

《心理科学进展》审稿意见与作者回应

题目：书写认知老化发生机制及神经机理

作者：刘月月 何文广

第一轮

审稿人 1 意见：

该篇综述对书写老化相关研究进行了非常系统的梳理，对未来研究也提出了很好的建议。

意见 1：关于书写认知老化研究的意义，作者在文章最后展望部分进行了一定阐述。建议作者把这部分内容提前到文章的开头部分，先给读者这类研究的意义，再对相关研究进行系统梳理和分析。

回应：感谢审稿专家的建议。根据您的建议，我们对论文框架进行了相应调整，将研究意义的内容提前到了文章的开头部分（请见正文开头部分 P2 第 1-23 行）。

意见 2：作者对书写认知过程进行了全面阐述，但是未对正常人书写相关脑机制进行介绍。因此，建议增加对书写中央与外周过程的相关脑机制进行简要介绍。

回应：感谢审稿专家的建议。根据您的建议，我们补充了正常人书写中央与外周过程的相关脑机制介绍，具体内容如下（请见正文第 1 部分 P3 第 24 行至 P4 第 6 行）：

“有关正常人书写脑机制研究发现，虽然负责认知编码的中央过程和负责执行书写动作的外周过程在生理基础上有交错重叠，但也有研究表明二者在脑区激活上的确也存在分离 (Katanoda et al., 2001; Rapp & Dufor, 2011; Roux et al., 2009; Segal & Petrides, 2012; Sugihara et al., 2006)。来自书写中央过程的 fMRI 研究表明，左侧颞下回后部(left posterior inferior temporal cortex, left PITC)及邻近的梭状回(fusiform gyrus, FFG)、前额叶上区主要负责正字法表征的选择、保持和提取(Beeson et al., 2003; Nakamura et al., 2000; Rapp & Dufor, 2011)，而 Broca 区、缘上回(supramarginal gyrus, SMG)可能与语音-正字法转换有关(Nakamura et al., 2000; Roeltgen & Heilman, 1984; Sugihara et al., 2006)。来自书写外周过程的 fMRI 研究表明，位于额上沟和中央前回交界处的 Exner 区、左顶叶(left parietal)、背侧运动前皮层(dorsal premotor cortices)、右小脑、辅助运动区(supplementary motor area, SMA)以及对应于手指运动的初级运动皮层共同构成了一个负责书写动作执行的网络(Menon & Desmond, 2001;

Beeson et al., 2003)。还有研究认为，上顶叶皮层(superior parietal cortex, SPL)和 Exner 区不仅参与中央过程正字法的选择与表征，更重要的是，它们在外周过程的运动区域和中央过程的认知区域之间起着高级接口的作用(Planton, 2013)。”

参考文献：

- Beeson, P., Rapcsak, S., Plante, E., Chargualaf, J., Chung, A., Johnson, S., et al. (2003). The neural substrates of writing: A functional magnetic resonance imaging study. *Aphasiology*, *17*(6), 647–665.
- Katanoda, K., Yoshikawa, K., & Sugishita, M. (2001). A functional MRI study on the neural substrates for writing. *Human Brain Mapping*, *13*(1), 34–42.
- Menon, V., & Desmond, J. E. (2001). Left superior parietal cortex involvement in writing: Integrating fMRI with lesion evidence. *Cognitive Brain Research*, *12*, 337–340.
- Nakamura K, Honda M, Okada T, Hanakawa T, Toma K, Fukuyama H, et al. (2000). Participation of the left posterior inferior temporal cortex in writing and mental recall of kanji orthography: A functional MRI study. *Brain: A Journal of Neurology*, *123*(5), 954–967.
- Palmis, S., Danna, J., Velay, J. L., & Longcamp, M. (2019). Motor control of handwriting in the developing brain: A review. *Developmental Dysgraphia*, 123–140.
- Planton, S., Jucla, M., Roux, F. E., & Démonet, J. F. (2013). The “handwriting brain”: a meta-analysis of neuroimaging studies of motor versus orthographic processes. *Cortex*, *49*(10), 2772–2787.
- Rapp, B., & Dufor, O. (2011). The neurotopography of written word production: An fMRI investigation of the distribution of sensitivity to length and frequency. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *23*(12), 4067–4081.
- Roeltgen, D. P., & Heilman, K. M. (1984). Lexical agraphia: Further support for the two-system hypothesis of linguistic agraphia. *Brain*, *107*(3), 811–827.
- Roux, F. E., Dufor, O., Giussani, C., Wamain, Y., Draper, L., Longcamp, M., & Démonet, J. F. (2009). The graphemic/motor frontal area Exner's area revisited. *Annals of neurology*, *66*(4), 537–545.
- Segal, E., & Petrides, M. (2012). The anterior superior parietal lobule and its interactions with language and motor areas during writing. *The European Journal of Neuroscience*, *35*(2), 309–322.
- Sugihara, G., Kaminaga, T., & Sugishita, M. (2006). Interindividual uniformity and variety of the “Writing center”: A functional MRI study. *NeuroImage*, *32*(4), 1837–1849.

