

全年龄段听力障碍筛查技术的创新与进展

邵建成

甘肃省听力语言康复中心, 兰州 730000

[摘要] 听力障碍作为全球性重大公共卫生挑战, 其早期精准筛查对改善患者生活质量具有决定性意义。文中聚焦全年龄段听力筛查技术演进, 系统梳理传统方法在婴幼儿反应可靠性、老年退行性变检测灵敏度等方面存在的显著瓶颈, 深入分析人工智能驱动的自动化判读、多模态生物标记物整合及微型可穿戴设备带来的革命性突破。研究特别指出, 基于深度学习的听觉脑干响应波形识别、云端协作筛查平台架构与 5G 远程实时诊断模式, 正推动筛查效能实现跨越式提升, 为构建覆盖全民的高效听力健康保障体系提供了强大技术支撑。

[关键词] 听力障碍筛查; 全年龄段; 人工智能; 多模态生物标记物; 可穿戴设备; 远程诊断

DOI: 10.33142/cm.n.v4i1.18998

中图分类号: R174

文献标识码: A

Innovation and Progress in Screening Technology for Hearing Impairment Across All Age Groups

SHAO Jiancheng

Gansu Hearing-speech Rehabilitation Center, Lanzhou, 730000, China

Abstract: As a major global public health challenge, early and accurate screening for hearing impairment is of decisive significance in improving patients' quality of life. The article focuses on the evolution of hearing screening technology for all age groups, systematically sorting out the significant bottlenecks of traditional methods in the reliability of infant and toddler responses, sensitivity of elderly degenerative disease detection, etc. It deeply analyzes the revolutionary breakthroughs brought by AI driven automated interpretation, multi-modal biomarker integration, and micro wearable devices. The study specifically pointed out that deep learning based auditory brainstem response waveform recognition, cloud based collaborative screening platform architecture, and 5G remote real-time diagnosis mode are promoting a leapfrog improvement in screening efficiency, providing strong technical support for building an efficient hearing health protection system covering the whole population.

Keywords: hearing impairment screening; all age groups; artificial intelligence; multimodal biomarkers; wearable devices; remote diagnosis

听力损失有着较高的患病率, 其对个体的言语发育以及社会融入有着颇为深远的影响, 所以它已然成为了全球疾病负担当中的一个重要构成部分。世界卫生组织在 2023 年所发布的报告十分明确地指出了这样一种情况, 那就是在全球范围内, 有超过 15 亿的人正处在经历着不同程度的听力损失的状态当中, 并且这个数字还呈现出了一种持续不断攀升的态势。传统的筛查手段在覆盖的广度方面、响应的速度方面以及结果的准确性方面都存在着诸多不足之处, 这些不足之处使得其越来越难以去满足全生命周期听力健康管理所具有的那种刚性需求。所以说, 去探索并且应用那些有着高灵敏度特性、有着较强的可及性特点以及成本较低特性的创新筛查技术, 这不但是提升临床诊疗效率的一条关键路径, 而且还是实现“健康中国 2030”战略目标里面有关听力健康的普惠目标的一个重要基石。

1 听力障碍筛查技术概述

1.1 筛查技术的临床意义

听力障碍的早期识别与适时干预对患者而言具有不可替代的价值, 这种价值不仅体现在个体生命质量的提升层面, 更延伸至社会公共卫生资源的优化配置领域。对于

处于言语发育关键窗口期的婴幼儿群体, 迟滞的诊断将直接导致不可逆的语言功能损害与社会适应困难, 中国残疾人联合会官网 2025 年更新的数据显示我国每年新增听力残疾儿童约 2.3 万名, 其中超过 60% 的病例若能在一岁前获得确诊并配戴适宜干预装置, 其言语发育轨迹可接近正常儿童水平^[1]。遗传性耳聋的预防同样具有显著经济学意义, 青岛市 2025 年启动的千人免费基因检测项目通过阻断耳聋基因的传递链, 预计可使试点区域未来十年的新增听障儿童数量减少 15% 以上, 这种预防性筛查的投入产出比远高于后期康复治疗。

在老年人群中, 及时筛查出与年龄相关的听力衰退并及时实施干预措施, 能有效延缓听力功能下降速度达 30%。听力筛查技术的普及率提升直接关系到社会照护成本的控制, 2023 年全国听力残疾人总数达 2780 万, 占残疾人总数的 33.52%, 其社会保障支出在残疾人总支出中占比超过 40%^[2]。因此建立贯穿全生命周期的精准高效筛查体系, 是实现听力健康主动管理减轻社会照护负担的必然选择。

