

# 《心理科学进展》审稿意见与作者回应

题目：视觉运动整合能力与阅读关系的发展

作者：赵一帆、李君君、毕鸿燕

## 第一轮

审稿人 1 意见：

意见 1：

该论文以视觉运动整合（VMI）与阅读关系的发展为主题，重点关注了字母文字和汉语书写系统，对比分析了两个书写系统中 VMI 能力与阅读的关系随年龄的发展趋势。该主题对理解阅读能力发展具有一定意义，尤其是为理解汉语书写系统的独特性及其对阅读发展轨迹的影响提供了见解。论文可以在以下几个方面进行完善，以增加综述的深度和广度。

**VMI 定义和测量方式的详细分析：**论文中提到的研究采用了多种任务范式来测量 VMI 能力。为了加强读者对 VMI 概念和测量方法的理解，建议详细讨论这些范式，阐释它们的特点、如何选择以及它们之间的差异和侧重点。可以单独列出一部分，系统性地评述各种测量方法，以及这些方法如何适应不同年龄段儿童的认知与运动发展。

回应：

感谢专家的宝贵建议！我们进一步梳理了现有研究对 VMI 能力的测量方式，提炼出了几种任务范式。正如专家所述，不同任务范式的侧重点不同，并且，即便使用同样的任务范式，不同测验也有着不同的特点及侧重点。为此，我们补充了“2 VMI 能力的测量”部分，以系统地阐述已有研究所使用的各种测验。

具体修改见“2 VMI 能力的测量”：

“图形抄画任务、钉子凹槽任务和珠子穿线任务是衡量个体的 VMI 能力的三种经典任务(Khatib et al., 2022)。其中，图形抄画任务要求被试使用纸笔将给定的几何图形抄画到指定位置；钉子凹槽任务要求被试把特定形状的钉子放进相应的凹槽中；珠子穿线任务要求被试尽可能快地把珠子穿到细绳上。三项任务都涉及手眼协调和视觉反馈(Tchalenko & Miall, 2009)，能有效地反映个体的 VMI 能力(Cameron et al., 2016)。相对而言，图形抄画任务更侧重于精细手指运动；钉子凹槽任务更侧重于手臂运动；而珠子穿线任务需要双手合作，更侧重于双手协调能力。目前，后两项任务形式在研究中的使用较少，可能不利于跨研究的整合与比较。

图形抄画任务是当前测量 VMI 能力应用最广泛的范式，且已有研究者将其编制为标准化测验(Khatib et al., 2022)。其中，Beery 视觉运动整合发展测验(The Beery-Buktenica Developmental Test of Visual-Motor Integration; Beery & Beery, 2010)和 Bender 视觉运动格式塔测验(Bender Visual-Motor Gestalt Test; Brannigan & Decker, 2003)应用最多。其不同之处在于，前者在 VMI 测验外还提供了用以测量视知觉和运动协调能力的两项补充测验；后者的 VMI 测验同时包含抄画与回忆两个阶段——回忆阶段要求被试根据记忆尽可能准确地画出图形。此外，在汉语研究中，也有研究者使用被试完全陌生的书面文字来替代几何图形，例如通过抄画韩语、希伯来语和越南语文字来测量被试的 VMI 能力(Kalindi et al., 2015; McBride-Chang et al., 2011; Wang et al., 2014)。使用陌生书面文字作为测验材料可以避免背景知识和正字法经验的应用，以获得个体较为纯粹的 VMI 能力(Wang et al., 2014)。”

## 意见 2:

VMI 与阅读能力发展关系的多维度探讨：考虑到阅读障碍在阅读发展中的重要性，建议在综述中补充关于阅读障碍与 VMI 之间关系的研究。

### 回应:

感谢专家的宝贵建议！正如专家所述，发展性阅读障碍(Developmental Dyslexia, DD)作为阅读落后的特殊群体，在阅读发展领域中至关重要。DD 群体 VMI 能力的研究可以从另一个侧面帮助回答 VMI 能力与阅读之间的关系，以及这种关系随年龄增长如何发展变化。为此，我们新增了“5 发展性阅读障碍者 VMI 能力的发展”部分，以系统地阐述字母文字和汉语书写系统中 DD 患者 VMI 能力的发展，并将其与正常儿童的结果进行比较。

