

人工耳蜗植入儿童不同聆听下言语识别率的效果分析*

杜昊亮¹ 姜耀峰² 杨焯¹ 高珺岩² 陆玲¹ 张小莉¹ 陈杰¹ 高下¹

[摘要] **目的:**通过测试人工耳蜗植入(CI)儿童不同聆听模式的助听听阈及安静与噪声环境下的言语识别率,对比双侧 CI、双耳双模式及单侧 CI 之间的差异,分析并探索不同聆听模式的效果与优势。**方法:**选取 2012—2021 年行双侧 CI、双耳双模式及单侧 CI 的重度或极重度感音神经性听力损失儿童 67 例为研究对象,其中单侧 CI 23 例(单侧 CI 组),双模式(一侧 CI 对侧佩戴助听器)25 例(双模式组),双侧 CI 19 例(双侧 CI 组)。分别测试三组患儿在 250~4000 Hz 的助听听阈,以及在安静及噪声环境下的双音节词及短句的言语识别率。**结果:**双侧 CI 组、双模式组及单侧 CI 组助听听阈结果经 ANOVA 比较组间差异无统计学意义($P>0.05$)。分别经组内配对 t 检验,三组在安静及噪声环境下的双音节词、短句的言语识别率差异有统计学意义($P<0.05$)。三组在安静环境下的双音节词及短句的言语识别率差异无统计学意义($P>0.05$),在噪声环境下差异有统计学意义($P<0.05$)。经进一步多重线性回归分析显示,双模式组与双侧 CI 组在安静及噪声环境下的双音节词及短句识别率差异无统计学意义($\beta=-0.567, P>0.05; \beta=-0.643, P>0.05$);双模式组与单侧 CI 组在噪声环境下的双音节词及短句识别率差异有统计学意义($\beta=-0.124, P<0.05$),但在安静环境下差异无统计学意义($\beta=-0.671, P>0.05$);双侧 CI 组与单侧 CI 组在噪声环境下的双音节词及短句识别率差异有统计学意义($\beta=-0.226, P<0.05$),但在安静环境下差异无统计学意义($\beta=-0.341, P>0.05$)。**结论:**一线临床人员及患儿家长应及时为听障儿童提供完整、准确的听力学评估,尽早实现双耳聆听。若患儿对侧耳无残余听力且佩戴助听器后言语识别能力仍不理想,应尽早开展对侧耳 CI 植入以实现双耳听觉;如果对侧耳尚有残余听力,且佩戴助听器后言语理解能力尚佳,可以优先尝试双耳双模式。不论是选择双耳双模式助听还是双侧 CI 助听,都要注重个性化、精细化、系统化的调试,并且及时为患儿进行听觉评估。

[关键词] 儿童;听觉丧失,感音神经性;耳蜗植入术;双耳聆听;双模式;言语识别

DOI:10.13201/j.issn.2096-7993.2023.03.009

[中图分类号] R764.43 **[文献标志码]** A

Effect of cochlear implantation on speech recognition under different listening modes in children

DU Haoliang¹ JIANG Yaofeng² YANG Ye¹ GAO Junyan² LU Ling¹ ZHANG Xiaoli¹
CHEN Jie¹ GAO Xia¹

(¹Department of Otolaryngology Head and Neck Surgery, Affiliated Drum Tower Hospital of Nanjing University Medical School, Jiangsu Provincial Key Medical Discipline [Laboratory], Research Institute of Otolaryngology, Nanjing, 210008, China; ²Department of Technical Counseling, Jiangsu Children's Rehabilitation Research Center)

Corresponding author: GAO Xia, E-mail: gaoxiaent@163.com

Abstract Objective: To investigate speech recognition among children with a unilateral cochlear implant(CI), bilateral CI, and bimodal hearing and identify the benefits of binaural hearing. **Methods:** A total of 67 children with severe sensorineural hearing loss who received bilateral CI, bimodal hearing, and unilateral CI from 2012 to 2021 were recruited, including 23 cases with unilateral CI, 25 cases of bimodal hearing, and 19 cases of bilateral CI. The aided hearing threshold at 250—4000 Hz and speech recognition performance of two-syllable words and short sentences in quiet and noisy environments were tested, respectively. **Results:** There was no significant difference in the hearing threshold results of the bilateral CI group, the bimodal hearing group, and the unilateral CI group by ANOVA($P>0.05$). According to the paired t -test within the group, the speech recognition of disyllabic words and short sentences in quiet and noisy environments were significantly different among the three groups(P