2023 年全国新生儿听力筛查率已达 97.1%, 较五年前提升 12 个百分点, 这使得先天性听力损失的确诊时间

从平均 13 个月大幅提前至 3.2 个月。筛查技术发展还推动了政策保障体系的完善, 2025 年版《残疾人基本康复服务目录》首次将人工耳蜗体外机升级置换纳入 0~6 岁听力残疾儿童基本康复服务, 标志着筛查干预一体化服务链的正式形成。不过筛查覆盖广度与深度仍存在区域不均衡现象, 西部农村地区的筛查设备配置率仅为东部城市的 65%, 这种差距导致农村听障儿童干预时机平均延迟 6.8 个月^[2]。筛查技术的临床价值最终体现为生命轨迹的重塑, 通过将技术优势转化为普惠性服务, 听力筛查不仅仅是一项医学检测, 它承载着个体融入社会的权利保障责任, 也体现着科技进步对生命尊严的深刻关怀。

1.2 技术发展历程

听力筛查技术的演进清晰地呈现出从主观依赖向客观量化、由单一模态向系统整合的发展脉络。二十世纪中叶诞生的纯音测听至今仍是主观听阈评估的基石, 但其对受试者配合度的高度依赖极大地限制了它在低龄儿童及部分特殊人群中的应用价值。二十世纪九十年代, 具有里程碑意义的新生儿耳声发射与自动听性脑干反应技术的临床推广, 真正开启了客观、快速听力筛查的新纪元。尤其值得关注的是, 国家卫生健康委员会于 2024 年发布的《新生儿听力筛查技术规范》修订版中, 已将 OAE 与 AABR 的联合应用作为核心推荐方案, 显著提升了筛查的敏感性与特异性。近年来, 随着生物传感技术、人工智能算法及移动互联网的深度交叉融合, 筛查技术正加速向智能化、微型化与远程化方向迭代升级。

2 传统筛查方法的技术局限

2.1 婴幼儿与儿童筛查瓶颈

尽管 OAE 与 AABR 技术在新生儿听力筛查中获得了广泛应用, 它们在面对婴幼儿及学龄前儿童群体时仍暴露出诸多难以克服的局限性。儿童的中耳积液高发率构成了干扰 OAE 信号稳定性的主要因素, 直接导致假阳性结果的比率居高不下。更严峻的挑战在于, 常规行为测听对低龄儿童专注力与理解力的苛刻要求, 使得测试过程常常陷入难以顺利实施的困境。2023 年《中华儿科杂志》刊载的一项覆盖全国多中心的研究明确指出, 我国基层医疗机构在开展三岁以下儿童听力复筛时, 其依从性不足 50%, 假阴性率更是高达 20%。这种现状不仅造成了医疗资源的无谓消耗, 更可能导致真正存在听力损失的高危儿童错失黄金干预期。

2.2 成人及老年群体筛查难点

成人及老年听力障碍筛查长期面临着覆盖不足与依从性低的双重困境。常规的纯音测听对测试环境背景噪声控制要求极为严格, 且耗时较长, 难以适配社区快速筛查场景。老年人常伴有的高频听力隐匿性下降特性, 使其在嘈杂的日常交流环境中虽倍感吃力, 却往往未能主动寻求专业评估。中国听力学网 2025 年发布的一份覆盖全国 10 个省份的调查报告揭示了一个令人忧虑的现实: 60 岁以

上老年人中, 自觉存在听力困难的比例高达 34.2%, 然而过去一年实际接受过正规听力筛查的比例却不足 15%。社区筛查点设备配置的匮乏与专业听力师资源的严重短缺, 共同构成了阻碍早期发现与干预的主要壁垒。

