

听力障碍脑电研究热点和前沿趋势—— 基于CiteSpace知识图谱软件的量化分析

Hotspots and Frontier of EEG Research for Hearing Impairment: A Quantitative Analysis Based on
CiteSpace Knowledge Mapping Software

丁颖¹ 李筱菁²

DING Ying, LI Xiao-jing

【摘要】随着研究技术的不断进步,脑电已成为研究听障患者神经机制的重要技术手段之一。相较于磁共振成像和脑磁图等脑成像技术,脑电因其非侵入性、高时间分辨率、成本较低且不受金属植入设备限制等优势,尤其适用于佩戴助听设备或人工耳蜗的听障群体。本研究基于“Web of Science”核心合集数据库收录的380篇相关文献,采用CiteSpace文献计量可视化软件,从发文量、发文国家、主要研究者、关键词聚类及突现词等多个维度对文献进行系统分析,旨在全面了解听障脑电领域的研究现状、热点及趋势。自2017年起,该领域发文量呈现逐年显著增长态势,尤其是2022年全年发文量达到49篇,这一增长可能与国际社会对听力保健关注度提升有关。发文量最多的国家为美国,其次为德国和中国,研究者具有多学科背景,涉及心理学、神经科学、语言学及自动化等领域。综合高频关键词和关键词聚类,发现听力诊断评估的生物学指标、听觉皮层的动态变化和社会认知是当前听障脑电研究的热点主题。突现词分析显示,研究趋势主要体现在三个方面:研究视角从单模态可塑性向多模态可塑性丰富化、研究对象从儿童早期向老年扩大化和数据处理从时域分析向时频分析复杂化。基于此,未来我国听障脑电研究应加强学科合作、关注个体差异、扩大样本量并开展纵向研究和推动研究本土化,以期对听障患者的神经机制揭示、临床诊断、康复策略及教育实践提供科学依据。

【关键词】听障;脑电;可视化分析;文献计量

【中图分类号】G762 **【文献标识码】**A **【文章编号】**1672-4933(XXXX)XX-0001-08

【Abstract】 Over the past several decades, with the continuous and ongoing advancement of modern research technologies, electroencephalography (EEG) has increasingly come to be recognized as one of the most important and extensively employed technical approaches for exploring the neural mechanisms of individuals with hearing impairment. In contrast to neuroimaging techniques such as magnetic resonance imaging and magnetoencephalography, EEG possesses a number of notable advantages, including its non-invasive nature, high temporal resolution, relatively low acquisition costs, and freedom from the constraints imposed by metallic implanted devices. Owing to these merits, EEG is particularly and especially suited to hearing-impaired populations who wear hearing aids or cochlear implants, and it has therefore become a preferred tool in this field of research. Based on a total of 380 relevant academic papers incorporated in the Web of Science core collection database, the present study adopted CiteSpace, a bibliometric visualization software, to systematically and comprehensively examine the literature from a variety of dimensions, encompassing publication volume, the countries of publication, principal researchers, keyword clustering, and burst terms. The primary aim of this study was to acquire an in-depth understanding of the current research status, research hotspots, and frontier trends that characterize the field of EEG research on hearing impairment, so as to offer a comprehensive overview of the developmental trajectory of this domain. The results of the analysis revealed that, since 2017, the volume of publications in this field has manifested a significant and remarkable growth trend, with a particularly prominent upsurge observed in 2022, when the annual publication count reached 49 articles. This surge may plausibly be associated with the increasing and growing attention paid by the international community to hearing care. In terms of geographic distribution, the United States ranked first in publication output, followed by Germany and China, which jointly constitute the main driving forces of research in this area. Furthermore, researchers in this domain come from multidisciplinary backgrounds, encompassing disciplines such as psychology, neuroscience, linguistics, and automation, which reflects the inherently cross-disciplinary nature of this research field. By combining high-frequency keywords with keyword clustering analysis, it was found that biological indicators for hearing diagnosis and assessment, dynamic changes in the

基金项目:江苏省高校哲学社会科学基金项目“听障大学生的反馈学习的认知神经机制”(2019SJA0563);中国博士后面上基金项目“社会性疼痛对抑郁症奖赏加工脑电活动的影响研究”(2023M732261)

作者单位:1 上海师范大学天华学院健康学院 上海 201815

2 南京特殊教育师范学院数学科学学院 南京 210038

作者简介:丁颖 博士 讲师;研究方向:特殊需要儿童心理、认知神经科学

通讯作者:李筱菁, E-mail:lixiaojing@njts.edu.cn

auditory cortex, and social cognition constitute the current hot topics within EEG research on hearing impairment. Moreover, the analysis of burst terms indicates that research trends are primarily manifested in three respects: the enrichment of research perspectives from unimodal plasticity to multimodal plasticity, the expansion of research subjects from early childhood to older adults, and the escalating complexity of data processing from time-domain analysis to time-frequency analysis. Taken together, these trends point to an increasingly diversified and integrative orientation of future research in this field. Based on these findings, future EEG research on hearing impairment in China should strengthen interdisciplinary cooperation, pay close attention to individual differences, expand sample sizes and conduct longitudinal studies, and promote the localization of research efforts. These measures are expected to provide a scientific basis for revealing the neural mechanisms, clinical diagnosis, rehabilitation strategies, and educational practices pertaining to individuals with hearing impairment, thereby supporting both theoretical progress and practical applications in this area.