具体修改见“5 发展性阅读障碍者 VMI 能力的发展”：

“发展性阅读障碍 (Developmental dyslexia, 简称 DD) 是指在无明显神经或器质性损伤的情况下, 个体的阅读能力仍明显落后于其智力及年龄应达到水平的情况(Lyon et al., 2003)。研究已揭示了 DD 在元语言技能上的缺陷表现, 例如语音缺陷(Eden et al., 2016; Snowling, 2001)、正字法加工缺陷(Chung et al., 2012)和语素缺陷(Shu et al., 2006)等。除此之外, 也有研究关注 DD 在更基础的一般感知运动技能上的表现(Goswami, 2015), 并发现 DD 存在 VMI 缺陷(Giovagnoli et al., 2016; McBride-Chang et al., 2011; Yang et al., 2022)。作为阅读能力连续体上落后的一端(Vellutino et al., 2004), 对于 DD 者 VMI 能力的研究可以从另一个侧面帮助回答 VMI 能力与阅读之间存在怎样的关系以及这种关系随年龄增长如何发展变化的问题。

在字母文字中, Satz 等(1971)的研究最早对 DD 儿童 VMI 能力的发展进行了探讨。该研究招募了 7~8 岁的低年龄儿童和 11~12 岁的高年龄儿童, 结果显示仅低年龄 DD 儿童在 VMI 能力上显著落后于同年龄对照组, 存在 VMI 缺陷。然而, 这项早期研究的不足在于, 研究只招募了男性被试, 结果可能存在性别特异性。后续, Giovagnoli 等(2016)招募了平均 9.5 岁的小学和平均 12.9 岁的中学儿童, 共包括 55 名男性和 70 名女性, 结果同样发现, 仅低年龄 DD 儿童存在 VMI 缺陷。Tremblay 等(2014)关注了年龄更大的成人, 发现与高年龄的学龄 DD 儿童类似, DD 成人也不存在 VMI 缺陷。综上所述, 与年龄较大的 DD 儿童和 DD 成人相比, 年龄较小的 DD 儿童表现出更显著的 VMI 缺陷。这与在正常儿童中发现的 VMI 能力与字母文字阅读的相关程度随年龄增长而减小的趋势相一致。

相较于上述字母文字背景下的相关研究涉及了从小学到成人较广泛的年龄段, 目前汉语背景下的研究还仅局限于小学阶段的儿童。其中, 关注低年龄 DD (小学 2~3 年级) 的研究普遍发现, DD 儿童不存在 VMI 缺陷(Cheng-Lai et al., 2013; Siok & Tan, 2022)。然而, 关注高年龄 DD (小学 4~6 年级) 的研究得到了不同的结果。研究发现, 高年龄 DD 儿童的 VMI 能力存在缺陷(McBride-Chang et al., 2011; Yang et al., 2022; 孟泽龙, 2020)。综上所述, 在汉语书写系统中, 年龄较小的 DD 儿童可能不存在 VMI 缺陷, 而年龄较大的 DD 儿童存在 VMI 缺陷。这与正常汉语儿童中发现的 VMI 能力与汉语阅读能力之间的相关随着年龄增长由不显著转变为显著的趋势相一致。”

## 意见 3:

对于那些未发现 VMI 与阅读发展显著相关的研究, 应进行全面的分析, 以排除偏差, 并且为综述提供一个更均衡的视角。

### 回应:

我们接受专家的建议。通过广泛的文献检索, 我们发现, 汉语学前儿童的 VMI 能力与阅读能力之间的相关不显著。结合学龄期儿童中显著相关的结果, 以及实证研究对年龄的调节作用的验证, 本综述指出, 之所以学前儿童的相关不显著, 可能正是年龄在其中起到了重要的作用。然而, 通过对研究更细致的检查和梳理, 我们也为读者提供了另一种可能的解释,

即 Wang 等(2015)指出, 研究中的学前儿童来自中国大陆, 并未接受正式的识字教学。因此, 此时儿童进行的阅读测验可能无法准确反映出他们的能力水平, 导致了学前期 VMI 能力与阅读之间不显著相关的结果。

具体修改见“4 VMI 与汉语阅读关系的发展”的第三段:

