

工作记忆负荷对大学生跨通道视听情绪整合的影响研究

李潇羽, 李妍, 熊灿婷, 方小峰, 王思琦, 吴函芮, 章玲

贵州中医药大学人文与管理学院, 贵州 贵阳

收稿日期: 2026年5月25日; 录用日期: 2026年6月30日; 发布日期: 2026年7月14日

摘要

目的: 探讨不同工作记忆负荷对大学生跨通道情绪整合的影响。方法: 采用2 (低、高负荷) $\times$ 3 (正性、中性、负性情绪) $\times$ 3 (视觉、听觉、视听)被试内设计, 以反应时和正确率为指标, 结合竞争模型(Race Model)分析。结果: 高负荷显著延长反应时, 但不影响正确率; 正性情绪表现出加工优势; 负荷与情绪效价交互显著, 高负荷对负性情绪整合干扰更强; 视听整合稳定存在, 低负荷下优势更明显。结论: 工作记忆负荷可调节大学生视听情绪整合, 负性情绪更易受认知资源影响, 结果支持认知资源有限理论与多感觉整合竞争模型。

关键词

工作记忆负荷, 跨通道情绪整合, 视听整合, 竞争模型, 大学生

The Effect of Working Memory Load on College Students' Cross-Modal Audio-Visual Emotional Integration

Xiaoyu Li, Yan Li, Canting Xiong, Xiaofeng Fang, Siqi Wang, Hanrui Wu, Ling Zhang

College of Humanities and Management, Guizhou University of Traditional Chinese Medicine, Guiyang Guizhou

Received: May 25, 2026; accepted: June 30, 2026; published: July 14, 2026

Abstract

Objective: To explore the influence of various working memory loads on cross-modal emotions integration among college students. **Methods:** The study employed a within-subjects design with 2 (low-load, high-load), 3 (positive emotion, neutral emotion, negative emotion), and 3 (visual stimulus,

文章引用: 李潇羽, 李妍, 熊灿婷, 方小峰, 王思琦, 吴函芮, 章玲(2026). 工作记忆负荷对大学生跨通道视听情绪整合的影响研究. *心理学进展*, 16(7), 152-164. DOI: 10.12677/ap.2026.167346

auditory stimulus, audio-visual stimulus). Response time and accuracy were used as the indicators and the race model was used in the analysis. Results: High load significantly prolonged the reaction time, but did not affect the accuracy; positive emotions show processing advantages; the interaction between load and emotional valence is significant, and high load has stronger interference on negative emotional integration. Audiovisual integration is stable, and the advantage is more obvious under low load. Conclusion: Working memory load can regulate college students' audio-visual emotional integration, and negative emotions are more susceptible to cognitive resources. The results support the theory of limited cognitive resources and the multi-sensory integration race model.

Keywords

Working Memory Load, Cross-Modal Emotional Integration, Audio-Visual Integration, Race Model, College Students

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

1.1. 研究背景

为了全面推进健康中国 2030 战略和新时代学生心理健康工作,大学生作为新一代国家建设和发展的主力军,其心理健康已经成为了国家重点关注的民生议题之一。为了全面推进健康中国 2030 战略和新时代学生心理健康工作,大学生群体的心理素养与社会适应能力培养已成为重点议题。教育部等部门印发的《全面加强和改进新时代学生心理健康工作专项行动计划(2023—2025 年)》¹等文件明确提出,要完善心理健康教育体系,着重提升学生情绪调控、人际交往与认知加工能力。

当代社会竞争日趋激烈,大学生承受着各种考试的压力、读研备战的压力、就业规划的压力等多重压力,其心理应激水平较高,工作记忆负担较重,在课堂上由于经常进行多任务处理并且接受了大量的片段式的刺激而消耗了大量的认知容量,造成难以专注地注意、较慢的反应速率以及较低的情感辨识度;在人与人之间的交流当中,情绪的认知主要是通过不同感觉通道(如视觉或听觉)的信息综合来实现,在线下的面对面聊天或是在线上的网络沟通中,人们都需要分析他人脸部的表情以及声音的音调才能正确判断出别人的心情以及意图。如果认知资源被占用过多,则容易导致情绪跨通道整合的能力降低从而产生沟通困难、人际关系紧张甚至心理健康问题和社会适应不良。

1.2. 国内外研究现状

1.2.1. 工作记忆的内涵与测量范式

工作记忆(Working memory, WM)是个体在执行认知任务过程中暂时储存与加工信息的能量有限的系统,被认为是人类认知活动的核心,是学习、推理、问题解决和智力活动的重要成分并在许多复杂的认知活动中起着重要作用(Solesio-Jofre et al., 2017; Soveri et al., 2017; Yuan et al., 2023; Shipstead et al., 2012)。n-back 范式(N-back paradigm)因其可精确调控记忆负荷(如 1-back 需保持单步信息, 2-back 需持续更新两步信息)而成为经典研究工具(Jaeggi et al., 2010; 何仁义, 2016; 赵鑫, 周仁来, 2011)该范式常被用于认知心理学神经科学等领域的研究,以探究工作记忆的机制个体差异以及与其他认知能力的关系等。

¹https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202305/content_6857361.htm

