

视听知觉训练对老年人认知能力的促进及其机制*

杨伟平^{1,4} 李睿智¹ 李胜楠² 林金飞¹ 任艳娜³

(¹ 湖北大学教育学院心理学系, 武汉 430062) (² 日本国立冈山大学健康系统统合研究院, 冈山 700-8530)
(³ 贵州中医药大学人文与管理学院心理学, 贵阳 550025) (⁴ 湖北大学教育学院脑与认知研究中心, 武汉 430062)

摘要 老年人的视力和听力随年龄增加而显著下降, 视觉和听觉感知训练可一定程度改善认知能力。在老年人群中, 跨视听通道信息相互作用存在促进和补偿效应, 以缓解单一感觉通道知觉能力的下降。老年人跨视听通道知觉训练主要聚焦视听敏感性, 即视听绑定窗口。结果表明知觉训练显著缩小视听绑定窗口, 提高大脑对视听刺激的神经营工效率, 体现了跨通道训练优势。未来研究应设计精准高效的跨视听通道知觉训练方案, 靶向性增强老年人视听整合能力及其补偿效应的脑机制, 为知觉干预产品的开发提供科学依据与新视角, 对提高老年人认知功能和身心健康具有重要现实意义。

关键词 知觉训练, 老年人, 视听整合, 促进作用, 增强效应

分类号 B844

1 引言

2021 年第七次全国人口普查数据显示, 中国 60 周岁以上人口达 2.64 亿, 占总人口的 18.7%, 其中 65 周岁以上人口达 1.9 亿, 占总人口的 13.5%, 保障这一庞大人群的健康及生活质量已经成为中国乃至全世界面临的迫切问题。因此, 我国“十四五”规划和 2035 年远景目标纲要提出, “实施积极应对人口老龄化国家战略”, 将老年人的健康和保障问题纳入国家战略层面。

而视力和听力的逐渐衰退严重影响着老年人的健康和保障(Chen et al., 2020), 它不仅影响老年人视听觉及其相关行为, 而且影响言语乃至认知功能, 甚至引发老年性痴呆(Anderson, 2019)。视觉和听觉通道是感知外界信息的重要来源, 将同时或间隔一定时间呈现的视觉和听觉信息融合为统一、连贯的知觉过程, 被称作视听整合(Audiovisual Integration) (Stein & Meredith, 1993; 高玉林 等, 2023)。研究发现, 老年人对单

独视觉信息或听觉信息的感知能力显著低于年轻人, 但其对视觉信息和听觉信息的整合能力却显著高于年轻人(Laurienti et al., 2006; Peiffer et al., 2007; Ren et al., 2023; Yang et al., 2022)。老年人视听整合能力的提高是其单一感觉通道感知能力下降的适应性补偿机制, 可以帮助老年人更好地认知外部世界(Dias et al., 2021; Diaz & Yalcinbas, 2021; Ren, Guo, et al., 2020; Ren, Li, et al., 2020; 杨伟平 等, 2020), 且老年人对同时呈现的视听觉信息反应显著快于单独视觉或听觉信息, 即表现出视听促进效应(Laurienti et al., 2006; Ren et al., 2022; Yang et al., 2021; 高玉林 等, 2023), 因此, 从“主动对抗衰退”的角度, 基于老年人脑可塑性和适应性补偿机制, 精准靶向性认知干预研究成了积极应对老龄化的研究热点。共因假说(Common-cause hypothesis)认为存在一个影响着感觉功能和认知功能的共同因素, 使得感觉功能与认知功能表现出较强的共变性, 这个共同因素反映了中枢神经系统的机能, 会对整个信息加工系统产生广泛的影响(Lindenberger & Baltes, 1994), 此假说表明老年人感知觉的衰退与认知老化具有紧密联系。同时, 信息退化假说(Information-degradation hypothesis)认为, 感知处理和认知加工共用一个容量有限的处理资源系统, 老化导致

收稿日期: 2023-07-28

* 国家自然科学基金项目(32260198; 31700973; 31800932)。

通信作者: 任艳娜, E-mail: yanna052267213@163.com

的感知觉衰退会增加感知处理阶段的资源需求,使后续认知加工阶段可用的处理资源减少,进而影响老年人认知加工能力(Schneider & Pichora-Fuller, 2000; Slade et al., 2020)。因此,通过感知训练可能增强老年人的感知能力,以减少感知处理阶段需要调动的处理资源,进而释放更多处理资源供后续认知加工阶段使用,从“感觉与认知密切相关”的角度,探究视听训练对于老年人认知能力的提升具有重要的理论意义。通过视听知觉训练对老年人的视听整合能力及补偿机制进行干预研究,揭示大脑认知加工原理、增强神经退行性疾病的预防能力、探索科学精准的知觉学习的行为学训练方法,为改善老年人的认知能力提供科学解决方案。本文基于已有研究成果,尝试对老年人的视听知觉训练效果进行综述。首先,从单通道知觉训练角度阐述视觉和听觉训练对老年人认知功能的促进;然后,阐述跨视听通道知觉训练改善认知老化的行为表现和认知神经机制;最后,提出未来研究的展望。

2 单通道视觉和听觉训练对认知老化的影响

认知活动退行性变化是老年期心理发展总趋势的典型特征,感知觉是个体心理发展较早,而也是衰退最早的心理机能,主要表现为感觉阈限升高,即感受性下降。研究表明知觉训练可一定程度抵抗老化导致的认知下降。

2.1 老年人单通道视觉训练

研究表明,单通道视觉训练能有效增强老年人衰退的视觉能力。德国著名发展心理学家保罗·巴尔特斯(Paul B. Baltes)提出毕生发展观,其核心观念认为个体的发展是一生的过程,具有多样的形式和很强的可塑性。随着年龄的增长,神经网络的变化导致老年人视觉能力出现一定程度的衰退(Tran et al., 2020; Xue et al., 2023)。有研究者采用视觉辨别任务对老年人进行为期2天(12次)训练,结果显示老年人对纹理特征的知觉能力得到显著提升(Andersen et al., 2010)。一周(45分钟/次,3次/周)的视觉辨别训练后老年人的枕叶V3区域白质分数各向异性(Fractional anisotropy, FA)有显著变化,结果表明老年人经过训练后早期视觉皮层下方涉及到白质重组(Yotsumoto et al., 2014)。老年人方向信息的编码效率会受到年龄增

长带来的损害(Zhang et al., 2020),视觉训练可以弥补这种微小方向辨别能力的退化。DeLoss等(2015)在训练中设置了不同模糊度的光栅刺激,使被试不断接受近阈值的训练,经过超过7天(1.5小时/次,1次/天)的训练,抵抗了老年人与年龄相关的对比敏感性下降(DeLoss et al., 2015)。近年来,有研究者针对老年人的三维空间物体位置和深度知觉能力实施训练,使用视觉设备呈现4个足球,其中1个比其他3个在立体感知上更靠近被试,要求老年人标记更靠近自身物体的位置。经过6周(2次/周)的训练后,老年人的反应时显著缩短,其立体视觉敏感度显著提升,并且此训练效果能够有效保持超过6个月(Erbes & Michelson, 2021)。

除了增强老年人的视觉能力,单通道视觉训练也能在一定程度上向其他未训练的认知能力迁移。研究也发现使用3天(1次/天)视觉训练能够提高老年人的视觉处理速度,改善视觉工作记忆能力(Li et al., 2017),从而在一定程度上帮助老年人抵御与年龄相关的认知老化。有研究运用事件相关电位(Event-related potentials, ERPs)技术探究老年人视觉训练的神经可塑性,使用对光栅刺激动态扩张或收缩的判断任务对老年人进行10小时(40分钟/次,3~5次/周)视觉训练,发现N1成分的振幅显著增大,表明老年人的知觉辨别能力得以提高,同时显示N1和N2的变化与知觉加工速度有关,反映了老年人在注意力分配方面得到改善(Mishra et al., 2015)。此外,有研究对轻度认知障碍(Mild cognitive impairment, MCI)老年人实施为期6周(1小时/次,4次/周)的视觉加工速度训练,发现MCI老年人的加工速度、注意力、工作记忆以及日常生活自理能力均得到显著改善,这对利用非药物方法减缓MCI患者认知能力下降具有积极意义,但受到样本量的限制,难以对各种认知领域和神经变化指标之间的相关性进行研究(Lin et al., 2016)。

总体而言,视觉训练有利于增强老年人认知能力,提高老年人的生活质量。但是上述研究中多采用光栅刺激进行训练,且视觉训练任务较为单一,对于视觉训练迁移的神经机制研究仍不完善。未来研究可设置更丰富的视觉感知材料,更利于提高老年人的训练兴趣,降低训练脱落率,且有望达到更好的训练效果(杨伟平等, 2023),并结合脑成像技术更深入探讨训练神经机制,实