“此外, 之所以已有汉语学前儿童的研究未发现 VMI 能力与阅读之间存在显著相关性, 也可能是因为研究所招募的学前儿童并未接受正式的识字教学(Wang et al., 2015), 此时进行的阅读测验可能无法准确反映出儿童的能力水平。”

#### 意见 4:

第四部分的不足与展望中, 关于“VMI 能力与阅读之间相关性及其发展背后的行为及神经机制”的分析和论述不够全面, 不够深入, 没有阐述清楚 VMI 能力与阅读发展关系的内在联系。比如, 有研究者认为, 视觉运动整合与书写能力有更直接的关系, 而书写能力是促进阅读能力发展的很重要因素。建议在讨论中综合不同的研究视角和理论框架, 更全面地阐述 VMI 能力与阅读技能之间的内在联系。

#### 回应:

感谢专家的具体建议! 目前, 有研究者提出“内部模型理论”(the theory of internal models)、“笔画运动加工假设”(stroke processing hypothesis)和“视觉分析假说”(visual analysis hypothesis)等理论观点以试图解释 VMI 能力作用于阅读的机制。我们在“不足与展望”中补充了对这些理论的阐述与分析, 从而进一步梳理 VMI 能力与阅读之间可能的内在关联机制。

具体修改见“6 不足与展望”的第四段:

“再次, 阐明 VMI 能力与阅读之间相关性及其发展的内在机制。有研究者认为, VMI 能力与阅读之间共享广泛的一般认知能力, 包括持续性注意和工作记忆等, 可能介导二者之间的关联(McClelland & Cameron, 2019)。然而, 功能主义(functionalism)的观点指出, 排除了一般认知能力的作用后, VMI 能力对阅读还有着额外的贡献(Mohamed & O'Brien, 2022), 并得到了实证研究的支持(Meng et al., 2019; Mohamed & O'Brien, 2022)。据此, 有学者提出了“内部模型理论”(the theory of internal models), 认为 VMI 能力可能通过内部模型的预测机制促进对语音感知的速度和准确性(Marchetti et al., 2022)。Santi 等(2015)通过回归分析发现, 语音意识可能是 VMI 能力影响阅读的重要中介因素; 干预研究也发现, VMI 训练可以有效提高 DD 儿童的语音意识(孟泽龙, 2020), 支持了这一假设。此外, 也有研究者提出“笔画运动加工假说”(stroke processing hypothesis), 认为 VMI 能力强的个体可以更好地将书写时的笔画运动信息与视觉输入连接在一起, 因此促进对视觉文字的识别(Araújo, Domingues, et al., 2022; Fernandes & Araujo, 2021)。实证研究发现, VMI 能力与书写有着密切的关联(Pinto & Incognito, 2022; Zemlock et al., 2018), 支持了这一假设。同样是基于书写相关研究, 也有学者提出了不同的“视觉分析假说”(visual analysis hypothesis), 认为 VMI 加工可以促进对细粒度视觉特征的辨别, 从而迁移到视觉字形加工, 进而促进阅读(Araújo, Domingues, et al., 2022; Fernandes & Araujo, 2021)。尽管上述理论假设为 VMI 能力与阅读的关联机制提供了一些可能的解释, 但目前还缺乏充分的实证研究证据的支持。同时, 由于字母文字和汉字中, VMI 能力与阅读的相关均受到年龄的调节, 因此未来研究还需从发展的角度入手, 探究 VMI 能力作用于阅读背后的行为机制随着年龄发展如何发生变化, 以帮助解释不同书写系统中不同的发展轨迹。”

.....

