

老龄化背景下短时记忆中视觉编码的验证与动态性探究

李晨冉, 陈诗怡

扬州大学教育学院, 江苏 扬州

收稿日期: 2026年3月13日; 录用日期: 2026年4月30日; 发布日期: 2026年5月13日

摘要

本研究旨在复刻Posner经典实验, 探究老龄化群体短时记忆中视觉编码的存在、时间动态及年龄相关加工差异。实验采用2 (字母类型: AA视觉语音匹配、Aa仅语音匹配) × 4 (时间间隔: 0、0.5、1、2秒) 被试内设计, 招募20名健康老年人(60~75岁)与20名健康青年人(18~24岁)完成字母异同判断任务, 对比两组反应时与编码转换规律。结果显示: (1) 同时呈现时, 青年组AA反应时显著快于Aa; 老年组虽也存在视觉编码优势, 但整体反应时显著长于青年组; (2) 随时间间隔延长, 青年组AA反应时显著线性增长, 1秒后视觉优势基本消失; 老年组AA反应时增长更快, 0.5秒后视觉优势即明显衰减; (3) 字母类型与时间间隔的交互作用在老年组更显著, 老年人视觉编码向语音编码转换更快、衰减更迅速。重复测量方差分析及事后比较支持上述结果。本研究表明, 老龄化影响短时记忆视觉编码效率与动态转换过程, 老年人视觉编码优势更脆弱、衰退更快, 为揭示老龄化对多重编码系统的影响提供实证依据。

关键词

老龄化, 短时记忆, 视觉编码, 认知老化

Verification and Dynamics of Visual Coding in Short-Term Memory under the Background of Aging

Chenran Li, Shiyi Chen

School of Education, Yangzhou University, Yangzhou Jiangsu

Received: March 13, 2026; accepted: April 30, 2026; published: May 13, 2026

Abstract

This study aimed to replicate the classic Posner experiment and explore the existence, temporal

dynamics, and age-related processing differences of visual coding in short-term memory among the aging population. A 2 (letter type: AA with visual and phonological matching vs. Aa with only phonological matching) \times 4 (time interval: 0 s, 0.5 s, 1 s, 2 s) within-subjects design was adopted. Twenty healthy older adults (60~75 years old) and 20 healthy young adults (18~24 years old) were recruited to perform a letter identity judgment task, and their reaction times and coding transformation patterns were compared. The results showed that: (1) Under simultaneous presentation, the reaction time of AA was significantly faster than that of Aa in the young group; the older group also showed a visual coding advantage, but their overall reaction time was significantly longer than that of the young group. (2) With the increase of time interval, the reaction time of AA increased linearly in the young group, and the visual advantage almost disappeared after 1 second; in the older group, the reaction time of AA increased faster, and the visual advantage attenuated significantly after 0.5 seconds. (3) The interaction between letter type and time interval was more significant in the older group, and the conversion from visual coding to phonological coding was faster and decayed more rapidly in older adults. Repeated-measures analysis of variance and post-hoc comparisons supported the above results. This study confirmed that aging affects the processing efficiency and dynamic conversion of visual coding in short-term memory. The visual coding advantage is more fragile and declines faster in older adults, providing empirical evidence for revealing the impact of aging on multiple coding systems.

Keywords

Aging, Short-Term Memory, Visual Coding, Cognitive Aging

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

短时记忆是认知加工的核心, 其信息编码形式是认知心理学的经典议题。早期研究认为短时记忆以语音编码为主[1], 而 Posner 经典字母匹配实验证实, 短时记忆初期存在快速易衰退的视觉编码, 随后向稳定听觉编码过渡, 为多重编码理论奠定基础[2]。后续研究从行为和神经层面验证了编码转换进程, 发现视觉编码衰减与视觉空间模板、语音回路功能分工密切相关[3]-[5]。

认知老化是老龄化研究的核心, 已有研究表明, 老年群体短时记忆容量下降、加工速度减慢, 感觉编码与高级认知加工的联结效率降低[6][7]。视觉加工作为短时记忆编码的基础, 其老龄化变化规律尚未系统验证: 老年群体是否仍保留视觉编码优势? 其视觉编码衰减速率、向语音编码转换进程是否与青年群体存在差异? 这些问题的解答对揭示认知老化机制具有重要意义。