【Key words】Hearing impairment; Electroencephalography; Visual analysis; Bibliometrics

1 引言

听觉障碍是指人由于各种原因导致双耳不同程度的永久性听力障碍,听不到或听不清周围环境声及言语声^[1]。根据世界卫生组织2021年发布的《世界听力报告》,全球约有15亿人患不同程度听力损失影响,其中约4.3亿人为中等程度以上听力损失。预计至2050年,全球将有近25亿人出现不同程度听力损失^[2]。听觉障碍不仅对患者的生活质量、身心健康和死亡率造成负面影响^[3],而且全社会公共福祉造成巨大影响^[2]。目前,大量研究从行为学层面对听障患者的症状表现和核心认知缺陷进行探讨。然而,研究仅停留在描述层面,无法解释听障患者症状表现和认知缺陷的深层原因^[4]。30年来,随着研究技术的进步,研究者开始采用先进的脑成像技术和电生理技术,对健康和特殊需要人群的神经机制进行深入探究,以揭示不同人群的脑结构和功能特点。由于听障患者使用的助听设备多为金属材质,因此不适用于磁共振成像和脑磁图成像等脑成像技术^[5]。脑电作为一种电生理技术,由于其非侵入性、高时间分辨率、成本低等优点^[6],已成为研究听障患者神经机制的重要方法。

听障脑电研究不仅对揭示患者的神经机制有重要意义,而且对临床应用、康复策略和技术发展有重要影响。虽然研究者越来越认识到听障脑电研究的重要性,但是,以“听障、脑电”或“聋人、脑电”为关键词,在中国知网(CNKI)数据库进行搜索,结果仅有4篇文献,这远远低于“Web of Science”核心合集数据库中有关听障脑电研究的文献数量。有研究者指出国内听障研究需加强与脑电等先进技术结合^[7]。充分了解世界各国研究者在该领域的研究历史和现状,有助于为听障脑电的深入研究提供方向。CiteSpace是一款文献计量可视化软件,通过对特定领域的文献数据进行量化分析,能够全面呈现研究领域的研究现状、热点和趋势等^[8]。基于此,本研究以Web of Science核心合集收录的1995~2024年听障

脑电研究文献为研究对象,运用CiteSpace可视化分析方法,旨在呈现该领域的研究现状和热点,揭示该领域的研究趋势。

2 研究设计

2.1 数据采集

本研究数据来源于Web of Science核心合集数据库,以主题词进行检索,检索式为TS=(“hearing loss” OR “deaf” OR “hearing impairment” OR “hearing impaired”) AND TS=(“EEG” OR “electroencephalogram” OR “electroencephalography” OR “ERP” OR “event-related potentials”),论文类型选择论文,检索时间范围为1995~2024年,检索时间为2024年6月19日。通过检查所有论文题目、摘要等,剔除重复和无关文献,最终获得380篇论文。

2.2 数据处理

本研究使用CiteSpace(6.3.R1版)从发文量、发文国家、主要研究者、关键词及突现关键词等方面对数据进行分析,以揭示听障脑电领域的研究现状、热点和趋势。

3 结果

3.1 听障脑电研究现状

3.1.1 发文量 从总体发文量变化趋势来看,听障脑电研究的发文量呈上升趋势,说明听障脑电研究的热度不断增加。1995~2011年,每年发文量1~5篇,较为稳定。2012年发文量增至16篇,有较大幅度增长,随后2013~2015年发文量趋于稳定。2017年起发文量每年显著增长,尤其是2022年,发文量为49篇(图1)。2017年世界卫生大会通过的WHA70.13号决议敦促各国政府将耳和听力保健纳入国家卫生系统框架,指导世界卫生组织为各国政府提供相应依据和所需工具^[9]。国际关注度提升和国家的重视是2017年后听障脑电研究文献激增的原因之一。

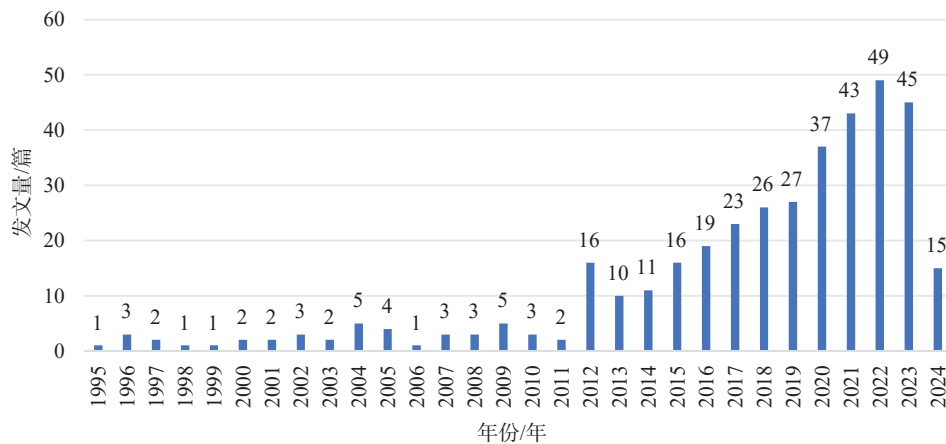


图1 听障脑电研究领域发文量(1995~2024年)