现靶向性训练提升训练效率,加强视觉训练的推广和应用。同时,未来研究可扩大样本种类和数量,对不同程度认知损伤老年人进行视觉训练,探究认知变化与神经变化的相关,获取更具代表性的结果,挖掘视觉训练对 MCI 患者的防治意义。

2.2 老年人单通道听觉训练

年龄增长不仅伴随听觉阈限提高,甚至可能造成老年人听力损失,对其高级听觉处理能力产生负面影响,加速言语理解能力的下降(Huang et al., 2023),严重影响老年人的生活质量。研究表明,听觉训练对改善老年人与年龄相关的听觉能力下降具有积极效果。Fostick 等(2020)采用听觉时间顺序判断(Temporal order judgment)任务对老年人进行为期 14 天的训练,结果发现老年人的言语感知得到显著提升,并伴随着自我效能感的提高(Fostick et al., 2020)。有研究者运用电生理(Electrophysiology)技术探究基于听觉的认知训练对老年人的影响,经过 8 周 40 小时(1 小时/次,5 次/周)的训练后老年人表现出更快的神经加工,在记忆力、处理速度和对噪音背景下的语音感知方面均有所提高。同时,生理测验结果显示脑干反应峰值降低,反映了对语音信号加工所需时间减少(Anderson et al., 2013)。这些结果表明,以听觉为基础的认知训练可以部分恢复大脑中与年龄相关的时间加工缺陷,这种可塑性反过来又促进了更好的认知。Kawata 等(2022)进一步考察了听觉认知训练对认知老化的作用,进行连续 4 周(1 小时/次,2 次/周)的训练后,发现老年人的听觉感知能力显著提升,左颞叶的灰质体积(Regional gray matter volume, rGMV)和功能连接性(Functional connectivity, FC)增加(Kawata et al., 2022)。脑电研究结果显示,经过 10 周(1 小时/次,2 次/周)的听觉认知训练后顶叶和额叶的 P3b 振幅下降且潜伏期变短,表明通过感知加工改善特定的神经回路使注意力得以提高(O'Brien et al., 2017)。此外,由于难以追踪特定讲话者的声音(Zaltz & Kishon-Rabin, 2022)和难以受助于动态基频(F0)轮廓线索(吴梅红, 2023)等因素,老年人噪音环境中的言语感知能力受到损害,而听觉训练可以弥补这一损害。有研究者采用在噪音中识别元音字母的训练模式对老年人进行为期 5 周(1 小时/次,3 次/周)的听觉训练,结果发现老年人对噪

音背景中言语感知(Speech-in-noise, SIN)有显著提高,可能由于训练提高了被试基频(Fundamental Frequency, F0)的接收和编码(Heidari et al., 2020),Matos Silva 等(2020)也得到了相似的训练效果(30 分钟/次,2 次/周)(Matos Silva et al., 2020)。听觉训练还有助于听力损失的老年人增强信息感知能力。针对听力损失老年人实施的不同方式的听觉训练,包括即时训练、延迟训练、集中训练和间隔训练,结果显示经过训练后语音识别能力均显著提高(Ferguson et al., 2014; Tye-Murray et al., 2017)。

可见,听觉训练可以改善老年人衰退的听觉能力,提升噪音环境中感知语音的能力,对听力损失老年人感知信息起到促进作用。上述结果表明听觉训练可作为改善认知的有效方法,提高老年人的社会参与度和生活质量。已有研究发现听觉训练采用不同的训练量对老年人的听觉和其他方面具有不同影响,但尚不清楚诱导老年人听觉和其他方面发生变化的训练量,未来研究应评估听觉训练的时间进程。此外,虽然部分研究报告了听觉训练对老年人的记忆力、处理速度和注意力具有一定的促进作用,但近年来研究表明,听觉训练对于未经训练的其他认知功能的迁移效果有限(Bieber & Gordon-Salant, 2021; Toovey et al., 2021),以及听觉训练迁移的神经机制未知。未来研究可探究听觉训练对其他认知功能的迁移效果和神经机制。

3 跨视听通道时间知觉训练对认知老化的影响

尽管单通道视觉训练和听觉训练能在一定程度上增强老年人认知能力,但在训练效果及认知迁移等方面仍然存在局限性。更重要的是,老年人生活中相比单模态更多接触多模态刺激,但尚未有研究表明单通道视觉或听觉训练能够促进老年人跨通道知觉能力,因此单通道知觉训练改善老年人生活的功能较为有限。为了弥补单通道训练外部效度较低的不足,基于老年人跨视听通道信息的促进和补偿,研究者以跨通道联合的方式对老年人开展知觉训练,探究对老年人认知能力的改善效果。有研究设置其中一组被试进行跨视听通道运动检测任务训练,另一组进行单通道视觉运动检测任务训练,虽然两组均有明显的训练

效果,但跨视听通道训练组被试表现出更高的训练效率(Seitz et al., 2006)。同时,有研究对跨视听通道训练和单通道听觉训练的效果进行对比,仅发现跨视听通道训练组被试对噪声中听觉语音识别能力有所改善(Lidestam et al., 2014)。因此,跨视听通道训练对老年人的训练效果仍然优于单通道视觉训练和单通道听觉训练。视觉和听觉感官的相互作用能为老年人提供更全面的信息输入,从而促进刺激信息的编码和巩固,提高老年人的知觉训练效率,并且可能通过靶向训练增强多感觉信息整合相关联合皮质的激活程度,改善老年人对视听刺激的敏感度。

3.1 老年人跨视听通道时间知觉训练的促进作用

视听刺激的时间间隔会影响个体对视听信息的整合和加工,研究者使用跨视听通道时间知觉训练以一定时间间隔的视听刺激为材料对个体视听整合能力进行干预。同时性判断任务(Simultaneity judgment task)和时间顺序判断任务(Temporal order judgment task)是老年人跨视听通道时间知觉训练研究中常用的训练范式。视听同时性判断任务要求被试判断视觉和听觉刺激是否同时发生,时间顺序判断任务要求被试判断视觉刺激和听觉刺激出现的顺序。视听时间敏感性(Audiovisual temporal sensitivity),即个体对视听刺激出现时间的感知能力,是研究者关注的评估训练效果的主要指标。

研究发现老年人对跨视听通道信息的整合能力显著高于年轻人,视听整合窗口(Time window of integration)明显变宽,并提出老年人对跨视听通道信息整合能力的提高是对单一感觉通道衰退的适应性代偿(Diaconescu et al., 2013; Peiffer et al., 2007; Wu, Yang, Gao, & Kimura, 2012)。视觉与听觉信息在时间上的邻近性是影响整合的重要因素之一,由于信号转换与神经处理过程需要一定的时间,被感知到的非同步信息间的时间间隔被称为时间绑定窗口(Temporal binding window)(Stein & Meredith, 1993)。Powers 等(2009)聚焦视听整合的视听绑定窗口,率先采用视听同时性判断任务(Simultaneity judgment task),通过训练成人对跨视听通道刺激辨别敏感性(Acuity),以视听时间辨别任务得到的数据构建时间绑定窗口模型,研究视听知觉训练对感知能力的影响。连续5天、每天1小时的训练结果显示,64%被试(14/22)

的视听绑定窗口显著变窄,即感知能力得到显著提升(Near transfer, 近迁移),并且训练效果可以保持1周(Powers et al., 2009)。相似的训练效果也在随后的系列研究中发现(De Nier et al., 2016; Horsfall et al., 2021; McGovern et al., 2022; Sürig et al., 2018),但未发现视听同时性判断任务训练对声音诱导的闪光错觉(Sound-induced flash illusion)的影响(Powers et al., 2016),其中,声音诱发闪光错觉是视听整合的评估指标。周衡等(2020)发现老年人大脑中多个脑区的静息态自发动作与声音诱发闪光错觉增大相关。随后,研究者对声音诱发闪光错觉实施靶向性训练,结果发现训练提高了视听刺激辨别敏感性从而降低裂变错觉,即当单个视觉闪光与两个听觉刺激同时出现时,单个视觉闪光被误判为两个的错觉和融合错觉,即当单个听觉刺激与两个视觉闪光同时出现时,两个视觉闪光被误判为一个的错觉(Huang et al., 2022)。单通道视觉或听觉敏感性训练也可以有效减小视听绑定窗口(Stevenson et al., 2013),但其作用明显比跨视听通道训练弱(Zerr et al., 2019)。跨视听通道训练的优势是显而易见的,并在后续研究中得到了进一步证实(Anguera et al., 2013; Anguera et al., 2021; Guo et al., 2023)。为探究跨视听通道训练是否具有刺激特异性,研究者对比分析了简单无意义刺激和视听言语刺激的训练效果,发现两种训练均可显著提高对训练刺激的时间敏感度,但未显示相应的迁移效果(De Nier et al., 2018)。除了上述视听同时性判断任务,还有研究者采用视听顺序判断任务(Temporal order judgment task),探究跨视听通道知觉训练对老年人认知能力的影响。经过连续5天、每天30分钟的训练,结果显示通过视听顺序判断任务训练可有效提高75%的老年被试(18/24)视听知觉能力,显著改善其对未训练闪光错觉的反应(Setti et al., 2014)。该结果提示老年人的感知能力可以通过视听知觉训练得到提升,且这种训练效果可以迁移到其他未训练的任务。缩短训练时长后,经过连续3天、每天30分钟的视听顺序判断任务训练,结果发现老年人的视听绑定窗口显著减小,但对声音诱发闪光错觉的知觉敏感性没有发生显著改变,即训练效果未发生远迁移(O'Brien et al., 2020)。研究者针对视听知觉训练效应做了进一步深入探究,仍然采用视听顺序判断任务训练范式