1.2.2. 工作记忆负载对视听整合的影响研究

基于 N-back 以及 Go/No-go 相结合范式(Breitling-Ziegler et al., 2020; Alegre et al., 2006; He et al., 2023)的研究显示, 工作记忆负荷(Michail et al., 2020; Lv et al., 2010)会影响人脑对于视听情绪信息进行整合的能力, 而且不同类型的情绪(例如积极情绪和消极情绪)在其中起到的作用是不一样的。一般而言, 在工作记忆负担较重的情况下, 人们对于消极情绪的加工容易受到抑制。而有一些国外学者也关注到个性特征或者认知能力等因素会对在高工作记忆负荷下视听情绪整合产生怎样的影响(Zhao et al., 2023)。有学者认为, 在多个任务同时进行, 由于前额叶皮层(Prefrontal Cortex, PFC)分配给与情绪有关的大脑区域的能量不足导致情绪辨别率下降(Braver et al., 1997; Brown et al., 2024)。目前已经证明, 右前额叶皮层的激活会随着负荷增加而增强, 直到达到一个“极限点”, 之后表现和激活都会下降。与其他工作记忆研究一样, Callicott, J.H 等的研究在区域网络中发现了激活, 特别是包括前额叶、前运动、扣带回周围和顶叶皮层。与其他利用 n-back 任务的研究相比, Callicott, J.H 的研究发现前额叶皮层信号在最高工作记忆负荷下下降(Michail & Keil, 2018), 同时性能(准确性)显著下降。如前所述, 区域内和区域之间的生理反应存在异质性, 在较低的工作内存负载下, 性能和激活之间存在紧密的相关性。然而, 在更高的负载下, 这种关系破裂了(Callicott et al., 1999)。工作内存负载的增加与准确性下降有关(标准差的平均性能 $\pm$: 0 B, 99% $\pm$ 3%; 1 B, 95% $\pm$ 6%; 2 B, 88% $\pm$ 15%; 和 3 B, 81% $\pm$ 23%)。负载敏感位点的信号增加, 随着容量的达到而达到峰值和下降(即“容量受限”), 在所有负载水平上保持不变的记忆位置(“容量无关”), 以及继续激活的记忆位置(“容量不受限制”)(Ahmed & de Fockert, 2012)。

1.2.3. 不同群体的跨通道整合差异研究

视听整合是生物体利用视听信息进行跨感官整合而形成一种统一知觉的过程(Ren et al., 2022; Ren et al., 2020)。其中, 视听情绪整合是多模态信息处理的重要一环, 即把面部表情等视觉线索与语音音调等听觉线索结合起来从而达到情绪上的整合。它的神经基础主要是前额叶、颞上回以及梭状回之间相互作用[18]。未来需要关注不同类型的情绪对应的大脑区域被激活的程度以及个体差异(例如年龄和性别), 并且结合集成的功能性近红外光谱成像(fNIRS)和脑电图(EEG), 探讨工作记忆负荷下的情绪管理以及可能产生的脑可塑性变化。另外, 利用虚拟现实技术搭建更加贴近真实的实验环境, 可以大大拓宽以往局限于实验室的研究范围, 有利于研究结果的应用到现实生活中去(Ren et al., 2022; Ren et al., 2020)。

情绪对工作记忆的影响体现在情绪状态上, 由于抑郁、焦虑问题困扰着当代年轻人, 因此目前大多数研究探索消极情绪对工作记忆的影响(陈曦, 2018; 王会会, 2021)。个体差异研究方面国外关注不同年龄性别群体在工作记忆负载下情绪视听整合能力的区别, 国内关于老年人的情绪视听整合的研究逐渐深入, 同样青少年视听情绪整合的研究也在逐渐深入(陈岩, 2021), 为了解青少年认知发展与心理健康提供了新视角, 使用事件相关的实验方法以及 n-back 任务来考察人们的在各种情况下的情绪的选择性注意以及控制的能力有助于我们更好地认识认知的发展以及心理健康的关系。而情绪面孔识别任务是探究视听情绪整合中的多模态情绪信息的整合机制。基本情绪理论认为, 情绪面孔识别(陈海滔等, 2025; 王卓, 2024; 于明阳, 李富洪, 曹碧华, 2018; 袁家静, 2023; 赵辉等, 2019), 是一个自动化的加工过程, 不需要耗费个体的注意资源, 甚至在无意识的状态就可以快速地识别他人的情绪面孔, 而语言或者情绪词是情绪面孔识别的附属现象。

Izard 等人认为人类在进化过程中为了适应环境会不断进化, 而表情就是遗留下来的适应痕迹, 情绪不仅仅是人脑低级脑结构中固定下来的预置模式, 也是人类大脑的产物, 并且在人类生存和适应环境中起着核心的作用。美国心理学家 Ekman 也认为情绪面孔的表达具有普遍性, 并在识别情绪面孔时具有跨文化的一致性(曹黎, 2019)。通过视觉线索对他人情绪的准确判断, 能够帮助个体采取合适的行为并调节

自身的情绪以应对社会环境。有研究发现, 新生儿甚至胎儿就已经拥有了通过聆听声音的韵律来识别个体情绪的能力, 而且随着年龄的增长, 这种识别情绪的能力会不断提高(陈顺森等, 2011)。目前关于多动症儿童的研究相较更多, 其中曾敏怡(2018)的研究涉及了注意缺陷多动儿童情绪面孔识别的事件相关电位相关研究。ERP 的研究结果显示, 多动症儿童在情绪面孔加工最早期即无意识知觉阶段, 对于愤怒面孔感知能力降低; 而进入到面部结构编码阶段之后, 虽然也表现出对面孔不同部分过度注意倾向, 但是却无法区分不同的情绪(消极、积极或者中性), 直到情绪高层次的认知加工上, 他们对愤怒和快乐面孔感兴趣程度不高并且反应冷淡。这就说明了, 多动症患者在情绪面孔识别上有一定特点: 既有对某种情绪(如愤怒)早期感知不足问题, 又有后期注意资源分配不合理以及情绪体验减弱情况。

传统的关于工作记忆的研究大多采用固定容量的观点进行研究, 而近年来的研究更多倾向于动态资源分配的观点, 在这种观点下, n-back 任务以其重要的作用揭示了在高负荷条件下前额叶-顶叶之间竞争对于情绪整合的作用。目前的研究几乎都是基于静态的实验范式并且仅限于健康的被试者, 这就很难去解释现实生活中人们所面临的各种各样的音频、视频的情绪信息是如何相互影响的。因此本文将以大学生作为研究对象, 在此基础上加以不同的被试条件提高其适用范围的同时结合计算建模的方法(比如预测编码理论)以及生态学的方法探讨不同的认知负荷对大脑重编造成的影响以及对社交障碍患者治疗提供一定的参考依据。

1.2.4. 认知负荷动态调节下视听不一致对工作记忆的跨通道干扰效应研究

He 等人在 2025 年于《Frontiers in Psychology》杂志上发表的文章(He et al., 2025)报道了他们利用 2-back + Go/NoGo 结合范式以及 120 名大学生成为被试者进行两个实验来探究不同认知负荷下视听信息不一致性对工作记忆影响的研究结果。第一个实验使用字母和数字混合刺激建立低负载环境, 发现主要是视觉对听觉单向干扰效应, 而且听觉对于视觉工作记忆干扰较小; 而在第二个实验中加入了复杂的航空仪表盘图形作为高负载环境中刺激物, 则观察到了显著双向相互作用——即视听模式之间相互抑制作用随任务难度增大而增强。这说明以往认为的感觉通道特异性占优观点是错误的, 认知负荷才是决定跨模态干扰大小的关键因素, 在低负荷状态下人们可以运用策略性地分配注意力使自己更加关注视觉; 但在高负荷情况下由于整体认知资源不足导致听觉和视觉同时受到影响, 出现两种模式竞争局面。该研究丰富我们对于工作记忆内多种感知整合认识的同时也给未来这方面研究打下了坚实基础。