意见 3：书写在现代社会中的应用越来越少，对大部分成人而言，书写能力在生活中的作用已经非常微弱了。作者关注了老化对书写能力的影响机制。正如作者提到，这方面的近五年

研究实际不多，大家的认识还不够充分。实际上，除了疾病的诊断，书写也是一种训练工具。最近的脑科学研究发现，书写作为一种高度复杂的运动，加工过程可以调控多个大脑系统，书写是非常有效刺激和训练大脑的认知活动。因此，书写练习可能对于脑功能的保护有重要作用，保护书写能力并坚持书写练习可以作为减缓衰老的途径。

回应：感谢审稿专家的建议。根据您的建议，我们在研究意义部分补充了书写有助于脑功能保护和延缓脑认知衰老的相关内容及其参考文献，具体内容如下（请见正文开头部分 P2 第 20-23 行）：

“书写除了具有临床诊断功能，还具有改善认知功能、延缓认知老化的作用。最近的脑科学研究发现，书写作为一种高度复杂的运动，其加工过程可以调控多个大脑系统，是一种非常有效的刺激和训练大脑的认知活动(Araújo et al., 2022; Chen et al., 2019; Willett et al., 2021)。因此，书写练习对于脑功能的保护有重要作用，保护书写能力并坚持书写练习可以作为减缓衰老的有效途径。”

参考文献：

- Araújo, S., Domingues, M., & Fernandes, T. (2022). From hand to eye: a meta-analysis of the benefit from handwriting training in visual graph recognition. *Educational Psychology Review*, 34(3), 1577–1612.
- Chen, W., He, Y., Chen, C., Zhu, M., Bi, S., Liu, J., ... & Wang, W. (2019). Long-term Chinese calligraphic handwriting training has a positive effect on brain network efficiency. *PLoS ONE*, 14(1), e0210962.
- Willett, F. R., Avansino, D. T., Hochberg, L. R., Henderson, J. M., & Shenoy, K. V. (2021). High-performance brain-to-text communication via handwriting. *Nature*, 593(7858), 249–254.

意见 4：文中提到了帕金森病人的书写加工异常。这部分是属于疾病导致的书写能力，与正常的老化是完全不同的机制。作者要注意区分这两类。

回应：感谢审稿专家的建议。文章在“2.1 生理老化对书写产品的影响”部分提到了帕金森病人的书写加工异常，正如审稿人所指出的，该部分是属于疾病导致的书写能力，与正常的老化是完全不同的机制，由于本文主要关注的是正常老化对书写的影响，所以我们删除了帕金森病人书写加工异常的相关内容。

.....

审稿人 2 意见：文章综述了书写认知老化的发生机制及神经机理。主要阐述了书写产生的心理过程，生理老化对书写过程的影响，以及书写认知老化机制。文章总体思路比较清晰、语句通顺，反映了该领域的研究现状。主要有以下建议供作者思考。

意见 1: 为什么书写产生比口语产生过程消耗更多的认知资源, 更容易受生理老化的影响?