*基金项目:国家自然科学基金(No:82192862)

¹南京大学医学院附属鼓楼医院耳鼻咽喉头颈外科 江苏省医学重点学科 南京鼓楼医院耳鼻咽喉研究所(南京,210008)

²江苏省儿童康复研究中心技术指导部

通信作者:高下, E-mail: gaoxiaent@163.com

<0.05). There was no significant difference in the speech recognition rates of disyllabic words and short sentences among the three groups in a quiet environment ($P > 0.05$), but there was a statistically significant difference in a noisy environment ($P < 0.05$). Additional multiple linear regression analysis showed no significant difference in the recognition rates of disyllabic words and short sentences between the bimodal group and the bilateral CI group in quiet and noisy environments ($\beta = -0.567, P > 0.05; \beta = -0.643, P > 0.05$). There was a statistically significant difference in speech recognition of disyllabic words and short sentences between the bimodal group and the unilateral CI group in the noise environment ($\beta = -0.124, P < 0.05$), but the difference was not statistically significant in a quiet environment ($\beta = -0.671, P > 0.05$); there was a statistically significant difference in the recognition rate of disyllabic words and short sentences between the bilateral CI group and the unilateral CI group in the noise environment ($\beta = -0.226, P < 0.05$), but the difference was not statistically significant in a quiet environment ($\beta = -0.341, P > 0.05$). **Conclusion:** Clinicians and guardians are encouraged to provide the most comprehensive audiological evaluation for children with hearing loss. Bilateral CI and bimodal hearing have demonstrated enormous advantages over unilateral CI regarding speech recognition in noise. Bimodal hearing deems a strong recommendation if the contralateral ear has sufficient speech recognition capability. Bilateral CI should be warranted if hearing aids deemed to be ineffective.

Key words child; hearing loss, sensorineural; cochlear implantation; binaural listening; bimodal fitting; speech recognition

随着我国经济的迅速发展和人工耳蜗植入(CI)技术的日益成熟,越来越多患有重度、极重度感音神经性听力损失的儿童在国家和社会的资助下通过CI重返有声世界^[1-5]。经过40年的发展,现代多通道的人工电子耳蜗技术已成为人类最为成功的植入性生物医疗产品。文献研究显示单侧CI患者在噪声环境下的言语识别、音乐欣赏及声源定位能力较听力正常人群仍存在较大差距^[4,6-7]。但是,目前大部分患有双侧感音神经性听力损失的儿童在接受单侧CI后未能及时开展对侧耳植入或佩戴助听器^[1-3,8-9]。本研究通过测试双侧CI、双耳双模式及单侧CI儿童的助听听阈及安静级噪声环境下的言语识别率,比较双单侧CI、双耳双模式及

单侧CI之间的差异,分析并探讨不同聆听模式的效果。

1 资料与方法

1.1 临床资料

选择2012—2021年行单侧CI、双耳双模式及双侧CI的重度或极重度感音神经性听力损失儿童67例为研究对象,其中男37例,女30例;测试年龄(6.81±3.56)岁;CI年龄1~5岁,平均(23.1±7.1)个月;单侧CI 23例(单侧CI组),双模式(一侧CI对侧佩戴助听器)25例(双模式组),双侧CI 19例(双侧CI组)。三组患儿CI年龄、家庭教育水平、CI后测试言语的间隔时间差异无统计学意义($P > 0.05$),见表1。

表1 三组患儿基本资料比较

组别	例数	性别/例		CI年龄/月	家庭教育水平		CI后测试言语的 间隔时间/月
		男	女		高中	大学	
单侧CI组	23	11	12	21.3±5.2	3	20	8.3±2.2
双模式组	25	16	9	23.4±4.4	6	19	10.6±1.8
双侧CI组	19	10	9	25.1±3.1	2	17	9.1±3.3
<i>t</i> 值		0.78		0.63	0.87		0.59
<i>P</i> 值		>0.05		>0.05	>0.05		>0.05

纳入标准:①诊断为重度或极重度感音神经性聋(WHO 2021);②双侧CI组选择术前平均听阈较差一侧为植入耳,且双侧CI佩戴总时长达半年以上的患儿;双模式组术后对侧耳持续佩戴助听器,且佩戴对侧耳助听器及人工耳蜗总时长达半年以上的患儿;单侧CI组选择佩戴总时长达半年以上的患儿;③患儿无CI禁忌证及其他手术禁忌证;④CI植入手术成功,术中监测及电极阻抗遥控结果正常,未出现脑膜炎等严重并发症,未出现植入体脱位、电极损坏等故障;⑤术后两周至一个月开