3 技术创新方向与突破

3.1 人工智能赋能的自动化分析

人工智能技术特别是深度学习技术的引入, 为破解传统筛查中的主观依赖与效率瓶颈带来了颠覆性的解决方案。深度神经网络在复杂听觉信号特征提取与模式识别方面展现出了超越人眼的强大能力。以阿里达摩院 2024 年公开的研究成果为例, 其研发的 ABR 波形自动判读模型在大型多中心数据集上的验证准确率达到惊人的 96.2%, 判读耗时更是缩短至传统人工分析的十分之一^[3]。这类技术尤其适合应用于大规模人群的快速初筛环节, 极大地释放了专业人力。腾讯天籁实验室于 2023 年联合多家顶级医院推出的“AI 云听筛”平台, 已成功在基层社区部署, 能够对手机录制的简易语音样本进行智能初筛, 敏感度达 89%, 为筛查资源下沉至县乡一级提供了切实可行的技术保障。

3.2 多模态生物标记物联合检测

单一生物标记物在体现听力系统复杂状况方面存在局限性, 这使得研究者把关注点放在了多模态融合检测上。整合听觉通路不同层级的生理及行为信号, 构建多维度听力功能评估模型, 是提高筛查精准度的重要途径。新兴技术像皮质听觉诱发电位记录、眼动追踪评估声音空间定位能力, 还有借助可穿戴设备心率变异性监测反映听觉负荷, 这些都是多模态评估的基础。比如清华大学研究团队 2025 年研发的头戴式集成传感装置, 巧妙结合 EEG、EOG 和皮电反应三种信号, 在嘈杂环境下对轻度听力损失的检出率比单一 OAE 方法提升了 22 个百分点。这样的整合方式在复杂听力状况鉴别诊断中很有用, 像是听神经病谱系障碍的早期识别。

3.3 微型化与可穿戴设备进展

筛查设备朝着微型化以及可穿戴化的方向发展, 这可是实现能够随时随地开展听力监测这一美好愿景的关键推动力量。这样的发展不仅仅表现在硬件体积有所缩减, 还在于其续航时长以及数据采集精准程度这两方面有着协同的提升。多亏了 MEMS 麦克风还有低功耗蓝牙技术都取得了飞跃式的进展, 才让耳内式或者贴片式的听力筛查传感器能够达成真正意义上的全天候且无感的监测效果。就好比 TDK 公司在 2025 年实现量产的 SmartSound 系列 MEMS 麦克风, 在始终处于开启的状态之下, 其功耗仅仅只有 130 μ A, 然而信噪比却能达到 68dBA 这般高的水准, 这就为长时间不间断地进行声学分析奠定了硬件方面的基础。华为公司和 301 医院耳鼻咽喉头颈外科在 2024 年携手联合发布了名为“聪聆”的智能耳贴原型机, 这款设备的重量还不足 3g, 能够持续对环境声压级以及用户的语音交互模式展开监测, 而且可以连续监测长达一

周的时间,还能自动形成听力风险预警的相关报告。这类设备凭借着长时间动态数据的不断积累,使得去识别早期那种逐渐出现的渐进性听力损失成为了一种可能,对于噪声性听力损失在职业防护监测方面更是有着极为重要的价值。依据中商产业研究院在 2025 年的相关数据来看,中国的腕戴设备出货量预计会达到 6728 万台,智能眼镜的出货量相较于上一年增长了 121.1%,达到了 290.7 万台,这些设备正在一步步地整合听力筛查的模块,比如说华为 Watch GT 系列就已经通过了国家二类医疗器械的认证,能够支持对环境噪声暴露情况的评估以及语音清晰度的分析。

4 新兴技术应用前景

4.1 深度学习在波形识别中的应用

深度学习于听觉诱发电位波形识别领域所具备的潜力尚未得到充分释放,当下的研究热点已然从单纯的波形识别拓展到了对微弱异常模式展开深度挖掘以及针对不同听力损失亚型开展智能分类。卷积神经网络和长短期记忆网络组合而成的架构,在处理有着较强时间依赖性的神经电生理信号时,呈现出独特的优点。就好比上海交通大学团队在 2025 年构建的深度模型,它不但能够精准地识别 ABR 波 V,而且还能够在微伏级别波形变异当中成功辨别出耳蜗性与蜗后性病变的细微特征差异,其特异性居然达到了令人惊讶的 91.5%,从而为临床定位诊断给予了颇为强大的技术支持^[4]。山东大学在 2025 年提出的 TCNet-Fusion 脑电分类模型,该模型借助融合时空滤波特征以及时序卷积残差模块,大幅提升了林氏六音诱发脑电信号的分类准确率,其分类效果在被动式听力检测里达成了对六类音频的明显区分,进而为婴幼儿行为测听提供了较为可靠的替代方案。