3.1.2 发文国家 从发文国家的总体分布上看,共有52个国家和地区。根据表1所示,发文量最高的是美国。美国历来重视听障研究,出台一系列标准,1992年颁布《听力学职业范围》,并在1996年和2004年分别修订,2012年颁布《听力学实践标准》等。该标准界定了听力学家在教育、鉴别(筛查)、测试和诊断、听力保护、治疗及研究6个方面的性质和要求^[10]。发文量第二的是德国。德国政府一直重视残疾人社会保护政策,其残疾人社会保护政策比大多数国家和地区更完善和成熟^[11],推动了听障研究的发展。发文量第三的是中国。近20年,我国颁布了一系列相关政策,例如,2007年《全国听力障碍预防与康复规划(2007-2015)》、《残疾预防和残疾人康复条例》,2021年《国家残疾预防行动计划(2021-2025)》等,强调听障的预防与康复,引起国内研究者对听障领域研究的重视。

表1 听障脑电研究主要国家

序号	国家	发文量	序号	国家	发文量
1	美国	119	6	意大利	18
2	德国	64	7	瑞典	16
3	中国	53	8	法国	15
4	加拿大	42	9	瑞士	15
5	英国	42	10	比利时	15

3.1.3 主要研究者 共有291名作者在该领域发文,表2显示了发文前10的研究者。发文量较多的作者主要

来自美国、中国、德国等。其中,发文量排名第一和第二的研究者均来自圣地亚哥州立大学,分别隶属语言与认知 neuroscience 实验室和心理学院。发文量排名第三来自天津工业大学电气工程和自动化学院。发文量排名第一的Emmorey Karen主要研究大脑如何处理手语,发文量排名第二的Holcomb Phillip J主要研究听障阅读,发文量排名第三的Song Yu主要研究听障的情绪识别。由此可见,听障脑电研究领域是一个交叉领域,研究方向广泛,涉及心理学、神经科学、语言学和自动化等学科的融合。

3.2 听障脑电研究热点

关键词的频次和中心性是反映特定时间阶段内研究热点的主要指标,频次和中心性越高,表明该关键词所反映的研究问题越热门^[12]。本研究通过运行CiteSpace得到频次前20关键词(见表3)。参考以往研究,由检索主题导致的频次必然高的关键词,例如“听力受损(hearing loss)”“事件相关电位(event related potentials)”“脑电图(EEG)”等不纳入排名^[13,14]。如表4所示,热点关键词分别为知觉、言语知觉、人工耳蜗、大脑皮层和听觉诱发电位等。采用对数似然率(log-likelihood ratio, LLR)算法对关键词进行聚类分析,得到11个聚类,聚类模块值(Q值)=0.39>0.3,说明聚类结构显著,平均轮廓值(S值)=0.75>0.7,说明聚类结果合理、同质性高。根据图2所示,聚类分别为人工耳蜗(cochlear implant)、年龄相关性听力损失(age-related hearing loss)、失匹配负波(mismatch negativity)、听力障碍(hearing impairment)、情绪识别(emotion recognition)、

表2 发文量前10的研究者

序号	作者	发文量	序号	作者	发文量
1	Emmorey Karen	17	6	Sandmann, Pascale	10
2	Holcomb Phillip J	16	7	Debener, Stefan	8
3	Song Yu	14	8	Mao, Zemin	8
4	Midgley Katherine J	13	9	Sharma, Anu	6
5	Gao Qiang	11	10	Bai, Zhongli	5

表3 听障脑电研究高频关键词

序号	频次	中心性	关键词	序号	频次	中心性	关键词
1	85	0.22	人工耳蜗(cochlear implant)	11	27	0.17	听觉皮层(auditory cortex)
2	67	0.11	知觉(perception)	12	24	0.13	注意(attention)
3	64	0.05	言语知觉(speech perception)	13	23	0.01	语言(language)
4	40	0.08	大脑皮层(cortex)	14	23	0.02	跨模态可塑性(cross modal plasticity)
5	39	0.12	听觉诱发电位(auditory evoked potentials)	15	22	0.05	成熟(maturation)
6	37	0.12	识别(recognition)	16	22	0.04	噪声(noise)
7	37	0.03	言语(speech)	17	19	0.03	失匹配负波(mismatch negativity)
8	32	0.08	儿童(children)	18	19	0.01	年老(age)
9	32	0.02	反应(responses)	19	18	0.05	手语(sign language)
10	29	0.06	大脑(brain)	20	15	0.01	可塑性(plasticity)

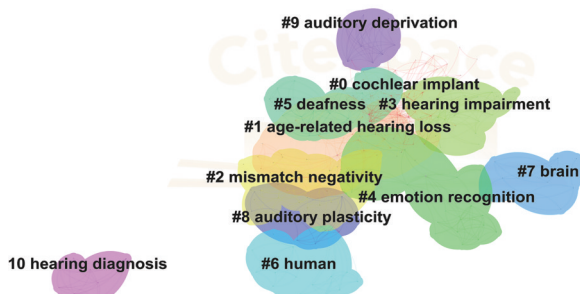


图2 听障脑电研究关键词聚类图

耳聋(deafness)、人类(human)、大脑(brain)、听觉可塑性(auditory plasticity)、听觉剥夺(auditory deprivation)和听力诊断(hearing diagnosis)。综合高频关键词和关键词聚类,发现听障脑电研究有以下热点主题。