机,开机无不良反应;⑥保证患儿在测试中能良好配合测试流程;⑦无自闭症、失语症等影响患儿正常交流病史。所有招募患儿均在江苏省儿童康复研究中心接受系统性听力康复训练及指导,并在测试前为患儿CI设备进行检查及清理。

1.2 研究方法

1.2.1 测试环境 测试地点为江苏省儿童康复研究中心的标准隔声室,采用GSI公司推出的Audio Star Pro听力计测试术后助听听阈并以普通话言语测听系统双音节词语及心爱飞扬言语测试系统

测试安静及噪声环境下的言语识别率。测试开始前,专业人员对声场测试响度及测试设备进行校准。测试时,听力计与电脑相连,单侧扬声器位于受试者正前方 0° 方向,测试装置由专业测试人员操纵。标准隔声室采用 Philips Fidelio E6 扬声器播放测试材料。

1.2.2 测试方法 双侧 CI 组患儿在双侧人工耳蜗佩戴下进行测试,双模式组患儿佩戴人工耳蜗及对侧助听器进行测试,单侧 CI 组患儿佩戴单侧人工耳蜗进行测试。研究者分别测试三组患儿在 250~4000 Hz 的助听听阈,以及在安静及噪声环境下的双音节词及短句的言语识别率。在安静环境下,受试者面向距离扬声器 1 m 的测试点就坐,短句播放响度为 60 dB SPL;在噪声环境下,受试者面向距离扬声器 1 m 的测试点就坐,短句播放响度为 60 dB SPL,言语噪声响度为 55 dB SPL,测试信噪比定为 5 dB。

1.2.3 言语识别率评价标准 在言语识别率测试中,患儿需重复测试材料中所播放的词语或短句,并由研究者判断其复述是否正确。若患儿未能正确复述测试材料中半数词句,则判定患儿未成功复述测试材料。在完成全部测试后,研究者根据患儿的复述情况计算其言语识别率。言语识别率=正确复述词(句)数量/测试词(句)总数 $\times 100\%$ 。患儿言语识别率的评判标准:90%~100%为优秀,80%~89%为良好,70%~79%为一般,<70%为差。

1.3 统计学方法

采用 SPSS 24.0 统计学软件,用 ANOVA 多组对比检验对三组聆听模式的双耳助听听阈、安静

环境及噪声环境下的言语识别率数据进行统计学分析。数据正态性检验采取 Shapiro-Wilk 检验,取检验水准 $\alpha=0.1$ 时,三组聆听模式的双耳助听听阈、安静环境及噪声环境下的言语识别率数据呈正态分布($P>0.05$)。然后用配对 t 检验及独立样本 t 检验对组内在安静及噪声环境下的言语识别率进行统计学分析,以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

双侧 CI 组、双模式组及单侧 CI 组分别在双耳形式下的助听听阈结果见表 2,各组助听听阈经 ANOVA 比较组间差异无统计学意义($P>0.05$)。三组在安静及噪声环境下的言语识别率结果见表 3,分别经组内配对 t 检验,三组在安静及噪声环境下的双音节词、短句的言语识别率差异有统计学意义($P<0.05$);三组经 ANOVA 检验,安静环境下的双音节词及短句的言语识别率差异无统计学意义($P>0.05$),噪声环境下的双音节词及短句的言语识别率差异有统计学意义($P<0.05$)。

经进一步多重线性回归分析显示,双模式组与双侧 CI 组在安静及噪声环境下的双音节词及短句识别率差异无统计学意义($\beta=-0.567, P>0.05$; $\beta=-0.643, P>0.05$);双模式组与单侧 CI 组在噪声环境下的双音节词及短句识别率差异有统计学意义($\beta=-0.124, P<0.05$),但在安静环境下差异无统计学意义($\beta=-0.671, P>0.05$);双侧 CI 组与单侧 CI 组在噪声环境下的双音节词及短句识别率差异有统计学意义($\beta=-0.226, P<0.05$),但在安静环境下差异无统计学意义($\beta=-0.341, P>0.05$)。

