影响EMLR的时间因素,包括植入时年龄、植入后时间及现年龄等进行分析研究,通过统计方法排除混杂偏倚,探究听觉重塑过程中不同时间因素的影响。

## 1 资料与方法

### 1.1 研究对象

对46例2008年~2014年在北京大学第三医院耳鼻喉科进行人工耳蜗植入的患者术后进行EMLR测试。其中男24例,女22例;年龄1~52岁,中位年龄4.8岁;其中18岁以下儿童40例,均为语前聋(以下称语前聋儿童组),18岁以上成人6例,均为语后聋(以下称语后聋成人组)。上述病例选择条件均符合人工耳蜗植入工作指南植入标准,CI手术时年龄1~52岁,中位年龄3.5岁。

### 1.2 研究方法

在人工耳蜗植入并开机后,对上述患者进行EMLR测试。测试时间在术后1个月~6.5年,中位时间9个月。

1.2.1 测试设备 刺激系统:安装Cochlear™公司Custom Sound™ EP 3.3软件的计算机,串联Programming Pod编程接口后,连接Freedom™言语处理器,通过耦合线圈连接人工耳蜗植入体。

记录系统:安装Bio-logic®公司AEP Version 7.0.0软件的计算机,连接Bio-logic® Navigator® Pro诱发电位仪,串联高频滤波器后连接记录系统电极。诱发电位仪的内触发接口与Programming Pod编程接口的外触发接口间通过同步导线连接。

1.2.2 测试参数 刺激参数:采用双极Alternating模式刺激,刺激强度为电流级(current level, CL),刺激强度步长10 CL。刺激脉宽200 μs,刺激速率11 Hz。

记录参数:触发方式为外触发。记录窗宽106.6 ms,带通滤波10~3000 Hz,叠加平均次数500,增益75000。

### 1.3 测试过程

患者处于安静清醒状态。记录电极置于前额发迹正中,记录参考电极置于植入耳对侧乳突区,公共电极置于眉间,电极间阻抗<10 kΩ。分别选择人工耳蜗的20号电极作为刺激电极,10号电极作为刺激参考电极。由计算机控制刺激系统产生电刺激信号,同时触发诱发电位仪,通过另一计算机进行叠加记录。初始刺激强度为200 CL,每次以10 CL增加或降低刺激强度,直至出现明确波形或达到最大强度。

对所得波形进行10~300 Hz的二次数字滤波,通过观察波形的重复性、波形随刺激强度变化的规律性,以及各波预期的潜伏期范围对EMLR进行判定。EMLR各波潜伏期预计波动范围为Na 12~30 ms, Pa 20~40 ms, Nb 25~55 ms。判断EMLR是否引出,并以出现可识别Pa波的最小刺激强度作为EMLR的阈值,测定EMLR的No、Po、Na、Pa、Nb、Pb等各波在阈上20 CL时的潜伏期以及相邻波间的幅值。

### 1.4 统计分析

对EMLR的引出率及阈值、各波的潜伏期、波间潜伏期以及波间幅值进行统计分析。比较引出率时进行 $\chi^2$ 检验(列联表独立性检验)。比较阈值、各波的潜伏期、波间潜伏期以及波间幅值时,采用 $t$ 检验。探索变量间的相关性时,首先绘制散点图,采用Pearson简单直线相关分析计算显著性及相关系数 $r$ 。对于引出率等概率离散变量,采用Logistic回归分析其与时间因素的相关性。上述统计检验均以 $P<0.05$ 作为有统计学显著差异。

## 2 结果

### 2.1 EMLR测试结果

46例EMLR测试中,39例可引出明确的EMLR波形,引出率为84.8%。EMLR测试的典型波形中,多数可于二次数字滤波前10 ms内观察到EABR的III、V波,随后依次为EMLR的No、Po、Na、Pa、Nb、Pb各波。不同患者EMLR波形个体差异较大,不同波成分引出率不同。Pa波引出率最高,在EMLR中出现率达100%,Nb波(94.9%)及Na波(89.7%)次之,随后为No及Po波(均84.6%),而Pb波出现率最低,为51.3%。

