doi: 10.3969/j.issn.1672-4933.2025.05.011

便捷式快速言语测听系统的设计与实现

Design and Implementation of a Portable Rapid Speech Audiometry System

王琦[1] 杨洋[1] 孙凯[1] 梁瑞宇[2#] 郗昕[3#] 宋依航[4] 隋锦明[4]

WANG Qi, YANG Yang, SUN Kai, LIANG Rui-yu, XI Xin, SONG Yi-hang, SUI Jin-ming

【摘要】目的 设计一款便捷式快速言语测听方法及系统，可快速评估被测者的听力状况。**方法** 选取75名成人听障患者进行纯音测听和言语识别阈测试，言语识别阈测试采用平板电脑和蓝牙音响进行人工操作。按照听力损失程度分为轻-中度组和重度组进行统计分析。**结果** 轻-中度组好耳听阈值与言语识别阈有显著差异($P<0.05$)，重度组好耳听阈值与言语识别阈无显著差异($P>0.05$)。**结论** 言语测听在一定程度上与听力测试互为补充，可在听力筛查时采用言语识别阈测试作为测试方法，特别是对于听力损失程度轻或中度的老年人。

【关键词】言语测听；言语识别阈；听力损失

【中图分类号】G762 **【文献标识码】**A **【文章编号】**1672-4933(2025)05-0495-05

【Abstract】*Objective* To design a portable rapid speech audiometry method and system for efficient assessment of subjects' hearing status. ***Methods*** Adult patients with hearing impairment underwent pure tone audiometry and speech recognition threshold (SRT) tests. The SRT test was manually conducted using a tablet computer and bluetooth speakers. Participants were divided into mild-to-moderate and severe hearing loss groups for statistical analysis. ***Results*** A statistically significant correlation ($P<0.05$) was observed between the better-ear hearing threshold and SRT in the mild-to-moderate group, whereas no significant correlation ($P>0.05$) was found in the severe group. ***Conclusion*** Speech audiometry complements conventional hearing tests and can be integrated into hearing screenings, particularly for older adults with mild-to-moderate hearing loss.

【Key words】Speech audiometry; Speech recognition threshold; Hearing loss

听力损失对全球超过15亿人的生活造成了不同程度的影响。我国是听力残疾人数较多的国家，截至2016年，致残性听障患者超过7000万[1]。听觉功能损伤直接导致语言交流障碍，由此引发社会活动能力降低、自闭、心理障碍甚至老年痴呆等状况，严重影响听障人群的生活质量。早发现患者的听损状况并进行干预，可以避免听力状况的进一步恶化。

听障患者的听力状态评估通常采用纯音测听和言语测听2种方法。纯音测听可以较准确的测出听障患者在固定频点处的听力阈值，但对患者言语理解度的评估相对不足；言语测听更关注被测者的言语理解度，代表听障患者的真实语言感知能力[2]。段家德设计了一种基于计算机音频技术的汉语言语听力测试系统，将所选取言语材料的普通话数字音频波形经声卡的音频接口输出至听力计的音频接口输入端，再由听力计放大至不同强度的声音，作为言语听力的测试信号。郗昕[3,4]等设计了一种基于计算机辅助的汉语言语测听软件，实现了患者信息管理及测听自动化，既可辅助进行纯音测听，也可辅助进行言语测听。上述研究推动了言语测听系统的实用化进程，但其均基于PC开发，便携性较差。

为此，本文设计并实现了一种便捷式快速言语测听方法及系统，可实现被测者听力状况的快速评估，也可用于评估助听设备的改善效果等。该系统主要分为言语测听终端硬件、言语测听APP和言语测听服务器3个部分。

基金项目：2023年度中国残联课题“便捷式快速言语测听方法及系统实现”(2023CDPFHS-02)；2022年度中国残联残疾人辅助器具专项课题“非处方助听器相关的产业现状、服务能力与对策研究”(2022CDPFAT-28)