回应: 感谢审稿专家的建议。根据您的建议, 我们补充了“为什么书写产生比口语产生过程消耗更多的认知资源, 更容易受生理老化的影响”的原因, 具体内容如下(请见正文第 1 部分 P1 第 14-29 行):

“来自行为(Bonin et al., 2002; Bonin & Fayol, 2000)、脑电(Perret & Laganaro, 2012; Qu, Zhang, & Damian, 2016)与脑成像(Brownsett & Wise, 2010)的研究均表明, 口语产生与书写产生共享高层次的认知加工(如概念提取、词汇通达等)。较之于口语产生, 书写产生过程不仅包括概念准备、词条选择, 还涉及拼写编码、运动编码和执行运动程序(van Galen, 1991)。其中, 拼写编码属于书写的认知编码阶段, 运动编码和执行运动程序属于书写的动作执行阶段, 这些加工过程的顺利完成需要额外消耗更多的时间。比如, Boinn 等(1998)探索了正常人书写产生过程中各类信息激活的时间进程, 并将其与口语产生的结果进行比较, 结果发现, 书写命名的反应时显著长于口语命名, 并且在即时任务和延时任务中都出现了这种差异。这说明两者之间的差异不是由前期的概念和语义层导致的, 而是源于拼写编码阶段, 其原因可能在于拼写编码阶段需要提取正字法信息(Bonin, Fayol, & Gombert, 1998)。还有一些研究表明, 书写产生中正字法信息的提取需要经由语音中介才能完成(Bonin & Fayol, 2000; Qu et al., 2011; Zhang & Damian, 2010)。另外, 从开始学习口语和书写的先后顺序来看, 书写产生中的运动编码和执行运动程序的学习要晚于口语产生, 因而难以达到如口语产生中发音般的自动化水平。由此可见, 书写产生比口语产生过程需要消耗更多的认知资源, 因而更容易受生理老化的影响。”

参考文献:

- Bonin, P., Chalard, M., M^ot, A., & Fayol, M. (2002). The determinants of spoken and written picture naming latencies. *British Journal of Psychology*, *93*(1), 89–114.
- Bonin, P., & Fayol, M. (2000). Writing words from pictures: What representations are activated, and when?. *Memory & Cognition*, *28*, 677–689.
- Bonin Michel Fayol Jean-Emile Gombert, P. (1998). An experimental study of lexical access in the writing and naming of isolated words. *International Journal of Psychology*, *33*(4), 269-286.
- Brownsett, S. L., & Wise, R. J. (2010). The contribution of the parietal lobes to speaking and writing. *Cerebral Cortex*, *20*(3), 517–523.
- Perret, C., Laganaro, M. (2012). Comparison of Electrophysiological Correlates of Writing and Speaking: A Topographic ERP Analysis. *Brain Topography*, *25*, 64–72.

Qu, Q., Damian, M. F., Zhang, Q., & Zhu, X. (2011). Phonology contributes to writing: Evidence from written word production in a nonalphabetic script. *Psychological Science*, 22(9), 1107–1112.

Qu, Q., Zhang, Q., & Damian, M. F. (2016). Tracking the time course of lexical access in orthographic production: An event-related potential study of word frequency effects in written picture naming. *Brain and language*, 159, 118–126.

van Galen, G. P. (1991). Handwriting: Issues for a psychomotor theory. *Human Movement Science*, 10, 165–191.

Zhang, Q., & Damian, M. F. (2010). Impact of phonology on the generation of handwritten responses: Evidence from picture-word interference tasks. *Memory & Cognition*, 38(4), 519–528.

意见 2: 第二部分主要阐述了生理老化对书写认知的影响，列举了很多研究，涉及到的因素包括生理老化，也包括认知老化。文章中都将其统称之为生理老化，建议根据文献做一些区分，生理老化具体指哪些方面？认知老化具体指哪些方面？生理老化和认知老化之间的关系是什么？生理老化和认知老化对书写产生过程可能有哪些不同的影响？

回应: 感谢审稿专家的建议。我们根据文献对生理老化和认知老化进行了一定区分，并进一步分析了生理老化和认知老化之间的关系，以及两者对书写产生过程可能有哪些不同的影响，具体内容如下（见正文第 1 部分 P4 第 15 行至 P5 第 7 行）：

