

doi: 10.3969/j.issn.1672-4933.2026.05.006

人工耳蜗蓝牙直连与传统声场下言语测听效果对比

Comparison of Speech Perception Outcomes Between Bluetooth Direct Streaming and Conventional Sound-Field Audiometry in Cochlear Implant Users

汪子琪^{1,2*} 林以鹏^{3,4*} 陈伟峰^{1,2} 陈洁华³ 银力^{3,5} 高珊仙^{3#} 汪绪武⁵ 董保华⁵ 李继泉^{1,2#}

WANG Zi-qi, LIN Yi-peng, CHEN Wei-feng, CHEN Jie-hua, YIN Li, GAO Shan-xian, WANG Xu-wu, DONG Bao-hua, LI Ji-quan

【摘要】目的 探究人工耳蜗蓝牙直连(blueetooth direct streaming, BDS)技术在临床听阈及言语识别测试中的应用价值,比较其与传统声场(sound field, SF)测听条件下言语识别的差异,评估其作为人工耳蜗术后听觉功能评估补充手段的可行性,为人工耳蜗远程调试、居家随访及康复效果监测提供参考。**方法** 纳入31例诺尔康人工耳蜗植入者作为研究对象,采用平衡交叉设计控制测试顺序效应。受试者分别在BDS与SF条件下完成测试,通过主观响度匹配使2种条件下输出强度保持一致。采用中文开放式言语感知评估材料,在安静环境下测试双音节词及短句识别率。应用配对 t 检验比较两种测试条件下言语识别率的差异,计算BDS相较于SF条件的识别改善幅度,统计个体表现出BDS优势的受试者比例。**结果** 31例受试者在BDS条件下言语识别率显著高于SF条件($P<0.05$),其中BDS条件下双音节词识别率为 $69.6\%\pm 24.0\%$,SF条件下为 $62.9\%\pm 25.1\%$,20例(64.5%)受试者表现出BDS优势;BDS条件下短句识别率为 $65.7\%\pm 31.3\%$,SF条件下为 $55.1\%\pm 27.6\%$,26例(83.9%)受试者表现出BDS优势。BDS对短句识别的提升幅度为 $10.6\%\pm 16.1\%$,高于双音节词的 $6.7\%\pm 15.2\%$,但二者改善幅度无显著差异($P=0.203$)。**结论** 人工耳蜗BDS技术可在安静环境下提高植入者言语识别表现,尤其在短句识别测试中显示出明显优势。该技术操作便捷,可减少测试环境噪声、混响及声场设备条件对结果的影响,有望作为传统SF测听的有效补充。本研究为BDS技术应用于人工耳蜗术后评估、远程调试及患者自测提供了初步数据支持,对优化术后康复评估流程、提升随访效率具有一定临床应用价值。

【关键词】 人工耳蜗;蓝牙直连;声场测听;言语识别率;术后评估

【中图分类号】 R764.5

【文献标识码】 A

【文章编号】 1672-4933(2026)05-0478-06

【Abstract】Objective To investigate the clinical value of Bluetooth Direct Streaming (BDS) technology in hearing threshold and speech recognition testing for cochlear implant users, to compare speech recognition outcomes between BDS and conventional sound-field (SF) testing conditions, and to evaluate the feasibility of BDS as a supplementary approach to postoperative auditory assessment. This study aimed to provide evidence for remote programming, home-based follow-up, and rehabilitation monitoring in cochlear implant users. **Methods** Thirty-one Nurotron cochlear implant recipients were enrolled. A balanced crossover design was applied to control for potential order effects. Each participant completed speech recognition testing under both BDS and SF conditions. Subjective loudness matching was performed to make the output levels under the two conditions as comparable as possible. Chinese open-set speech perception materials were used to assess disyllabic word and sentence recognition in quiet. Paired t -tests were used to compare speech recognition scores between the two testing conditions. The improvement in recognition scores under BDS relative to SF was calculated, and the proportion of participants showing a BDS advantage at the individual level was also analyzed. **Results** Overall, speech recognition scores under BDS were significantly higher than those under SF ($P<0.05$). The disyllabic word recognition score was $69.6\%\pm 24.0\%$ under BDS and $62.9\%\pm 25.1\%$ under SF, with 20 participants (64.5%) showing a