作者单位：1 中国听力语言康复研究中心 北京 100029
2 南京工程学院 南京 211167
3 解放军总医院第六医学中心耳鼻咽喉头颈外科医学部研究所 北京 100853
4 滨州医学院特殊教育与康复学院 烟台 264003
作者简介：王琦 本科 副主任技师；研究方向：临床听力学与听觉言语康复
通讯作者：梁瑞宇，E-mail：liangry@njit.edu.cn
郗昕，E-mail：xixin_plagh@yeah.net
#为共同通讯作者

其中，言语测听终端硬件由蓝牙麦克风和平板电脑构成，主要评估环境噪声和播放测听音频等；言语测听APP由测试人员使用，用来控制硬件终端，记录测试结果，同时将相关数据及时传递至服务器进行备份；言语测听服务器主要用来存储数据，测试和被试人员的身份确认及数据分析结果的下发等功能。

1 言语测听系统

便捷式言语测听快速评估系统的主要工作流程如图1所示，包括：(1)测听系统的校准：在测听前，通过播放标准校准音频对系统的音频回路进行校准，包括测听硬件扬声器和平板电脑的麦克风；(2)测听音频的产生和播放：测试人员通过言语测听软件控制硬件，播放测听材料(测听词表为行业认可的专业词表)，信号通过扬声器播放给受试者；(3)受试者反馈：受试者根据听觉感知对听到的声音进行复述；(4)数据采集和处理：测试人员对受试者的反馈进行实时采集，并通过内置算法进行处理，得出听力评估结果；(5)结果呈现与存储：评估结果生成报告，以便进一步分析和存档。在测试过程中，相关人员、设备、测试结果等信息均存储在云端数据库。

该系统是一款可应用于普通环境下的便捷式言语测听系统，主要面向听力筛查，而不是精准的听力测试。因此，对环境要求没有通常意义上的言语测听严格。为尽可能保证测试的有效性，本系统要求环境本底噪声>40 dB，1 m处播放音频的强度不低于80 dB。

1.1 硬件设备选型

根据便捷式言语测听的设计需要，系统的扬声器和平板电脑尽量轻薄，便于携带，考虑到系统对播放音量的强度有要求，选择自制全向麦克风作为放音设备，平板电脑作为控制终端，运行言语测听APP并播放测听音频。全向麦克风尺寸135*135*37 mm^3，净重332 g，符合便携条件。该设备支持蓝牙并自带电池，可支持连续工作8～10小时。在1 m位置处，播放音频的强度可达80 dB SPL以上。平板机身尺寸：199.70×121.10×8.55 mm^3，操作系统为安卓10.0。

1.2 言语测听APP设计

为了有效快速地评估听觉康复效果，言语测听APP在保证功能的情况下，实现了界面简化及操作智能化。软件主要功能如图2所示。软件分为用户注册与登录、声场校准、被试管理和言语测听4部分。(1)用户注册与登录：为保证数据的有效性，系统基于单位授权码的形式，防止大量无效测试数据。通过不同授权码注册不同权限用户；(2)声场校准：为实现测听有效性，通过对环境音的评估确认测试的可行性，采用播放标准音频的方式，结合手机APP和测听硬件信号处理方法对设备进行校准；(3)被试管理：权限只开放管理员，便于对测试用户进行编辑并查看测试记录；(4)言语测听：该功能是软件的核心部分。通过设置界面，测试人员可选择不同模式、词表、环境等实现测听；设计友好的人机交互界面，便于测试人员操作。