审稿人 2 意见:

意见 1:

这篇综述探讨了视觉-运动整合 (VMI) 能力与阅读能力之间的关系,特别是在不同年龄和不同书写系统(如字母文字和汉语)中的发展。文章指出了阅读在儿童教育和个人发展中的重要性,并提及阅读涉及复杂的认知加工,包括感知觉运动加工和其他高级语言特征加工,并对 VMI 这一重要的能力与字母文字和中文阅读之间的关系进行了仔细梳理。对于阅读障碍的深入细分研究具有一定意义。

文章回顾了大量的研究,这些研究支持了 VMI 能力与阅读能力之间的密切联系。VMI 被定义为视知觉技能和精细运动技能的整合与协调,这对于阅读,尤其是学习阅读的早期阶段至关重要。文章指出,在字母文字中,VMI 能力与阅读之间的相关性随年龄增长而降低,这可能是由于随着年龄增长,儿童发展出了更有效的阅读策略,而这些策略不再那么依赖于 VMI 能力。然而,在汉语中,VMI 能力与阅读之间的相关性随年龄增长而增强。这可能是由于汉语的阅读要求更高水平的 VMI 能力,而这种能力随着年龄增长而提高。文章还提到了香港儿童的 VMI 能力与汉字阅读的相关性比内地儿童更强,这可能与学习汉字的起始年龄和汉字的复杂性有关。

文章还提出了未来研究的方向,包括多角度衡量 VMI 能力,确定 VMI 能力是否是支持阅读发展的必要基础,以及阐明 VMI 能力与阅读之间相关性及其发展背后的认知和神经机制。此外,文章还提到了 VMI 能力可能对阅读障碍儿童的干预有积极作用。总的来说,这篇文章提供了一个全面的理解 VMI 能力与阅读能力之间关系的框架,特别是在不同年龄和不同书写系统中的发展。它强调了 VMI 能力在阅读发展中的重要性,并呼吁进一步的研究来深入理解这种关系。对于该综述,希望作者进行一些修改和调整:

引言第一段第四行,将学习阅读等同于习得语言非常不严谨,请修改此处的表述,对语言和阅读/文字的关系做大概阐述。

回应:

感谢专家的具体建议!“行动为基础的语言观”(Action-based Language Theory)理论中的语言是一个广泛的概念,同时涉及口语、文字,甚至手势,包含语言产生(说话/写字)、语言理解(听/读)等部分,阅读是其中的一部分。为了更清晰地将该理论与阅读进行联结,我们在文章中对表述进行了修改,增加了对阅读与语言之间关系的简单论述,并补充了感知运动能力密切参与阅读的直接证据。

具体修改见文章“1 引言”的第一段:

“根据“行动为基础的语言观”(Action-based Language Theory; Glenberg & Gallese, 2012),习得语言需要个体将视觉、听觉等通道的感知觉信息与运动记忆(即书写及发音时运动系统的程序性记忆)相结合。阅读以对书面文字的识别为基础,是人类语言体系的重要组成部分(Glenberg & Gallese, 2012),也被发现需要感知运动系统的广泛参与(Hammill, 2004)。”

意见 2:

引言第一段第四行,什么是运动记忆?请定义清晰该部分记忆属于现有记忆理论框架中的哪个类型,如,属于程序记忆 procedural memory?

回应:

感谢专家的具体建议!这里的运动记忆主要是指书写文字时手部运动的记忆以及口语发音时喉舌唇运动的记忆,属于程序记忆。结合评审意见,我们在文章中对此进行了补充,以促进读者的理解。

具体修改见文章“1 引言”的第一段:

“根据“行动为基础的语言观”(Action-based Language Theory; Glenberg & Gallese, 2012),

习得语言需要个体将视觉、听觉等通道的感知觉信息与运动记忆（即书写及发音时运动系统的程序性记忆）相结合。”

### 意见 3:

引言第一段最后一行，虽然 VMI 在阅读障碍文献中十分重要，但是作为一篇阅读障碍相关的综述，仅仅提及 VMI 是不合适的，请适当补充对其他阅读障碍相关指标的陈述，如字母文字与 phonological awareness。可以简要概括，以避免有可能的误读。

### 回应:

感谢专家的具体建议，也很抱歉我们没有表述清楚。本综述主要关注 VMI 能力与阅读之间关系的发展，综述中纳入阅读障碍相关研究是为了从另一个侧面支持 VMI 能力与阅读之间相关程度随年龄增长的发展变化模式。如专家所述，仅提及 VMI 能力可能会导致读者对阅读障碍的理解不充分。因此，结合评审意见，我们对阅读障碍的相关指标进行了简要概括。目前，研究已发现了许多阅读障碍的相关指标。其中，字母文字书写系统中较一致地指出语音缺陷是阅读障碍的核心缺陷(Eden et al., 2016; Snowling, 2001)。而在汉语中，研究者发现了汉语特异的正字法加工缺陷(Chung et al., 2012; Shu et al., 2006)及语素缺陷(Shu et al., 2006)。除此之外，也有研究者关注更基础的一般感觉运动技能(Goswami, 2015)，并且发现，阅读障碍患者在 VMI 能力上的表现落后，存在 VMI 缺陷(Giovagnoli et al., 2016; McBride-Chang et al., 2011; Yang et al., 2022)。