2. 方法

2.1. 被试

实验采用 G*Power3.1 估算最小样本容量。在保证 0.25 的中等效应量的前提之下, 设 $\alpha = 0.05$, $1 - \beta = 0.9$, 计算最小样本量为 21。在贵州中医药大学招募 25 名被试, 所有被试听力正常, 其视力或矫正视力正常, 均为右利手, 未患精神疾病, 无脑部损伤历史。之前均无参加类似实验。

2.2. 实验装置与材料

本实验程序编写以及数据收集均使用 E-Prime3.0, 刺激呈现于 Dell SE2719HR 型液晶显示器上, 可视尺寸为 27 英寸, 分辨率为 1920×1080 像素, 刷新率为 60 Hz, 在黑暗、隔音环境中进行, 屏幕背景为灰色, 被试眼睛距屏幕中心约 60 cm, 声音刺激约 65 dB。

本研究采用情绪视听整合和 n-back 任务双任务实验, 视听情绪整合任务采用 Go/NoGo 任务范式, 任务中视觉材料从中国化面孔情绪图片系统 CFAP 选取包括正性(高兴面孔)、负性(悲伤面孔)、中性(平静面孔)三种情绪面孔, 共有 12 张情绪面孔图片, 男女比例为 50%, 并将图片亮度、对比度和尺寸 AdobePhotoShop 图像处理软件中调整统一。听觉材料选自蒙特利尔情绪声音刺激库, 包括正性(高兴声

音)、负性(悲伤声音)、中性(平静声音)三种情绪声音,共有 6 个声音,男女比例为 50%,之后经 Adobe Audition CC 软件进行处理,截取声音时长为 1000 ms,音量均控制在 60 dB。视觉刺激(V)为情绪面孔图片,听觉刺激(A)为情绪声音,视听觉刺激(AV)为视觉刺激和听觉刺激组合而成;要求被试在刺激呈现后快速、准确地识别情绪,并做出反应(正性情绪按鼠标左键,负性情绪按鼠标右键,中性情绪不做反应)。n-back 任务中的视觉刺激由字母组成(C, D, G, K, P, Q, T, V)。

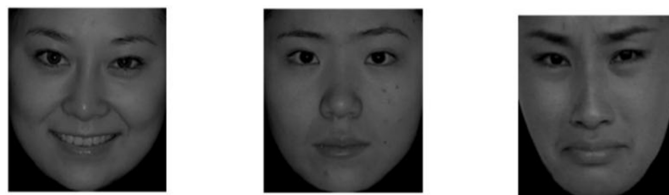


Figure 1. Example of emotional face pictures
图 1. 情绪面孔图片示例

2.3. 实验设计

实验采用 2 (视觉工作记忆负荷: 低负荷、高负荷) $\times$ 3 (情绪效价: 正性情绪、中性情绪、负性情绪) $\times$ 3 (刺激类型: 听觉刺激、视觉刺激、视听觉刺激) 的被试内实验设计。

2.4. 情绪视听整合和 N-Back 任务双任务实验

本研究采用的是情绪视听整合和 n-back 任务双任务实验,通过 n-back 任务控制注意资源,通过情绪整合任务考察不同条件下的视听整合效应。研究根据 n-back 任务类型将实验分为三组: Exp1 (低负荷工作记忆)、Exp2 (高负荷工作记忆),每个实验 36 分钟,其中包括练习和正式实验两部分。每个实验开始之前都会有练习环节以确保被试理解实验流程,练习结束后按“空格键”进入正式实验;如果需要重复练习则按“Q”键。

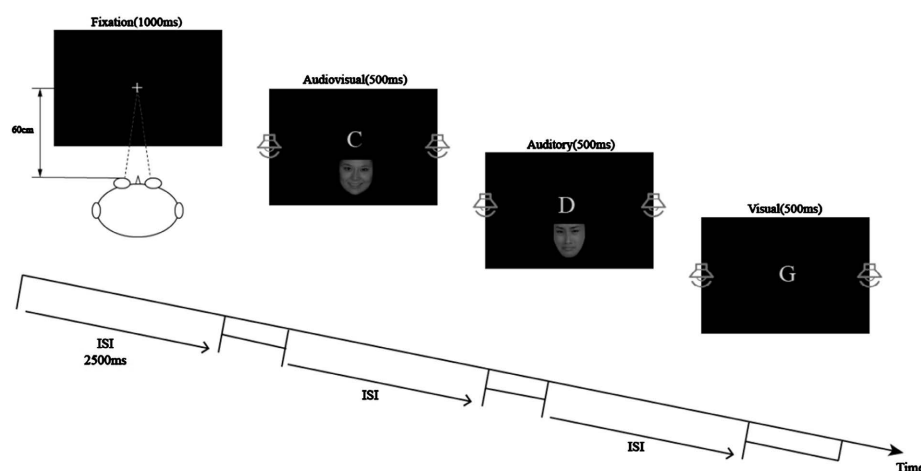


Figure 2. Schematic diagram of experimental procedure
图 2. 实验流程示意图

对于每个试次,首先在计算机黑色屏幕中央呈现白色注视点“+”(1000 ms);随后在屏幕中央随即呈现一个字母(500 ms),同时在“+”正下方呈现视觉单通道刺激和听觉单通道刺激或者视听觉双通道刺激 500 ms。低工作记忆负载实验中,0-back 任务要求被试对目标刺激(字母“C”)做出反应(键盘“A”

键);高工作记忆负载实验中,视听情绪整合任务与无工作记忆负载实验的完全相同。1-back 任务中被试会看到随机呈现的字母,被要求记住所呈现的字母,还被要求判断当前的刺激是否与前一次试验中出现的刺激相同。如果当前的刺激是否与前一次试验中出现的刺激相同按键盘“A”键。实验流程见图2。