1.3 终端服务器设计

言语测听终端服务器主要用来存储人员信息、测试

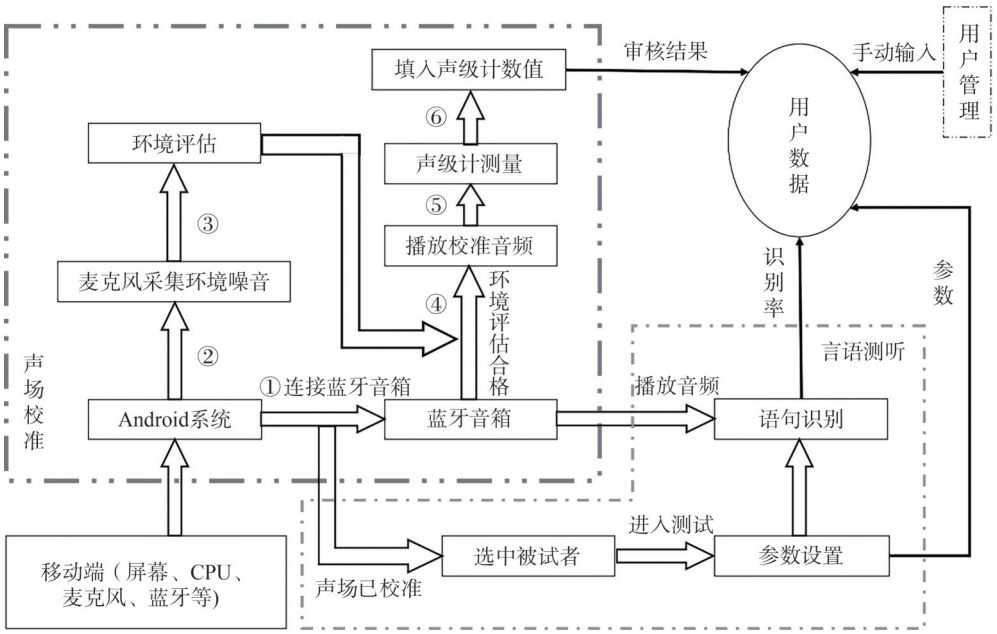

图1 测听系统架构图

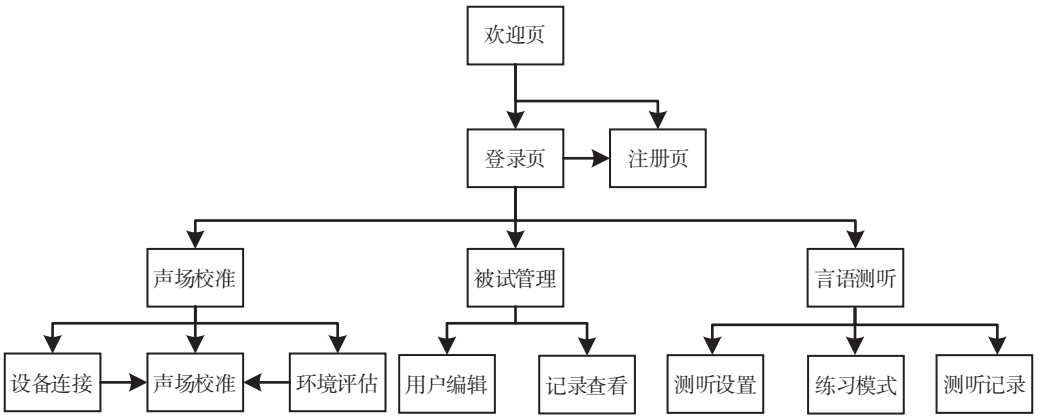

图2 便捷式言语测听快速评估系统软件功能

结果及设备相关信息。服务端是基于ASP.NET框架实现，这是一个跨平台、高性能、开源的开发框架。服务端采用MySQL 5.7作为数据库，使用Entity Framework对象关系映射框架，利用ASP.NET自带的Identity库实现用户验证和权限功能。为方便APP端调用服务端的应用程序接口，系统进行公共接口设计和开发，以保证接口的简洁、统一、易理解。服务端程序部署在Ubuntu服务器上，并利用Nginx进行反向代理，从而提高服务端的并发能力和安全性。数据库主要包括测试语音资源、设备校准记录、测听语音表、测试记录、具体诊断、被试者、听力图、单位、团队、主试者、主试者对应权限和权限定义等表格。