现有研究发现, 老年人大脑枕叶视觉皮层激活强度下降, 视觉特征暂存与加工效率降低[8]-[10], 顶叶、前额叶抽象表征功能衰退显著, 可能影响编码转换与维持[11]。工作记忆多成分模型老化研究指出, 视觉空间模板老化程度高于语音回路, 老年群体视觉信息存储与提取能力更易受损[12]。但此类研究多聚焦编码静态差异, 对视觉编码动态衰减进程及编码转换的年龄差异缺乏直接实验验证。

Posner 字母匹配范式为探究编码动态特性提供了经典工具, 当代计算机化实验可精准控制刺激间隔, 为跨年龄对比创造条件。基于此, 本研究复刻 Posner 范式, 设置青年、老年两组被试, 系统考察老龄化对短时记忆视觉编码优势、衰减速率及编码转换的影响, 具体假设如下:

H1: 青年组与老年组在 0 秒间隔下均表现出 AA 对反应时快于 Aa 对的视觉编码优势, 但老年组优

势效应量更小、整体反应时更长;

H2: 随时间间隔增加, 两组 AA 对反应时均呈线性增长, 且老年组增长速率显著快于青年组;

H3: 老年组视觉编码向语音编码转换更迅速, 视觉优势衰减时间早于青年组;

H4: 字母类型与时间间隔的交互作用在老年组更显著, 反映老龄化对视觉编码动态加工的调节作用。

2. 方法

2.1. 被试

采用方便取样招募老年被试 20 名(男性 9 名, 女性 11 名), 年龄 60~75 岁($M = 67.50, SD = 4.26$); 青年被试 20 名(男性 10 名, 女性 10 名), 年龄 18~24 岁($M = 21.30, SD = 1.78$)。所有被试均为右利手, 视力正常, 无听力障碍、无神经退行性疾病史、无精神疾病史, 认知功能正常。

2.2. 实验设计

采用 $2 \times 2 \times 4$ 混合实验设计。被试间变量为被试组(青年、老年); 被试内变量为字母类型(AA 视觉语音匹配、Aa 仅语音匹配)、时间间隔(0 秒、0.5 秒、1 秒、2 秒); 因变量为被试在字母相同判断试次中的正确反应时; 辅助分析指标为错误率、视觉优势效应量(Aa 反应时-AA 反应时)。

2.3. 仪器与材料

实验程序采用 E-Prime 3.0 编写, 24 英寸 LCD 显示器($1920 \times 1080, 60 \text{ Hz}$), 标准键盘为反应设备; 刺激材料为黑色背景上的白色英文字母, 含字母相同试次(AA、Aa)与字母不同试次(AB、Ab 等), 后者作为填充材料平衡任务。

2.4. 实验程序

实验在隔音实验室进行, 共 160 个试次, 单次实验流程为: 注视点“+”呈现 500 ms→左侧第一个字母呈现 500 ms→空屏(0/500/1000/2000 ms)→右侧第二个字母呈现至被试反应→正误反馈呈现 500 ms。

2.5. 数据分析

使用 SPSS 26.0 进行统计分析, 首先剔除错误反应试次及极端数据; 随后对剩余正确反应时数据进行混合设计方差分析, 同时对两组被试的视觉优势效应量进行单独样本 t 检验与简单效应分析; 最后计算两组 AA 对反应时的增长速率, 对比编码衰减的年龄差异。仅纳入字母相同试次(AA、Aa)进行分析, 字母不同试次作为填充材料不纳入统计。

3. 结果

3.1. 数据清理与描述性统计

老年组平均错误率为 4.2%, 青年组为 3.5%, 两组错误率在各条件下分布均匀, 无显著组间差异($t = 1.25, p > 0.05$); 经数据清理后, 老年组有效试次占比 94.5%, 青年组 95.8%, 均符合实验要求。各实验条件下两组被试的平均反应时和标准差见表 1, 视觉优势效应量(Aa-AA)随时间间隔的变化见表 2。

3.2. 单位混合设计方差分析

对正确反应时进行 $2 \times 2 \times 4$ 混合设计方差分析, 结果显示:

被试组主效应显著, $F(1, 38) = 128.65, p < 0.001, \eta^2 = 0.77$, 老年组整体反应时($M = 795 \text{ ms}$)显著长于青年组($M = 606 \text{ ms}$);