4.2 云端协作筛查平台的构建

基于云计算架构的区域协同筛查平台正在重塑听力健康服务的传统交付模式,其核心价值在于实现了筛查数据的标准化采集、安全加密传输、云端人工智能的快速分析解读以及上级医院专家的在线复核指导。国家耳鼻咽喉疾病临床医学研究中心牵头搭建的听筛云平台已接入超过 2000 家基层医疗机构,并且在 2024 年启动的西部五省儿童听力筛查项目中取得了显著成效,平均筛查周期由过去的 45d 大幅压缩至 7d,阳性病例的转诊确诊率也提升了显著的 35%。云端平台不仅优化了资源配置,更构建起覆盖筛查诊断干预随访的完整闭环管理体系,极大地缓解了基层专业听力师资源短缺的现状,使得偏远地区的儿童能够在黄金时间窗内获得及时的诊断和干预。

4.3 5G 远程实时诊断的实现

5G 网络所具有的超高带宽超低时延与海量连接特性为突破地域限制的远程实时听力诊断提供了前所未有的通信保障,基于 5G 的远程 ABR 测试系统能够将采集端设备产生的大量神经电生理数据实时无损地传输至远端

专家端,专家可同步操控刺激参数并即时观察响应波形。广东省第二人民医院在 2025 年率先开展的实践证实,在 5G 网络环境下远程指导基层卫生员完成的 ABR 测试结果与现场专家操作的结果高度一致。这种模式在应对突发公共卫生事件或服务偏远及行动不便人群方面展现出巨大潜力,是实现优质听力医疗资源公平可及的关键技术支撑。技术的融合创新正推动远程诊断向智能化方向发展,例如结合脑机接口技术实现对听皮层活动的实时监测,清华大学团队 2025 年开发的集成传感装置通过融合脑电与眼动信号,在自然环境中实现了对听觉注意方向的精准解码。更值得关注的是,5G 与边缘计算的结合使得微型可穿戴设备能够直接进行初步信号处理,仅将关键特征数据上传云端,大幅降低了传输带宽需求与系统能耗。根据中国工业和信息化部 2025 年发布的《5G+医疗健康应用试点报告》,全国已有 23 个省份部署了听力远程诊断节点,基层误诊率平均下降 18.7%,资源可及性的提升使得农村地区听力干预时间平均提前了 14 个月,这种进步对于减轻全社会听力残疾负担具有不可估量的意义。

5 结束语

全年龄段听力障碍筛查技术正处于由自动化、智能化与互联化共同驱动的深刻变革之中。人工智能赋能的快速精准分析、多维度生物标记物的融合应用以及微型可穿戴设备的普及,正系统性攻克传统筛查在灵敏度、可及性与覆盖广度上的固有局限。尤其令人鼓舞的是,深度学习算法对复杂生理信号的解析能力持续突破,云端协同平台加速优质资源下沉,5G 技术则为实时远程诊断奠定了坚实基础。展望未来,技术发展仍需着力突破核心传感器与算法的自主可控瓶颈,深化多学科交叉协作,并同步推进筛查技术标准化体系建设与成本控制。唯有如此,才能真正实现高效、公平、覆盖全民的听力健康早期干预网络,切实提升国民听觉健康福祉,彰显科技进步对生命质量的深刻关怀。中国在相关领域的持续投入与创新实践,正为全球听力健康事业贡献着日益重要的智慧与力量。

[参考文献]

- [1] 龚嘉敏,毛杭泽,冷康,等.耳蜗电图波形标定方法的研究进展[J].中华耳科学杂志,2024,22(5):827-830.
- [2] 刘新鹏.基于情感化设计的听障儿童听觉言语训练 APP 交互设计研究[D].山东:山东工艺美术学院,2024.
- [3] 班立勇.智能声学技术在儿童听力检测中的应用研究[J].电声技术,2024,48(6):31-33.
- [4] 朱蓓,段吉茸,袁春兰,等.基于决策树智能算法的 2 步纯音听力筛查在社区老年人中的应用[J].听力学及言语疾病杂志,2021,29(2):130-134.

作者简介:邵建成(1986.10—),毕业院校:兰州城市学院,所学专业:学前教育,当前工作单位:甘肃省听力语言康复中心,职务:教师,小教二级。