### 2.2 语前聋儿童与语后聋成人的EMLR差异

40例语前聋儿童中有33例可引出EMLR,6例语后聋成人均可引出EMLR。儿童组Pb波的出现率约为成人组的一半。经 $\chi^2$ 检验分析,两组间EMLR引出率及各波成分的出现率均未达到统计学显著差异( $P>0.05$ ),

见表1。

EMLR的平均阈值为167.3±25.9 CL,语前聋儿童EMLR的平均阈值较语后聋成人偏高,经*t*检验分析,两组间EMLR阈值未构成统计学显著差异( $P>0.05$ ),见表1。

语前聋儿童各波潜伏期及波间潜伏期普遍较成人组长,各波间幅值普遍较成人组大。经*t*检验分析,儿童的Po、Na、Pa、Nb、Pb波潜伏期及PoNa、NaPa及PaNb波间潜伏期均显著长于成人组, PoNa、NaPa、PaNb及NbPb波间幅值均显著高于成人组( $P<0.05$ ),见表1。

2.3 不同时间因素对语前聋儿童EMLR的影响

为进一步了解EMLR受时间因素的影响情况,排除术前言语情况及年龄过大跨度的干扰,对40名语前聋儿童患者进行分析。结合既往研究,EMLR可能同时受现年龄、植入时年龄及植入后时间三种时间因素影响,且这三者间存在一定联系(现年龄=植入时年龄+植入后时间)。经Pearson相关分析,现年龄与植入时年龄存在较强的相关性( $r=0.986, P<0.05$ ),而二者与植入后时间未发现显著相关( $P>0.05$ )。故在对现年龄或植入时年龄进行研究时,应将对应的另一时间因素作为协变量进行偏相关分析。

首先采用Logistic回归分析EMLR引出率及各波出现率与时间因素的相关性。结果表明,EMLR的检出率及各波出现率与各时间因素未发现显著相关( $P>0.05$ )。对于可引出EMLR的33例儿童,分别将现年龄、植入时年龄及植入后时间与EMLR阈值、各波潜伏期、波间潜伏期及波间幅值之间进行Pearson相关性分析或偏相关分析(研究现年龄时,控制植入时年龄;研究植入年龄时,控制现年龄)。结果表明,Pa、Nb波潜伏期及NaPa波间期与现年龄及植入后时间存在显著负相关、与植入时年龄存在显著正相关,NaPa及PaNb波间幅值与现年龄存在显著负相关( $P<0.05$ ),见表2。

3 讨论

AMLR的波形完全成型需要相当长的时间<sup>[4]</sup>。Na波从出生后即出现且可靠,而Pa波的检出率随年龄增长而逐渐升高,约在12岁完全成熟,Pb波则持续发育至成人阶段,且随年龄增长潜伏期缩短而幅值减小。此外,CI儿童中测试年龄较大者在术后较早的时间内EMLR检出率即可达到较高水平<sup>[6]</sup>。本研究发现,语前聋儿童与语后聋成人在EMLR的波成分、潜伏期、波间潜伏期、波间幅值上均有显著差异。儿童Pb波的出现率仅为成人的一半左

