

doi: 10.3969/j.issn.1672-4933.2026.05.008

远距离与噪声环境下人工耳蜗适配无线调频系统对听障儿童聆听效果的影响

Effects of Cochlear Implant with Wireless Listening System on Listening Outcomes in Hearing-Impaired Children in Long-Distance and Noisy Environments

钟志茹 余泽锋 顾淡娟 黄诗伟 何燕玲

ZHONG Zhi-ru, YU Ze-feng, GU Dan-juan, HUANG Shi-wei, HE Yan-ling

【摘要】目的 探讨人工耳蜗适配无线调频系统(CI+FM)在远距离及噪声环境下对学龄前听障儿童聆听效果的改善作用。**方法** 采用问卷调查、言语听觉反应评估及听觉语言能力评估等方法,对广东省17家基层康复机构182名3~6岁听障儿童使用CI+FM与单独使用CI两种模式进行比较分析。评估两种模式在远距离(2 m、10 m、25 m、50 m)及不同信噪比(-15 dB、0 dB、20 dB)环境下的聆听效果。**结果** ①在10 m、25 m、50 m距离下,CI+FM模式Ling's五音察知率均显著优于CI模式($P<0.001$),在25 m范围内效果最佳,在2 m距离时2种模式无显著差异($P=1.000$)。②在-15 dB、0 dB、20 dB信噪比下,CI+FM模式声母和双音节词识别率均显著高于CI模式($P<0.05$),其中在-15 dB低信噪比环境下改善明显。③CI+FM模式在噪声环境和远距离场景的得分均显著高于CI模式($P<0.01$)。**结论** CI+FM模式能显著改善听障儿童远距离(10~50 m)及噪声环境(信噪比-15 dB~0 dB)下的聆听效果,可作为听障儿童户外教学及集体活动中改善听觉输入的有效辅助技术。

【关键词】 人工耳蜗;无线调频系统;听障儿童;远距离聆听;噪声环境;信噪比

【中图分类号】 R764.5

【文献标识码】 A

【文章编号】 1672-4933(2026)05-0492-04

【Abstract】 Objective To evaluate the efficacy of cochlear implant-compatible wireless listening systems(CI+FM) in improving listening outcomes in preschool-aged children with hearing impairment under long-distance and noisy conditions. **Methods** A comparative study was conducted involving 182 children with hearing loss (aged 3-6 years) enrolled in auditory training across 17 grassroots rehabilitation institutions in Guangdong Province. Listening performance was compared between CI+FM and CI alone conditions using questionnaires, speech detection tasks, and auditory-verbal assessments. Testing was conducted at different distances (2 m, 10 m, 25 m, and 50 m) and signal-to-noise ratio (SNR) environments (-15 dB, 0 dB, 20 dB). **Results** For Long-distance listening: at 2 m distance, no significant difference in Ling's five-sound detection rates was observed between the two modes ($P=1.000$). However, at distances of 10 m, 25 m, and 50 m, the CI+FM mode showed significantly higher detection rates than the CI alone mode (all $P<0.001$), with optimal effectiveness within 25 m distance. For Listening in noisy environments: under SNR conditions of -15 dB, 0 dB, and 20 dB, the CI+FM mode showed significantly higher recognition rates for both consonant and disyllabic words compared with the CI-alone mode (all $P<0.05$). The most pronounced improvement was observed at -15 dB SNR. For Questionnaire survey: the scores for the CI+FM mode were significantly higher than the CI mode in the both noisy environment and long-distance scenarios (both $P<0.01$). **Conclusion** The CI+FM mode significantly improves listening outcomes in children with hearing impairment across long-distance (10~50 m) and noisy environments (SNR -15 dB to 0 dB), with optimal effectiveness within 25 m distance. These findings support the integration of FM technology as an effective assistive tool for optimizing auditory access during outdoor instruction and group activities in the pediatric population with hearing impairment.

【Key words】 Cochlear implant; Wireless listening system; Hearing-impaired children; Long-distance listening; Noisy environment; Signal-to-noise ratio

人工耳蜗植入(CI)可有效提高重度以上听障儿童的 不理想^[1]。声强随距离增加呈平方反比衰减,距离超过语言交流能力,但在远距离及噪声环境下的聆听效果仍 2 m时言语信号明显下降,且受环境噪声及混响影响加

基金项目:广东省残疾人事业理论与实践研究课题“人工耳蜗适配无线聆听系统的研究”(YJH20211108)