基金项目:浙江省智能康复与神经电子转化重点实验室项目“人工耳蜗和神经电刺激研究”(2024E10108)

作者单位:1 赣南医科大学 赣州 341000

2 赣南医科大学第一附属医院 赣州 341000

3 浙江诺尔康神经电子科技股份有限公司 杭州 311000

4 东南大学生物科学与医学工程学院 南京 2100001

5 杭州未来科技城医院 杭州 311000

作者简介:汪子琪 硕士 住院医师;研究方向:耳鼻咽喉头颈外科学

林以鹏 博士 工程师;研究方向:人工耳蜗调试和应用效果研究

通讯作者:李继泉, E-mail: jiquanlijy@163.com;高珊仙, E-mail: gaosx@nurotron.com

*为并列第一作者;#为共同通讯作者

BDS advantage. The sentence recognition score was $65.7\% \pm 31.3\%$ under BDS and $55.1\% \pm 27.6\%$ under SF, with 26 participants (83.9%) showing a BDS advantage. The improvement in sentence recognition under BDS was $10.6\% \pm 16.1\%$, greater than the improvement in disyllabic word recognition ($6.7\% \pm 15.2\%$); however, the difference between the two improvement magnitudes was not statistically significant ($P=0.203$). **Conclusion** The BDS technology can improve speech recognition performance in cochlear implant users in quiet, particularly in sentence recognition testing. This technique is easy to operate and may reduce the interference from environmental noise, reverberation, and sound-field equipment conditions on test results. Therefore, the BDS has the potential to serve as an effective supplement to conventional SF testing. The present study provides preliminary evidence supporting the application of BDS to postoperative assessment, remote programming, and patient self-testing for cochlear implant users, and may contribute to optimizing postoperative rehabilitation assessment and improving follow-up efficiency.

【Key words】 Cochlear implant; Bluetooth direct streaming; Sound-field audiometry; Speech recognition; Postoperative evaluation

1 引言

听力障碍是一种严重危害人类健康的疾病,受遗传、人口老龄化、噪音污染、意外事故及耳毒性药物等多种因素影响,听障患者数量日趋增加。其中,以耳蜗毛细胞不可逆损伤为特征的感音神经性听力损失(sensorineural hearing loss, SNHL)因药物治疗效果不佳,需借助助听器或人工耳蜗恢复听力。2021年WHO报告指出,目前全球超15亿人听力受损,4.3亿人为中度及以上听力损失,预计2050年将达30亿,超7亿人需听力康复^[1]。我国有2700余万听障人群,0~6岁听障儿童约80万,每年新增约3万人^[2]。先天性听障是常见的出生缺陷之一,其发生率为1‰~3‰,约1/3属重度听力下降,危害较大^[3]。

耳蜗毛细胞损伤难以通过药物修复,人工耳蜗成为治疗重度和极重度SNHL的首要手段^[4],全球现有超100万人工耳蜗植入者,我国开展植入手术已30年,植入者超16万人,从根本上改善了听障者生活、工作及学习^[5]。人工耳蜗植入(CI)术后听声效果评估多在受控声学环境中进行,传统方法为声场评估(sound field assessment, SF),通过特定声学房间播放校准声音,测量患者言语识别、声源定位等听觉表现,提供标准化、可重复的评估结果,为言语处理器精调及个性化康复干预提供直接依据,广泛应用于成人及儿童CI人群长期随访^[6]。蓝牙直连(bluetooth direct streaming, BDS)是新型连接方式,可使CI设备直接接收蓝牙终端音频,无需额外设备,灵活便捷,其与AI升级言语处理器结合,能充分发挥降噪、自动化调试等功能^[7]。

蓝牙直连尚无法取代标准声场评估作为CI术后阶段性评估的金标准^[8]。SF凭借标准化流程和对复杂声学环境的高保真模拟,在噪声下言语识别测试中能输出精确可重复的数据,为处理器参数优化和个体化康复方案制订提供关键依据,且不依赖特定终端。而BDS的价值在于将评估延伸至真实场景,方便患者居家训练、自我监测并远程回传数据,适用于术后早期、儿童等不便反复返院