3.2.1 听力诊断评估的生物学指标 无论有无人工耳蜗,对个体听力的评估都是一项挑战,尤其是对语前失聪儿童和多重障碍儿童。脑电技术具有高时间分辨率,可以记录听觉神经系统的快速神经元反应,不会给患者带来任何并发症^[15],为客观测量患者的听力表现提供了可能。由特定刺激引起的大脑皮层电位活动(如波幅或潜伏期)的变化可能先于行为测量的变化^[16]。电极辨别能力是指使用人工耳蜗个体对不同电极位置产生的声音感知差异的识别能力。电极辨别可以用两种听觉诱发的脑电指标客观测量:失匹配负波和空间听觉变化复合体(spatial auditory change complex, ACC)。空间听觉变化复合体是一种特殊的脑电信号,其反映大脑对听觉刺激中空间位置变化的神经活动,通常包括P1和N1,有时还包括随后的P2的脑电成分。在人工耳蜗植入后的前6个月,被试的ACC振幅会随着时间的增加而增大,且在多数情况下,ACC的客观测量与行为测量结果一致。在某些情况下,即使行为测量未发现变化,ACC仍然可被测量出变化。基于此,研究者认为ACC在评估人工耳蜗使用者听觉处理能力方面具有一定潜在的临床价值^[17]。Jacquemin等^[15]综述了关于人工耳蜗使用者P3脑电成分

的研究,发现作为主观听觉辨别差异的脑电指标P3潜伏期与人工耳蜗使用者的言语识别能力相关。听觉刺激诱发的P1成分可以作为多重障碍儿童听觉中枢成熟的脑电指标^[18]。总之,脑电技术在评估个体听力中具有巨大潜能,尤其是在理解听觉系统的适应性和改善人工耳蜗使用者的听觉康复效果方面。

3.2.2 听觉皮层的动态变化 听觉处理机制是大脑感知功能研究的重要领域。早期听觉剥夺使个体在生命初期无法接受充分的听觉刺激信号,造成其大脑的听觉皮层错过关键期发育和成熟,导致听觉处理机制出现异常^[18]。对先天听力障碍儿童的脑电研究发现,相比健听儿童,先天听力障碍儿童的听觉P1成分潜伏期更长^[18]。先天性听障儿童在人工耳蜗植入初期的P1成分潜伏期比健听儿童更长^[19]。听觉P1成分潜伏期与初级听觉皮层成熟程度有关,因此,先天听力障碍儿童的听觉P1成分潜伏期更长可能反映了其初级听觉皮层成熟滞后^[20]。在一项案例研究中,1名11个月大的婴儿使用双侧助听器后,P1成分潜伏期从异常转变为正常^[21]。成人人工耳蜗使用者的听觉辨别能力有显著提高,并且在人工耳蜗植入后的前8周最明显,耳聋持续时间和听觉事件相关电位中N1成分潜伏期之间存在正相关^[22]。这些研究结果表明,人工耳蜗的使用为听觉剥夺的个体提供了听力重建的可能,使用人工耳蜗的个体听觉皮层功能有恢复,但恢复程度可能受人工耳蜗植入时间及耳聋持续时间影响^[23]。

3.2.3 社会认知 由于听力输入和语言输出双重通道受损,以及生活环境封闭,社会交往单一,造成听障患者社会认知功能发展可能存在异常^[24]。听障患者面部情绪识别的神经机制研究引起了研究者的关注。Gu等^[25]采集听障儿童在面部情绪识别实验中的脑电数据,发现听障儿童在早期脑电指标(N1、P1)、中期脑电指标和晚期脑电指标上的激活水平均低于健听儿童,提示,听障儿童面部情绪识别能力存在缺陷,且这一缺陷可能是由于面部情绪识别过程中的视觉加工、注意和情绪语义分配能力

缺陷所致。除了情绪识别,行为研究表明,听障患者在情绪理解和情绪表达等方面比健听者面临更多挑战^[26~28],但目前相关脑电研究相对较少。在信息加工过程中,认知和情感是密不可分的。基于此,有研究对听障儿童的情绪面孔-文字 Stroop 任务中的干扰控制能力进行考察,发现相比健听儿童,听障儿童 N1 成分的波幅更小, N450 成分的波幅更大。N1 成分的波幅降低和 N450 成分的波幅增大可能与早期注意分配缺陷导致听障儿童在随后情绪认知监测中需要付出更多的努力有关。提示听障儿童情绪干扰控制能力缺陷可能是由于情绪冲突监测过程中,注意分配能力和情绪认知监控功能缺损所致^[30]。因此,未来研究应进一步探究听障患者社会认知方面的神经机制,为改善听障患者社会认知功能提供科学依据。

3.3 听障脑电研究前沿与趋势

从图 3 可知,1995~2024 年听障脑电研究领域共出现了 22 个突现词。突现关键词是在一段时间内出现次数激增的热点关键词,一定程度上反映了学科的发展动向和研究前沿^[12]。综合突现词和相关文献,听障脑电研究

趋势主要体现在以下 3 个方面。

3.3.1 研究视角丰富化 从单模态可塑性到多模态可塑性 图 3 显示跨模态可塑性的突现时间为 2021~2024 年,重组的突现时间为 2022~2024 年。大脑可塑性是神经科学基础研究中的重要问题之一,即大脑如何适应和补偿功能丧失。研究听障患者大脑的适应和代偿机制有助于深入了解大脑可塑性。为了解视觉、听觉和触觉系统的功能,研究者早期对感觉系统的研究是孤立的,但感觉系统并不是独立运作的,而是相互影响的^[31]。感觉剥夺会影响其他完整的感觉系统吗?听障为研究感觉体验的变化提供了机会,即听觉剥夺对其他完整的感觉系统的影响。对于听障患者跨模态的考察,早期研究多聚焦于听障患者在视觉模态上的大脑可塑性^[32]。Hauthal 等^[33]对先天听障患者和健听被试在视觉任务下的脑电活动进行分析,发现在与早期视觉加工阶段有关的脑电指标上,先天听障患者的 N85 成分比健听被试潜伏期更短, P110 成分波幅更大。先天听障被试的顶叶后侧比健听被试表现出更高的激活水平。提示听障患者视觉信息处理的更高