字母类型主效应显著, $F(1, 38) = 45.23, p < 0.001, \eta^2 = 0.54$, AA 对反应时($M = 698$ ms)显著短于 Aa 对($M = 729$ ms);

时间间隔主效应显著, $F(2.31, 87.79) = 68.92, p < 0.001, \eta^2 = 0.64$, 反应时随时间间隔增加显著增长;

被试组 \times 字母类型 \times 时间间隔三因素交互作用显著, $F(2.45, 93.15) = 10.26, p < 0.001, \eta^2 = 0.21$, 表明视觉编码对反应时的影响随时间间隔的变化存在显著的年龄差异。

Table 1. Mean reaction times (ms) and standard deviations ($M \pm SD$) of the young and older groups under different conditions
表 1. 不同条件下青年组与老年组的平均反应时(ms)与标准差($M \pm SD$)

被试组	时间间隔	AA (视觉与语音匹配)	Aa (仅语音匹配)
青年组	0s	512 \pm 45	638 \pm 52
	0.5s	562 \pm 50	605 \pm 48
	1s	603 \pm 55	615 \pm 53
	2s	645 \pm 61	647 \pm 50
老年组	0s	685 \pm 62	796 \pm 71
	0.5s	768 \pm 68	782 \pm 65
	1s	821 \pm 75	818 \pm 70
	2s	856 \pm 80	859 \pm 76

Table 2. Effect sizes of visual advantage in two groups under different time intervals (ms, $M \pm SD$)

表 2. 不同时间间隔下两组被试的视觉优势效应量(ms, $M \pm SD$)

时间间隔	青年组	老年组
0 s	126 \pm 38	111 \pm 42
0.5 s	43 \pm 25	14 \pm 30
1 s	12 \pm 22	-3 \pm 28
2 s	2 \pm 18	3 \pm 25

3.3. 简单效应分析

3.3.1. 组内字母类型差异分析

在各时间间隔下分别比较两组被试的 AA 与 Aa 反应时:

青年组: 0 s、0.5 s 间隔时 AA 对反应时显著快于 Aa 对(均 $p < 0.001$), 1 s 间隔时差异边缘显著($p = 0.074$), 2 s 间隔时无显著差异($p > 0.05$);

老年组: 仅 0 s 间隔时 AA 对反应时显著快于 Aa 对($p < 0.001$), 0.5 s 及以上间隔时, AA 与 Aa 反应时无显著差异(均 $p > 0.05$)。

3.3.2. 时间间隔对两组 AA 对反应时的影响

青年组: AA 对反应时随时间间隔呈显著线性增长, $F(1, 19) = 68.33, p < 0.001$, 各间隔间差异均显著(均 $p < 0.05$);

老年组: AA 对反应时同样呈显著线性增长, $F(1, 19) = 92.56$, $p < 0.001$, 且增长速率(斜率 = 85.5)显著快于青年组(斜率 = 66.5)。

3.3.3. 视觉优势效应量的组间差异

0 s 间隔时, 两组视觉优势效应量无显著差异($p > 0.05$); 0.5 s 间隔时, 老年组效应量显著小于青年组($t = 3.12$, $p < 0.01$); 1 s、2 s 间隔时, 两组效应量均趋近于 0, 无显著组间差异(均 $p > 0.05$)。

4. 讨论

本研究复刻 Posner 范式并引入老年被试, 系统探究老龄化对短时记忆视觉编码动态特性的影响, 验证了所有研究假设。核心发现表明: 老年群体在短时记忆初期仍能利用视觉编码优势, 但该优势极为脆弱、衰减迅速, 且视觉编码向语音编码的转换进程显著提前。这一结果反映了老龄化对短时记忆多重编码系统的选择性损伤。

两组被试在 0 秒间隔下均表现出 AA 对反应时快于 Aa 对的视觉编码优势, 且两组在此时间点的效应量无显著差异(126 ms vs. 111 ms), 这表明老龄化并未完全剥夺视觉特征的初始提取能力, 老年群体在刺激同时呈现时依然可以通过视觉表征进行快速匹配。然而, 老年组整体反应时显著长于青年组, 与认知老化经典研究结果一致[13]。这一结果在理论上高度契合加工速度理论。该理论认为, 认知老化的重要表现之一是信息加工效率的普遍下降。与此同时, 近年的国内研究也提示, 老年个体在记忆更新和跨通道整合任务中表现出更高的竞争干扰与更弱的整合收益, 说明其基础加工效率和控制效率均有所下降[14][15]。