情绪识别任务中对于每个试次,首先在计算机黑色屏幕中央呈现白色注视点“+”(1000 ms);随后在屏幕中央随即呈现一个字母(500 ms),同时在“+”正下方呈现视觉单通道刺激、听觉单通道刺激或者视听觉双通道刺激 500 ms。视听情绪整合任务要求被试在刺激呈现后快速、准确地识别情绪,并做出反应(正性情绪按鼠标左键,负性情绪按鼠标右键,中性情绪不做反应)。

2.5. 数据处理

为考察不同工作记忆负荷下大学生的视听整合效果是否存在差异,本研究将进行2(视觉工作记忆负荷:低负荷、高负荷)×2(情绪效价:正性情绪、负性情绪)×3(刺激类型:听觉刺激、视觉刺激、视听觉刺激)的重复测量方差分析(ANOVA)。由于本研究中情绪识别任务采用的是Go/NoGo范式,被试对中性情绪不做反应,因此只分析了正性情绪和负性情绪的数据。

此外需要对每名被试的数据进行筛选,先删除被试响应错误的数据,排除200 ms~1200 ms之外的数据,再用2.5个标准差删除极值。分别计算每位被试对视觉目标刺激、听觉目标刺激、视听觉目标刺激的反应时间(RT)和击中率(Hit rate)的均值及标准差。为了检测冗余效应,使用累积分布函数(CDFs)分析各条件的反应时间(10 ms为单位),并对每个被试的数据建立独立的竞争模型(Race model),即 $P(\text{Race Model}) = [P(V) + P(A)] - P(V) \times P(A)$ 。

3. 结果

3.1. 不同工作记忆负荷下大学生情绪识别的正确率与反应时

本研究采用的是2(工作记忆负荷:低、高)×3(情绪效价:正性、中性、负性)×3(感觉通道:视觉、听觉、视听觉)的被试内实验设计,以被试对情绪类型判断的反应时(RT)和正确率(ACC)为因变量,通过重复测量方差分析探究工作记忆负荷、情绪效价与感觉通道对大学生跨通道情绪整合的影响。本研究主要考察的是不同工作记忆负荷下大学生对不同刺激类型和情绪类型的反应,因此实验设计包括了三个组内变量,分别为工作记忆负荷、刺激类型、情绪类型。

(1) 正确率

本研究对不同工作记忆负荷、情绪效价及感觉通道条件下的正确率数据进行重复测量方差分析,结果如表1所示。

Table 1. Results of repeated-measures ANOVA for accuracy influenced by working memory load, emotional category and sensory channel

表 1. 工作记忆负荷、情绪类别与感觉通道对正确率的重复测量方差分析结果

	df	F	p	ηp^2
工作记忆负荷	1,18	.702	.413	.038
		.702	.413	.038
情绪类别	1,18	4.794	.014	.210
		4.794	.040	.210
感觉通道	2,36	1.615	.213	.082
		1.615	.220	.082

续表

工作记忆负荷 × 情绪类别	1,18	.251	.780	.014
		.251	.635	.014
工作记忆负荷 × 感觉通道	2,36	2.046	.144	.102
		2.046	.170	.102
情绪类别 × 感觉通道	2,36	1.653	.170	.084
		1.653	.215	.084
工作记忆负荷 × 情绪类别 × 感觉通道	2,36	2.365	.061	.116
		2.365	.139	.116

注: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$ 。

工作记忆负荷的主效应不显著,表示低负荷和高负荷下被试完成跨通道情绪整合任务正确率无差异,高工作记忆负荷并没有使被试对于情绪整合正确率产生负面影响。情绪效价的主效应显著,说明被试加工正性和中性和负性这三种不同类型的情绪信息时,其正确率有差异,即情绪效价是影响整合正确率的重要因素。感觉通道的主效应不显著,表示视觉、听觉以及视听觉三种不同感觉通道下被试正确率不存在统计学上的区别,单通道与双通道刺激呈现方式对于情绪整合正确率并无影响。

在交互作用上,工作记忆负荷与情绪效价之间的交互作用不显著,工作记忆负荷与感觉通道之间也不存在交互作用,情绪效价与感觉通道之间亦无交互作用,工作记忆负荷、情绪效价以及感觉通道三者之间的交互作用同样也不显著。由此可知,在这些因素之间不存在相互影响从而对跨通道情绪整合准确性起到作用。

(2) 反应时

本研究对不同实验条件下的反应时数据进行了重复测量方差分析,结果显示(见表 2)。

工作记忆负荷具有显著主效应,即在低负荷及高负荷情况下,被试的反应时不同,较高工作记忆负荷使被试的情绪整合任务反应时间显著延长。情绪效价有较大的主效应,说明被试对于积极、消极以及中性的不同情绪信息进行整合的速度是不同的,情绪效价对反应时的影响非常明显。感觉通道没有显著主效应,表示三种类型的刺激通道之间,被试的反应时无显著差异,单一通道与双重通道所呈现的信息对情绪整合的速度几乎没有影响。

交互作用上,工作记忆负荷与情绪效价之间存在显著交互作用[$F(1, 18) = 14.140, p = 0.000, \eta^2 = 0.440$],即情绪效价对反应时的作用受工作记忆负荷影响,两者有相互作用;而工作记忆负荷与感觉通道之间无交互作用;情绪效价与感觉通道之间也无交互作用以及工作记忆负荷、情绪效价与感觉通道之间的三阶交互作用也无统计学意义,因此可以认为除此之外的所有因素均未对反应时造成显著联合作用。

Table 2. Results of repeated-measures ANOVA for reaction time influenced by working memory load, emotional category and sensory channel

表 2. 工作记忆负荷、情绪类别与感觉通道对反应时的重复测量方差分析结果

	df	F	p	η^2
工作记忆负荷	1,18	14.628	.001	.448
		14.628	.001	.448
情绪类别	1,18	825.706	.000	.979
		825.706	.000	.979

续表

感觉通道	2,36	2.115	.135	.105
		2.115	.161	.105
工作记忆负荷 × 情绪类别	1,18	14.140	.000	.440
		14.140	.001	.440
工作记忆负荷 × 感觉通道	2,36	.743	.483	.040
		.743	.403	.040
情绪类别 × 感觉通道	2,36	1.871	.125	.094
		1.871	.185	.094
工作记忆负荷 × 情绪类别 × 感觉通道	2,36	.466	.760	.025
		.466	.531	.025