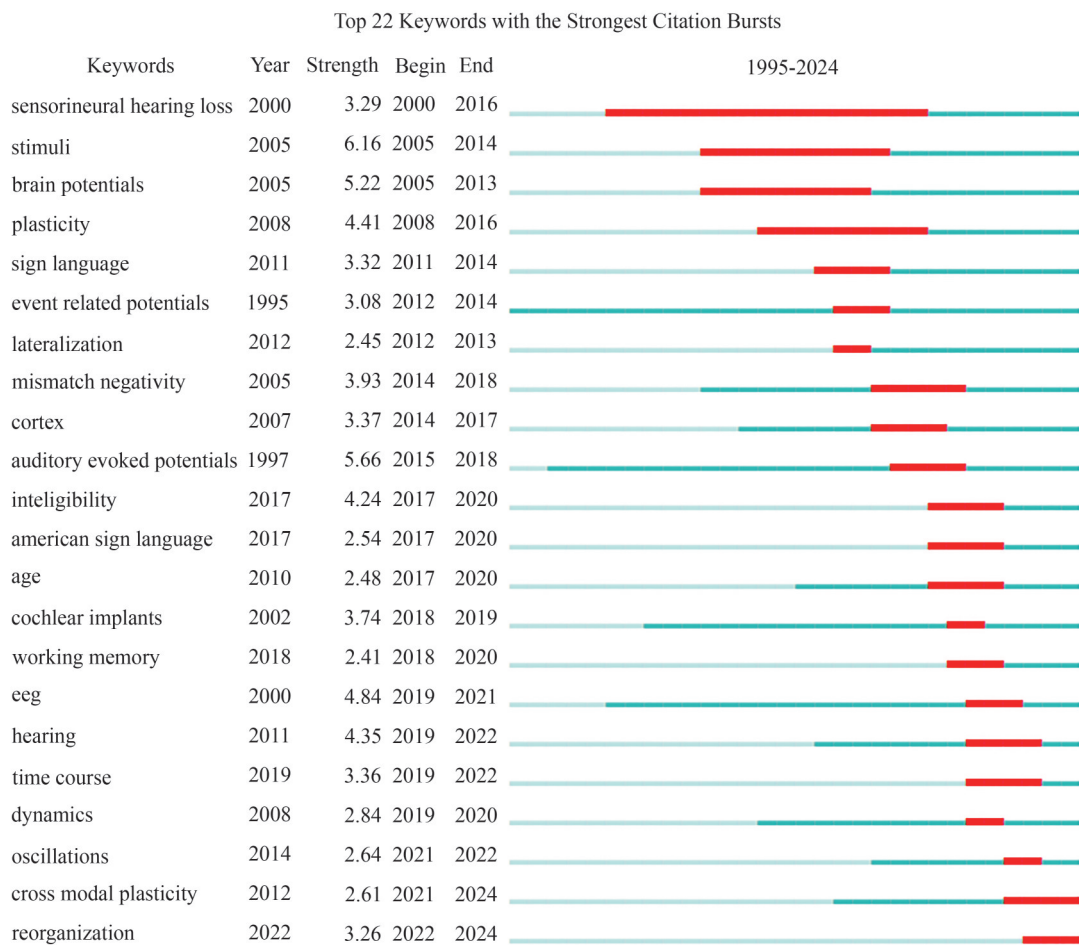


图 3 听障脑电研究具有突现性的关键词

效可能与早期听觉剥夺导致顶叶皮层功能改变有关。越来越多的研究者开始对听障多感觉相互促进作用的能力进行考察。Hauthal等^[34]采用视-触觉刺激对健听被试和先天听障患者进行脑电研究,发现多感觉的相互促进作用在健听者比先天听障患者更明显,即感觉剥夺可能会造成多模态加工中各感觉信息之间的失衡。有研究者采用脑电和近红外光谱成像技术考察人工耳蜗植入儿童在视听整合方面的表现。结果显示,健听被试和人工耳蜗儿童在视听刺激条件下的脑电指标无组别差异,即人工耳蜗植入儿童能够实现正常的视听整合^[35]。早期暴露于一致的听觉和视觉刺激是儿童视听整合自然发展的关键,因此,早期接受人工耳蜗植入的个体可以重新校准接收的听觉信息,并将其与一致的视觉信息相整合^[36,37]。但是,对于听力剥夺时间较长的个体来说,视听整合似乎是一种负担^[23]。早期干预和适应对多感觉相互促进作用能力的发展具有重要作用。总之,研究听障患者大脑的适应和代偿机制不仅深化了人们对大脑可塑性的理解,也为多感觉相互作用提供了新视角。通过结合先进的电生理技术和多样的实验方法,研究者能够不断揭示大脑的复杂适应机制,为听障患者的康复提供科学依据和指导。