的特殊人群^[8]。SF存在环境噪声、校准误差等局限,BDS虽能减少空气传导损耗,但能否完全替代SF仍需系统验证^[8,9]。本研究旨在比较BDS与SF的测试差异,评估蓝牙直连用于临床言语识别测试的等效性和优势。

2 对象及方法

2.1 研究对象

选取2025年3月~2025年7月完成测试的31例诺尔康CI受试者为研究对象。收集受试者性别、测试年龄、植入侧别、耳聋类型、发病或确诊年龄、植入年龄、耳聋病程及人工耳蜗使用时间等资料。其中,人工耳蜗使用时间定义为开机至本次测试的时间。本研究纳入的人工耳蜗植入者中,语后聋29例,占93.5%;语前聋2例,占6.5%,2例语前聋受试者植入年龄与CI使用时间分别为11岁、10年及8岁、2年。由于语前聋受试者例数较少,本文未将其作为独立亚组进行统计比较。其中男性17例,女性14例;右耳植入7例,左耳植入2例,双耳植入22例;测试年龄7~59岁,平均年龄 37.4 ± 12.7 岁;植入年龄平均 34.9 ± 13.5 岁;发病/确诊年龄平均 26.7 ± 14.5 岁;深度聋时长1~26年,平均 8.2 ± 6.5 年。所有受试者言语康复状况良好,均能配合完成言语识别测试。本研究经杭州未来科技城医院临床研究伦理委员会批准(2025-002),所有受试者或其法定监护人均签署知情同意书。

2.2 研究方法

2.2.1 设备与场地 在隔声室/安静房间、具备蓝牙连接功能的笔记本电脑、经校准的扬声器、声级计;诺尔康CS-10A/CS-20A人工耳蜗植入体、远航/清听一体机言语处理器(均支持蓝牙直连功能)。

2.2.2 言语测试材料 采用中文开放式言语感知评估(mandarin speech perception test, MSP),该材料经标准化开发与验证,适用于中文CI者的言语识别评估^[10],测试内容包括安静环境下双音节词和短句识别,均为日常高频使用词汇及语句。

2.2.3 研究设计 采用平衡交叉设计,消除测试顺序对结果的影响,设置2种测试条件,且保证蓝牙直连的输出强度与声场条件主观匹配。根据患者反馈调节蓝牙输入音量,直至受试者感知2种条件下的声音强度相当。

2.3 统计学方法

采用SPSS 27.0软件进行统计学分析。计量资料符合正态分布者以均数±标准差表示,分类资料以例数和百分比表示。采用配对 t 检验比较同一受试者在蓝牙直连与声场条件下双音节词及短句识别率的差异,并计算蓝牙直连相较于声场条件的识别改善幅度,统计表现出蓝牙直连优势的受试者比例。以 $P<0.05$ 为差异具有统计学意义。

3 结果

3.1 总体言语识别表现

CI受试者的言语识别表现呈一致性趋势。蓝牙直连条件下的双音节词、短句识别率(图1)均显著高于传统声场条件($P<0.05$),且蓝牙直连对短句识别的提升效果更明显,表现出蓝牙优势的受试者占比更高。提示蓝牙直连在提升言语识别能力上具有明确优势,且在语义更丰富的短句识别中更突出。排除2例语前聋受试者后,对29例语后聋受试者进行敏感性分析,结果显示蓝牙直连条件下双音节词及短句识别率仍显著高于声场条件($P<0.05$),提示语前聋个体对总体结果的影响有限。

3.2 安静环境下双音节词识别结果

2种测试条件下双音节词识别率对比显示(图2A),蓝牙直连条件下双音节词识别率为 $69.6\%\pm 24.0\%$,声场条件下为 $62.9\%\pm 25.1\%$ 。配对 t 检验结果显示,两者差异具