作者单位:广东省残疾人康复中心 广州 510055

作者简介:钟志茹 本科 副主任技师;研究方向:听力康复

通讯作者:钟志茹, E-mail:408250382@qq.com

剧^[2]。在集体教学、户外活动等场景中,儿童距教师5~20 m,背景噪声复杂,言语识别率下降,影响康复效果^[3,4]。无线调频系统(frequency modulated system, FM)通过无线电波传输信号,可消除距离衰减及噪声干扰,显著提高信噪比(signal-to-noise ratio, SNR)^[5]。听力损失越重,所需SNR越高^[6]。单独使用CI时SNR常不足,而FM系统可提升SNR 10~24 dB^[1],理论上可针对性改善远距离及噪声环境下的聆听困难^[7,8]。广东省在基层康复机构使用Roger络+无线调频系统探索CI+FM的临床应用。本研究通过对182名听障儿童的调查评估,聚焦远距离及噪声环境,系统分析CI+FM的改善效果,为其在复杂听觉环境中的应用提供循证依据^[9,10]。

1 对象与方法

1.1 研究对象

选取广东省17家基层康复机构在训听障儿童182名,年龄3~6岁。入组标准:①双侧重度以上感音神经性听力损失^[3];②CI使用时长≥6个月;③CI+FM的持续使用时间≥3个月;④45°声场行为测听各频率听力重建阈值20~35 dB HL^[11]。排除标准:耳蜗畸形、学习能力低下、多重残疾等。人工耳蜗品牌:Cochlear 37例, MED-EL 72例, Advanced Bionics 73例。FM系统使用峰力Roger络+,通过适配器与CI言语处理器连接,信号接收方式采用FM+M模式,均调试至正常工作状态。本研究为回顾性分析,所有数据在分析前均进行了去标识化匿名处理,不涉及额外干预及个人隐私泄露和商业利益,可免除知情同意的规定,研究方案经广东省残疾人康复中心审核确认,符合科研伦理规范。

1.2 研究方法

1.2.1 远距离聆听效果评估 采用言语听觉反应评估(evaluation of auditory response to speech, EARS)中的Ling's五音测试方法^[12],比较2种模式下不同距离被试听察知情^[13,14],测试距离2 m、10 m、25 m、50 m。测试环境:室内本底噪声≤45 dB(A)和室外环境噪声60~80 dB(A),给声强度65±5 dB SPL^[15]。主试为康复教师,发射器置于声源约15 cm处。测试回避视觉提示,重复3次,≥2次有反应判断为有听反应。Ling's五音(/m/、/u/、/a/、/sh/、/s/)分别测试,总体察知率取五音平均值^[16]。

1.2.2 噪声环境下言语识别能力评估 选用孙喜斌教授主编的《听觉语言能力评估标准及方法》^[17]中的声母和双音节词表,采取听说复述或指认的方法评估2种模式不同信噪比的言语识别率。测试在隔声室进行,45°声场,给声强度65±5 dB SPL^[15]。背景噪声为言语噪声,信噪比设置为-15、0、20 dB^[18]。

1.2.3 问卷调查 采用儿童无线调频系统辅听效果评估问卷^[19],由带班教师评分,重点关注噪声环境和远距离2个维度得分。

1.3 统计学方法

应用SPSS 23.0统计软件对数据进行分析处理。计数资料采用卡方检验^[20],计量资料采用 t 检验,多组比较采用方差分析^[21],以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 远距离聆听效果比较

2种模式在不同距离下对Ling's五音的平均察知率见表1。2 m范围内2种模式察知率为100.0%($P=1.000$)。随着距离增加,CI模式察知率下降(10 m:55.3%,25 m:20.0%,50 m:0.0%);CI+FM模式在10 m和25 m处接近100%,50 m处46.5%。远距离下2组具有显著差异($P<0.001$)^[16]。

表1 两种助听模式在不同距离下Ling's五音平均察知率比较(% ,n=182)

距离	CI模式	CI+FM模式	P
2 m(室内)	100.0	100.0	1.000
10 m(室外)	55.3	100.0	<0.001*
25 m(室外)	20.0	97.4	<0.001*
50 m(室外)	0.0	46.5	<0.001*

* $P<0.05$,下同

2.2 噪声环境下言语识别能力比较

2.2.1 不同信噪比下声母识别率比较 2种模式在不同信噪比下的声母识别率见表2。CI+FM模式各信噪比均显著高于CI模式($P<0.05$),-15 dB时提升最明显(17.4%)。

2.2.2 不同信噪比下双音节词识别率比较 两种模式在不同信噪比下的双音节词识别率见表2。CI+FM模式各信噪比下均显著高于CI模式($P<0.05$),-15 dB时提升最明显(16.3%)。

2.3 问卷调查结果

CI+FM模式在噪声环境和远距离得分均显著高于CI

表2 两种助听模式不同信噪比言语识别率比较(% ,n=182)

信噪比(dB)	测试项目	CI模式	CI+FM模式	t	P
-15	声母识别	42.7	60.1	-5.23	<0.001*
	双音节词识别	49.9	66.2	-4.97	<0.001*
0	声母识别	56.6	69.1	-4.18	<0.05
	双音节词识别	75.2	80.1	-2.89	<0.05
20	声母识别	65.4	71.5	-3.02	<0.05
	双音节词识别	82.7	83.7	-2.15	<0.05