及连续3天的训练时长,结果同样发现老年人的视听时间辨别能力得到提高,但迁移效应显示老年人对裂变错觉的易感性降低并且时间绑定窗口变窄,而融合错觉未发生显著变化(McGovern et al., 2022)。因而,通过训练老年人的知觉能力有可能恢复到最佳状态,对老年人甚至包括容易跌倒老年人的多种认知能力产生积极影响(Mahoney et al., 2019; Setti et al., 2011)。总体而言,多数研究基于计算机的心理物理学范式对老年人进行跨视听通道训练,已证明视听训练在提高老年人感知辨别敏感性方面的优势以及训练效果具有较强的稳定性。然而,目前研究仍存在一些不足:第一,以上研究主要通过视听时间知觉训练缩小老年人视听绑定窗口,进而影响视听整合,而非直接干预老年人的视听整合能力。同时,缺少视听训练对老年人视听补偿机制的影响。更重要的是,大部分研究采用简单的视觉闪光(Flash)和听觉纯音(Pure tone)刺激,这些单一信息的重复呈现可能会使被试感到枯燥,从而影响训练效果。因此,目前对老年人视听整合的训练效率有待提升。第二,以上研究的样本量大多为20人左右,受到样本量的限制,无法根据人口学等信息深入分析导致训练效果差异的因素,且未对训练的长期效应进行追踪考察。因此,尚不清楚视听训练是否具有群体特异性和保持性。第三,以上研究训练的频率和时长存在较大差异,且未对训练负荷进行横向对比研究,因此无法考察干预负荷与脑功能的相关性。未来的研究可以使用直接训练视听整合能力的任务、更加丰富的训练材料以提高训练效率,并招募更多被试,对训练效果进行追踪调研,为跨视听通道知觉训练研究提供大样本数据的支撑,此外,还可以设置不同训练时间和频率对比的研究,挖掘负荷与老年人脑活动变化的相关性。

随着年龄增加,老年人的视力、听力、注意力、记忆力等基本认知能力不断衰退,且容易诱发神经退行性疾病,如轻度认知障碍(Mild cognitive impairment, MCI)、阿尔茨海默病(Alzheimer's disease, AD)、帕金森病(Parkinson's disease, PD)等。MCI、AD及PD视听整合的研究结果显示,三种特殊群体的视听整合能力均显著减弱,尤其是PD患者存在严重的视听整合障碍(Fearon et al., 2015; Ren et al., 2018; Wu et al.,

2012)。Fearon等(2015)研究发现,虽然PD患者可以对中央视听刺激(0°)加以整合,但其整合能力显著低于健康对照组(Fearon et al., 2015)。随后, Ren等(2018)研究结果显示,PD患者几乎丧失对外周视听信息(12°)的整合能力(Ren et al., 2018)。此现象是否能通过跨视听通道知觉训练得到改善及其在PD早期认知干预中的价值仍待探究。而MCI老年人对跨视听通道信息的感知表现出更宽的整合时间窗口。鉴于MCI老年人对视听跨通道信息的早期敏感性,有研究者提出其可为其早期识别提供重要参考,同时为认知异常老化的早期干预提供新视角(Chan et al., 2015; Festa et al., 2017)。Lee等(2020)运用视频游戏对MCI老年人进行视听综合训练,发现经过训练后MCI老年人在注意力控制和非优势手运动方面表现出明显的改善。研究结果表明,视听综合训练具有增强MCI老年人认知和运动功能的潜力,可作为对抗老年人神经退行性疾病的非药物干预措施(Lee et al., 2020)。未来研究可从认知功能损害最早、最敏感的视觉和听觉层面(林崇德, 2018),探明神经退行性疾病老人跨视听通道的训练效应及其迁移,不仅能改善老年人的感知能力有利于交通出行及社会交往,而且对老年痴呆高危人群的早期识别和预防具有重要的现实意义。

3.2 老年人跨视听通道知觉训练的神经机制

通过视听知觉训练老年人的认知能力得以提升,体现了老年人的大脑可塑性,那么跨视听通道训练何时以何种方式增强老年人的视听整合能力或其他认知功能?跨通道知觉训练是否能显著提高传统视听整合相关脑区活动,增强脑功能连接性,激活新的脑区参与视听整合?研究者针对这些问题展开了探讨。

有研究运用功能性磁共振成像(Functional magnetic resonance imaging, fMRI)技术,研究跨视听通道知觉训练带来的大脑神经结构变化(Powers et al., 2012)。结果发现,经过视听训练后颞上沟(posterior Superior Temporal Sulcus, pSTS)、听觉和视觉皮质以及小脑上部均表现出血氧(Blood-oxygen-level dependent, BOLD)信号活动减少,反映了训练可提高大脑对视听刺激的神经加工效率。对其静息状态和有效连通性分析显示,训练后颞上沟和单感官皮层之间的耦合显著增加。这些结果揭示了跨视听通道知觉训练的神经

机制,为视听训练提供了第一个神经电生理方面的证据。随后, Yang 等(2018)和 Theves 等(2020)采用视听同时性判断训练任务,运用 ERPs 技术开展相关研究。其中 Yang 等人对老年人进行 4 周、每周 4 次、每次 10~20 分钟视听同时性判断任务训练发现,老年人的视听刺激辨别能力(Near transfer)和基本认知能力(例如:注意)(Far transfer)均得到显著提升。Theves 等(2020)研究发现,经过 1 天视听同时性判断任务训练即可提高被试在中央区(Central)、顶区(Parietal)、颞区(Temporal) β 波(12~30 Hz)的振幅(Far Transfer)。进而,有研究者采用视听跨模态特征匹配任务,即听觉声音频率与视觉点空间运动方向之间的一致性任务(向上的声音音调匹配箭头向上运动的点,向下的音调匹配向下箭头运动的点)探讨视听训练对视觉点运动方向辨别能力的影响。将视听训练后的功能连接模式与静息状态网络进行对比,从神经振荡方面以评估视听训练相关网络的变异性。脑磁图(Magnetoencephalogram, MEG)结果显示,经过跨视听通道训练后,神经网络包括前额叶、顶叶和视觉皮层在 γ (60~120 Hz)和 β (15~30 Hz)波段出现大规模同步(La Rocca et al., 2020; Zilber et al., 2014)。对此从预测编码理论(Predictive coding hypothesis)的角度解释,大脑通过不断的生成和更新模型来处理感知信息,该理论主要涉及预测和调整预测误差两个主要过程。在视听训练中,增强的 β 振荡负责对感知输入自上而下的预测,而 γ 振荡负责传递预测误差以更新不适当的感知模板。大脑在视听训练过程中通过比较预测和实际感知输入之间的差异,激活与任务相关的大脑皮层,促进大脑功能之间的相互作用,不断调整和更新预测,逐渐提高对外界输入的预测能力(Chan et al., 2021; Keil & Senkowski, 2018)。结果表明,在训练期间被试对非同步的视觉和听觉信息产生了更强的预期,从而在训练后激活了相应的模板,揭示了视听训练的网络路径以及神经振荡的可塑性。

上述神经机制结果均表明,老年人的知觉能力具有很强的可塑性,跨视听感觉通道训练效果较好且可以迁移到其他认知任务。虽然上述研究提到视听整合能力的提升,但其本质均是基于知觉训练影响视听信号知觉敏感性(视听绑定窗口)开展的,并未针对老年人跨视听通道整合能力进