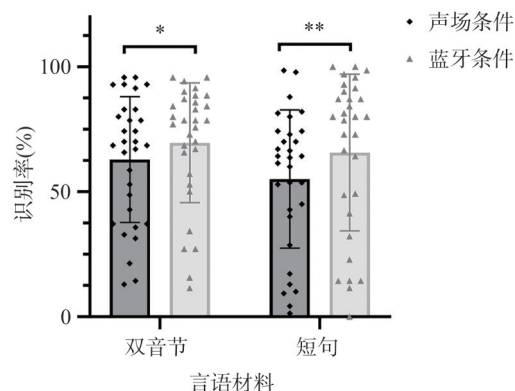


图1 不同聆听方式下言语识别正确率比较

注:横坐标为聆听方式与言语材料类型,纵坐标为识别正确率。每组内左侧柱为声场条件,右侧柱为蓝牙直连条件。散点表示个体数据,柱为均值,误差线为标准差,* $P<0.05$,** $P<0.01$

有统计学意义($P<0.05$),表明蓝牙直连可显著提升CI受试者的双音节词识别能力。在个体层面分析,31例受试者中,有20例(64.5%)在蓝牙直连条件下的双音节词识别率高于声场条件,表现出明显的蓝牙优势;其余11例(35.5%)未表现出蓝牙优势,其中2例表现为2种条件识别率持平,9例表现为声场条件略优于蓝牙直连条件。对未表现出蓝牙直连优势的11例受试者进行探索性分析,结果显示该亚组内蓝牙直连与声场条件下双音节词识别率无显著差异($P=0.053$)。

3.3 安静环境下短句识别结果

短句识别测试中(图2B),蓝牙直连条件下短句识别率为 $65.7\%\pm 31.3\%$,声场条件下为 $55.1\%\pm 27.6\%$,两者差异具有统计学意义($P<0.05$),蓝牙直连对短句识别的提升效

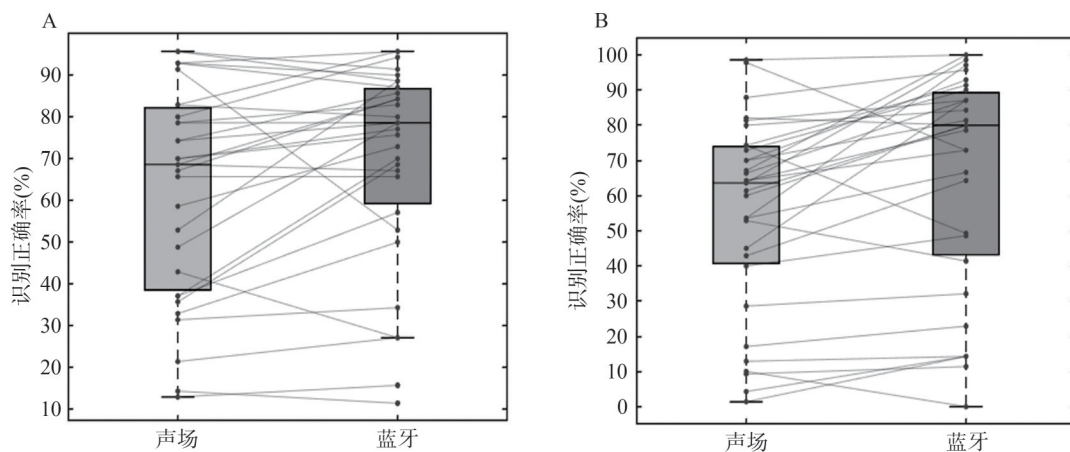


图2 不同聆听方式下言语识别正确率的配对比较

注:(A)安静环境下双音节识别结果对比;(B)安静环境下短句识别结果对比。横坐标为聆听方式(声场与蓝牙直连),纵坐标为正确率。箱线图表示数据分布(中位数及四分位数范围),灰线连接同一受试者在2种条件下的结果,表示配对数据变化趋势

果显著。个体层面分析显示,31例受试者中26例(83.9%)在蓝牙直连条件下的短句识别率高于声场条件,表现出蓝牙直连优势;其余5例(16.1%)未表现出蓝牙直连优势,其中2例2种条件下短句识别率持平,3例声场条件下短句识别率高于蓝牙直连条件。短句测试中表现出蓝牙直连优势的受试者比例高于双音节词测试[26例(83.9%)比20例(64.5%)]。由于未表现出蓝牙直连优势者例数较少,且该亚组为基于测试结果的事后划分,因此仅进行描述性分析,未作进一步统计推断。