“书写作为一种需要感知-运动系统参与的语言认知活动，其老化同时受到生理老化与认知老化的共同影响。书写的顺利完成既需要神经系统的支持，也离不开运动系统的参与。因此，书写的生理老化不仅涉及脑的结构与功能等神经系统方面的老化，也包含骨骼、肌肉等运动系统方面的老化(Lemoine, 2020)。一方面，神经系统方面的老化会导致脑内神经元的活性降低，神经元和神经突触的数量减少和体积萎缩，大脑灰质、白质的密度及体积衰退，以及脑区内的连接强度减弱，脑区间的连接增强，这些老化可能主要影响书写的中央过程，使得语言信号的传递速度减慢，传递准确性降低。另一方面，运动系统方面的老化会导致骨质疏松及骨骼的退行性改变，关节的弹性、韧性、灵活性降低，肌肉萎缩且体积变小，这些老化可能主要影响书写的外周过程，使得书写动作的协调性降低、运动的速度减慢以及运动的力度减小。书写的认知老化主要指书写过程中个体对语言信息的感知速度减慢、工作记忆下降、抑制能力减弱、现场依赖性增强等语言认知能力的衰退(Fabiani, 2012)。书写的认知老化可能主要影响概念提取、词汇通达、正字法表征，音-形转换等中央过程，使得语言信息的编码、存储与提取受到影响，从而降低了认知编码阶段信息加工的速度、精细性与准确性(Shafto & Tyler, 2014; Shafto et al., 2014)。

由上可见，书写的生理老化与认知老化之间既存在共性，也表现出独特性。两者之间存在共性主要源于大脑是个体认知活动的生理基础，书写的认知老化是大脑等中枢神经系统方面的生理老化在认知上的体现。因此，从神经系统层面的老化来看，生理老化与认知老化对书写产生过程的影响存在重叠，二者可能主要影响书写的中央过程。生理老化表现出的独特性在于，除了神经系统方面的老化，生理老化还涉及骨骼、肌肉等运动系统方面的老化，这种老化可能主要影响到书写的外周过程，如手部的握力、持笔、书写动作的协调性、视觉-空间一致性等。由于神经系统在生理老化和认知老化之间的重叠使得书写中的部分过程既有生理老化的影响，又有认知老化的影响，很难完全区分开来，为了使表述简洁一致且易于理解，我们将两种老化统称为生理老化。”

参考文献：

- Fabiani, M. (2012). It was the best of times, it was the worst of times: A psychophysiology's view of cognitive aging. *Psychophysiology*, 49(3), 283–304.
- Lemoine, M. (2020). Defining aging. *Biology & Philosophy*, 35(5), 46.
- Shafto, M. A., & Tyler, L. K. (2014). Language in the aging brain: The network dynamics of cognitive decline and preservation. *Science*, 346, 583–587.
- Shafto, M. A., Tyler, L. K., Dixon, M., Taylor, J. R., Rowe, J. B., Cusack, R., ... Matthews, F. E. (2014). The Cambridge Centre for ageing and neuroscience (Cam-CAN) study protocol: A cross-sectional, lifespan, multidisciplinary examination of healthy cognitive ageing. *BMC Neurology*, 14, 204.

意见 3：书写认知老化的机制分析部分，分别从不同层次阐述了影响书写老化的机制，建议进一步阐述三种观点的联系和区别。

回应：感谢审稿专家的建议。根据您的建议，我们补充了书写认知老化机制三种观点的联系和区别，具体内容如下（见正文第 3 部分 P10 第 18-23 行）：

“上述三种观点均从生理老化方面阐释了书写认知老化发生的内在机制，但涉及不同的层面。其中，第一种观点聚焦于脑和神经生理机制，主要从中枢神经系统层面的生理老化分析大脑认知变化对书写中央过程的影响；第二种观点聚焦于感觉运动机制，侧重从感知运动系统层面的生理老化分析感知觉和运动觉的衰退对书写外周过程的影响；第三种观点聚焦于激素变化或骨质流失等影响手部动作表现或力量的生理过程，主要分析了生物化学递质层面的生理老化对书写外周过程的影响。”

意见 4: 研究中所阐述的影响书写认知老化的因素也会影响其他认知加工过程, 尤其是语言加工过程, 那么书写产生认知老化的普遍性和特异性表现在哪些方面? 更进一步, 书写产生认知老化的研究对于认知老化领域和书写产生领域的理论贡献可能有哪些?

回应: 感谢审稿专家的建议, 我们根据您的建议对上述问题展开进一步思考。

问题一: 关于“书写产生认知老化的普遍性和特异性表现在哪些方面”这一问题, 我们通过将书写产生与其他语言认知活动(如口语产生、阅读)以及书写产生与其他运动活动(如绘画)进行对比, 以此来分析推断书写产生认知老化的普遍性和特异性, 具体内容如下:

“较之于口语产生, 书写产生过程不仅包括概念准备、词条选择等共有的高层次中央过程, 还涉及拼写编码等较低层次的中央过程以及运动编码、执行运动程序等特有的外周过程(Bonin et al., 2002; Bonin & Fayol, 2000; Perret & Laganaro, 2012; Qu et al., 2016; Brownsett & Wise, 2010; van Galen, 1991)。来自口语产生领域的老化研究表明, 较之于年轻人, 老年人更倾向依赖语义、而非语音信息完成某些语言任务(Cortese et al., 2003), 并且老年人在词汇提取方面存在困难(Shafto et al., 2014)。据此我们推断, 老年人在书写产生中可能也会表现出依赖语义而非语音信息完成某些语言任务, 并且在词汇提取方面存在困难, 表现出高层次中央过程老化的普遍性。然而, 对有别于口语产生的书写拼写编码阶段的正字法通达、音-形转换等低层次中央过程的老化, 动作编码、执行运动程序等外周过程的老化, 以及在中央过程和外周过程起桥梁作用的形素缓冲区(正字法工作记忆, 在输出动作序列的同时在大脑中为正字法进行保持)方面的老化, 书写产生老化可能会表现出其特异性。

较之于阅读是正字法表征的输入过程, 书写产生是正字法表征的输出过程, 两者可能具有共同的正字法表征(Burt & Tate, 2002; Holmes & Babauta, 2005; Rapp & Lipka, 2011)。书写产生领域的老化研究发现, 与青年人相比, 老年人存在更多提笔忘字现象(MacKay & Abrams, 1998; MacKay et al., 1999), 这可能源于老年人的正字法表征和语音表征之间的联结更弱, 从而使得正字法通达能力降低(Burke et al., 1991)。据此我们推断, 老年人在阅读中可能也会因语音表征和正字法表征之间更弱的联结表现出语音通达能力降低, 表现出书写认知老化的普遍性。然而, 对有别于阅读的外周过程的老化, 书写产生老化可能会表现出其特异性。

较之于绘画, 书写产生过程不仅包含图形-运动规划、运动肌肉的协调、视-空一致性等共有的外周过程, 还涉及音、形、义等特有的语言认知过程(He et al., 2022)。因此, 书写认知老化的普遍性可能主要在于负责动作执行的外周过程的老化, 而在负责语言认知的中央过程的老化方面将表现出其特异性。

另外，从来自脑神经机制方面的元分析来看，书写产生除了有其特有的脑区（左侧额上沟/额中回区、左侧顶叶内沟/顶叶上区、右侧小脑等三个区域）之外，还有与其他语言认知活动（如口语、阅读）共有的脑区（腹侧运动前皮质、后颞/下颞皮质等），以及与非特异性运动（如绘画）共有的脑区（初级运动和感觉运动皮质、辅助运动区、丘脑和壳核等）(Planton et al., 2013)。据此我们推断，书写特有脑区的老化将表现出书写老化的特异性，而书写与其他语言认知活动、非特异性运动共有脑区的老化将表现出普遍性。未来研究可以老年人与年轻人作为被试，采用“语言输入控制”（即以口语、阅读等语言任务为控制任务，将其与书写任务进行比较）或“运动输出控制”（即以绘画等非语言运动任务为控制任务，将其与书写任务进行对比）来探究两类人群在书写产生与其他活动之间的共有成分及其特有成分，以此来直接考察书写产生认知老化的普遍性与特异性。”

修改稿中，我们将该问题放在了第4部分结语及展望中，并概要性地指出了该问题未来的研究设想（见第4部分 P11 第21行至 P12 第1行）。

参考文献：

- Bonin, P., Chalard, M., Môt, A., & Fayol, M. (2002). The determinants of spoken and written picture naming latencies. *British Journal of Psychology*, 93(1), 89–114.
- Bonin, P., & Fayol, M. (2000). Writing words from pictures: What representations are activated, and when?. *Memory & Cognition*, 28, 677–689.
- Brownsett, S. L., & Wise, R. J. (2010). The contribution of the parietal lobes to speaking and writing. *Cerebral Cortex*, 20(3), 517–523.
- Burke, D. M., MacKay, D. G., Worthley, J. S., & Wade, E. (1991). On the tip of the tongue: What causes word finding failures in young and older adults? *Journal of Memory and Language*, 30(5), 542–579.
- Burt, J. S., & Tate, H. (2002). Does a reading lexicon provide orthographic representations for spelling? *Journal of Memory and Language*, 46(3), 518–543.
- Cortese, M. J., Balota, D. A., Sergent-Marshall, S. D., & Buckner, R. L. (2003). Spelling via semantics and phonology: Exploring the effects of age, Alzheimer's disease, and primary semantic impairment. *Neuropsychologia*, 41, 952–967.
- He, J., Brehm, L., & Zhang, Q. (2022). Dissociation of Writing Processes: A Functional Magnetic Resonance Imaging Study on the Neural Substrates for the Handwritten Production of Chinese Characters. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 34(12), 2320-2340.