行靶向性训练。在发育期(Development to mature),视听信息知觉敏感性对其视听整合能力有一定的预测作用,但在老年期(Aging),对视听整合能力不具有预测作用(Stevenson et al., 2018; Zerr et al., 2019)。因此,亟需开展视听知觉训练高效提升老年人视听整合能力的研究,特别是针对老年人适应性补偿机制的靶向训练。近年来,研究者对动物进行的视听靶向训练已见成效。Stein 等(2020)关于动物感觉剥夺的研究发现,被感觉剥夺猫的视听整合能力被视听训练诱发;且通过跨视听通道训练可以恢复视觉损伤动物的视力及其对应视觉皮质的功能(Stein et al., 2020)。类似的研究结果也在 Han 等(2021)和 Hampton 等(2019)的研究中发现。Han 等(2021)关于小鼠视听训练的研究中发现,跨视听通道训练可以提高大脑皮质对视听信息的表征(Han et al., 2021),而 Hampton 等(2019)在痴呆小鼠模型研究中发现,视听刺激可以有效清除 β 淀粉样肽,并显著提高其工作记忆(Hampton, 2019)。这些动物模型研究结果也充分说明,跨视听通道神经靶向性知觉训练研究具有很强的可行性和实际应用价值。

4 小结与展望

视听知觉训练对老年人认知衰退具有促进及补偿作用,体现大脑认知神经的可塑性。本文尝试对老年人视听知觉训练的研究要点进行系统性梳理,概括如下:(1)单通道视觉训练:采用纹理识别、定向辨别和立体视觉训练任务,训练可改善老年人知觉能力、注意力、工作记忆等,涉及早期视觉皮层下方白质重组和 N1 振幅增大;单通道听觉训练:听觉训练可提高老年人言语感知、加工速度、记忆力及噪音背景下语音知觉等,涉及左颞叶的灰质体积和功能连接性增加。(2)跨视听通道训练:基于视听促进效应开展跨通道训练,发现知觉训练窄化老年人的视听绑定窗口,从而提高其感知敏感性,且对神经退行性疾病具有早期识别和预防的潜能;经过训练 P300 和 β 振荡振幅表现显著提升,揭示了视听训练的网络路径以及神经振荡的可塑性。自 2009 年 Powers 等人首次报道视听知觉训练可以有效改善被试视听认知能力的研究以来(Powers et al., 2009),国内外学者对视听知觉训练及其效果迁移做了大量研究。通过对本文的综述,不但能够系统地了解老年人视

觉和听觉训练效果及其机制,同时也能够为跨视听通道整合老龄化的相关研究提供借鉴。

然而,当前研究主要聚焦视听敏感性,即视听绑定窗口,靶向提升视听整合能力的研究甚为稀少,尤其靶向增强老年人视听整合适应性补偿效应的研究报道更为不足。目前许多关键性问题尚未解决,本文结合已有研究的不足,提出以下几点展望。

第一,如何高效提升老年人视听整合能力。尽管学者针对视听知觉训练做了大量研究,但在其研究中存在以下三个重要问题尚未解决:其一,当前研究主要聚焦在通过提高视听敏感性(Acuity),减小视觉信息和听觉信息的绑定窗口,进而提高老年人的感知能力。虽然研究报道指出视听绑定窗口大小与视听整合能力存在一定的相关性,但最新研究显示,在发育期,视听信息感知敏感性对其视听整合能力有预测作用,但在老年期,却不能有效预测其视听整合能力(Stevenson et al., 2018)。因此,视听知觉训练对视听整合能力的影响尚不清楚。其二,虽然少数研究提到知觉训练对视听整合能力的影响,但对于老年人,由于其视力和听力的下降,视听整合的提高主要是通过构建适应性补偿机制实现。目前尚无研究考察知觉训练对老年人视听整合补偿机制的影响,如视听信息加工过程中代偿性脑功能连接强度(Functional Connectivity) (Ren, Guo, et al., 2020)与前额叶在视听整合中 θ 振荡水平(Frontal θ -band) (Michail et al., 2021; Ren, Li, et al., 2020)的改变,传统视觉区(Visual Cortex)、听觉区(Auditory Cortex)是否发生视听整合及效应大小的变化(Diaz & Yalcinbas, 2021)等问题尚待研究。其三,上述视听知觉训练大多采用单调的视觉闪光(Flash)和听觉纯音(Pure Tone),由于刺激材料比较单一无趣,训练过程中的脱落率比较高,将其开发为受老年群体欢迎的认知干预产品的可行性低。最新研究显示,和简单无意义视听刺激相比,有意义视觉图像及其对应音频可以诱发老年人较强的视听整合和补偿效应,且被试参与度高(Ren, Xu, et al., 2020),但目前尚缺少基于有意义视听刺激材料的知觉训练研究。为解决上述三个关键性问题,未来研究可挖掘能有效预测老年人视听整合能力的其他行为指标,寻找视听知觉训练对老年人视听整合能力具有积极意义的证据。通过

ERP的锁时性和LORETA的空间溯源性考察知觉训练是否能及以何种方式精准高效提高老年人的视听整合能力及其补偿效应,同时通过影像学技术探索老年人视听整合相关脑区因视听认知训练产生的变化,进一步探究训练对老年人视听整合神经机制的影响。使用有意义的视听训练材料(静态与动态),采取变化、更新、渐进的训练形式,设计符合老年人兴趣取向的训练内容,开发持续监控、及时反馈的训练模式,设置有利于团体互动和社会支持的训练情境,对老年被试进行干预,并不断给予老年训练者正向鼓励,最大化利用期望影响,增加老年人的训练动机和参与度。

第二,视听知觉训练的群体特异性与保持性。首先,2019年Hirst等人关于2920名老年被试视听整合与视力和听力的相关性研究发现,老年人视听整合不仅受视觉和听觉衰退的影响,还可能与教育程度等人口学因素密切相关(Hirst et al., 2019)。当前视听知觉训练研究也发现,部分被试的感知能力通过短期训练即可得到显著改善,但部分被试的感知能力始终没有明显提升(Powers et al., 2009; Yang et al., 2018)。由于当前视听知觉训练研究的样本量均为20人左右,无法根据人口学等信息深入分析导致训练效果差异的因素。因此,亟需通过大样本实验,对老年人年龄、受教育程度、工作经历、家庭背景、运动习惯、健康状况、心理状态等潜在影响因素进行聚类分析,考察导致训练效果差异的关键性因素,从而根据训练对象,为老年人制定个性化训练方案,也需要探究策略学习对不同个体训练效果的影响,引导其使用合适的训练策略,以达到最佳的训练效果。其次,干预的最终目的是,长期有效地改善老年人的生活质量。这就要求知觉训练效果可以迁移到相似的认知活动中,并长期有效地保持下去。虽然在视听知觉训练的部分研究中,对保持性进行了初步探索(Anguera et al., 2021),但仅对训练后1~4周进行评价,更长时间的保持性尚待研究。未来研究可开展纵向追踪实验(3年以上),通过ERP技术和LORETA技术探索训练效果的保持性及其神经机制,并开展长期训练干预计划,尤其针对有视听感知能力明显下降的老年人,定期进行监测与风险评估,及时提供重复练习以巩固训练效果、降低致病风险,或为老年人开发提供长期视听训练资源和反馈的公益平台,以移动

设备的便捷性助力视听训练的保持性。

第三, 干预负荷与脑功能相关性。认知干预的强度和时长对干预效果有重要影响, 干预时间不足导致效果不明显; 干预时间过长导致老年人产生疲劳、眩晕、注意力不集中等问题, 效果不佳。当前视听知觉训练的强度和时长存在很大差异(10~90 分钟/每天, 合计 1~30 天), 其训练效果和迁移性也存在很大差异。由训练引起大脑神经元和突触发生形态改变与连接强度改变需要一定的时间强化(Fields, 2015; Monje, 2018); 短时间的训练可能会由于补偿效应而提高相关脑区的活动(Osaka et al., 2012), 但长时间的重复性训练往往会提高大脑补偿加工效率而降低相关脑区的活动(Belleville et al., 2014)。因此, 无法基于当前研究的横向对比考察干预负荷与脑功能的相关性。对于干预负荷的持续监测和调整是确保干预效果的重要步骤, 根据需要进行适当的调整和优化, 以确保干预的有效性和个性化。未来研究可通过正交实验对被试进行分组训练, 系统比较各组被试前测和后测相关脑功能的差异, 探讨健康老年人脑功能如何随着训练强度与时长变化而变化, 为制定合理干预周期奠定基础。该问题的研究为提出科学可靠的老年人脑保健干预方案提供理论依据, 对延缓老龄化进程、提高老年人生活质量有重要的指导意义。