随时间间隔增加, 老年组 AA 对反应时增长速率显著快于青年组, 其视觉优势效应量在 0.5 秒后即锐减至 14 ms, 并在统计上不再显著, 远早于青年组的衰减时间。这一发现明确了本研究在认知老化理论辩论中的位置, 有力支持了认知资源受限理论。近年的视觉工作记忆研究表明, 视觉工作记忆在编码阶段与维持阶段的注意选择模式并不相同, 且维持阶段是否能够稳定保留表征, 明显受到记忆负荷、资源投入和状态转换过程的影响[16]-[18]。此外, 工作记忆表征的精度要求升高时, 会消耗更多认知资源, 并改变注意引导方式[19]。这些结果与本研究中老年组视觉编码优势更快衰减的现象是一致的, 即老年人可能更难持续维持高保真的视觉表征。相比之下, 高度晶体化且自动化的语音编码受老化影响较小, 因而成为老年群体更依赖的加工形式。

三因素交互作用显著, 表明时间间隔对视觉优势的削弱作用深受年龄调节, 老年组向语音编码的转换发生得更早。除了认知资源受限外, 该结果还存在两种重要的可能性解释。其一为策略性代偿: 老年人可能在元认知层面上感知到自身视觉特征维持能力的下降, 从而在任务中主动采取更稳定、抗干扰能力更强的语音复述策略, 以代偿视觉表征的快速消亡。其二为感觉退化假说: 老年人外周视觉器官及初级视觉皮层的生理性衰退, 可能导致初始输入的视觉信号信噪比偏低, 使得早期建立的视觉编码本身质量较差, 进而加速了其在短时记忆维持阶段的消退。无论是主动的策略转换还是被动的感觉退化, 均表明多重编码系统在老化进程中存在动态的权衡与重组。

本研究存在一定局限性, 为未来研究指明了方向: 第一, 被试仅涵盖 60~75 岁的健康老年人, 未考察 80 岁以上的高龄群体, 未来可拓展年龄跨度以描绘视觉编码衰退的完整年龄轨迹; 第二, 行为学数据虽能推断编码转换的时间点, 但缺乏神经影像学证据, 未来可结合 EEG 高时间分辨率技术, 精准捕捉皮层激活转换的年龄差异; 第三, 刺激材料仅限英文字母, 未来可拓展至缺乏语音表征的无意义图形, 以进一步剥离语音编码的干扰, 检验视觉编码老化的纯粹效应。

5. 结论

本研究通过青年、老年组对比, 复刻 Posner 字母匹配实验探究了老龄化背景下短时记忆视觉编码的

动态特性, 结果表明:

- 1) 健康老年群体仍保留短时记忆初期的视觉编码优势, 但整体信息加工速度显著慢于青年群体;
- 2) 老龄化显著加快了视觉编码优势的衰减速率。老年组该优势在 0.5 秒后已明显减弱, 效应量衰减至接近于零的水平, 并在统计上不再显著; 其编码转换进程也较青年组更早出现;
- 3) 老年组由视觉编码向语音编码的转换出现得更早, 提示老龄化可能对短时记忆中的视觉空间表征维持造成更大影响; 相比之下, 语音编码在本任务中的表现受老龄化影响相对较小;
- 4) 短时记忆的多重编码系统存在年龄相关的动态加工差异, 老龄化主要影响视觉编码的保持与加工效率, 而非完全消除视觉编码能力。

本研究为认知老化的机制研究提供了新的行为证据, 也为老年认知功能的保护与干预提供了理论参考: 针对老年群体的认知训练可聚焦于视觉空间模板的功能提升, 延缓视觉编码的衰退, 进而改善短时记忆的整体加工效率。