表1 语前聋儿童与语后聋成人的EMLR比较

	语前聋儿童	语后聋成人	$\chi^2$ 或 <i>t</i>	<i>P</i>	
引出率	82.5(33/40)	100.0(6/6)	0.094 <sup>a</sup>	0.760	
波出现率(%)	No/Po	84.8(28/33)	83.3(5/6)	- <sup>b</sup>	1.000
	Na	90.9(30/33)	83.3(5/6)	- <sup>b</sup>	0.502
	Pa	100.0(33/33)	100.0(6/6)	-	-
潜伏期/ms	Nb	93.9(31/33)	100.0(6/6)	- <sup>b</sup>	1.000
	Pb	45.5(15/33)	83.3(5/6)	1.597 <sup>a</sup>	0.206
	NoPo	6.90±1.39	5.88±0.84	1.560	0.129
	PoNa	11.16±1.67	9.33±1.37	2.305 <sup>*</sup>	0.028
波间潜伏期/ms	Na	17.97±3.44	13.89±2.27	3.422 <sup>c*</sup>	0.010
	Pa	29.38±4.46	22.08±2.59	3.867 <sup>*</sup>	0.000
	Nb	45.80±4.37	33.20±5.56	6.194 <sup>*</sup>	0.000
	Pb	63.52±8.51	46.89±4.46	4.133 <sup>*</sup>	0.001
	NoPo	3.45±1.30	4.27±1.44	-1.184	0.245
	PoNa	4.55±1.05	6.85±2.52	-3.442 <sup>c*</sup>	0.004
	NaPa	7.39±2.96	11.53±3.92	-2.245 <sup>*</sup>	0.032
波间幅值/ $\mu$ V	PaNb	11.12±3.41	16.95±4.74	-2.858 <sup>*</sup>	0.007
	NbPb	15.83±5.45	17.87±6.38	-0.638	0.532
	NoPo	1.30±0.90	1.24±1.60	0.121	0.904
	PoNa	1.76±1.03	1.00±0.34	3.088 <sup>c*</sup>	0.006
	NaPa	1.72±0.90	1.04±0.22	3.755 <sup>c*</sup>	0.001
波间幅值/ $\mu$ V	PaNb	1.74±0.69	1.11±0.20	4.274 <sup>c*</sup>	0.000
	NbPb	2.20±0.91	1.16±0.27	2.456 <sup>*</sup>	0.024

a 存在理论数小于5的单元格,进行连续性校正;b 存在理论数小于1的单元格进行Fisher精确概率法检验;c 两组间方差不齐,采用校正*t*检验;\*  $P<0.05$

表2 语前聋儿童中不同时间因素与EMLR的相关性

	现年龄 <sup>a</sup>		植入时年龄 <sup>b</sup>		植入后时间	
	<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>P</i>
引出率	0.356	0.551	0.920	0.337	0.082	0.775
No/Po	0.667	0.414	0.038	0.845	1.267	0.260
Na	2.003	0.157	0.708	0.400	2.841	0.092
波出现率						
Pa	-	-	-	-	-	-
Nb	0.044	0.835	0.795	0.373	0.001	0.976
Pb	0.276	0.599	0.128	0.720	0.301	0.583
阈值/CL	0.497*	0.003	-0.451*	0.008	0.399*	0.019
No	0.147	0.466	-0.150	0.454	0.104	0.598
Po	-0.153	0.445	-0.172	0.391	0.107	0.588
潜伏期/ms						
Na	0.175	0.363	-0.158	0.414	0.127	0.504
Pa	-0.492*	0.004	0.443*	0.010	-0.400*	0.019
Nb	-0.495*	0.005	0.454*	0.010	-0.396*	0.025
Pb	-0.229	0.432	0.241	0.408	-0.160	0.568
NoPo	0.036	0.860	-0.054	0.790	0.023	0.906
PoNa	0.142	0.481	-0.132	0.511	0.102	0.606
波间潜伏期/ms						
NaPa	-0.710*	0.000	0.701*	0.000	-0.505*	0.004
PaNb	0.041	0.827	-0.063	0.738	0.010	0.958
NbPb	0.211	0.469	-0.161	0.581	0.161	0.567
NoPo	0.218	0.275	-0.242	0.224	0.153	0.438
PoNa	-0.201	0.314	0.165	0.412	-0.145	0.461
波间幅值/ $\mu$ V						
NaPa	-0.369*	0.035	0.322	0.067	-0.305	0.080
PaNb	-0.363*	0.045	0.353	0.051	-0.265	0.143
NbPb	-0.317	0.269	0.276	0.339	-0.236	0.398

a 控制植入时年龄; b 控制现年龄; \*  $P < 0.05$

右; 儿童EMLR各波潜伏期以及波间潜伏期长于成人, 而波间幅值大于成人。本研究得到的EMLR各波潜伏期在儿童中较以往报道的EMLR潜伏期偏长, 而与AMLR潜伏期接近, Nb、Pb波潜伏期甚至较AMLR更长; 而成人中各成分则均明显短于AMLR对应潜伏期, 与以往报道相似。这与以往研究对AMLR及EMLR的认识相一致(表3)。