第四, 视听知觉训练对神经退行性疾病患者的影响。在视听整合老化研究的基础上, 研究者们对有神经退行性疾病患者的视听整合进行研究。结果显示, MCI、AD 和 PD 患者均存在不同程度视听整合下降, 尤其是 PD 患者存在显著的视听整合障碍, 这可能会影响其对环境信息的加工与理解。视听训练作为一种非药物性干预方法, 在神经退行性疾病患者治疗和管理中具有潜在的益处。未来研究可针对神经退行性疾病患者这一特殊群体, 探究视听知觉训练对其整合能力的影响及其迁移效果, 以及可能的神经机制。根据此群体自身的特点, 增添视听训练的趣味性、竞争性和互动性, 设计自适应的知觉训练方案, 遵循从简单到复杂、从易到难的训练模式, 帮助老年人逐步适应和掌握训练技能, 以提高训练效果, 深入考察知觉训练是否可以靶向性增强视听整合能力, 从而评价跨视听通道知觉训练方案的有效性与潜在推广价值。

参考文献

- 高玉林, 唐晓雨, 刘思宇, 王爱君, 张明. (2023). 内源性空间线索有效性对老年人视听觉整合的影响. *心理学报*, 55(5), 671-684.
- 林崇德. (2018). *发展心理学* (第三版). 北京: 人民教育出版社.
- 吴梅红. (2023). 老龄化对 F0 轮廓线索在汉语言语识别去掩蔽作用的影响. *心理学报*, 55(1), 94-105.
- 杨伟平, 李胜楠, 李子默, 郭敖, 任艳娜. (2020). 老年人视听觉整合的影响因素及其神经机制. *心理科学进展*, 28(5), 790-799.
- 杨伟平, 杨项富, 李胜楠. (2023). 不同刺激条件下视听觉整合的年轻化研究. *心理科学*, 46(4), 848-856.
- 周衡, 何华, 于薇, 王爱君, 张明. (2020). 老年人声音诱发闪光错觉的大脑静息态低频振幅. *心理学报*, 52(7), 823-834.
- Andersen, G. J., Ni, R., Bower, J. D., & Watanabe, T. (2010). Perceptual learning, aging, and improved visual performance in early stages of visual processing. *Journal of Vision*, 10(13), 4.
- Anderson, N. D. (2019). Cognitive neuroscience of aging. *The Journals of Gerontology: Series B*, 74(7), 1083-1085.
- Anderson, S., White-Schwoch, T., Parbery-Clark, A., & Kraus, N. (2013). Reversal of age-related neural timing delays with training. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110(11), 4357-4362.
- Anguera, J. A., Boccanfuso, J., Rintoul, J. L., Al-Hashimi, O., Faraji, F., Janowich, J., ... Gazzaley, A. (2013). Video game training enhances cognitive control in older adults. *Nature*, 501(7465), 97-101.
- Anguera, J. A., Schachner, J. N., Simon, A. J., Volponi, J., Javed, S., Gallen, C. L., & Gazzaley, A. (2021). Long-term maintenance of multitasking abilities following video game training in older adults. *Neurobiology of Aging*, 103, 22-30.
- Belleville, S., Mellah, S., de Boysson, C., Demonet, J. F., & Bier, B. (2014). The pattern and loci of training-induced brain changes in healthy older adults are predicted by the nature of the intervention. *Plos One*, 9(8), e102710.
- Bieber, R. E., & Gordon-Salant, S. (2021). Improving older adults' understanding of challenging speech: Auditory training, rapid adaptation and perceptual learning. *Hearing Research*, 402, 108054.
- Chan, J. S., Kaiser, J., Brandl, M., Matura, S., Prvulovic, D., Hogan, M. J., & Naumer, M. J. (2015). Expanded temporal binding windows in people with mild cognitive impairment. *Current Alzheimer Research*, 12(1), 61-68.
- Chan, J. S., Wibral, M., Stawowsky, C., Brandl, M., Helbling, S., Naumer, M. J., ... Wollstadt, P. (2021). Predictive coding over the lifespan: Increased reliance on perceptual priors in older adults-a magnetoencephalography and dynamic causal modeling study. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 13, 631599.

- Chen, C., Liu, G. G., Shi, Q. L., Sun, Y., Zhang, H., Wang, M., ... Yao, Y. (2020). Health-related quality of life and associated factors among oldest-old in china. *The Journal of Nutrition, Health & Aging*, 24(3), 330–338.
- DeLoss, D. J., Watanabe, T., & Andersen, G. J. (2015). Improving vision among older adults: Behavioral training to improve sight. *Psychological Science*, 26(4), 456–466.
- De Nier, M. A., Gupta, P. B., Baum, S. H., & Wallace, M. T. (2018). Perceptual training enhances temporal acuity for multisensory speech. *Neurobiology of Learning and Memory*, 147, 9–17.
- De Nier, M. A., Koo, B., & Wallace, M. T. (2016). Multisensory perceptual learning is dependent upon task difficulty. *Experimental Brain Research*, 234(11), 3269–3277.
- Diaconescu, A. O., Hasher, L., & McIntosh, A. R. (2013). Visual dominance and multisensory integration changes with age. *Neuroimage*, 65, 152–166.
- Dias, J. W., McClaskey, C. M., & Harris, K. C. (2021). Audiovisual speech is more than the sum of its parts: Auditory-visual superadditivity compensates for age-related declines in audible and lipread speech intelligibility. *Psychology and Aging*, 36(4), 520–530.
- Diaz, M. T., & Yalcinbas, E. (2021). The neural bases of multimodal sensory integration in older adults. *International Journal of Behavioral Development*, 45(5), 409–417.
- Erbes, S., & Michelson, G. (2021). Stereoscopic visual perceptual learning in seniors. *Geriatrics*, 6(3), 94.
- Fearon, C., Butler, J. S., Newman, L., Lynch, T., & Reilly, R. B. (2015). Audiovisual processing is abnormal in Parkinson's disease and correlates with freezing of gait and disease duration. *Journal of Parkinson's Disease*, 5(4), 925–936.
- Ferguson, M. A., Henshaw, H., Clark, D. P., & Moore, D. R. (2014). Benefits of phoneme discrimination training in a randomized controlled trial of 50- to 74-year-olds with mild hearing loss. *Ear and Hearing*, 35(4), 110–121.
- Festa, E. K., Katz, A. P., Ott, B. R., Tremont, G., & Heindel, W. C. (2017). Dissociable effects of aging and mild cognitive impairment on bottom-up audiovisual integration. *Journal of Alzheimers Disease*, 59(1), 155–167.
- Fields, R. D. (2015). A new mechanism of nervous system plasticity: Activity-dependent myelination. *Nature Reviews Neuroscience*, 16(12), 756–767.
- Fostick, L., Taitelbaum-Swead, R., Kreidler, S., Zokraut, S., & Billig, M. (2020). Auditory training to improve speech perception and self-efficacy in aging adults. *Journal of Speech Language and Hearing Research*, 63(4), 1270–1281.
- Guo, A., Yang, W., Yang, X., Lin, J., Li, Z., Ren, Y., ... Wu, J. (2023). Audiovisual n-back training alters the neural processes of working memory and audiovisual integration: Evidence of changes in ERPs. *Brain Sciences*, 13(7), 992.
- Hampton, T. (2019). For Alzheimer pathology, light and sound stimulation may hold promise. *Jama-journal of the American Medical Association*, 322(1), 17–18.
- Han, X., Xu, J., Chang, S., Keniston, L., & Yu, L. (2021). Multisensory-guided associative learning enhances multisensory representation in primary auditory cortex. *Cerebral Cortex*, 32(5), 1040–1054.
- Heidari, A., Moossavi, A., Yadegari, F., Bakhshi, E., & Ahadi, M. (2020). Effect of vowel auditory training on the speech-in-noise perception among older adults with normal hearing. *Iranian Journal of Otorhinolaryngology*, 32(111), 229–236.
- Hirst, R. J., Setti, A., Kenny, R. A., & Newell, F. N. (2019). Age-related sensory decline mediates the sound-induced flash illusion: Evidence for reliability weighting models of multisensory perception. *Scientific Reports*, 9(1), 19347.
- Horsfall, R. P., Wuerger, S. M., & Meyer, G. F. (2021). Narrowing of the audiovisual temporal binding window due to perceptual training is specific to high visual intensity stimuli. *I-perception*, 12(1), 2041669520978670.
- Huang, H., Chen, G., Liu, Z.-Y., Meng, Q.-L., Li, J., Dong, H., ... Zheng, Y. (2023). Age-related hearing loss accelerates the decline in fast speech comprehension and the decompensation of cortical network connections. *Neural Regeneration Research*, 18(9), 1968–1975.
- Huang, J., Wang, E., Lu, K., Wang, A., & Zhang, M. (2022). Long-term training reduces the responses to the sound-induced flash illusion. *Attention Perception & Psychophysics*, 84(2), 529–539.
- Kawata, N. Y. S., Nouchi, R., Oba, K., Matsuzaki, Y., & Kawashima, R. (2022). Auditory cognitive training improves brain plasticity in healthy older adults: Evidence from a randomized controlled trial. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 14, 826672.
- Keil, J., & Senkowski, D. (2018). Neural oscillations orchestrate multisensory processing. *Neuroscientist*, 24(6), 609–626.
- La Rocca, D., Ciuciu, P., Engemann, D. A., & van Wassenhove, V. (2020). Emergence of β and γ networks following multisensory training. *Neuroimage*, 206, 116313.
- Laurienti, P. J., Burdette, J. H., Maldjian, J. A., & Wallace, M. T. (2006). Enhanced multisensory integration in older adults. *Neurobiology of Aging*, 27(8), 1155–1163.
- Lee, L., Har, A.W., Ngai, C., Lai, D.W., Lam, B.Y., & Chan, C.C. (2020). Audiovisual integrative training for augmenting cognitive- motor functions in older adults with mild cognitive impairment. *BMC Geriatrics*, 20(1), 64.
- Li, X., Allen, P. A., Lien, M.-C., & Yamamoto, N. (2017). Practice makes it better: A psychophysical study of visual perceptual learning and its transfer effects on aging. *Psychology and Aging*, 32(1), 16–27.
- Lidestam, B., Moradi, S., Pettersson, R., & Ricklefs, T. (2014). Audiovisual training is better than auditory-only training for auditory-only speech-in-noise identification.