3.4 双音节词与短句识别改善幅度对比

进一步分析蓝牙直连相对声场条件的言语识别改善幅度,结果见表1、图3。蓝牙直连对短句识别的改善幅度为 $10.6\% \pm 16.1\%$,对双音节词识别的改善幅度为 $6.7\% \pm 15.2\%$,短句识别的改善幅度高于双音节词。两者改善幅度无显著差异($P=0.203$)。从个体表现来看,短句测试中表现出蓝牙优势的受试者人数及占比均高于双音节词测试,提示语义信息更丰富的短句更能体现蓝牙直连在提升信号清晰度、减少干扰方面的优势,使CI者能更好地利用言语线索完成识别任务。

4 讨论

4.1 蓝牙直连改善言语识别的技术基础

传统声场测听依赖扬声器在隔声室中放出的言语信号,声音需经过空气传导、房间混响、麦克风拾音等环节,易受环境噪声、声波反射、距离衰减及麦克风拾音误差影响,导致高频信息损耗、信噪比下降^[11~13]。蓝牙直接输入属于直接音频输入技术的无线化升级,其核心优势在于信号传输保真度较高,可减少环境声学因素对测试结果的影响^[14]。直接音频输入(direct audio input, DAI)技术可绕过麦克风直接将信号输入言语处理器,降低2 kHz与4 kHz高频助听阈,提升言语信号清晰度^[15]。

本研究蓝牙直连延续了直接音频输入的技术优势,通过无线数字传输将言语信号直接输入人工耳蜗系统,减少声场条件下可能存在的失真、噪声叠加及房间声学影响,使输入信号频谱更加稳定、输出强度更加可控。有助于受试者对双音节词声调对比及短句语义连贯性的感知。本研究结果与Rootlieb等^[8]关于无线流媒体对噪声下言语识别无负面影响且可靠性优于声场的结论一致。

4.2 蓝牙直连对人工耳蜗听觉输入稳定性及双侧输入一致性的影响

从听觉生理角度,CI者主要依赖双耳强度差等线索实现言语感知与空间定位^[16,17]。声场条件下,房间声学特性、扬声器距离及麦克风拾音差异可能影响双侧输入的一致性,进而降低中枢对言语信号的编码精度^[18]。蓝牙直连可为双侧CI者提供同步、稳定的输入信号,有助于减少因声场传输及双侧拾音差异导致的识别波动^[14]。与龙越等^[19]提出的减小双耳听阈与动态范围差异,可提升声源定位及言语感知能力的观点相契合。

此外,蓝牙直连规避了传统测听过程中设备摆放、声源距离及麦克风拾音条件变化带来的误差。丁海娜等^[20]对比插入式与头戴式耳机在声场测听中的衰减差异,发现设备与操作变量会影响测试稳定性。蓝牙直连通过固定的无线传输降低部分系统误差,有助于提升测试结果的可重复性。扩展高频信息对言语感知、声源定位及噪声下言语识别具有重要作用^[21]。虽然人工耳蜗系统的实际频率传输范围受处理器策略和频率分配限制,但蓝牙直连通过减少声场和麦克风环节引入的频谱衰减,可能有助于保留更稳定的言语频谱信息,从而改善言语可懂度。

4.3 蓝牙直连在术后评估、远程调试及居家自测中的应用价值

人工耳蜗术后听力学评估仍以传统隔声室声场测试为主要手段,但其对专业场地、扬声器、声级校准及测试人员依赖较高,存在流程繁琐、难以居家开展等局限。蓝牙直连技术依托智能手机、平板电脑或台式电脑等通用设备实现言语信号直接传输,具有便携性、标准化和可及性三重优势,契合远程听力服务发展趋势^[22]。

Maruthurkkara等^[23]开发的人工耳蜗远程监测测试电池证实,远程自测试可识别94%的临床问题,且患者满意度达77%,有助于节省时间与交通成本。经验丰富的人工耳蜗使用者可在家完成安静与噪声下言语识别自测,音频直连模式与临床测试结果具有较好的一致性^[24]。本研究与上述结果相互印证,提示蓝牙直连技术可为居家言语评估、远程调机、康复随访提供技术基础,尤其适用于行动不便、偏远地区及公共卫生事件期间的非接触式评估^[24,25]。