注：* $p < 0.05$ ，** $p < 0.01$ ，*** $p < 0.001$ 。

不同实验条件下的具体反应时数据(见表 3)表明，无论是正性情绪还是负性情绪，在高负荷条件下各通道的反应时都明显比低负荷条件长。在同样的负荷状况下，视觉通道的反应时一般都比听觉和视听觉通道短，而且正性与负性情绪的反应时差异较小。

Table 3. Accuracy (ACC) and reaction time (RT) of participants under different working memory loads

表 3. 不同工作记忆负荷被试的正确率(ACC)与反应时(RT)

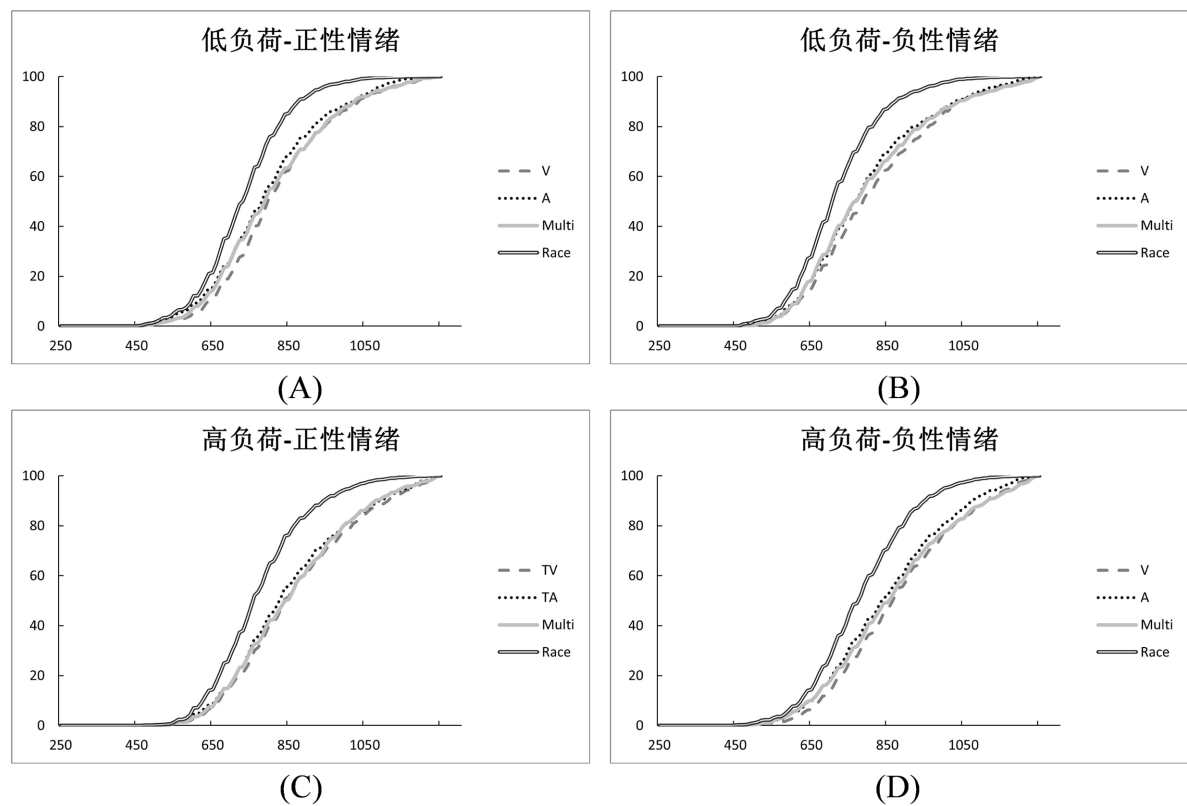
		低负荷			高负荷		
		视觉	听觉	视听觉	视觉	听觉	视听觉
ACC	正性情绪	0.84	0.98	0.97	0.93	0.91	0.93
	负性情绪	0.84	0.96	0.97	0.93	0.91	0.92
RT (ms)	正性情绪	705.56	789.41	793.52	891.85	900.01	912.92
	负性情绪	704.76	784.55	797.58	891.86	911.65	910.24

3.2. 不同工作记忆负荷下大学生视听情绪整合

3.2.1. 不同工作记忆负荷下大学生情绪识别的竞争模型拟合

为了进一步探讨不同程度的工作记忆负担以及不同情绪效价下跨通道情绪整合的过程，在此基础上本文应用竞争模型(Race Model)来考察视听情绪整合，并绘制出各个条件下的反应时累积分布函数(CDF)图(如图 3 所示)。Race 曲线表示的是每种单独刺激(视觉 V、听觉 A)反应时间和其理论最大值，而 Multi 曲线则是同时呈现两种刺激(视听觉 Multi)时所得到的真实反应时间累积分布情况。若 Multi 曲线相对于 Race 曲线偏左侧移动较多，即实际双通道反应更快的概率就越大，说明有明显的跨通道情绪整合。

研究表明，在低负荷负性情绪、低负荷正性情绪、高负荷负性情绪、高负荷正性情绪这四种情况下，实际视听双通道(Multi)的反应时累积分布曲线整体都向左侧移动，在 500~900 ms 之间变化最大，说明不管是什么样的工作记忆负担程度以及情绪效价是积极还是消极，被试都会更快地完成视听双通道的情绪整合任务，也就是说视听结合的情绪整合比单一通道的情绪整合要更快，支持跨通道情绪整合的存在。



注：V 代表视觉通道，A 代表听觉通道，Multi 代表视听结合通道，Race 代表竞争模型。

Figure 3. Race model of cross-modal emotional integration under different working memory loads