2 效果验证

2.1 测听语料

该软件使用语料由解放军总医院郗昕教授团队设计制作，测试选用短句作为测试材料[5,6]，包括11张安静环境下短句及若干练习用表。语料既考虑音位平衡[7]，又避免生僻字词，并进行了等价性[7]测试。对于录制语音进行了响度平衡处理。

系统选用统一型号的Android系统平板电脑，借助蓝牙扬声器播放。蓝牙扬声器距离患者坐姿头部双耳连线中点（参考点）距离1 m以上。

2.2 设备校准

言语测听前对设备进行校准，以最大程度保证测听的有效性。校准在静音室内进行，校准声学环路中的麦克风和扬声器。校准时，平板电脑与蓝牙设备连接，并放至距播放设备1 m处；然后，将平板电脑音量设置为最大，播放校准音信号。平板电脑录制放音信号，并与听力计所测声压级进行比较，修正平板电脑的声压级计算系数，从而获得与听力计相同的计算值；最后，播放不同强度（40～85 dB）校准信号，通过比较听力计数值，获得不同强度下的校准系数。

2.3 对象与方法

2.3.1 研究对象 对北京市75名成年听障患者进行纯音测听和言语识别阈测试，其中男性41名，女性34名。按好耳平均听力损失强度将受试者分为轻-中度组（n=37）和重度组（n=38）。轻-中度组平均听力损失26～60 dB，重度组平均听力损失>60 dB。轻-中度组平均年龄75.19±13.60岁，平均较好耳听阈51.55±5.67 dB HL，平均言语识别阈50.92%±15.93%；重度组平均年龄74.16±14.07岁，平均较好耳听阈67.14±4.96 dB HL，平均言语识别阈52.08%±13.07%。本课题经过伦理审核（伦审第S2022-534-02号），被试均知晓测试内容并同意。

2.3.2 研究工具 ①纯音测听：采用符合GB/T 7431.1-2010标准的GSI-61临床诊断型听力计。双耳分别测试250、500、1000、2000和4000 Hz的气导听阈。取500、1000、2000和4000 Hz听阈值计算平均听力损失。②安静条件下言语识别阈测试：采用本实验设计的APP软件和扬声器进行测试，扬声器位置摆放同设备校准。测试时，对象坐于校准位置，即扬声器的高度以受试者坐下时耳部高度为准，扬声器与受试者头部中心在同一水平，距离1 m，扬声器与测试参考点成0°。以受试者4个频率纯音听阈平均值PTA@4F+30 dB、PTA@4F为起始强度，此为最大言语识别率，再以5～10 dB降低声音强度，重复上述测试过程，直至受试者正确识别率达50%。该强度对应声场言语识别阈值。本测试要求本底噪声<40 dB，如超40 dB，软件无法进行测听模式。整个测试流程参考国家标准《GBT 16296.3-2017 声学 测听方法 第3部分：言语测听》[8]。

2.4 统计学方法

使用SPSS 25.0进行统计学分析。计量资料采用均数、标准差形式描述。通过直线相关性分析探讨不同程度听阈与言语识别阈之间的相关性，$P<0.05$具有统计学意义。

2.5 言语测听指标

言语测听识别部分在参数设置完成后，按照预设的声强播放语句表。言语测听后给出相应正确率，每个语句表的第一句为实例，不计入正确率。言语正确率计算公式：$Acc=\frac{total_right}{total_words}*100\%$。式中，Acc为正确率，total_right是关键词正确个数，total_word是关键词总数。为避免重复测试时受试者的记忆效应对结果造成影响，每张表的播放顺序为乱序。

2.6 言语测听流程

言语测听流程如图3所示。APP软件负责言语测听整个流程，包括言语样本选择、乱序播放、词表显示、测试结果输入、识别率计算、测试数据保存等。测试时，计算机播放音频文件给被试，同时将音频文件的文字内容显示在测试员观看的屏幕上。在被试复述后，测试员可通过点击文字下相应的判断框记录结果。