对于CI患者, 早期的听觉剥夺会导致听觉系统发育延迟, 而CI的介入会使发育进程再次推进。故除了年龄本身, 听觉的剥夺时间及再获得时间也是重要的影响因素, 这种听觉系统随时间的可塑性亦会在EMLR上有所

体现。本研究表明, 时间因素与EMLR的相关性主要体现在Pa、Nb波潜伏期、NaPa波间期以及NaPa及PaNb波间幅值方面。潜伏期及波间潜伏期越短、波间幅值越小, 提示EMLR越成熟。现年龄越大、植入时年龄越小、植入后时间越长, EMLR各参数表现越成熟, 这与以往研究及对于听觉可塑性的理解一致。

关于植入后时间对听觉可塑性的影响, Gordon等<sup>[6]</sup>通过CI术后EMLR发现, Na、Pa及Nb波潜伏期则随植入时间逐渐缩短, 在植入2~6个月后出现显著差异。亦表明CI后24个月以上患儿的Pa波潜伏期显著短于CI后6~12个月者<sup>[5]</sup>。这与本研究中CI植入后时间越长,

表3 不同作者报告的EMLR潜伏期(均值, ms)

作者	时间(年)	类型	对象	例数	Na	Pa	Nb	Pb
Groenen等 <sup>[7]</sup>	1997	术后	成人	16	16.5	28.20	36.92	46.25
Makhdoum等 <sup>[8]</sup>	1998	术后	成人	12	17.3	28.3	39.4	49.5
Firszt等 <sup>[9]</sup>	2002	术后	成人	11	16.52	27.10	—	—
Gordon等 <sup>[6]</sup>	2005	术后	成人	35	17.2	24.88	—	—
Kurnaz等 <sup>[10]</sup>	2009	术后	成人为主	16	21.84	34.12	—	—
王斌等 <sup>[11]</sup>	2012	术中	儿童为主	20	15.60	21.92	32.49	45.09
本研究		术后	成人	6	13.89	22.08	33.20	46.89
			儿童	40	17.97	29.38	45.80	63.52

EMLR越成熟的结果一致。随着植入后时间的推移, EMLR的检出率逐渐增加,而NaPa及PaNb幅值逐渐增大<sup>[6]</sup>;植入时间1年以上者EMLR的幅值较1年以内偏大,但未达到显著差异<sup>[10]</sup>。本研究则在EMLR的检出率及幅值上并未发现与植入时间的明显关联。

关于CI植入年龄方面,目前共识是年龄越小,听觉系统的可塑性越好。我国2013版人工耳蜗植入工作指南<sup>[12]</sup>建议,语前聋患者的植入年龄要求要在6岁以下,植入年龄越小效果越佳。以3岁<sup>[5,13,14]</sup>、4岁<sup>[15]</sup>及5岁<sup>[16,17]</sup>为年龄分界,年幼儿童的人工耳蜗植入效果均优于年长儿童。在EMLR方面,植入年龄5岁以上者在植入后2个月内NaPa及PaNb波间幅值较年幼者显著偏高,在植入后6个月内Na、Pa及Nb波潜伏期较年幼者显著偏短<sup>[6]</sup>。人工耳蜗患儿皮层诱发电位(cortical auditory evoked potential, CAEP)的P1波(相当于EMLR的Pb波)潜伏期随年龄增长逐渐缩短<sup>[18]</sup>。本研究表明植入时年龄越小,EMLR越成熟,与以往认知一致。

本研究存在一定局限性。语后聋患者的数据仅为6例,样本量较小,尽管已经能够体现儿童与成人EMLR波形上的显著差异,但如果进一步扩大成人样本量,则能够获得更有效的信息,在后续针对不同时间因素的分析中,也将由语前聋儿童患者扩展为全年龄患者。此外,尽管本研究的儿童样本量较既往研究更大,但由于EMLR的影响因素众多、变异较大,仍需进一步扩大样本量方能清晰地探究时间因素的影响效果,以揭示听觉重塑的具体过程。