蓝牙直连与现有直接音频输入技术、无线调频系统在临床应用可形成互补。金兰兰等^[26]对比蓝牙与无线调频系统对健听青年的辅助效果,发现蓝牙在稳定性和

表1 两种测试条件下CI受试者言语识别率及改善幅度对比($\bar{x} \pm s, \%$)

测试项目	传统声场	蓝牙直连	改善幅度*	<i>P</i>	<i>P</i>
双音节词识别率	62.9±25.1	69.6±24.0	6.7±15.2	<0.05	
短句识别率	55.1±27.6	65.7±31.3	10.6±16.1	<0.05	0.203

*改善幅度为蓝牙直连条件下与传统声场条件下识别率的差值;*P*'值为双音节词与短句识别率改善幅度对比的配对*t*检验结果

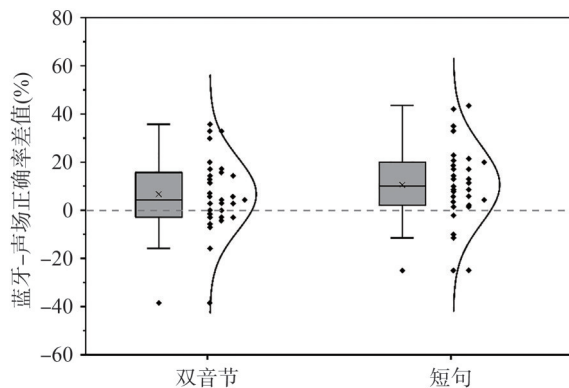


图3 蓝牙直连相对于声场条件的言语识别差值分布
注:横坐标为言语材料类型(双音节、短句),纵坐标为蓝牙直连减去声场条件下的正确率差值。箱线图表示数据分布(中位数及四分位数范围),散点表示个体数据,右侧半小提琴图展示数据密度分布,箱内“×”表示均值。水平参考虚线表示差值为0(即两种条件无差异)

易用性上更具优势,Wolfe等^[27]证实无线音频配件可显著提升CI者电话言语识别率。本研究将蓝牙技术应用于标准化言语测听,结果显示其在安静环境下的识别率优于声场,提示其可作为常规术后评估的重要补充。由于蓝牙直连可通过固定传输链路减少场景变量,其测试结果可能更有利于反映言语处理器及调试程序下的听觉功能状态,减少环境混淆因素的影响^[8,9,25,28]。

4.4 与既往研究的关系及在中文言语测听中的意义

本研究结果与付鑫焱等^[15]关于直接信号输入优于声场传导的研究结论一致,拓展了无线流媒体在人工耳蜗言语识别评估中的应用场景。既往研究多集中于噪声下数字识别、远程自测或特定设备平台的可行性验证,本研究以中文双音节词和短句作为测试材料,进一步明确了蓝牙直连在汉语标准化言语评估中的适用性。

De Graaff等^[24]对比临床与居家自测言语识别,发现音频直连条件下结果高度一致,支持了本研究关于蓝牙直连用于人工耳蜗术后评估的可行性结论。部分研究未发现无线传输与声场条件下言语识别结果存在显著差异,可能与测试材料、信号带宽、设备兼容性 & 校准方式不同有关。本研究聚焦中文双音节词与短句,更贴近国内人工耳蜗术后康复评估需求,并通过平衡交叉设计及响度匹配控制测试顺序和强度差异,因此能够检出2种条件下的统计学差异。孟庆林等^[29]开发的人工耳蜗非实时研究平台为信号传输验证提供技术支撑,本研究则从临床言语测听角度验证了蓝牙直连的应用价值。Maruthurkkara等^[23]提出的远程成套测试(remote-check test battery)包含阻抗、数据记录、言语测试、助听阈值等多维评估,提示无线直连言语测试可嵌入更完整的远程康复