- Holmes, V. M., & Babauta, M. L. (2005). Single or dual representations for reading and spelling? *Reading and Writing, 18*(3), 257–280.
- MacKay, D. G., & Abrams, L. (1998). Age-linked declines in retrieving orthographic knowledge: Empirical, practical, and theoretical implications. *Psychology and Aging, 13*(4), 647–662.
- MacKay, D. G., Abrams, L., & Pedroza, M. J. (1999). Aging on the input versus output side: Theoretical implications of age-linked asymmetries between detecting versus retrieving orthographic information. *Psychology and Aging, 14*(1), 3–17.
- Perret, C., Laganaro, M. (2012). Comparison of electrophysiological correlates of writing and speaking: A topographic ERP analysis. *Brain Topography, 25*, 64–72.
- Qu, Q., Zhang, Q., & Damian, M. F. (2016). Tracking the time course of lexical access in orthographic production: An event-related potential study of word frequency effects in written picture naming. *Brain and language, 159*, 118–126.
- Rapp, B., & Lipka, K. (2011). The literate brain: The relationship between spelling and reading. *Journal of Cognitive Neuroscience, 23* (5), 1180–1197.
- Shafto, M. A., Tyler, L. K., Dixon, M., Taylor, J. R., Rowe, J. B., Cusack, R., ... Matthews, F. E. (2014). The Cambridge Centre for ageing and neuroscience (Cam-CAN) study protocol: A cross-sectional, lifespan, multidisciplinary examination of healthy cognitive ageing. *BMC Neurology, 14*, 204.
- van Galen, G. P. (1991). Handwriting: Issues for a psychomotor theory. *Human Movement Science, 10*, 165–191.
- Planton, S., Jucla, M., Roux, F. E., & Démonet, J. F. (2013). The “handwriting brain”: a meta-analysis of neuroimaging studies of motor versus orthographic processes. *Cortex, 49*(10), 2772–2787.

问题二：关于“书写产生认知老化的研究对于认知老化领域和书写产生领域的理论贡献可能有哪些”这一问题，我们补充了相应思考，具体内容如下：

“从对认知老化领域的理论意义来说，开展书写认知老化研究，一方面，从书写中枢神经系统和外周神经系统两个途径探究老化的原因、过程、神经机理等，可能是揭示认知老化发生内在机制的一个新窗口；另一方面，通过书写练习来训练老年人的某些认知功能，可能是延缓认知老化进程的一条新路径。

从对书写产生领域的理论意义来说，研究老年人这一特殊群体的书写行为，可以对生理老化导致的某些功能损伤与老年人书写障碍之间的关系有更具体的因果推断，从而更容易揭示书写产生的认知机制及其神经生理基础。另外，当前无论是关注书写正字法通达机制的语

音中介假说和正字法自主假说,还是关注书写中央过程与外周过程之间关系的序列模型和级联模型均主要基于非老年群体提出,那么个体书写的正字法通达机制、中央过程与外周过程之间的关系是否会随着生理老化发生变化,不同理论模型之间存在不可逾越的鸿沟,还是会随着生理老化出现某种过渡或融合,开展书写认知老化方面的研究,有助于从神经、激素、肌肉等生理层面,以及语言加工、认知控制等认知层面和动作技能等行为层面洞悉书写产生机制并回应这些问题,从而更好地丰富书写认知理论模型。”

修改稿中,我们将该问题放在了开头的研究意义部分,请见 P2 第 1-13 行。

第二轮

审稿人 1 意见: 作者在展望的部分提到了“书写认知老化具有跨语言普遍性与语言特异性吗?”这个问题。但是在前面的书写认知与脑机制研究却没有对汉字书写相关研究的简介,以及有关语言特异性的相关讨论,让这个展望显得有些空洞。

回应: 感谢审稿专家的意见。当前关于汉字书写认知的研究主要关注的是语音在正字法通达中的作用,根据您的意见,我们首先在书写认知的语音中介假说和正字法自主假说部分补充了汉字书写的相关研究,具体内容如下(请见正文第 1 部分 P3 第 5-11 行):