3.3.2 研究对象扩大化:从儿童到老年 图3显示年龄的突现时间为2017~2020年。年龄相关的听力受损是一种普遍的感觉障碍,影响了近1/3的60岁以上人群,且这一障碍常被误认为是自然衰老的无害后果,但它可能会产生严重后果^[38]。年龄相关听力受损可能会影响认知能力。Madashetty等^[38]记录了听力受损老年人和健听的老年人执行工作记忆任务的脑电活动,发现听力受损老年人P300成分的波幅比健听老人更小,颞叶和顶叶对认知和脑损伤至关重要的区域的激活水平更小。在注意任务中,听力受损老年人比健听的老年人的P300成分波幅更小^[39]。我国政府已意识到老年听力健康问题的重要性,国家卫生健康委办公厅于2024年发布了关于开展老年听力健康促进行动(2024~2027年)的通知,指出要促进老年人听力损失早筛查、早发现、早干预,减少或延缓老年听力损失发生^[40]。近5年,研究者开始从寻找可靠生物指标和有效干预方法的视角对年龄相关听力受损患者进行研究,并取得了一定研究成果。Gao等^[41]通过分析脑电的微状态,发现DeltaTM可能可作为年龄相关听力受损患者早期认知能力下降和听觉言语感知下降的生物标记物。在视听条件下,年龄相关听力受损患者的大脑皮层对言语的早期追踪增强,提示增加使用一致的视觉信息有助于补偿年龄相关听力受损患者退化的听觉输入^[42]。总之,相关研究成果将为政策制定和实施提供科学依据。

3.3.3 数据处理复杂化:从时域分析到时频分析 图3显示振荡的突现时间为2021~2022年。时频分析可用于同时提取与事件相关的大脑活动时间和频率信息,从而提高脑电的可检测性,提供表征被试无法通过传统时域分析识别的非锁相成分^[19]。不同频率的大脑神经振荡可能反映不同类型的认知过程。 θ 波(4~8 Hz)可能主要与长时记忆信息的存储和检索及工作记忆过程有关^[43]; α 波(8~12 Hz)可能与注意力水平调节有关^[44]; β 波(13~30 Hz)可能反映了更多认知和情感过程^[45]。研究者通过时频分析为时域分析结果提供辅助支持。人工耳蜗植入者与健听被试在单词识别的视听任务中的 θ 和 β 振荡存在差异,可能反映了人工耳蜗植入者与健听被试在视听信息的处理中注意策略和认知资源分配上可能存在不同^[39]。研究者通过时频分析试图寻找更可靠的评估生理指标。 α - β 节律能量比和小波包熵可作为评定工作记忆和逻辑认知计算相关认知能力的潜在指标^[46]。总之,数据处理复杂化推动了对大脑功能理解的深化,相关研究成果将为未来研究和临床应用提供新方向。

4 总结与展望

本研究对我国听障脑电的未来研究提出以下建议:一是加强学科领域的合作,充分发挥教育学,尤其是特殊教育的学科力量。基于研究现状,可以发现心理学、神经科学及语言学等学科对听障脑电研究领域贡献了很多力量,发表了大量成果。目前,对于听障患者在学习过程中的神经机制研究较少。教育学,特别是特殊教育领域,关注听障脑电研究可以提供听障患者的神经机制信息,对于个性化教育、教学方法优化、心理支持和康复训练等方面有重要的指导意义。因此,我国特殊教育学领域研究应加强与脑电技术的结合,通过多学科合作,促进理论创新,从而全面和有效地支持听障学生的成长和发展。二是关注个体差异。年龄、耳聋持续时间和语音识别能力等个体因素可能会影响听障患者的感知觉加工^[47~49]。不同时间接受人工耳蜗植入者存在认知功能的显著差异^[50]。关注个体差异,不仅有利于深入理解神经可塑性和感知系统的多样性,而且可以为个性化教育、诊断、治疗、社会支持和辅助技术开发提供科学依据,有助于全面提升听障患者的生活质量,推动社会环境的包容性。因此,未来脑电研究应重视个体因素通过对个体变量和脑电数据进行分析,清晰地揭示研究成果的适用性。三是扩大样本量,积极开展纵向研究。目前,听障脑电研究领域多采用小样本横向研究。在脑电研究中,由于脑电信号的复杂性和个体差异,样本量较小可能会导致研究结果的不准确和难以复制。通过增加样本量能够有效减少

随机误差,提升统计检验力,从而提高研究结果的可靠性^[51]。大脑皮层的可塑性是长期过程,长时程的纵向研究可以加深对植入人工耳蜗后大脑长期可塑性的认知^[52]。因此,未来研究需多采用大样本的纵向研究,以更可靠地揭示听障患者的神经活动特点。四是推动听障脑电研究的本土化。语言习得和使用会影响听障患者感知信息加工和社会加工的方式,并形成特定的神经活动特点。国内听障脑电研究发现,无论是行为数据还是脑电数据都表明听障患者面孔加工的左侧视野/右脑优势效应消失^[53]。造成面孔加工右侧化偏向形成原因之一可能在于文字习得对左脑的面孔加工造成了竞争从而使面孔加工出现右侧化^[54]。汉语有其独特性。目前,国内学者针对人工耳蜗植入者的汉语言加工研究多为行为学研究^[55,56]。因此,今后需要对听障患者汉语言知觉加工的脑机制及我国手语使用者认知加工的脑机制进行深入研究。