管理体系。本研究为该体系在中文言语测听场景中的应用提供了数据基础。

4.5 局限与展望

本研究仍存在一定局限。首先,仅在安静环境下开展言语识别测试,尚未验证蓝牙直连在噪声环境、竞争性言语背景及复杂日常声场场景中的应用效果。其次,研究对象以成人语后聋人工耳蜗植入者为主,儿童、语前聋患者及不同听觉康复阶段人群中的适用性仍需进一步扩大样本验证。再次,本研究未对不同品牌、型号人工耳蜗处理器的蓝牙传输效果进行横向对比,缺乏长期随访数据,蓝牙直连评估结果与远期康复结局之间的关系仍有待深入探索。

未来研究可从以下方面完善:①建立蓝牙直连标准化测听流程,统一信号强度、传输协议、响度校准方法和测试材料,以提高多中心研究结果的可比性;②结合声学分类系统拓展噪声环境下的测听模块^[9],模拟真实日常场景开展评估;③借鉴远程测试模式^[23,24]开发居家自测应用程序^[30],通过远程数据传输云端管理构建人工耳蜗术后评估与康复随访的新型服务体系。

5 结论

与传统声场测试相比,蓝牙直连技术可显著提高人工耳蜗植入者在安静环境下的双音节词和短句言语识别率,提示其用于人工耳蜗术后言语识别评估具有一定有效性和可行性。个体层面分析显示,短句测试中表现出蓝牙直连优势的受试者比例高于双音节词测试,且短句识别率的平均提升幅度更大,提示蓝牙直连技术在包含更多语义信息的言语材料测试中具有更明显的应用优势。蓝牙直连技术可减少环境噪声、混响及声场设备条件对测试结果的影响,且操作简便、成本较低,可作为人工耳蜗植入者术后康复评估和临床随访的有效补充手段。未来结合标准化校准流程及远程测试平台,该技术有望为人工耳蜗远程调试、居家自测及长期康复管理提供技术支持,具有较好的临床应用潜力。

参考文献

- [1] World Health Organization. World report on hearing[R]. Geneva, 2021.
- [2] 孙喜斌,于丽玫,曲成毅,等.中国听力残疾构成特点及康复对策[J].中国听力语言康复科学杂志,2008,6(2):21-24.
- [3] 李磊,杨涛,吴皓.耳聋基因的筛查与诊断[J].诊断学理论与实践,2010,9(5):409-412.
- [4] Boisvert I, Reis M, Au A, et al. Cochlear implantation outcomes in adults: A scoping review[J]. PLoS One, 2020, 15(5): e0232421.
- [5] 王斌,杨华,陈晓巍,等.人工耳蜗技术:过去、现在与未来[J].中国科学:生命科学,2021,51(8):1040-1049.