- The Journal of the Acoustical Society of America*, 136(2), 142–147.
- Lin, F. V., Heffner, K. L., Ren, P., Tivarus, M. E., Brasch, J., Chen, D.-G. D., ... Tadin, D. (2016). Cognitive and neural effects of vision - based speed of processing training in older adults with amnesic mild cognitive impairment: A pilot study. *Journal of the American Geriatrics Society*, 64(6), 1293–1298.
- Lindenberger, U., & Baltes, P. B. (1994). Sensory functioning and intelligence in old age: A strong connection. *Psychology and Aging*, 9(3), 339–355.
- Mahoney, J. R., Cotton, K., & Verghese, J. (2019). Multisensory integration predicts balance and falls in older adults. *The Journals of Gerontology: Series A*, 74(9), 1429–1435.
- Matos Silva, C., Fernandes, C., Rocha, C., & Pereira, T. (2020). Study of acute and sub-acute effects of auditory training on the central auditory processing in older adults with hearing loss—A pilot study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(14), 4944.
- McGovern, D. P., Burns, S., Hirst, R. J., & Newell, F. N. (2022). Perceptual training narrows the temporal binding window of audiovisual integration in both younger and older adults. *Neuropsychologia*, 173, 108309.
- Michail, G., Senkowski, D., Niedeggen, M., & Keil, J. (2021). Memory load alters perception-related neural oscillations during multisensory integration. *The Journal of Neuroscience*, 41(7), 1505–1515.
- Mishra, J., Rolle, C. E., & Gazzaley, A. (2015). Neural plasticity underlying visual perceptual learning in aging. *Brain Research*, 1612, 140–151.
- Monje, M. (2018). Myelin plasticity and nervous system function. *Annual Review of Neuroscience*, 41(1), 61–76.
- O'Brien, J. L., Lister, J. J., Fausto, B. A., Clifton, G. K., & Edwards, J. D. (2017). Cognitive training enhances auditory attention efficiency in older adults. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 9, 322.
- O'Brien, J. M., Chan, J. S., & Setti, A. (2020). Audio-visual training in older adults: 2-interval-forced choice task improves performance. *Frontiers in Neuroscience*, 14, 569212.
- Osaka, M., Yaoi, K., Otsuka, Y., Katsuhara, M., & Osaka, N. (2012). Practice on conflict tasks promotes executive function of working memory in the elderly. *Behavioural Brain Research*, 233(1), 90–98.
- Peiffer, A. M., Mozolic, J. L., Hugenschmidt, C. E., & Laurienti, P. J. (2007). Age-related multisensory enhancement in a simple audiovisual detection task. *Neuroreport*, 18(10), 1077–1081.
- Powers, A. R., 3rd, Hevey, M. A., & Wallace, M. T. (2012). Neural correlates of multisensory perceptual learning. *Journal of Neuroscience*, 32(18), 6263–6274.
- Powers, A. R., 3rd, Hillock, A. R., & Wallace, M. T. (2009). Perceptual training narrows the temporal window of multisensory binding. *The Journal of Neuroscience*, 29(39), 12265–12274.
- Powers, A. R., 3rd, Hillock-Dunn, A., & Wallace, M. T. (2016). Generalization of multisensory perceptual learning. *Scientific Reports*, 6, 23374.
- Ren, Y., Guo, A., Xu, Z., Wang, T., Wu, R., & Yang, W. (2020). Age-related functional brain connectivity during audio-visual hand-held tool recognition. *Brain and Behavior*, 10(9), e01759.
- Ren, Y., Li, H., Li, Y., Xu, Z., Luo, R., Ping, H., ... Yang, W. (2023). Sustained visual attentional load modulates audiovisual integration in older and younger adults. *I-perception*, 14(1), 20416695231157348.
- Ren, Y., Li, S., Wang, T., & Yang, W. (2020). Age-related shifts in theta oscillatory activity during audio-visual integration regardless of visual attentional load. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 12, 571950.
- Ren, Y., Li, S., Zhao, N., Hou, Y., Wang, T., Ren, Y., & Yang, W. (2022). Auditory attentional load attenuates age-related audiovisual integration: An EEG study. *Neuropsychologia*, 174, 108346.
- Ren, Y., Suzuki, K., Yang, W., Ren, Y., Wu, F., Yang, J., ... Hirata, K. (2018). Absent audiovisual integration elicited by peripheral stimuli in Parkinson's disease. *Parkinson's Disease*, doi: 10.1155/2018/1648017.
- Ren, Y., Xu, Z., Lu, S., Wang, T., & Yang, W. (2020). Stimulus specific to age-related audio-visual integration in discrimination tasks. *I-Perception*, 11(6), 2041669520978419.
- Schneider, B. A., & Pichora-Fuller, M. K. (2000). Implications of perceptual deterioration for cognitive aging research. In F. I. M. Craik & T. A. Salthouse (Eds.), *Handbook of aging and cognition* (pp. 155–219). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Sürig, R., Bottari, D., & Röder, B. (2018). Transfer of audio-visual temporal training to temporal and spatial audio-visual tasks. *Multisensory Research*, 31(6), 556–578.
- Seitz, A. R., Kim, R., & Shams, L. (2006). Sound facilitates visual learning. *Current Biology*, 16(14), 1422–1427.
- Setti, A., Finnigan, S., Sobolewski, R., McLaren, L., Robertson, I. H., Reilly, R. B., ... Newell, F. N. (2011). Audiovisual temporal discrimination is less efficient with aging: An event-related potential study. *Neuroreport*, 22(11), 554–558.
- Setti, A., Stapleton, J., Leahy, D., Walsh, C., Kenny, R. A., & Newell, F. N. (2014). Improving the efficiency of multisensory integration in older adults: Audio-visual temporal discrimination training reduces susceptibility to the sound-induced flash illusion. *Neuropsychologia*, 61, 259–268.
- Slade, K., Plack, C. J., & Nuttall, H. E. J. T. i. N. (2020). The effects of age-related hearing loss on the brain and cognitive function. *Trends in Neurosciences*, 43(10), 810–821.
- Stein, B. E., & Meredith, M. A. (1993). *The merging of the senses*. MA: Massachusetts Institute of Technology (MIT)