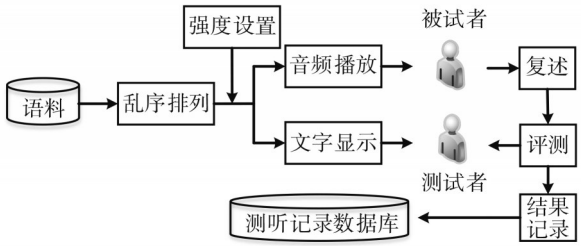

图3 言语测听流程图

2.7 结果

轻-中度组好耳听阈值与言语识别阈有显著差异（$P<0.05$），重度组好耳听阈值与言语识别阈无显著差异（$P>0.05$），见表1。

表1 好耳听阈值与言语识别阈相关性比较

检验方法	轻度-中度组（n=37）	重度组（n=38）
r	−0.419*	0.271
P	0.010*	0.100

*$P<0.05$

此外，为验证测试准确性，设备在校准后对测试结果进行信度测试。有实验选用20例健听者进行测试，记录其言语识别阈值。间隔2周后，20例受试者于同一时间段、地点内，以完全相同的测试流程和设备进行重复测试，记录言语识别阈值。将各受试者两轮测试得分进行配对t检验，结果总体均值无显著差异（$P>0.05$）[9]。

3 结论

言语测听是用言语信号作为声刺激检查受试者言语识别能力的听力学测试，广泛应用于听障患者的辅助诊断及听觉干预康复效果评估。言语识别阈是指受试者能够正确识别按规定方式发送的言语测听材料50%时对应的最低言语级。言语识别阈可与纯音听阈相互验证，为听神经病等蜗后病变诊断提供鉴别依据，还可用于听觉中枢和语言处理中枢的功能评价[10]。随着医学对听力损失早期发现和诊断、听觉言语疾病诊断及听觉康复重要性认识的逐渐深入，言语测听在一定程度上与听力测试互为补充，测试方法简便，内容通俗易懂，测试结果直观，易于理解。特别是患者主客观测试结果不一致，不同生活环境主观聆听感受不一致，听力测试条件不具备等困难存在时，言语测听可作为便捷有效的手段提供帮助。

本研究结果表明，轻度、中度成人听障患者言语识别阈结果与之有相关性。轻度-中度听力损失患者中，部分自我感受不到听力下降而与他人交流困难，部分发现听力下降，但因社会生活影响较小而不愿承认，还有部分患者社会生活存在明显影响却不愿就医。目前在社区或体检中心对成人进行听力筛查采用的主要方式包括问卷调查和纯音测听。受访者对问卷调查的内容、目的、方法和结果存在不理解时，其结果的可靠性减小，参考价值有限。建议有条件可在听力筛查时采用言语识别阈测试。

相比于国内外同类产品，本系统的优势在于便携性、低成本、易操作，填补了基层听力筛查工具的空白。目前，言语测听产品多以软件为主，需要搭配电脑或平板，鲜有便携式产品。对比情况如表2所示。

表2 与国内外同类产品对比

对比维度	本系统	国内外同类产品（如PC端软件、国外便携设备）
硬件便携性	基于蓝牙麦克风+平板电脑，总重量<500 g，支持移动场景使用	PC端系统需连接台式设备，体积大、部署复杂
环境适应性	允许本底噪声<40 dB，适用于社区筛查场景	传统言语测听需隔声室（噪声<30 dB），场地要求高
成本	采用通用平板电脑+自制麦克风，硬件成本低（约2000元）	国外便携设备超过3万元
数据管理	支持云端存储与多终端同步，便于长期跟踪	PC端软件多为本地存储，数据共享不便
适用人群	面向基层医疗机构、社区筛查场景，定位为快速筛查工具	专业听力产品面向医院诊断，功能全面但操作复杂
测试快捷性	测试时间5～10分钟	通常大于30分钟
局限性	精度略低于专业设备，环境噪声要求较宽松可能导致部分假阴性结果	隔声室环境下精度高，但便携性差、成本高

我国已步入老龄化社会，2016年一项4省调查研究发现，听力损失现患率随年龄增长显著升高，60～74岁老年人占53.65%[11]。老年性听力损失引起的社会问题包括言语交流能力、情感和社会交流能力、认知能力和避险能力下降[12]。言语识别阈值下降表示存在听力损失，或听力下降伴随各种能力下降，有助于临床工作者和社会工作者及早发现问题。

参考文献

[1] 龙墨,郑晓瑛,卜行宽.中国听力健康报告(2021)[M].北京:社会科学文献出版社,2021.