图 3. 不同工作记忆负荷下的跨通道情绪整合的竞争模型

本研究进一步比较不同条件下模型之间的拟合结果发现：工作记忆负荷起着中介的作用，在低负荷的情况下(如图 3(A)、图 3(B))，Multi 曲线和 Race 曲线之间差距较大，尤其是在 600~800 ms 之间，双通道反应的概率远大于理论的最大值，这意味着在低负荷的情况下跨通道的情绪整合效果更好；而在高负荷的情况下(如图 3(C)、图 3(D))，Multi 曲线和 Race 曲线之间的距离较近，这是因为在高工作记忆负荷下视听的情绪整合的优势效果减弱，这也符合前面所提到的反应时的主要效应结果。情绪效价的不同特点，在相同的负荷下，正性的 Multi-Race 曲线分离的程度与比负性的相比较，在高负荷的情况下，正性的双通道整合的优势相对较为恒定，而负性的整合的效果因高负荷的影响较大，这也说明工作记忆负荷以及情绪效价之间的相互影响，即高负荷对负性的整合的影响更大。单通道加工的基本性质，在所有的条件下，视觉通道(V)的反应时累积分布曲线都整体左移于听觉通道(A)，说明视觉通道的情绪处理的速度更快，是跨通道的情绪整合的主要来源，而且这个优势不受工作记忆负荷和情绪效价的影响。

3.2.2. 反应时累积分布的视听整合效应比较

为更清晰地展现不同实验条件下反应速度的分布特点，本研究绘制了反应时累积分布概率差异曲线(见图 4)。其中纵轴表示累积分布概率差异，横轴是反应时，值越小说明在这一条件下更快反应所占比例更大。由图可见，低负荷情况下两条线即正性和负性情绪实线始终高于高负荷情况下两条线即正性和负性情绪点线，即低负荷下更快反应的比例更大，这也与前面所进行的重复测量方差分析得到的工作记忆负荷对反应速度有显著影响是一致的。

在高负荷情况下，正性情绪曲线始终高于负性情绪曲线并且二者之间的差距在 600~900 ms 最大，说

明高负荷增强对负性情绪整合加工的抑制作用从而支持工作记忆负荷以及情绪效价之间存在相互影响的关系。而在低负荷情景中,正性和负性情绪之间的曲线差别较小并且表现出轻微的正性情绪的优势。所有的曲线都从 400 ms 之后逐渐降低,在 700~800 ms 处降到最低再上升,也就是说中等的速度即 500~900 ms 是对实验操纵最敏感的部分,而小于 400 ms 的速度或大于 1000 ms 的速度在各个条件下都不太明显。

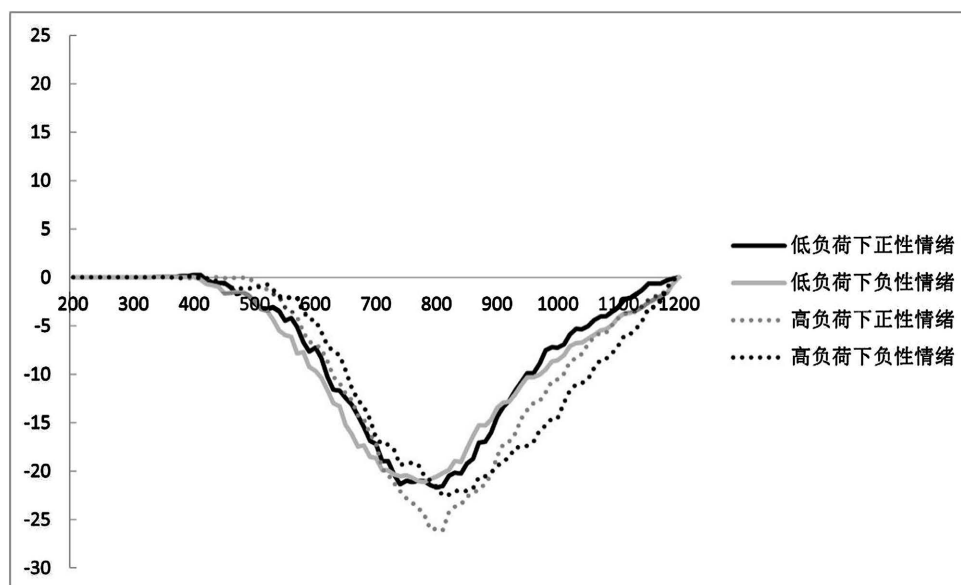


Figure 4. Differences in cumulative distribution probability of different emotional categories under different working memory loads

图 4. 不同工作记忆负荷下不同情绪类别的累积分布概率差异

4. 讨论

本研究考察了工作记忆负荷对大学生跨通道视听情绪整合的影响,结果显示高负荷显著延长反应时,但不影响正确率;正性情绪表现出加工优势;负荷与情绪效价交互显著,高负荷对负性情绪整合干扰更强;视听整合稳定存在,低负荷下优势更明显。

高工作记忆负荷可以明显增加跨通道视听情绪整合的反应时,而正确率几乎不受影响,即存在速度-准确性的权衡,同时这也符合资源限制假说,高负荷消耗前额叶、顶叶的认知资源,从而使情绪处理变慢,但是被试可以通过代偿提高正确率。焦江丽等人认为,高负荷可以加强认知控制、占用负面情绪加工资源,从而减轻情绪反刍(焦江丽等, 2025),本研究结果也与其相符合。He 等人也利用双任务范式证明了高认知负荷会加剧跨通道资源的争夺(He et al., 2025)从而造成工作效率下降,本研究的结果也支持了这一点。同时 Callicott 等人的脑成像研究也发现,工作记忆负荷的升高会使前额叶皮层激活后前升高后下降,在达到容量极限后加工效率会下滑,这一研究可以解释本研究中高负荷下反应时延长的行为学结果。

此外正性情绪表现出加工优势。正性情绪加工更自动化、需要较少关注资源,而负性情绪由于高度警觉而需要更多认知资源来评价它。唐玉婷等人提出的双路径理论认为,负性情绪会对工作记忆产生不利影响,是通过与其他神经振荡竞争有限神经振荡可用性和降低神经同步性实现这一点(唐玉婷等, 2026),可以解释本研究中负性情绪有较长反应时间和较差稳定性现象。本研究中,正性情绪无论是在高负荷下还是低负荷下均表现出更优的反应效率,这同时印证了正性情绪的资源节约型加工特点。刘鹏等人也发现,在高负载条件下,负性情绪对工作记忆干扰更大(刘鹏等, 2026),与本研究结论一致。