模式($P<0.01$),见表3。

表3 两种助听模式在噪声环境和远距离场景的问卷得分比较
($\bar{x}\pm s$,分)

场景	CI模式	CI+FM模式	t	P
噪声环境	56.43±16.2	71.92±18.4	-5.67	<0.01
远距离	54.31±16.0	70.81±19.2	-6.03	<0.01

3 讨论

3.1 CI+FM模式对远距离聆听效果的改善作用

本研究发现,听障儿童使用CI+FM模式在10 m、25 m乃至50 m距离下仍保持较高的Ling's五音察知率,而单纯CI模式在10 m以上距离时察知率明显下降,问卷调查结果亦印证此结果。提示FM系统在远距离传输中的优越性^[13]。从声学原理分析,自然声传播遵循平方反比定律,即声音强度与传播距离的平方成反比^[7]。当传播距离从2 m增加至10 m时,声压级衰减约14 dB SPL;增至25 m时衰减约22 dB SPL^[2]。对于听力重建阈值在25~35 dB HL的听障儿童,该衰减足以影响言语感知。FM系统通过无线电波传输,在有效传输距离内(30 m内)不受距离衰减影响,可直接将声源信号高保真传输至接收设备^[22]。

本研究CI+FM模式25 m内的察知率97.4%以上,50 m处降至46.5%,提示有效传输距离存在上限。与Jiang^[23]提出的5~30 m范围及黄诗伟等^[8]关于25 m内最佳距离的结论一致。建议在实际教学中将声源距离控制在25 m内,以保障最佳聆听效果。此外,CI+FM模式在2 m处与CI模式无显著差异,说明近距离安静环境下CI本身已满足需求,FM系统应在远距离或噪声环境下选择性启用,以平衡成本与效果。

3.2 CI+FM模式对噪声环境下言语识别能力的影响

本研究CI+FM模式在不同信噪比条件下声母和双音节词的言语识别率均显著优于CI模式,尤其在-15 dB低信噪比环境下改善明显。问卷调查结果显示,噪声环境下CI+FM模式的问卷得分显著高于CI模式,与客观评估结果一致。与Wolfe等^[1]在50~80 dB(A)噪声环境中的研究结果一致。FM系统改善噪声环境下聆听效果的核心机制在于提高信噪比。健听人群-5 dB信噪比下可达50%语句识别率,而听力损失儿童90 dB HL时需12.5 dB^[6]。CI者对信噪比要求更高,FM系统可有效提升信噪比10~24 dB^[1]。本研究所用的Roger络+系统采用智能自适应算法^[24],可根据环境噪声自动调整音量,进一步优化信噪比^[19]。即使在CI+FM模式下,-15 dB信噪比时的言语识别率仍显著低于0 dB和20 dB条件,提示FM系统无法完全消除高噪声干扰,康复教学中仍需优化环境噪声^[14,18]。

3.3 实际应用问题与研究局限性

部分机构在使用中存在以下问题:①设备兼容性,部分CI适配器与言语处理器连接不稳定、导线过长及电池仓易损坏等问题;②操作繁琐,日常连接、检测与拆卸流程较繁琐,部分教师缺乏系统培训;③缺乏统一的管理规范。上述问题与何燕玲^[13]研究结果一致,提示在该技术推广过程中,需完善操作规范与培训体系^[9,25],以实现个性化、规范化应用^[26,27]。本研究局限性:①问卷调查存在主观性;②未纳入认知水平协变量;③未开展长期追踪。后续研究需进一步完善^[28,29]。

4 结论与建议

CI+FM模式可显著提升听障儿童在远距离(10~50 m)及噪声环境(SNR-15 dB~20 dB)下的言语聆听与识别能力,其中在25 m范围内及低信噪比条件下的改善效果最显著,可作为户外教学、集体活动中改善听觉输入的有效辅助手段^[30]。

建议:①根据实际场景选择性使用,远距离或噪声环境中启用FM系统,近距离安静环境下单独使用CI;②制定统一的操作规范,加强设备使用培训;③建立效果追踪机制,提供个性化服务。