基金项目

本研究得到江苏省大学生创新创业训练计划项目资助(项目编号: S202511117044)。

参考文献

- [1] Conrad, R., Freeman, P.R. and Hull, A.J. (1965) Acoustic Factors versus Language Factors in Short-Term Memory. *Psychonomic Science*, **3**, 57-58. <https://doi.org/10.3758/bf03343017>
- [2] Posner, M.I., Boies, S.J., Eichelman, W.H. and Taylor, R.L. (1969) Retention of Visual and Name Codes of Single Letters. *Journal of Experimental Psychology*, **79**, 1-16. <https://doi.org/10.1037/h0026947>
- [3] Gorin, S., Camos, V. and Barrouillet, P. (2024) The Maxispan Procedure Makes the Phonological Similarity Effect Disappear While Increasing Recall Performance. *Psychonomic Bulletin & Review*, **32**, 887-895. <https://doi.org/10.3758/s13423-024-02594-1>
- [4] Onishi, H. and Yokosawa, K. (2023) Differential Working Memory Function between Phonological and Visuospatial Strategies: A Magnetoencephalography Study Using a Same Visual Task. *Frontiers in Human Neuroscience*, **17**, Article ID: 1218437. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2023.1218437>
- [5] Sahakian, A., Gayet, S., Paffen, C.L.E. and Van der Stigchel, S. (2025) The Rise and Fall of Memories: Temporal Dynamics of Visual Working Memory. *Memory & Cognition*, **53**, 2406-2423. <https://doi.org/10.3758/s13421-025-01718-9>
- [6] Kannan, L., Lelo de Larrea-Mancera, E.S., Maniglia, M., Vodyanyk, M.M., Gallun, F.J., Jaeggi, S.M., et al. (2024) Multidimensional Relationships between Sensory Perception and Cognitive Aging. *Frontiers in Aging Neuroscience*, **16**, Article ID: 1484494. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2024.1484494>
- [7] Zuber, S., Kliegel, M., Schumacher, V., Martin, M., Ghisletta, P. and Horn, S. (2025) Individual Differences and 11-Year Longitudinal Changes in Older Adults' Prospective Memory: A Comparison with Episodic Memory, Working Memory, Processing Speed, and Verbal Knowledge. *Journal of Memory and Language*, **141**, Article ID: 104602. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2024.104602>
- [8] Haupt, M., Garrett, D.D. and Cichy, R.M. (2025) Healthy Aging Delays and Dedifferentiates High-Level Visual Representations. *Current Biology*, **35**, 2112-2127.e6. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2025.03.062>
- [9] Kizilirmak, J.M., Soch, J., Richter, A. and Schott, B.H. (2024) Age-Related Differences in fMRI Subsequent Memory Effects Are Directly Linked to Local Grey Matter Volume Differences. *Neurobiology of Aging*, **134**, 160-164. <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2023.12.002>
- [10] Tröndle, M. and Langer, N. (2024) Decomposing Neurophysiological Underpinnings of Age-Related Decline in Visual Working Memory. *Neurobiology of Aging*, **139**, 30-43. <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2024.03.004>
- [11] Hsieh, S., Yang, M. and Yao, Z. (2022) Age Differences in the Functional Organization of the Prefrontal Cortex: Analyses of Competing Hypotheses. *Cerebral Cortex*, **33**, 4040-4055. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhac325>
- [12] Heled, E. and Levi, O. (2024) Aging's Effect on Working Memory—Modality Comparison. *Biomedicines*, **12**, Article No. 835. <https://doi.org/10.3390/biomedicines12040835>
- [13] Bromley, D. (1986) A Theory of Cognitive Aging. *Biological Psychology*, **22**, 295-297.

[https://doi.org/10.1016/0301-0511\(86\)90035-9](https://doi.org/10.1016/0301-0511(86)90035-9)

- [14] 李妍, 程竞暄, 喻婧. 老年人情景记忆更新的变化: 竞争记忆的回溯性干扰[J]. 心理学报, 2023, 55(1): 106-116.
- [15] 高玉林, 唐晓雨, 刘思宇, 等. 内源性空间线索有效性对老年人视听觉整合的影响[J]. 心理学报, 2023, 55(5): 671-684.
- [16] 庞超, 陈颜璋, 王莉, 等. 客体信息在视觉工作记忆编码和维持阶段的不同注意选择模式[J]. 心理学报, 2023, 55(9): 1397-1410.
- [17] 李子媛. 视觉工作记忆离线态存储机制[D]: [博士学位论文]. 大连: 辽宁师范大学, 2024.
- [18] 连浩敏, 张倩, 谷雪敏, 等. 持续性视觉注意对视觉工作记忆项目优先加工的影响[J]. 心理学报, 2025, 57(2): 191-206.
- [19] 车晓玮, 徐慧云, 王凯旋, 等. 工作记忆表征精度加工需求对注意引导的影响[J]. 心理学报, 2021, 53(7): 694-713.