- [6] Dunn CC, Noble W, Tyler RS, et al. Bilateral and unilateral cochlear implant users compared on speech perception in noise[J]. *Ear Hear*, 2010, 31(2): 296-298.
- [7] Wolfe J, Morais M, Schafer E. Improving Hearing Performance for Cochlear Implant Recipients with Use of a Digital, Wireless, Remote-Microphone, Audio-Streaming Accessory[J]. *J Am Acad Audiol*, 2015, 26(6): 532-539.
- [8] Rootlieb JM, Polspoel S, Briennes P, et al. Remote self-testing for adult cochlear implant users: the effect of wireless streaming on speech recognition in noise[J]. *Int J Audiol*, 2025, 64(4): 314-319.
- [9] Büchner A, 郭子犁, 王丽莹. 人工耳蜗声学环境分类系统的研究[J]. *中国听力语言康复科学杂志*, 2022, 20(z1): 57-58.
- [10] 郝昕. 人工耳蜗相关的中文言语测听材料十年发展巡礼[J]. *中华耳科学杂志*, 2013, 11(3): 413-417.
- [11] 冀飞, 钟波. 听力学工作中的标准化要求[J]. *中国听力语言康复科学杂志*, 2024, 22(1): 1-4.
- [12] Sound field measurement tutorial. Working Group on Sound Field Calibration of the Committee on Audiologic Evaluation American Speech-Language-Hearing Association[J]. *ASHA Suppl*, 1991, 33(3): 25-38.
- [13] Winkler A, Warkentin L, Denk F, et al. Reference Speech-recognition curves for a German monosyllabic test in noise: effects of loudspeaker configuration and room acoustics[J]. *Int J Audiol*, 2025, 64(7): 695-704.
- [14] Bae SH, Jung Y, Hur JH, et al. Feasibility of Speech Testing Using Wireless Connection in Single-Sided Cochlear Implant Users[J]. *J Audiol Otol*, 2023, 27(3): 133-138.
- [15] 付鑫焱, 高珊仙, 张晓强, 等. 直接音频输入技术在人工耳蜗助听效果评估中的应用[J]. *中国听力语言康复科学杂志*, 2018, 16(2): 108-112.
- [16] 李嘉莹, 王宁宇. 双侧人工耳蜗植入者的声源定位机制[J]. *中华耳鼻咽喉头颈外科杂志*, 2025, 60(7): 833-839.
- [17] Buchholz S, Arndt S, Schnupp JWH, et al. Interactions of Interaural Time and Level Differences in Spatial Hearing with Cochlear Implants[J]. *Adv Sci (Weinh)*, 2026, 13(6): e00918.
- [18] Kokkinakis K. Binaural Speech Understanding With Bilateral Cochlear Implants in Reverberation[J]. *Am J Audiol*, 2018, 27(1): 85-94.
- [19] 龙越, 王伟, 刘娇, 等. 双侧人工耳蜗植入者声源定位能力研究[J]. *听力学及言语疾病杂志*, 2023, 31(3): 232-236.
- [20] 丁海娜, 谢林怡, 熊芬, 等. 以声场测听方法评估插入式耳机和头戴式耳机的衰减度[J]. *中国听力语言康复科学杂志*, 2024, 22(1): 20-22.
- [21] Hunter LL, Monson BB, Moore DR, et al. Extended high frequency hearing and speech perception implications in adults and children[J]. *Hear Res*, 2020, 397: 107922.
- [22] Snoeck CVR, Brendel M, Wasmann JWAA. Remote cochlear implant programming in real-life listening environments: a feasibility and acceptability study[J]. *Frontiers in Audiology and Otology*, 2026, 4: 1730079.
- [23] Maruthurkkara S, Allen A, Cullington H, et al. Remote check test battery for cochlear implant recipients: proof of concept study[J]. *Int J Audiol*, 2022, 61(6): 443-452.
- [24] De Graaff F, Huysmans E, Merkus P, et al. Assessment of speech recognition abilities in quiet and in noise: a comparison between self-administered home testing and testing in the clinic for adult cochlear implant users[J]. *Int J Audiol*, 2018, 57(11): 872-880.
- [25] Boss B. Troubleshooting Cochlear Implant Processors via Tele-Audiology[J]. *Semin Hear*, 2021, 42(2): 107-114.
- [26] 金兰兰, 姚民路, 徐飞. 蓝牙技术与无线调频系统对健听青年人听觉辅助作用的比较[J]. *中国听力语言康复科学杂志*, 2012, 10(4): 263-266.
- [27] Wolfe J, Morais Duke M, Schafer E, et al. Evaluation of a wireless audio streaming accessory to improve mobile telephone performance of cochlear implant users[J]. *Int J Audiol*, 2016, 55(2): 75-82.
- [28] Maruthurkkara S, Case S, Rottier R. Evaluation of Remote Check: A Clinical Tool for Asynchronous Monitoring and Triage of Cochlear Implant Recipients[J]. *Ear Hear*, 2022, 43(2): 495-506.
- [29] 孟庆林, 牟宏宇, 平利川, 等. 人工耳蜗非实时研究平台开发与验证[J]. *声学技术*, 2016, 35(3): 248-253.
- [30] Cullington HE, Agyemang-Prempeh A. Person-centred cochlear implant care: Assessing the need for clinic intervention in adults with cochlear implants using a dual approach of an online speech recognition test and a questionnaire [J]. *Cochlear Implants Int*, 2017, 18(2): 76-88.

收稿日期 2026-05-20

修回日期 2026-07-09

录用日期 2026-08-15

责任编辑 蒋 春