参考文献

- [1] Wolfe J, Schafer EC, Heldner B, et al. Evaluation of speech recognition in noise with cochlear implants and dynamic FM[J]. J Am Acad Audiol, 2009, 20(7): 409-421.
- [2] 王树峰,仇丹. 无线调频辅助系统及其应用[J]. 中国听力语言康复科学杂志, 2006, 4(6): 61-63.
- [3] 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. 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.
- [4] 梁巍. 听障儿童康复听能管理[M]. 北京:华夏出版社, 2017: 78-85.
- [5] 腾白玉,韩睿,邵兴. 无线音频系统(FM系统)对听障儿童不同环境下言语识别能力的影响[J]. 中国听力语言康复科学杂志, 2010, 8(6): 28-30.
- [6] Killion M. SNR Loss: I can hear what people say, but I can't understand them[J]. Hear Rev, 1997, 4: 10-10.
- [7] 程明昆. 环境声学[M]. 北京:科学出版社, 2004: 85-92.
- [8] 刘莎,张华. 儿童人工耳蜗植入术后听觉言语康复评估[J]. 中华耳科学杂志, 2018, 16(3): 312-317.
- [9] 陈雪清,王硕. 无线调频系统在特殊教育中的应用研究[J]. 中国特殊教育, 2019, (5): 42-47.
- [10] 中华人民共和国国务院. 残疾预防和残疾人康复条例[S]. 北京:中国法制出版社, 2017.
- [11] 中国残疾人联合会. 听力残疾评定标准(第二次全国残疾人抽样调查)[S]. 北京:华夏出版社, 2006.
- [12] Allum-Mecklenburg DJ. Evaluation of auditory response to speech (EARS)[M]. Innsbruck: MED-EL, 1996: 7-22.

- [13] 何燕玲,钟志茹,顾淡娟,等.人工耳蜗适配无线调频系统的调查结果分析[J].中国听力语言康复科学杂志,2025,23(1):71-74.
- [14] 黄诗伟,钟志茹,顾淡娟,等.人工耳蜗适配无线聆听系统在听障儿童户外教学的应用效果[J].中国听力语言康复科学杂志,2025,23(5):25-27.
- [15] 中华人民共和国卫生部.GB/T 16403-1996 声学 测听方法 纯音气导和骨导听阈基本测听法[S].北京:中国标准出版社,1996.
- [16] 方积乾.卫生统计学(第7版)[M].北京:人民卫生出版社,2012.156-165.
- [17] 孙喜斌,张芳,黄昭鸣,等.听觉语言能力评估标准及方法[M].北京:中国聋儿康复研究中心,2009,23-47.
- [18] 王硕,陈雪清.不同信噪比下人工耳蜗植入儿童言语识别能力研究[J].听力学及言语疾病杂志,2020,28(4):412-416.
- [19] 吴润楠,杨欣怡,戴瑞邦.Roger+无线聆听技术[J].中国听力语言康复科学杂志,2015,13(1):62-65.
- [20] IBM Corp. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 23.0[M]. Armonk, NY: IBM Corp, 2015,67-105.
- [21] 孙振球,徐勇勇.医学统计学(第4版)[M].北京:人民卫生出版社,2014.98-106.
- [22] 梁爽,朱晶,王艳霄,等.听障儿童使用无线调频系统助听效果分析[J].听力学及言语疾病杂志,2015,23(2):193-193.
- [23] Jiang D. 语训器,还是无线调频辅听系统?[J].中国听力语言康复科学杂志,2004,2(5):58-61.
- [24] 吴玺宏,陈捷.自适应麦克风阵列语音增强算法研究进展[J].声学学报,2018,43(4):587-596.
- [25] 中国听力语言康复研究中心.听障儿童听觉口语教学教师指导手册[M].北京:中国社会出版社,2019.156-162.
- [26] 国家康复辅具研究中心.残疾人辅助器具适配服务规范[S].北京:中国标准出版社,2020.
- [27] 黄丽辉,刘玉和.新生儿听力筛查及干预十年回顾[J].中华耳鼻咽喉头颈外科杂志,2019,54(6):465-470.
- [28] 张华,王树峰.听障儿童早期干预理论与方法[M].北京:人民卫生出版社,2017.210-218.
- [29] 孙喜斌,刘巧云.听障儿童听觉能力评估方法比较研究[J].中国听力语言康复科学杂志,2018,16(4):285-289.
- [30] World Health Organization. World report on hearing[R]. Geneva: WHO, 2021.

收稿日期 2026-04-02

修回日期 2026-05-21

录用日期 2026-07-29

责任编辑 薛 静

欢迎订阅《中国听力语言康复科学杂志》 增刊(家长版)

增刊以医教结合,实现全面康复为主题,内容涵盖老年听障、儿童保健、听障儿童如何选择听力放大方案、聋人自我意识、助听器验配、听障儿童心理健康等方面,以及相关网络、书籍等资源分享。希望给予家长及基层康复教师切实可行的帮助与指导。欢迎广大基层康复教师及听障儿童家长订阅。单价20元/本(含邮资)。

汇款方式:

单位名称:《中国听力语言康复科学杂志》社有限责任公司

开户行:北京银行惠新支行

账号:01090376000120105061055

联系电话:010-84639344

联系人:李瑶

《中国听力语言康复科学杂志》社有限责任公司