“早期围绕这一焦点问题的研究主要考察的是英语、法语等西方拼音文字,然而,这类文字的正字法系统因存在较强的形-音对应规则而不能完全分离其正字法和语音效应,可能会对其研究结论的可靠性产生影响。利用汉语正字法和语音能够纯净分离的优势,研究者采用图-词干扰范式、Stroop 范式、掩蔽启动范式等对语音在汉字书写正字法通达中的作用进行了一系列行为与脑电研究,并分别为汉字书写的语音中介假说(Damian & Qu, 2013; Qu et al., 2011; Qu & Damian, 2020; Qu et al., 2015)和正字法自主假说(Zhang & Wang, 2015; Zhang & Wang, 2016)提供了相应证据。”

参考文献:

Damian, M. F., & Qu, Q. (2013). Is handwriting constrained by phonology? Evidence from Stroop tasks with written responses and Chinese characters. *Frontiers in psychology, 4*, 765.

Qu, Q., Damian, M. F., & Li, X. (2015). Phonology contributes to writing: Evidence from a masked priming task. *Language, Cognition and Neuroscience, 31*(2), 251–264.

Qu, Q., & Damian, M. F. (2020). An electrophysiological analysis of the time course of phonological and orthographic encoding in written word production. *Language, Cognition and Neuroscience, 35*(3), 360–373.

Qu, Q., Damian, M. F., Zhang, Q., & Zhu, X. (2011). Phonology contributes to writing: Evidence from written

word production in a nonalphabetic script. *Psychological Science*, 22(9), 1107–1112.

Zhang, Q., & Wang, C. (2015). Phonology is not accessed earlier than orthography in Chinese written production:

Evidence for the orthography autonomy hypothesis. *Frontiers in Psychology*, 6, 448.

Zhang, Q., & Wang, C. (2016). The temporal courses of phonological and orthographic encoding in handwritten

production in Chinese: An ERP Study. *Frontiers in Human Neuroscience*, 10, 417.

其次，目前有关汉字书写的中央过程与外周过程之间关系的研究仍较少，我们检索到的文献为 Zhang 和 Feng(2017)考察了汉字词性和偏旁的复杂性对书写动作执行阶段的影响。该研究发现汉字词性和偏旁的复杂性可以级联到动作执行阶段，支持级联模型。我们在级联模型部分补充了该参考文献（请见正文第 1 部分 P3 第 25 行）。

参考文献：

Zhang, Q., & Feng, C. (2017). The interaction between central and peripheral processing in Chinese handwritten

production: Evidence from the effect of lexicality and radical complexity. *Frontiers in Psychology*, 8, 334.

然后，我们补充了汉字书写相关脑机制的介绍，具体内容如下（请见正文第 1 部分 P4 第 12-26 行）：

“上述研究结论主要基于西方拼音文字，对汉字书写脑机制的研究发现，左侧角回(left angular gyrus)、左额中/下回(left middle/inferior frontal gyrus)可能分别负责汉字书写中央过程的概念加工和语音加工，左侧缘上回(left supramarginal gyrus)负责从拼音到相应正字法字形的转换，右顶叶上/下小叶(right superior/ inferior parietal lobule)可能与汉字书写所需的复杂正字法加工有关。另外，双侧前额叶区域(bilateral prefrontal areas)负责将抽象的汉字正字法表征转换为外周过程的运动指令，左额上回(left superior frontal gyrus)和左顶叶上小叶(left superior parietal lobule)可能与汉字书写产生正确动作序列和所需的正字法缓冲有关，右侧壳核/丘脑(right putamen/ thalamus)负责书写方形汉字所需的额外运动控制(Ge & Gao, 2023; He, Brehm, & Zhang, 2022)。也就是说，除了涉及与拼音文字共同的左额叶和顶叶皮层的脑激活以外，汉字书写中央过程的正字法加工和外周过程的动作执行还与右额叶和顶叶皮层以及右壳核/丘脑的激活有关。这些结果表明，汉字书写不仅需要左半球的大脑参与，还需要右半球的大脑参与(Yang et al., 2019; Cao & Perfetti, 2016; Lin et al., 2007)，换句话说，汉字书写需要激活双侧皮层区和右侧壳核/丘脑，这些右半球的脑激活反映了汉字的方形结构所涉及的视觉空间处理比拼音文字更复杂(He, Brehm, & Zhang, 2022)。”