表 2 三种聆听模式下的双耳助听听阈

组别	dB HL, $\bar{X} \pm S$				
	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
双侧 CI 组	25.66 \pm 6.12	27.18 \pm 5.27	26.33 \pm 6.19	28.15 \pm 7.79	31.92 \pm 6.89
双模式组	26.67 \pm 8.03	29.77 \pm 4.57	32.71 \pm 6.89	34.45 \pm 5.79	41.43 \pm 5.74
单侧 CI 组	27.12 \pm 5.64	22.05 \pm 6.33	23.19 \pm 5.88	25.27 \pm 6.59	28.16 \pm 6.18
F 值	3.63	4.12	2.54	3.76	4.33
P 值	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05

表 3 三组在安静和噪声环境下的言语识别率比较

组别	$\%, \bar{X} \pm S$			
	安静环境下		噪声环境下	
	双音节词识别率	短句识别率	双音节词识别率	短句识别率
双侧 CI 组	87.43 \pm 6.72	94.66 \pm 3.11	62.38 \pm 5.88 ¹⁾	81.33 \pm 6.79 ²⁾
双模式组	83.34 \pm 7.67	96.78 \pm 2.89	71.34 \pm 6.23 ¹⁾	95.67 \pm 5.99 ²⁾
单侧 CI 组	78.56 \pm 7.82	95.03 \pm 2.36	57.17 \pm 6.48 ¹⁾	78.54 \pm 4.88 ²⁾
F 值	2.33	4.51	3.67	6.10
P 值	>0.05	>0.05	<0.05	<0.05

与安静环境下双音节词识别率比较,¹⁾ $P<0.05$;与安静环境下短句识别率比较,²⁾ $P<0.05$ 。

3 讨论

人类的听觉系统通过系统性收集、分析诸如耳间时间差、耳间强度差、耳间相位差、耳间音色差等声学信号形成双耳听觉^[1-3,9-11]。这些信息对于安静及复杂聆听环境下的言语理解、声源定位、音乐感知能力起到十分重要的作用^[4,12]。重度及极重度感音神经性听力损失剥夺了患者有效采集、分析这些声学信号的能力,导致这些患者无法像听力正常的人群一样与他人进行交流。人工电子耳蜗植入是治疗重度及极重度感音神经性听力损失的有效手段,然而现阶段人工电子耳蜗的价格昂贵,且患者及基层医务人员对听力损失的重视及认知程度仍非常有限,因此大多数患有双侧听力损失的患者选择单侧人工电子耳蜗植入^[4,6,12-14]。双侧人工耳蜗植入或者一侧植入人工耳蜗对侧佩戴助听器的聆听模式可以建立双耳听觉,对声信号做出更好的处理和感知,这与国内外一些研究及指南相符^[1,6,11,15]。因此,本研究着重分析了三种聆听模式对听障儿童在安静及噪声环境下的言语识别表现,探讨不同聆听模式对听障儿童的影响,从而更好地提升听障儿童的长期听觉表现及聆听相关的生活质量。

本研究中,双侧 CI 组、双模式组及单侧 CI 组在安静环境下的双音节词、短句的言语识别率组间比较差异无统计学意义,在噪声环境下差异有统计学意义;同时,三组佩戴模式在安静及噪声环境下的双音节词、短句的言语识别率差异有统计学意义。该结果显示不论何种聆听模式,噪声环境均会对听障儿童的言语识别能力造成影响。然而,进一步的多重比较结果显示,双模式组与双侧 CI 组在噪声环境下的双音节词及短句识别率差异无统计学意义,表明双模式聆听与双耳 CI 的患儿在噪声环境下的言语识别能力无明显差异^[4,7,15-18]。

随着人工电子耳蜗的发展与普及,越来越多患有重度及极重度感音神经性听力损失的儿童能够重返有声世界,与普通儿童一样接受学习与教育。在安静条件下,CI 佩戴者的言语识别率可达 70%,能与他人进行较为流畅的沟通,但在噪声环境下,CI 佩戴者的言语识别率会出现显著下降^[3,8]。目前人工耳蜗在音乐赏析、噪声处理等方面仍存在较大的发展空间,而学校的教室、操场等场所极为嘈杂,对听障儿童的正常学习、生活带来较大挑战^[2-3,7-8,16]。因此,临床医生及听力师应推荐患儿尽早开展双侧 CI 植入或佩戴对侧助听器以实现双耳聆听。与单侧聆听模式相比,双耳聆听的优势包括头影效应、双耳静噪效应和双耳总和效应。头影效应是指头颅对声信号的阻挡作用,当信号和噪声从不同方位传至两耳时会产生耳间强度差(波长小于头围的高频信号)和耳间时间差(波长大于头围