参考文献

- [1] 张宁生.听力残疾儿童心理与教育[M].大连:辽宁师范大学出版社,2002.12.
- [2] 世界卫生组织(WHO).世界听力报告[M].北京:人民卫生出版社,2021.17,22.
- [3] Meyer C,Hickson L.Nursing Management of Hearing Impairment in Nursing Facility Residents[J].Journal of Gerontological Nursing,2020,46(7):15-25.
- [4] 肖英霞,张莹瑞.注意缺陷多动障碍的ERP研究[J].中国特殊教育,2014,168(6):47-53.
- [5] Kim BG,Kim JW,Park JJ, et al.Adverse events and discomfort during magnetic resonance imaging in cochlear implant recipients[J].JAMA Otolaryngology-Head & Neck Surgery,2015,141(1):45-52.
- [6] 徐琴芳,王延培.脑电测量在儿童发展性障碍诊断中的应用[J].心理科学进展,2017,25(12):2136-2144.
- [7] 朱楠,黄钟河.我国特殊教育领域眼动研究综述[J].中国特殊教育,2016,195(9):10-18.
- [8] Chen C,Hu Z,Liu S, et al.Emerging trends in regenerative medicine: a scientometric analysis in Citespace[J].Expert Opinion on Biological Therapy,2012,12(5):593-608.
- [9] Pluta A,Krysztosiak M,Zgoda M, et al.False belief understanding in deaf children with cochlear implants[J].Journal of Deaf Studies and Deaf Education,2021,26(4):511-521.
- [10] 章郎.美国颁布《听力学实践标准》[J].听力学及言语疾病杂志,2012,20(4):402-403.
- [11] 郝玉玲,杨立雄.德国残疾人社会保护政策的反贫困现状评析[J].社会政策研究,2018,1:3-17.
- [12] 杨雪,雷江华,孙珂.我国手语研究的演进及趋势——基于CiteSpace的可视化分析[J].中国特殊教育,2022,267(9):21-28+65.
- [13] 王佳佳,刘晓霞.我国教师惩戒权研究的历史回眸与研究前瞻——基于CiteSpace知识图谱的可视化分析[J].中国人民大学教育,2023,3:32-47.
- [14] 宗清瑶,邹义欢.国际高等教育无障碍环境研究的热点与启示——基于CiteSpace知识图谱软件的量化分析[J].中国特殊教育,2024,286(4):11-20.
- [15] Jacquemin L, Mertens G, Schlee W, et al. Literature overview on P3 measurement as an objective measure of auditory performance in postlingually deaf adults with a cochlear implant[J].International Journal of Audiology,2019,58(12):816-823.
- [16] Tremblay KN, Kraus T, McGee. The Time Course of Auditory Perceptual Learning: Neurophysiological Changes during Speech-Sound Training[J].Neuroreport,1998,9(16):3557-3560.
- [17] Mathew R, Vickers D, Boyle P, et al. Development of electrophysiological and behavioural measures of electrode discrimination in adult cochlear implant users[J].Hearing research,2018,367:74-87.
- [18] Lamminmäki S, Cormier K, Davidson H, et al. Auditory cortex maturation and language development in children with hearing loss and additional disabilities[J].Children,2023,10(11):1813.
- [19] Schriever VA,Han P,Weise S, et al.Time frequency analysis of olfactory induced EEG-power change[J].PLoS ONE.2017,12(10):e0185596.
- [20] Sharma A,Dorman MF,Kral A.The influence of a sensitive period on central auditory development in children with unilateral and bilateral cochlear implants[J].Hearing Research,2005,203(1-2):134-143.
- [21] Sharma A,Martin K,Roland P, et al.P1 latency as a biomarker for central auditory development in children with hearing impairment[J].Journal of the American Academy of Audiology,2005,16:564-573.
- [22] Sandmann P,Plotz K,Hauthal N, et al.Rapid bilateral improvement in auditory cortex activity in postlingually deafened adults following cochlear implantation[J].Clinical Neurophysiology,2015:126(3):594-607.
- [23] Gilley PM,Sharma A,Mitchell TV, et al.The influence of a sensitive period for auditory-visual integration in children with cochlear implants. Restorative neurology and neuroscience,2010,28(2):207-218.
- [24] Rhys-Jones SL. Theory of Mind: Deaf and hearing children's comprehension of picture stories and judgments of social situations[J].Journal of Deaf Studies and Deaf Education,2000,5:248-265.
- [25] Gu H,Chen Q,Xing X, et al.Facial emotion recognition in deaf children: Evidence from event-related potentials and event-related spectral perturbation analysis[J].Neuroscience letters,2019,703:198-204.
- [26] Tsou YT,Li B,Kret ME, et al.Hearing status affects children's emotion understanding in dynamic social situations: An eye-tracking study[J].Ear Hearing,2021,42:1024-1033.
- [27] Denmark T,Atkinson J,Campbell R.How do typically developing deaf children and deaf children with autism spectrum disorder use the face when comprehending emotional facial expressions in british sign language?[J].Journal of Autism and Developmental Disorders,2014,44:2584-2592.
- [28] Gray JR. Integration of emotion and cognitive control[J].Current Directions in Psychological Science,2004,13(2):46-48.
- [29] Gray JR,Braver TS.Integration of emotion and cognition in the lateral prefrontal cortex[J].Proceedings of the National Academy of Sciences,2002,99(6):4115-4120.
- [30] Chen Q,Zhao J,Gu H, et al.Inhibitory Control of Emotional Interference in Deaf Children: Evidence From Event-Related Potentials and Event-Related Spectral Perturbation Analysis[J].Frontiers in Psychiatry,2022,