- Press.
- Stein, B. E., Stanford, T. R., & Rowland, B. A. (2020). Multisensory integration and the society for neuroscience: Then and now. *The Journal of Neuroscience*, 40(1), 3–11.
- Stevenson, R. A., Baum, S. H., Krueger, J., Newhouse, P. A., & Wallace, M. T. (2018). Links between temporal acuity and multisensory integration across life span. *Journal of Experimental Psychology Human Perception & Performance*, 44(1), 106–116.
- Stevenson, R. A., Wilson, M. M., Powers, A. R., & Wallace, M. T. (2013). The effects of visual training on multisensory temporal processing. *Experimental Brain Research*, 225(4), 479–489.
- Theves, S., Chan, J. S., Naumer, M. J., & Kaiser, J. (2020). Improving audio-visual temporal perception through training enhances beta-band activity. *Neuroimage*, 206, 116312.
- Toovey, B. R. W., Kattner, F., & Schubert, T. (2021). Cross-modal transfer following auditory task-switching training in old adults. *Frontiers in Psychology*, 12, 615518.
- Tran, T. T., Rolle, C. E., Gazzaley, A., & Voytek, B. (2020). Linked sources of neural noise contribute to age-related cognitive decline. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 32(9), 1813–1822.
- Tye-Murray, N., Spehar, B., Barcroft, J., & Sommers, M. (2017). Auditory training for adults who have hearing loss: A comparison of spaced versus massed practice schedules. *Journal of Speech Language and Hearing Research*, 60(8), 2337–2345.
- Wu, J., Yang, J., Yu, Y., Li, Q., Nakamura, N., Shen, Y., ... Abe, K. (2012). Delayed audiovisual integration of patients with mild cognitive impairment and Alzheimer's disease compared with normal aged controls. *Journal of Alzheimer's Disease*, 32(2), 317–328.
- Wu, J., Yang, W., Gao, Y., & Kimura, T. (2012). Age-related multisensory integration elicited by peripherally presented audiovisual stimuli. *Neuroreport*, 23(10), 616–620.
- Xue, L., Lv, Y., & Zhao, J.-G. (2023). Neural attenuation: Age-related dedifferentiation in the left occipitotemporal cortex for visual word processing. *Cerebral Cortex*, 33(10), 6111–6119.
- Yang, W., Guo, A., Li, Y., Qiu, J., Li, S., Yin, S., ... Ren, Y. (2018). Audio-visual spatiotemporal perceptual training enhances the p300 component in healthy older adults. *Frontiers in Psychology*, 9, 2537.
- Yang, W., Guo, A., Yao, H., Yang, X., Li, Z., Li, S., ... Zhang, Z. (2022). Effect of aging on audiovisual integration: Comparison of high- and low-intensity conditions in a speech discrimination task. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 14, 1010060.
- Yang, W., Li, Z., Guo, A., Li, S., Yang, X., & Ren, Y. (2021). Effects of stimulus intensity on audiovisual integration in aging across the temporal dynamics of processing. *International Journal of Psychophysiology*, 162, 95–103.
- Yotsumoto, Y., Chang, L. H., Ni, R., Pierce, R., Andersen, G. J., Watanabe, T., & Sasaki, Y. (2014). White matter in the older brain is more plastic than in the younger brain. *Nature Communications*, 5, 5504.
- Zaltz, Y., & Kishon-Rabin, L. (2022). Difficulties experienced by older listeners in utilizing voice cues for speaker discrimination. *Frontiers in Psychology*, 13, 797422.
- Zerr, M., Freihorst, C., Schütz, H., Sinke, C., Müller, A., Bleich, S., ... Szycik, G. R. (2019). Brief sensory training narrows the temporal binding window and enhances long-term multimodal speech perception. *Frontiers in Psychology*, 10, 2489.
- Zhang, B., Gao, Z., Wang, X., Yao, Z., Xu, G., Liang, Z., & Zhou, Y. (2020). Aging affects fine and coarse coding of orientation information in macaque primary visual cortex. *Neuroscience*, 438, 50–59.
- Zilber, N., Ciuciu, P., Gramfort, A., Azizi, L., & van Wassenhove, V. (2014). Supramodal processing optimizes visual perceptual learning and plasticity. *Neuroimage*, 93 (Pt 1), 32–46.

The facilitation effect of audiovisual perceptual training on the cognitive ability in older adults and its mechanisms

YANG Weiping^{1,4}, LI Ruizhi¹, LI Shengnan², LIN jinfei¹, REN Yanna³

(¹ Department of Psychology, Faculty of Education, Hubei University, Wuhan 430062, China)

(² Cognitive Neuroscience Laboratory, Graduate School of Interdisciplinary Science and Engineering in Health Systems, Okayama University, Okayama 700-8530, Japan) (³ Department of Psychology, College of Humanities and Management, Guizhou University of Traditional Chinese Medicine, Guiyang 550025, China)

(⁴ Brain and Cognition Research Center (BCRC), Faculty of Education, Hubei University, Wuhan 430062, China)

Abstract: Older adults experience a significant decline in vision and hearing with aging, but the visual and auditory perceptual training has shown potential for improving cognitive functions to some extent. Studies have revealed that audiovisual cross-modal interactions have a compensatory and facilitative effect to

alleviate the decreased perceptual ability of single-modality in older adults. Audiovisual perceptual training in older adults primarily focuses on audiovisual sensitivity, namely the audiovisual temporal binding window. The results indicate that perceptual training significantly narrows the temporal binding window, enhancing the brain's neural processing efficiency for audiovisual stimuli, and demonstrating the advantages of cross-modal training. Future research should design precise and efficient audiovisual perceptual training programs, leading to targeted enhancement in the audiovisual integration ability and elucidating neural mechanisms underlying compensatory effects in older adults. This will provide a scientific basis and new perspectives for the development of perceptual intervention products, which holds significant practical implications for improving cognitive functions and physical and mental health in older adults.

Keywords: perceptual training, older adults, audiovisual integration, facilitative effect, targeted enhancement

附录

附表 1 文中选取文献的描述性资料

研究者	被试 年龄	干预方案		测试任务	训练效应		
		任务范式	干预时间	训练频率	干预效应	近迁移效应	远迁移效应
Andersen 等 (2010)	71.2	纹理辨别任务; 字母辨别任务 $n = 9$ 、 $n = 8$	2 天	12 次	纹理识别任务和 UFOV 测试	SOA 阈值	-
Yotsumoto 等(2014)	72.2	视觉知觉训练 $n = 7$ 天	7 天	45 分钟/次, 3 次/周	纹理辨别任务	SOA 阈值; V1、V2、V3 三个视觉区域的 FA 值	-
DeLoss 等 (2015)	71.23	定向辨别任务 $n = 16$	> 7 天	1.5 小时/次, 1 次/天	两个方向的定向辨别任务	噪音条件下阈值	-
Erbes 等 (2021)	85.90	使用视觉训练仪进行动态立体视觉训练 $n = 11$	6 周	2 次/周	动态训练(显示旋转的球)和静态测试	立体视觉敏感度和相应的反应时间	6 个月
Li 等(2017)	60~86	定向辨别任务 $n = 20$	3 天	1 次/天	视觉工作记忆任务	方位辨别阈值和反应时间、正确率	克服工作记忆容量的限制
Mishra 等 (2015)	71.93	以光栅刺激为材料的运动性扫描视觉任务 $n = 15$	3~5 周	40 分钟/次, 3~5 次/周	感知辨别任务、延迟识别工作记忆任务	准确性, ERP 峰值(N1, N2 成分)	工作记忆、注意力分配改善
Lin 等 (2016)	72.9	计算机化 VSOP 训练 $n = 10$	6 周	1 小时/次, 4 次/周	有用视野(UFOV)、日常生活中工具性活动(TIADL)	反应时; 神经成像数据	注意力、工作记忆和日常生活中的工具性活动(IADLs)改善
Fostick 等 (2020)	65.45	时间顺序判断任务 (TOJ), $n = 28$	14 天	-	听觉时间加工	时间顺序判断阈值, 强度辨别阈值	时间顺序判断训练 90 天
Anderson 等(2013)	63.00	基于听觉的认知训练 (Brain Fitness), $n = 35$	8 周	每周 5 天, 每天 1 小时	言语感知; 听觉短时记忆; 处理速度	噪音言语感知, 短时记忆, 处理速度	-
Kawata 等 (2022)	68.07	听觉工作记忆训练, $n = 13$ 、听觉短时记忆训练 $n = 14$, 听觉注意力训练, $n = 14$	4 周	每周 2 天, 每次 1 小时	工作记忆, 情景记忆, 注意力测试, 纯音听力测定	听觉阈值, 左颞叶的灰质体积和功能连接性	-