另外本研究的主要发现是高负荷对于负性情绪整合有更大影响。焦江丽等人提出高负荷可以阻止负性情绪反刍从而提高情绪调节效率的观点(焦江丽等, 2025), 本研究从跨通道整合的角度进行了探讨。唐玉婷等人提出的神经振荡理论认为, 在高负荷条件下 θ 、 α 振荡资源被占满, 因此负性情绪由于需要更多资源而受到更大损害。负性情绪属于高警觉性刺激, 需要大量并且持续的认知资源进行整合, 然而在高负荷条件下大量的认知资源被占用, 这就导致了负性情绪的跨通道整合受到更大的影响(刘鹏等, 2026)。He 等人也认为高负荷会破坏通道优势造成整体资源争夺从而使得负性情绪更容易受到影响(He et al., 2025)。

另一方面视听整合存在稳定的冗余增益, 而且在低负荷条件下整合的效果较好, 在视觉上要比在听觉上更快, He 等人也发现, 当负荷较高时, 跨通道的整合的优势减弱(He et al., 2025), 这与本研究的结果是一致的; Yanna 等人的 EEG 研究也表明, 注意负荷的降低会强化视听整合的神经同步性从而提升视听整合的效率(Ren et al., 2022), 本研究的行为学结果验证了低负荷更有利于跨通道视听情绪整合; 刘鹏等认为, 在情绪加工中, 视觉起主要的作用, 而消极的情绪更容易吸引人们的注意力(刘鹏等, 2026), 这也正是我们为什么有视觉优势的原因。

而在本实验中, 感觉通道的主要作用不明显, 可能是由于视听刺激是一致的并且任务相对简单, 所以降低了单通道和双通道之间的差别。本研究所采用的是视听一致情绪刺激, 并且实验任务是情绪效价的简单判断, 降低了单通道与双通道之间的加工差异。He 等人的研究也指出, 刺激匹配度高并且任务复杂度低的时候, 跨通道干扰与整合效应就会被弱化(He et al., 2025), 这一发现可以解释本研究中感觉通道主效应不显著的结果, 在未来的研究中可采用视听不一致刺激还有更复杂的情绪辨别任务, 从而放大通道间的差异。

本研究通过研究不同类型的工作记忆负荷任务, 探讨了大学生视听跨通道情绪整合的特点以及利用竞争模型分析它们的情绪整合效应验证了部分假设, 但是仍存在若干局限性。首先是本研究的被试均来自同一所高校, 样本来源相对单一, 存在一定的样本同质化问题, 因此在将本结论推广至其他年龄阶段、不同教育背景或者更广泛的现实社会交往场景时应保持审慎的态度, 其次, 本研究采用的是严格控制的实验室情境下的跨通道情绪整合任务, 实验任务与现实生活中的真实社交互动存在一定差距, 而且本研究仅能为工作记忆负荷与跨通道情绪整合的关系提供初步的、间接的实验证据, 未来研究可进一步采用更具生态效度的研究方法, 如真实社交情境下的多模态行为记录、日常情境下的体验抽样等, 结合更具多样性的样本群体, 以验证本研究结论在真实社会互动中的适用性, 从而更全面地揭示工作记忆负荷影响跨通道情绪整合的内在机制。

综上所述, 本研究通过使用不同类型的工作记忆负荷任务, 探讨了大学生视听跨通道情绪整合的特点以及利用竞争模型分析它们的情绪整合效应。研究发现, (1) 高工作记忆负荷会增加跨通道情绪整合的时间成本, 但不会降低正确率, 即速度 - 准确性权衡; (2) 情绪效价主效应显著, 正性情绪具有加工优势, 而负性情绪更容易受到认知负荷的影响; (3) 工作记忆负荷与情绪效价之间存在交互作用, 在高负荷下负性情绪视听整合更困难; (4) 视听情绪整合普遍存在, 在低负荷情况下整合的优势更加明显并且以视觉通路为主导。因此, 工作记忆负荷可以有效地影响大学生视听跨通道的情绪整合过程, 这对进一步了解情绪和认知之间的相互作用提供了实验证据。

基金项目

2025 贵州省省级大学生创新创业训练项目(10662DC2025090), 贵中医大创合字(2025) 90 号。

参考文献

- 曹黎(2019). 情绪词对情绪面孔识别的影响. 硕士学位论文, 兰州: 西北师范大学.
- 曾敏怡(2018). 注意缺陷多动儿童情绪识别的事件相关电位及其与社会功能的关系. 硕士学位论文, 深圳: 深圳大学.