- 13:897595.
- [31] Ghazanfar AA, Schroeder CE. Is neocortex essentially multisensory? [J]. Trends in cognitive sciences, 2006, 10(6): 278-285.
- [32] Pavani F, Bottari D. Visual abilities in individuals with profound deafness: a critical review in The Neural Bases of Multisensory Processes, eds M. M. Murray and M. T. Wallace (Boca Raton, NY: CRC Press), 2011. 423-448.
- [33] Hauthal N, Thorne JD, Debener S, et al. Source localisation of visual evoked potentials in congenitally deaf individuals [J]. Brain topography, 2014, 27: 412-424.
- [34] Hauthal N, Debener S, Rach S, et al. Visuo-tactile interactions in the congenitally deaf: a behavioral and event-related potential study [J]. Frontiers in integrative neuroscience, 2015, 8: 98.
- [35] Alemi R, Wolfe J, Neumann S, et al. Audiovisual integration in children with cochlear implants revealed through EEG and fNIRS [J]. Brain Research Bulletin, 2023, 205: 110817.
- [36] Barone P, Deguine O. Multisensory processing in cochlear implant listeners (P. Barone, O. Deguine). In: Zeng, F.G., Popper, A.N., Fay, R. R. (Eds.), Springer Handbook of Auditory Research: Auditory Prostheses, Springer Handbook of Auditory Research. Springer, New York, USA, 2011. 365-381.
- [37] Schorr EA, Fox NA, van Wassenhove V, et al. Auditory-visual fusion in speech perception in children with cochlear implants [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2005, 102(51): 18748-18750.
- [38] Madashetty S, Palaniswamy HP, Rajashekhar B. The Impact of Age-Related Hearing Loss on Working Memory among Older Individuals: An Event-Related Potential Study [J]. Dementia and Geriatric Cognitive Disorders Extra, 2024, 14(1): 1-13.
- [39] Madashetty S, Palaniswamy HP, Rajashekhar B. Investigating the impact of hearing loss on attentional networks among older individuals: an event-related potential study [J]. Cognitive Neurodynamics, 2024, 18(5): 3093-3105.
- [40] 国家卫生健康委办公厅. 国家卫生健康委办公厅关于开展老年听力健康促进行动(2024-2027年)的通知. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202406/content_6959262.htm.
- [41] Gao M, Feng T, Zhao F, et al. Cognitive reserve disorder in age-related hearing loss: cognitive cortical compensatory to auditory perceptual processing [J]. Cerebral Cortex, 2023, 33(16): 9616-9626.
- [42] Puschmann S, Daeglau M, Stropahl M, et al. Hearing-impaired listeners show increased audiovisual benefit when listening to speech in noise [J]. Neuroimage, 2019, 196: 261-268.
- [43] Sauseng P, Griesmayr B, Freunberger R, et al. Control mechanisms in working memory: a possible function of EEG theta oscillations [J]. Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 2010, 34(7): 1015-1022.
- [44] Klimesch W. Alpha-band oscillations, attention, and controlled access to stored information [J]. Trends in cognitive sciences, 2012, 16(12): 606-617.
- [45] Güntekin B, Emek-Savaş DD, Kurt P, et al. Beta oscillatory responses in healthy subjects and subjects with mild cognitive impairment [J]. NeuroImage: Clinical, 2013, 3: 39-46.
- [46] Zhao R, Yue T, Xu Z, et al. Electroencephalogram-based objective assessment of cognitive function level associated with age-related hearing loss [J]. GeroScience, 2024, 46(1): 431-446.
- [47] Pepper JL, Nuttall HE. Age-related changes to multisensory integration and audiovisual speech perception [J]. Brain Science, 2023, 13(8): 1126.
- [48] Stevenson R, Sheffield SW, Butera IM, et al. Multisensory integration in cochlear implant recipients [J]. Ear Hearing, 2017, 38(5): 521-538.
- [49] Lasfargues-Delannoy A, Strelnikov K, Deguine O, et al. Supranormal skills in processing of visuo-auditory prosodic information by cochlear implanted deaf patients [J]. Hearing Research, 2021, 410: 108330.
- [50] Kral A, Sharma A. Developmental neuroplasticity after cochlear implantation [J]. Trends in Neuroscience, 2012, 35(2): 111-122.
- [51] Turner BO, Paul EJ, Miller MB, et al. Small sample sizes reduce the replicability of task-based fMRI studies [J]. Communications Biology, 2018, 1(1): 62.
- [52] 张畅芯. 早期听觉剥夺后的大脑可塑性: 来自先天性听力障碍群体的证据 [J]. 心理科学进展, 2019, 27(2): 278-288.
- [53] 陈杰, 兰雅迪, 余俊, 等. 听障个体面孔识别的大脑偏侧化研究 [J]. 中国科学: 生命科学, 2021, 51(11): 1571-1581.
- [54] Dundas EM, Plaut DC, Behrmann M. Variable left-hemisphere language and orthographic lateralization reduces right-hemisphere face lateralization [J]. Journal of Cognitive Neuroscience, 2015, 27(5): 913-925.
- [55] Chang Y-P, Chang RY, Lin C-Y, et al. Mandarin tone and vowel recognition in cochlear implant users: Effects of talker variability and bimodal hearing [J]. Ear and Hearing, 2016, 37(3): 271-281.
- [56] Tao D, Deng R, Jiang Y, et al. Melodic pitch perception and lexical tone perception in Mandarin-speaking cochlear implant users [J]. Ear and Hearing, 2015, 36(1): 102-110.

收稿日期 2025-01-14

修回日期 2025-02-27

录用日期 2025-03-27

责任编辑 赵 倩