综上所述,EMLR在语前聋儿童与语后聋成人存在显著差异,随着年龄增长,EMLR呈现潜伏期以及波间潜伏期缩短、波间幅值减小的成熟趋势。对于语前聋儿童,除了年龄增长外,较长的植入后时间、较小的植入年龄同样对应更为成熟EMLR波形,提示上述因素在听觉重塑过程中的重要性。

#### 参考文献

- [1] 潘滔,王宇,鲁兆毅,等.人工耳蜗植入后EABR动态变化的初步研究[J].中华耳科学杂志,2013,11(2):200-204.
- [2] 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.
- [3] 鲁兆毅,潘滔,马芙蓉.电刺激诱发中潜伏期反应在人工耳蜗植入中的应用[J].中华耳科学杂志,2013,11(2):205-208.
- [4] McGee T, Kraus N. Auditory development reflected by middle latency response[J]. Ear and hearing, 1996, 17(5): 419-429.
- [5] 王子健,马芙蓉,潘滔,等.不同植入年龄和植入后时间的EMLR反应特点研究[J].中华耳科学杂志,2015,13(3):463-468.
- [6] Gordon KA, Papsin BC, Harrison RV. Effects of cochlear implant use on the electrically evoked middle latency response in children[J]. Hearing research, 2005, 204(1-2): 78-89.
- [7] Groenen P, Snik A, van den Broek P. Electrically evoked auditory middle latency responses versus perception abilities in cochlear implant users[J]. Audiology, 1997, 36(2): 83-97.
- [8] Makhdoum MJ, Groenen PA, Snik AF, et al. Intra- and interindividual correlations between auditory evoked potentials and speech perception in cochlear implant users[J]. Scandinavian audiology, 1998, 27(1): 13-20.
- [9] Firszt JB, Chambers Rd, Kraus N. Neurophysiology of cochlear implant users II: comparison among speech perception, dynamic range, and physiological measures[J]. Ear and hearing, 2002, 23(6): 516-531.
- [10] Kurnaz M, Satar B, Yetiser S. Evaluation of cochlear implant users' performance using middle and late latency responses[J]. European archives of oto-rhino-laryngology, 2009, 266(3): 343-350.
- [11] 王斌,曹克利,王轶,等.人工耳蜗植入术中电刺激中潜伏期听觉诱发电位的检测[J].中华耳鼻咽喉头颈外科杂志,2012,47(3):196-201.
- [12] 中华耳鼻咽喉头颈外科杂志编辑委员会,中华医学会耳鼻咽喉头颈外科学分会,中国残疾人康复协会听力语言康复专业委员会.人工耳蜗植入工作指南(2013)[J].中华耳鼻咽喉头颈外科杂志,2014,49(2):89-95.
- [13] Hassanzadeh S, Farhadi M, Daneshi A, et al. The effects of age on auditory speech perception development in cochlear-implanted prelingually deaf children[J]. Otolaryngology--head and neck surgery, 2002, 126(5): 524-527.
- [14] Kirk KI, Miyamoto RT, Lento CL, et al. Effects of age at implantation in young children[J]. The Annals of otology, rhinology & laryngology Supplement, 2002, 189: 69-73.
- [15] Tyler RS, Fryauf-Bertschy H, Kelsay DM, et al. Speech perception by prelingually deaf children using cochlear implants[J]. Otolaryngology--head and neck surgery, 1997, 117(3 Pt 1): 180-187.
- [16] Geers A, Brenner C, Nicholas J, et al. Rehabilitation factors contributing to implant benefit in children[J]. The Annals of otology, rhinology & laryngology Supplement, 2002, 189: 127-130.
- [17] Papsin BC, Gysin C, Picton N, et al. Speech perception outcome measures in prelingually deaf children up to four years after cochlear implantation[J]. The Annals of otology, rhinology & laryngology Supplement, 2000, 185: 38-42.
- [18] 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 and hearing, 2002, 23(6): 532-539.

收稿日期 2024-04-09  
责任编辑 蒋春