- 陈海滔, 屈威, 宋佳起, 张蒙, 范宏振, 谭淑平(2025). 精神分裂症患者的面孔情绪识别能力在神经认知与社会功能间的中介作用. *中国心理卫生杂志*, 39(2), 101-106.
- 陈顺森, 白学军, 沈德立, 闫国利, 张灵聪(2011). 7-10岁自闭症谱系障碍儿童对情绪面孔的觉察与加工. *心理发展与教育*, 27(5), 449-458.
- 陈曦(2018). 不同情绪状态下尽责性对前瞻记忆情绪一致性的影响. 硕士学位论文, 西安: 陕西师范大学.
- 陈岩(2021). 青少年视听情绪信息的自动化整合加工. 硕士学位论文, 兰州: 西北师范大学.
- 何仁义(2016). 基于n-back范式工作记忆的事件相关电位研究. 硕士学位论文, 深圳: 深圳大学.
- 焦江丽, 邱国强, 姚洁, 张茂路, 刘毅(2025). 特质焦虑大学生在不同工作记忆负荷下的情绪调节效应. *中国心理卫生杂志*, 39(12), 1068-1073.
- 刘鹏, 范梦瑶, 成欣, 黄志超(2026). 内外源线索对工作记忆中情绪记忆增强效应的调控作用. *心理技术与应用*, 14(4), 193-205.
- 唐玉婷, 李勇辉, 申寻兵, 董昕文(2026). 情绪影响工作记忆的神经振荡机制: 基于竞争与干扰的双路径模型. *生物化学与生物物理进展*, 53(1), 117-129.
- 王会会(2021). 大学生早期应激的特点及对情绪工作记忆的影响. 硕士学位论文, 开封: 河南大学.
- 王卓(2024). 情绪面孔强化学习中特质焦虑的性别差异. 硕士学位论文, 成都: 成都医学院.
- 于明阳, 李富洪, 曹碧华(2018). 愉快面孔识别优势及其认知神经机制. *心理科学进展*, 26(2), 254-261.
- 袁家静(2023). 情绪面孔识别的年龄效应: 儿童和成人脑影像研究. 硕士学位论文, 上海: 华东师范大学.
- 赵辉, 刘笑, 刘宇平, 王豆豆, 张振, 肖玉琴, 等(2019). 冲动性暴力犯罪人员对不同情绪面孔识别能力的特点. *中国心理卫生杂志*, 33(3), 214-219.
- 赵鑫, 周仁来(2011). 工作记忆中央执行系统不同子功能评估方法. *中国临床心理学杂志*, 19(6), 748-752.
- Ahmed, L., & de Fockert, J. W. (2012). Focusing on Attention: The Effects of Working Memory Capacity and Load on Selective Attention. *PLoS ONE*, 7, e43101. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0043101>
- Alegre, M., Imirizaldu, L., Valencia, M., Iriarte, J., Arcocha, J., & Artieda, J. (2006). Alpha and Beta Changes in Cortical Oscillatory Activity in a Go/No Go Randomly-Delayed-Response Choice Reaction Time Paradigm. *Clinical Neurophysiology*, 117, 16-25. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2005.08.030>
- Braver, T. S., Cohen, J. D., Nystrom, L. E., Jonides, J., Smith, E. E., & Noll, D. C. (1997). A Parametric Study of Prefrontal Cortex Involvement in Human Working Memory. *NeuroImage*, 5, 49-62. <https://doi.org/10.1006/nimg.1996.0247>
- Breitling-Ziegler, C., Tegelbeckers, J., Flechtner, H., & Krauel, K. (2020). Economical Assessment of Working Memory and Response Inhibition in ADHD Using a Combined N-Back/Nogo Paradigm: An ERP Study. *Frontiers in Human Neuroscience*, 14, Article 322. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.00322>
- Brown, T., Kim, K., Gehring, W. J., Lustig, C., & Bohnen, N. I. (2024). Sensitivity to and Control of Distraction: Distractor-Entrained Oscillation and Frontoparietal EEG Gamma Synchronization. *Brain Sciences*, 14, Article 609. <https://doi.org/10.3390/brainsci14060609>
- Callicott, J. H. (1999). Physiological Characteristics of Capacity Constraints in Working Memory as Revealed by Functional MRI. *Cerebral Cortex*, 9, 20-26. <https://doi.org/10.1093/cercor/9.1.20>
- He, Y., Yang, T. Q., He, C. Y., Sun, K. W., Guo, Y. N., Wang, X. C. et al. (2023). Effects of Audiovisual Interactions on Working Memory: Use of the Combined N-Back + Go/Nogo Paradigm. *Frontiers in Psychology*, 14, Article 1080788. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1080788>
- He, Y., Yang, T., Zhang, Y., Sun, K., Guo, Q., Chen, Q. et al. (2025). Exploring the Effects of Audiovisual Incongruence on Working Memory Performance in the Combined 2-Back+ Go/Nogo Paradigm. *Frontiers in Psychology*, 16, Article 1578391. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2025.1578391>
- Jaeggi, S. M., Studer-Luethi, B., Buschkuhl, M., Su, Y., Jonides, J., & Perrig, W. J. (2010). The Relationship between N-Back Performance and Matrix Reasoning—Implications for Training and Transfer. *Intelligence*, 38, 625-635. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2010.09.001>
- lv, J. Y., Wang, T., Qiu, J., Feng, S. H., Tu, S., & Wei, D. T. (2010). The Electrophysiological Effect of Working Memory Load on Involuntary Attention in an Auditory-visual Distraction Paradigm: An ERP Study. *Experimental Brain Research*, 205, 81-86. <https://doi.org/10.1007/s00221-010-2360-x>
- Michail, G., & Keil, J. (2018). High Cognitive Load Enhances the Susceptibility to Non-Speech Audiovisual Illusions. *Scientific Reports*, 8, Article No. 11530. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-30007-6>
- Michail, G., Senkowski, D., Niedeggen, M., & Keil, J. (2020). Memory Load Alters Perception-Related Neural Oscillations

- during Multisensory Integration. *The Journal of Neuroscience*, 41, 1505-1515.
<https://doi.org/10.1523/jneurosci.1397-20.2020>
- Ren, Y. N., Li, S. N., Wang, T., & Yang, W. P. (2020). Age-Related Shifts in Theta Oscillatory Activity during Audio-Visual Integration Regardless of Visual Attentional Load. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 12, Article 571950.
<https://doi.org/10.3389/fnagi.2020.571950>
- Ren, Y. N., Li, S. N., Zhao, N. W., Hou, Y. W., Wang, T., Ren, Y. L. et al. (2022). Auditory Attentional Load Attenuates Age-Related Audiovisual Integration: An EEG Study. *Neuropsychologia*, 174, Article ID: 108346.
<https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2022.108346>
- Shipstead, Z., Redick, T. S., & Engle, R. W. (2012). Is Working Memory Training Effective? *Psychological Bulletin*, 138, 628-654. <https://doi.org/10.1037/a0027473>
- Solesio-Jofre, E., López-Frutos, J. M., Cashdollar, N., Aurtenetxe, S., de Ramón, I., & Maestú, F. (2017). The Effects of Aging on the Working Memory Processes of Multimodal Information. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 24, 299-320.
<https://doi.org/10.1080/13825585.2016.1207749>
- Soveri, A., Antfolk, J., Karlsson, L., Salo, B., & Laine, M. (2017). Working Memory Training Revisited: A Multi-Level Meta-Analysis of N-Back Training Studies. *Psychonomic Bulletin & Review*, 24, 1077-1096.
<https://doi.org/10.3758/s13423-016-1217-0>
- Yuan, Y. C., He, X., & Yue, Z. Z. (2023). Working Memory Load Modulates the Processing of Audiovisual Distractors: A Behavioral and Event-Related Potentials Study. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 17, Article 1120668.
<https://doi.org/10.3389/fnint.2023.1120668>
- Zhao, S. K., Zhou, J. P., Zhang, Y. W., & Wang, D. H. (2023). γ and β Band Oscillation in Working Memory Given Sequential or Concurrent Multiple Items: A Spiking Network Model. *ENEURO*, 10, ENEURO.0373-22.2023.
<https://doi.org/10.1523/eneuro.0373-22.2023>