[2] 胥科, 郑芸, 孟照莉.噪声下言语测听的影响因素[J].听力学及言语疾病杂志, 2020,28(5): 607-611.

[3] 黄高扬,贾珈,蔡莲红,等.计算机辅助汉语言语测听软件的研究与实现[C].第18届全国多媒体学术会议(NCMT2009)、第5届全国人机交互学术会议(CHCI2009)、第5届全国普适计算学术会议(PCC2009).2009.

[4] 郗昕,黄高扬,冀飞,等.计算机辅助的中文言语测听平台的建立[J].中国听力语言康复科学杂志, 2010,8(4): 31-34.

[5] Xi X, Ching TYC, Ji F, et al. Development of a corpus of Mandarin sentences in babble with homogeneity optimized via psychometric evaluation[J].International journal of audiology, 2012,51(5): 399-404.

[6] Xin Xi, Kevin CPY, Ai-Ting C, et al. List Equivalency and Critical Differences of a Mandarin Bamford-Kowal-Bench Sentence in Babble Noise Test for Adults and Preschool Children With Normal Hearing[J]. Journal of Speech Language Hearing Research, 2023, 66(12): 5061-5070.

[7] 冀飞,郗昕.影响言语测听的若干因素[J].中华耳科学杂志, 2008, 6(1): 50-55.

[8] 郗昕,陈洪文,冀飞,等.声学 测听方法 第3部分:言语测听[C].中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.2017.36.

[9] 李玉玲,孙君,张华,等.听力正常成人普通话语句测听复测信度评估[J].听力学及言语疾病杂志, 2015,23(1): 21-24.

[10] 郗昕.成人言语测听的基本内容及其临床价值[J].临床耳鼻咽喉头颈外科杂志, 2013,27(7): 337-339.

[11] 胡向阳,郑晓瑛,马芙蓉,等.我国四省听力障碍流行现况调查[J].中华耳鼻咽喉头颈外科杂志,2016,51(11): 819-825.

[12] 全国防聋治聋技术指导组,中华医学会耳鼻咽喉头颈外科学分会,中华耳鼻咽喉头颈外科杂志编辑委员会,等.老年听力损失诊断与干预专家共识(2019)[J].中华耳鼻咽喉头颈外科杂志,2019,54(3): 166-173.

收稿日期 2025-04-02
责任编辑 薛　静

我刊已开通网络远程投稿审稿系统

为适应期刊信息化及网络化发展，方便广大作者在线投稿和专家审稿，提高编辑部工作效率和管理水平，缩短稿件刊发周期，《中国听力语言康复科学杂志》编辑部已正式启用网络远程投稿审稿系统，实行稿件在线处理。

使用方法：

1．作者登陆网址：http://www.chsr.cn/，点击左侧“作者投稿系统”；

2．注册作者信息，请将姓名、单位、邮政编码、E-mail地址和电话等个人信息填写完整；

3．注册完毕后使用“用户登录”进行网上投稿，上传稿件一律要求采用Word文档电子版格式（图表均插入文中）；

4．投稿成功后，系统会自动产生稿件编号。作者可实时登录查询稿件进度、审稿人和编辑意见及退修稿件。

5．审稿专家登录网址：http://www.chsr.cn/，点击左侧“专家审稿系统”，登录后进行在线审稿。在线审稿系统提供自动提醒和催审功能。

欢迎广大作者、审稿人关注与使用，如有任何疑问请直接联系编辑部。

电话：010-84639344

E-mail：shjournal@163.com