的低频信号);双耳聆听可以从言语中分离噪声,并对噪声进行一定程度的削弱,这就是耳静噪效应;双耳总和效应是指听觉中枢汇集左右耳的声信号并加以融合,同样强度的声刺激,双耳比单耳听的更响亮更清晰。这三种效应共同提高了双耳信噪比,能更好地定位声源并提高了噪声下的言语识别率^[1-4,6-8,12-14]。

在目前的临床实践中,大部分患有双侧重度及极重度听力损失的儿童因受条件制约,通常在接受单侧 CI 后未能及时在对侧耳开展精准有效的听力学检查及采取听力康复措施。另外,学界在对侧耳是否及何时开展 CI 的问题上未达成共识,进一步延缓了听障儿童对侧耳接受人工听觉干预的时间。本研究结果显示,不论是双耳双模式聆听还是双耳 CI 实现双耳聆听,较单侧 CI 植入均能提升听障儿童在安静及噪声环境下的言语识别能力,这对听障儿童的言语发展、心理健康及长期的学习生活十分重要。

综上,一线临床人员及患儿家长应及时为听障儿童提供完整、准确的听力学评估,尽早实现双耳聆听。若患儿对侧耳无残余听力且佩戴助听器后言语识别能力仍不理想,应尽早开展对侧耳 CI 植入以实现双耳听觉;如果对侧耳尚有残余听力,且佩戴助听器后言语理解能力尚佳,可以优先尝试双耳双模式。不论是选择双耳双模式助听还是双侧 CI 助听,都要注重个性化、精细化、系统化的调试,并且及时为患儿进行听觉评估。

本研究因样本量限制,仅调查了 CI 儿童不同聆听模式的言语识别能力,并未对患儿的声源定位、音乐赏析等能力进行分析。言语识别能力仅为 CI 儿童康复效果的指征之一,不能完全代表患儿在实际生活中的聆听表现。因此,以后应进一步增加样本量并增加对其他耳蜗效果评价指征的研究。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 戴朴, 郗昕, 孙喜斌, 等. 人工耳蜗植入工作指南(2013)修订解读[J]. 中华耳鼻咽喉头颈外科杂志, 2014, 49(2): 96-102.
- [2] 李玲, 叶放蕾, 王乐, 等. 语前聋患儿一侧人工耳蜗植入对侧佩戴助听器聆听效果分析[J]. 听力学及言语疾病杂志, 2016, 24(3): 273-276.
- [3] Mok M, Grayden D, Dowell RC, et al. Speech perception for adults who use hearing aids in conjunction with cochlear implants in opposite ears[J]. J Speech Lang Hear Res, 2006, 49(2): 338-351.
- [4] Chang YS, Hong SH, Kim EY, et al. Benefit and predictive factors for speech perception outcomes in pediatric bilateral cochlear implant recipients[J]. Braz J Otorhinolaryngol, 2019, 85(5): 571-577.
- [5] Willis S, Xu K, Thomas M, et al. Bilateral and bimodal cochlear implant listeners can segregate competing