具体修改见文章“5 发展性阅读障碍者 VMI 能力的发展”的第一段:

“发展性阅读障碍(Developmental Dyslexia, DD)是指在无明显神经或器质性损伤的情况下，个体的阅读能力仍明显落后于其智力及年龄应达到水平的情况(Lyon et al., 2003)。研究已揭示了 DD 在元语言技能上的缺陷表现，例如语音缺陷(Eden et al., 2016; Snowling, 2001)、正字法加工缺陷(Chung et al., 2012)和语素缺陷(Shu et al., 2006)等。除此之外，也有研究关注 DD 在更基础的一般感知运动技能上的表现(Goswami, 2015)，并发现 DD 存在 VMI 缺陷(Giovagnoli et al., 2016; McBride-Chang et al., 2011; Yang et al., 2022)。作为阅读能力连续体上落后的一端(Vellutino et al., 2004)，对于 DD 者 VMI 能力的研究可以从另一个侧面帮助回答 VMI 能力与阅读之间存在怎样的关系以及这种关系随年龄增长如何发展变化的问题。”

### 意见 4:

“2.VMI 与字母文字阅读关系的发展”最后一段第五行，说话发音本身，从严格意义上说，也是一种精细运动控制，但是此处作者提及的研究均测试的是手部精细运动，在这里突然提及语音加工，请补充缺失的逻辑线。

### 回应:

感谢专家指出这一关键问题！很抱歉我们未将逻辑线阐述清晰。如专家所述，文章综述的研究所采用的 VMI 测验均关注手部运动与视知觉的整合。然而，根据“内部模型理论”(the theory of internal models)，反映视知觉和手部精细运动协调程度的 VMI 加工可以强化广泛的感知和运动系统的耦合。在此基础上，内部模型的预测机制可以使得大脑在阅读文字时预先激活与语音相关的口型等视觉运动信息，提高语音感知的速度和准确性，从而影响语音加工(Marchetti et al., 2022; Sato, 2022)。

而之所以 VMI 与阅读之间的相关随着年龄发展而减小，一种可能得假设在于：早期儿童在单词阅读时，无法直接通过检索获得单词的发音，需要逐个识别单词中的字母及字母顺序，涉及一个“念出来(sounded out)”的过程(Khatib et al., 2022)。这一过程涉及内部模型隐含的发音动作，与儿童的 VMI 能力高度相关(James & Gauthier, 2006)。然而，随着年龄和阅读经验的生长，儿童可以将单词及其发音更加自动化的匹配，对单词的处理也更多通过直接检

索(Khatib et al., 2022), 因此二者之间的相关变弱。

参照评审意见, 我们在文章中增加了 VMI 关联语音加工的理论支持, 以补充缺失的逻辑线; 并突出了早期阅读中“念出来(sounded out)”这一过程对内部模型中发音动作的依赖以及后期儿童可以通过直接检索发音的特点, 以促进读者的理解。

具体修改见“3 VMI 与字母文字阅读关系的发展”的最后一段:

“综上所述, 在字母文字中, 从学前开始, VMI 能力与阅读之间的相关随着年龄增长而不断下降, 但至少到中学结束之前, 二者之间的相关都在统计上显著。之所以字母文字中存在这种年龄效应, 可能有以下解释。一方面, 字母文字的单词由字母组成, 呈线性布局, 有着明确的字素-音素对应规则(Bialystok et al., 2005)。有学者指出, VMI 能力可能通过内部模型(大脑中关于身体和环境之间关系的认知表征)的预测机制促进对语音的感知, 从而影响阅读(the theory of internal models; Marchetti et al., 2022)。具体而言, 良好的 VMI 加工可以加强广泛的感知和运动系统的耦合, 使得大脑在阅读文字时预先激活与语音相关的口型等视觉运动信息, 从而提高语音感知的速度和准确性(Marchetti et al., 2022; Sato, 2022)。在早期阶段的单词阅读中, 儿童需要逐个识别单词中的字母以及字母顺序, 涉及一个将单词“念出来(sounded out)”的过程(Khatib et al., 2022)。这一过程涉及内部模型隐含的发音动作, 与儿童的 VMI 能力高度关联(James & Gauthier, 2006)。然而, 随着年龄增长, 儿童对单词和发音的匹配更加自动化, 对单词的处理也更多通过直接检索(Khatib et al., 2022), 因此此时 VMI 能力对阅读的贡献随之减小。”