续表

研究者	被试 年龄	干预方案			测试任务	训练效应		
		任务范式	干预时间	训练频率		干预效应	近迁移效应	远迁移效应
O'Brien 等 (2017)	69.69	听觉认知训练 (ACT), $n = 9$	10 周 20 小时	每周 2 天, 每 次 1 小时	听觉 Oddball	听觉加工、处理速度	-	P3b 振幅下降
Heidari 等 (2020)	67.6	元音听觉训练, $n = 16$	5 周 15 小时	每周 3 次, 每 次 1 小时	噪音言语感知, 噪音言语感知、空间和质量量表问卷, 听觉脑干反应	噪音言语感知、空间和质量量表、基频	-	-
Matos Silva 等 (2020)	78.6	第 1 组听觉训练(噪音语音), $n = 7$; 第 2 组 (G2) 过滤语音训练, $n = 8$	5 周 10 次	每周 2 次, 每 次 30 分钟	噪音言语感知	噪音言语感知	-	3 个月
Ferguson 等 (2014)	50~70	听觉音素辨别训练, 即时训练组, $n = 23$; 延迟训练组, $n = 21$	8~12 周	即时训练组 第 1 和 4 周进 行训练, 延迟 训练组第 5 和 第 8 周训练	音素辨别、言语感知、认知、听力障碍自我报告	音素辨别能力	-	即时训练组在听力障碍的自我报告、注意力分散和工作记忆方面改善
Tye-Murray 等 (2017)	64.6	听觉训练, 间隔训练组, $n = 24$; 集中训练组, $n = 23$	20 小时	集中训练组 的每周五次, 持续两周。间隔训练组每周两次, 持续 10 周	适当迁移处理	语音识别能力	-	3 个月
Katner 等 (2020)	19~58	听觉转换训练, 混合任务训练组, $n = 19$	4 天	每次 30~40 分钟	听觉任务转换, 视觉任务转换, 数字 stroop, 数字跨度任务, Corsi Span 任务, 流体智力测量	听觉混合任务成本	-	听觉任务转换训练可以降低未经训练的视觉任务的混合成本。在工作记忆、抑制或流体智力无迁移效应

续表

研究者	被试 年龄	干预方案			测试任务	训练效应		
		任务范式	干预时间	训练频率		干预效应	近迁移效应	远迁移效应
Setti 等 (2014)	实验组： 72.75 对照组： 75.8	视听时间顺序辨别任务， $n = 34$	5 天	1 次/1 天 每次 30 分钟	视听时间顺序辨别任务 声音诱导闪光错觉	75% 参与者的完成训练，训练后时间顺序判断任务表现出较低的错觉敏感性，辨别力 d' 提高。	训练成功的参与者与未训练的参与者和对照组相比，错觉易感性降低。训练后错觉敏感性与训练后时间绑定窗口大小相关	-
Yang 等 (2018)	68.1 20.1	视听辨别任务， $n = 52$	1 月 4 天 / 周	每天持续 10-20 分钟	视听辨别任务	老年人和年轻人都提高了任务表现	-	(1) 老年人训练后的 P300 振幅明显高于训练前的。对照组在测试前和测试后无差异。 (2) 老年人和年轻人训练后的任务准确率显著高于训练前。
O'Brien 等 (2020)	74.17 24.2	视听同时性判断任务， $n = 43$	3 天	1 次/1 天	视听同时性判断任务 声音诱导闪光错觉	老年人和年轻人在训练均有更高的准确性	(1) 老年人的时间绑定窗口从训练前到训练后显著降低。 (2) 训练后两组的知觉敏感性均无变化。	-
Mc Govern 等 (2022)	65~85 19-31	视听二择迫选任务， $n = 55$	3 天	1 次/1 天	-	两个年龄组的阈值均得到提高	(1) 裂变和融合错觉的易感性均有所降低。 (2) 两个年龄组的裂变错觉的时间绑定窗口显著缩小，而融合错觉的时间绑定窗口仅在年轻人中显著缩小。	-
Lee 等 (2020)	63.3 64.7	视听综合训练	3 次	2h/次	Stroop (dots)测试的 注意控制能力测试 Purdue Pegboard 的非优势手上肢功能测试	-	MCI 参与者的注意力控制能力和非优势手上肢功能方面比健康老年人得到显著改善	-

续表

研究者	被试 年龄	干预方案			测试任务	训练效应			长期效应
		任务范式	干预时间	训练频率		干预效应	近迁移效应	远迁移效应	
Powers 等 (2009)	20.73	视听同步判断任务, 5 天 $n = 22$; 二择迫选任务, $n = 20$	每天 1h	每天 1h	视听同步判断任务, 二择迫选任务	显著提高任务准确性, 视听时间绑定窗口缩小。	-	-	训练效果持续一周。
Powers 等 (2012)	23.4	同步判断任务, $n = 13$ 。	1 天	1 小时	同步判断任务	训练后, 颞后上沟 (pSTS) 和听觉和视觉皮层区域的 BOLD 显著下降, 训练后静息状态和有效连通性皮层之间的耦合显著增加。	-	-	-
Powers 等 (2016)	20.3	视听二择迫选任务, 5 天 $n = 22$; 同步判断任务, $n = 20$ 。	5 天	每天 1h	声音诱发闪光错觉任务	训练后辨别闪光能力提高(d')。视听时间绑定窗口缩小。	无迁移变化	-	-
Süting, Bottari 和 Röder (2018)	25.6	同时性判断训练, 10 天 $n = 21$	10 天	5 次	冗余目标任务 定位任务	实验组(自适应)比对照组(随机呈现)学习更快。辨别阈值在第一次训练后下降并保持不变。	空间视听腹语效应的大小增加	视听自适应训练组的训练效应转移到冗余目标任务上。	-
Zerr 等 (2019)	22.60	同时性判断任务, 3 天 $n = 40$	3 天	1 次/一天, 4-5 分钟/每次	视听同时性判断任务 双刺激任务 单词识别任务	提高任务准确率。视听训练比单感觉训练更能明显缩小时间绑定窗口。困难难度训练组被试训练后任务准确性提高, 训练后时间绑定窗口缩小。简单难度组训练后时间绑定窗口显著增大。	没有向 DFIT 任务出现迁移; 语音感知时间绑定窗口变窄。	-	7 天后效果持续存在。
De Nierar 等 (2016)	20.21	同时性判断任务, 1 天 $n = 51$	1 天	1.5~2.0 小时	同时性判断任务	困难难度训练组被试训练后任务准确性提高, 训练后时间绑定窗口缩小。简单难度组训练后时间绑定窗口显著增大。	-	-	-
De Nierar 等 (2018)	20.61	简单刺激视听同时性判断任务组, $n = 8$; 语音刺激视听同时性判断任务组, $n = 11$; 视觉检测任务, $n = 9$	3 天	1 次/1 天	视听同时性判断任务	两个训练组在训练任务的时间敏锐度上均有提高。对照组时间绑定窗口未见缩小。	没有将训练转移到未训练的任务	-	闪光和声音任务训练组训练效果在 1 周后仍然持续。

研究者	被试 年龄	干预方案			测试任务	训练效应			续表
		任务范式	干预时间	训练频率		干预效应	近迁移效应	远迁移效应	
Theves 等 (2020)	20~38	视听同时性判断任务组, $n = 20$; 无反馈视听同时性判断任务组, $n = 16$; 听觉 oddball 检测任务, $n = 16$	2 天	1 次/一天 (30~35 分钟)	视听同时性判断任务	(1)有反馈训练显著缩小时间绑定窗口(平均降低 44%) (2)无反馈训练显著缩小时间绑定窗口, 但幅度较小。 听觉 oddball 训练组 TBW 没有变化。 (3)训练后, 颞叶敏感度的增加 (80~410 ms 时中央和顶叶脑区 β 波段活动增加)	-	-	-
Horsfall 等 (2021)	21.03	明亮刺激的视听同时性判断任务组, $n = 11$; 暗淡刺激视听同时性判断任务组, $n = 10$	1 天	1 次/一天	声音诱发闪光错觉任务	明亮刺激训练导致使用明亮刺激的时间绑定窗口减少。微弱刺激训练的组在训练后时间绑定窗口没有减少。	明亮刺激训练效果没有转移到昏暗刺激下的表现, 对时间绑定窗口没有影响。	-	-
Huang 等 (2021)	21.58	SIFI 任务训练组, $n = 26$; 只进行前后测的对照组, $n = 28$	7 天	1 次/一天	声音诱发闪光错觉任务	被试对融合和裂变错觉的敏感性降低。训练效果呈线性趋势, 5 日后趋于稳定。	与对照组相比, 训练组在裂变错觉上的准确性有提高, 但在融合错觉上没有提高。	-	-
La Rocca 等 (2020)	22.1	视听跨模式特征匹配任务组, $n = 12$; 单视觉运动一致组, $n = 12$; 听觉噪音与视觉刺激不相关组, $n = 12$	1 天	1 次/一天 1 次/20 分钟	视觉运动一致任务	训练后, 神经网络包括前额叶、顶叶和视觉皮层在 γ (60~120Hz) 和 β (15~30Hz) 波段出现大规模同步			