- speech using talker sex cues, but not spatial cues[J]. *JASA Express Lett*, 2021, 1(1): 014401.
- [6] Holtmann LC, Janosi A, Bagus H, et al. Aligning Hearing Aid and Cochlear Implant Improves Hearing Outcome in Bimodal Cochlear Implant Users[J]. *Otol Neurotol*, 2020, 41(10): 1350-1356.
- [7] Brumer N, Elkins E, Hillyer J, et al. Relationships Between Health-Related Quality of Life and Speech Perception in Bimodal and Bilateral Cochlear Implant Users[J]. *Front Psychol*, 2022, 13: 859722.
- [8] 徐静,冯帅,李巍,等.双模式和双侧人工耳蜗植入术后双耳聆听效果分析[J]. *中华耳科学杂志*, 2020, 18(5): 886-890.
- [9] 李琳,文开学,赵惠芳.儿童人工耳蜗术后听觉言语发育状况及影响因素分析[J]. *中国中西医结合耳鼻喉科杂志*, 2021, 29(1): 18-21, 42.
- [10] 杨焯,高珺岩,钱晓云,等.人工耳蜗植入手术对患儿及其家庭的长远助益研究[J]. *临床耳鼻咽喉头颈外科杂志*, 2018, 32(1): 42-47.
- [11] 王智超,黄琦,陈兵,等.人工耳蜗术后耳鸣疗效及耳鸣改变模式分析[J]. *临床耳鼻咽喉头颈外科杂志*, 2020, 34(11): 966-971.
- [12] Obuchi C, Shiroma M, Ogane S, et al. Binaural integration abilities in bilateral cochlear implant user[J]. *J Otol*, 2015, 10(4): 150-153.
- [13] Forli F, Bruschini L, Franciosi B, et al. Sequential bi-lateral cochlear implant: long-term speech perception results in children first implanted at an early age[J]. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 2022.
- [14] Mohammad Azmi HH, Goh BS, Abdullah A, et al. The outcomes of bilateral cochlear implant users in Universiti Kebangsaan Malaysia[J]. *Acta Otolaryngol*, 2020, 140(10): 838-844.
- [15] de Graaff F, Eikelboom RH, Sucher C, et al. Binaural summation, binaural unmasking and fluctuating masker benefit in bimodal and bilateral adult cochlear implant users[J]. *Cochlear Implants Int*, 2021, 22(5): 245-256.
- [16] 李刚,陶勇,孟照莉,等.同龄接受助听器或人工耳蜗干预的极重度聋患儿早期语前听能发育规律的对比研究[J]. *临床耳鼻咽喉头颈外科杂志*, 2020, 34(1): 41-44.
- [17] 张静平,王巍,王悦,等.语后聋成人人工耳蜗植入患者术后生活质量和言语识别能力评估[J]. *临床耳鼻咽喉头颈外科杂志*, 2020, 34(11): 1002-1004.
- [18] Zedan A, Jürgens T, Williges B, et al. Speech Intelligibility and Spatial Release From Masking Improvements Using Spatial Noise Reduction Algorithms in Bimodal Cochlear Implant Users[J]. *Trends Hear*, 2021, 25: 23312165211005931.

(收稿日期:2022-12-02)

(上接第200页)

- [14] Haukedal CL, Lyxell B, Wie OB. Health-Related Quality of Life With Cochlear Implants: The Children's Perspective[J]. *Ear Hear*, 2020, 41(2): 330-343.
- [15] Abdelhamid AA, Fahiem RA, Abdelmonem AA. Morphosyntactic profile of Egyptian children after 5 years of using unilateral cochlear implants[J]. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, 2020, 135: 110134.
- [16] 孔颖,刘莎,刘欣,等.人工耳蜗植入患儿汉语普通话开放式言语识别能力与正常儿童的异同分析[J]. *临床耳鼻咽喉头颈外科杂志*, 2018, 32(5): 345-349.
- [17] Wang Y, Sibaii F, Lee K, et al. Meta-Analytic Findings on Reading in Children With Cochlear Implants[J]. *J Deaf Stud Deaf Educ*, 2021, 26(3): 336-350.
- [18] Pinheiro M, Mancini PC, Soares AD, et al. Comparison of Speech Recognition in Cochlear Implant Users with Different Speech Processors[J]. *J Am Acad Audiol*, 2021, 32(7): 469-476.
- [19] Choi JE, Moon IJ, Kim EY, et al. Sound Localization and Speech Perception in Noise of Pediatric Cochlear Implant Recipients: Bimodal Fitting Versus Bilateral Cochlear Implants[J]. *Ear Hear*, 2017, 38(4): 426-440.
- [20] Zheng Y, Godar SP, Litovsky RY. Development of Sound Localization Strategies in Children with Bilateral Cochlear Implants[J]. *PLoS One*, 2015, 10(8): e0135790.
- [21] Yıldırım Gökay N, Yücel E. Bilateral cochlear implantation: an assessment of language sub-skills and phoneme recognition in school-aged children[J]. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 2021, 278(6): 2093-2100.
- [22] Jiwani S, Doesburg SM, Papsin BC, et al. Effects of long-term unilateral cochlear implant use on large-scale network synchronization in adolescents[J]. *Hear Res*, 2021, 409: 108308.
- [23] 赵航,陶仁霞,周文苑,等.2.4 GHz无线附件在听障儿童康复中的应用[J]. *中国听力语言康复科学杂志*, 2020, 18(4): 301-304.

(收稿日期:2022-12-02)