参考文献:

- Cao, F., & Perfetti, C. A. (2016). Neural signatures of the reading–writing connection: Greater involvement of writing in Chinese reading than English reading. *PLoS One*, *11*, e0168414.
- Ge, J., & Gao, J. H. (2023). A review of functional MRI application for brain research of Chinese language processing. *Magnetic Resonance Letters*, *3*(1), 1–13.
- He, J., Brehm, L., & Zhang, Q. (2022). Dissociation of writing processes: A functional magnetic resonance imaging study on the neural substrates for the handwritten production of Chinese characters. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *34*(12), 2320–2340.
- Lin, C. Y., Xiao, Z. W., Shen, L., Zhang, J. X., & Weng, X. C. (2007). Similar brain activation patterns for writing logographic and phonetic symbols in Chinese. *Neuroreport*, *18*, 1621–1625.
- Yang, Y., Zuo, Z., Tam, F., Graham, S. J., Tao, R., Wang, N., et al. (2019). Brain activation and functional connectivity during Chinese writing: An fMRI study. *Journal of Neurolinguistics*, *51*, 199–211.

最后，我们在展望部分补充了语言特异性的相关讨论，具体内容如下（请见正文第4部分 P12 第 4-22 行）：

“当前有关书写认知老化的研究主要集中在西方拼音文字，有关汉字书写认知老化的研究相对不足。拼音文字是一种由平面字母组合构成的线性字符序列，而汉字是一种由若干笔画、偏旁组成的全方位立体化的方块结构，这种结构产生了高度的视觉复杂性。此外，汉字还包含大量的同音异义字，因此其正字法、语音和语义系统之间的关系也更复杂。汉字的这些特征使其书写的正字法通达和精细运动加工对工作记忆的需求势必比拼音文字更高，从而可能更容易受到老化的影响。因此，开展汉字书写认知老化研究，探究汉字书写过程中表现出的年轻化特征与模式非常有必要。首先，汉字不同语言信息之间的老化存在何种差异？汉字繁杂多样，以年轻人为被试的研究表明，汉字书写的正字法通达除了可能受语音的影响外，还会受到偏旁位置、结构、笔画、词频、音节频率、拼写规则性、语境词熟悉度、习得年龄等多种因素的影响，从而导致笔尖效应的出现(Huang et al., 2021; Wang et al., 2023)。未来研究可以老年人为被试，考察汉字的这些语言信息在老年人书写正字法通达中的作用机制有何差异，在关注老年人汉字书写笔尖效应的同时，也关注这些语言信息在动作执行阶段所表现出的年轻化特征，从而加强对老年人汉字书写完整过程的理解。其次，汉字书写认知老化的年龄趋势是怎样的？未来研究可以基于大样本、多年龄阶段被试，通过纵向分析的方法，系统考察汉字书写认知老化的发生年龄及其发展趋势。再次，未来还应加强跨语言书写认知老

化比较研究，通过与英语、法语等西方拼音文字比较，考察汉语书写认知老化的共性和差异性。最后，基于对上述问题的理论分析和实证研究，构建汉语书写认知老化理论模型，为后续汉语书写认知老化的评估、预测和干预提供理论支持。”

参考文献：

Huang, S., Lin, W., Xu, M., Wang, R., & Cai, Z. G. (2021). On the tip of the pen: Effects of character-level lexical variables and handwriter-level individual differences on orthographic retrieval difficulties in Chinese handwriting. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 74(9), 1497–1511.

Wang, J., Cheng, L., Maurer, U., & Chen, H. C. (2023). Role of radical position and character configuration in Chinese handwritten production. *Reading and Writing*, 36(7), 1609–1630.

审稿人 2 意见：作者较好地回应了所提出的问题，并对文章做了相应的修改，我没有进一步的意见了。

回应：感谢审稿专家对我们修改工作的认可与肯定！

第三轮

编委 1 意见：本论文对生理老化如何影响书写认知、书写认知老化的感知运动机制及脑机制等内容进行了系统阐述，所获得的结论可以为未来书写认知老化相关研究提供借鉴，具有较为重要的理论意义。参考外审专家意见进行修改后，本论文已达到发表要求，建议发表。

编委 2 意见：同意发表。

主编意见：同意发表。