意见 5:

“2.VMI 与字母文字阅读关系的发展”最后一段倒数第四行, 什么是更上层的语言学加工? 请阐述清楚。语言学和语言是两个概念范畴。

回应:

感谢专家提醒! 这里的“语言学加工技能”是指“元语言技能”, 包括语音意识、语素意识和正字法加工技能(Hu & Catts, 1998)。结合评审意见, 我们在文章中对表述进行了修改, 并增加了对此概念的解释。

具体修改见“3 VMI 与字母文字阅读关系的发展”的最后一段:

“另一方面, 有研究者认为, 儿童在初学阅读时可能特别依赖于一种主要技能, 而非几种技能(Ye et al., 2021)。而一种技能之所以成为主导技能, 一是该技能在这一阶段比其他技能发展得更好, 二是该技能的出现是由于书写系统特征的要求(Ye et al., 2021)。考虑到早期儿童元语言技能(包括语音、语素及正字法技能; Hu & Catts, 1998)的发展相对较弱(Tong & McBride-Chang, 2010), 以及 VMI 技能在辨别字母和字母顺序方面的重要作用, 早期儿童的 VMI 能力很可能是字母文字阅读的主要技能。而随着年龄增长, 更上层的元语言技能逐渐发展起来, 因此, 虽然后期的 VMI 能力仍然是字母文字阅读的基础, 但是它对阅读的贡献下降, 相对而言, 可能更上层的元语言技能对阅读的贡献会有所上升, 因此带来了 VMI 能力与字母文字阅读相关随年龄增长而下降的发展趋势。”

意见 6:

“3.VMI 与汉语阅读关系的发展”最后一段倒数第六行, 请补充相关文献。

回应:

感谢评审专家的提醒! 我们已在文章中增加了这一观点的文献依据。

具体修改见“4 VMI 与汉语阅读关系的发展”的最后一段:

“繁体字的表意作用更强, 且提供了更多信息, 其识别更加简单(包文俊, 2020)。”

**意见 7:**

文章最后一段，与汉语阅读和阅读障碍直接相关的经典脑区额中回（MTG，BA9）最好在此稍作论述。

**回应:**

感谢评审专家的宝贵建议！额中回是汉语阅读和阅读障碍的经典脑区(Booth et al., 2006; Siok et al., 2008)，同时也参与处理复杂的视觉空间结构以及个体书写时的运动加工，为视知觉和运动的协调与整合提供了平台(Siok & Tan, 2022)，可能是 VMI 影响阅读的重要神经基础。结合评审专家的意见，我们在文章中增加了对额中回及其与 VMI 能力关联的论述。

具体修改见“6 不足与展望”的最后一段：

“除后顶叶皮层外，汉语阅读和阅读障碍的经典脑区——额中回也应得到研究者的关注。额中回不仅在汉语阅读和阅读障碍中有着独特的重要性(Booth et al., 2006; Siok et al., 2008)，同时也参与处理复杂的视觉空间结构以及书写时的运动加工，为视觉和运动的协调与整合提供了平台(Siok & Tan, 2022)，可能是 VMI 能力影响阅读的关键脑基础。”

---

**第二轮**

**审稿人 1 意见:**

作者较好地回答了一审的问题和意见并做出了修改，建议发表。

**审稿人 2 意见:**

作者已回应我的疑问，同意发表！

---

**编委 1 意见:**

推荐发表。

**编委 2 意见:**

同意发表。

**主编意见:**

该稿件经过多位专家的审阅，作者进行了认真的修改，达到发表水平，同意发表。