

• 研究前沿(Regular Articles) •

视觉运动整合能力与阅读关系的发展*

赵一帆 李君君 毕鸿燕

(中国科学院行为科学重点实验室, 中国科学院心理研究所脑科学与学习困难研究中心, 北京 100101)
(中国科学院大学心理系, 北京 100037)

摘要 视觉运动整合(Visual-motor Integration, VMI)是指个体视知觉与精细运动的整合与协调。大量研究证据表明, VMI 能力与阅读密切相关, 但相关程度受到年龄的调节。在不同书写系统中, VMI 能力与阅读的相关性随年龄增长呈现不同发展趋势: 在字母文字中, 相关程度随年龄增长而下降, 但直到中学时期仍然显著; 在汉语中, 相关程度随年龄增长而提高, 在小学高年龄阶段(9岁及以上)才表现出显著相关。鉴于已有研究尚有不足, 未来研究还需: 1)多角度衡量 VMI 能力, 包括面向过程和基于结果的评估; 2)确定 VMI 能力是否是支持阅读发展的必要基础; 3)阐明这种相关性及其发展背后的认知和神经机制。

关键词 视觉运动整合, 阅读, 发展, 书写系统

分类号 B842

1 引言

阅读是儿童获得良好学业成绩以及通过自学获得新知识的前提, 涉及一系列复杂的认知加工, 包括基础的感知觉运动加工和更上层的语言学加工(如 Míguez - Álvarez et al., 2022; Obergfell et al., 2022)。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(Hamill, 2004)。视觉运动整合(Visual-motor Integration, 简称 VMI)作为最早发育的感知运动能力之一, 是影响阅读习得和发展的的重要因素(Araújo, Maurer, & Fernandes., 2022)。VMI 是指视知觉技能和精细运动技能的整合与协调, 要求个体感知视觉输入, 然后据此规划并执行肌

肉运动(Tinker, 1940), 建立在完整的视觉感知、精细运动协调、运动抑制和持续注意的基础上(Ahn, 2021)。VMI 能力早在儿童 5 岁前即得到迅速发展, 5~7 岁时受到教育因素的影响发展复杂多变(丛婧, 2020), 8~10 岁时持续稳步发展, 11~12 岁后保持稳定(Carsone et al., 2021; Heiz & Barisnikov, 2016)。已有大量行为研究证据支持了 VMI 能力与阅读能力密切相关(如 Escolano-Pérez et al., 2020; Hopkins et al., 2019; Macdonald et al., 2020; Pienaar, 2019)。同时, 对发展性阅读障碍这类特殊群体的研究发现, 阅读落后的儿童同时也具有 VMI 缺陷, 侧面证明了 VMI 能力与阅读能力的相关性(Giovagnoli et al., 2016; McBride-Chang et al., 2011; Yang et al., 2022)。然而, VMI 能力与阅读之间的相关并非一成不变, 随着年龄的发展, 二者的相关程度会发生变化(Khatib et al., 2022)。同时, 受到不同书写系统特点的影响, VMI 能力和阅读相关关系随年龄增长的发展模式在字母文字和汉语中不尽相同(Greenburg et al., 2020; Meng et al., 2019)。本综述回顾了字母文字和汉语书写系统中关注 VMI 能力与阅读之间相关关系的研究, 揭示二者之间相关程度随年龄的发展变化, 并提出研究展望。

收稿日期: 2024-01-07

* 国家自然科学基金面上项目(32371119)。

通信作者: 毕鸿燕, E-mail: bihy@psych.ac.cn

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 et al., 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)。

3 VMI 与字母文字阅读关系的发展

在字母文字中, 研究普遍显示, 学前儿童的 VMI 能力与阅读之间有着密切且稳定的关联, 并能预测儿童未来的阅读发展。例如, Suggate 等 (2018) 对 144 名平均年龄 6.1 岁的学前儿童进行研究发现, 这些儿童抄画陌生语言文字的 VMI 能力与同时期测量的阅读技能密切相关。Dere (2019)

使用 Beery 视觉运动整合发展测验评估儿童的 VMI 能力, 结果也发现, 学前儿童的 VMI 能力与当时识字技能的相关显著。另有纵向研究采用纸笔抄画任务测量学前儿童的 VMI 能力, 在其小学三、四、五年级时又测量了他们的阅读能力, 结果表明, 学前儿童的 VMI 能力与其入学后的阅读能力显著相关, 并且, 在控制了性别和各种认知技能后, 学前的 VMI 能力仍能显著预测儿童入学后的阅读能力 (Greenburg et al., 2020)。近期, Mohamed 和 O'Brien (2022) 的大样本研究同样发现, 学前儿童 (883 名; 平均年龄 5.26 岁) 的 VMI 能力与他们小学时期 (平均年龄 6.74 岁) 的阅读能力相关显著。可见, 在字母文字中, 学前儿童的 VMI 技能与阅读之间存在密切关联。

在学龄期, VMI 能力与字母文字阅读之间仍存在显著的相关。Pitchford 等 (2016) 以一年级儿童为被试, 通过图形抄画任务评估儿童的 VMI 能力, 并通过测量儿童对字母和单词的阅读准确性来评估阅读能力, 结果发现, 二者之间的相关显著。Memisevic 等 (2019) 关注了二、三年级儿童, 发现儿童的 VMI 能力与阅读流畅性之间显著相关。Van Wyk 等 (2020) 关注年龄更大的三、四年级儿童, 也发现了儿童的 VMI 能力与语文成绩显著相关。通过包含 2318 名平均 8.45 岁的儿童的大样本研究, Emam 等 (2021) 发现, 儿童的 VMI 能力与阅读成绩以及教师主观评定的日常阅读表现均显著相关。一项追踪研究在儿童小学一年级下学期 (平均年龄 5.8 岁) 测量了单词阅读准确性 (阅读能力), 在二年级上学期 (平均年龄 6.3 岁) 使用图形抄画任务测量 VMI 能力, 在二年级下学期 (平均年龄 6.8 岁) 再次测量阅读能力, 结果发现, VMI 能力与阅读之间存在双向的关系, 儿童早期的阅读能力与后来的 VMI 能力显著相关; 同时, 儿童早期的 VMI 能力也与未来的阅读能力显著相关 (Pritchard et al., 2021)。近期, 有元分析发现, 儿童在学前、小学和中学时期的 VMI 能力均与阅读保持显著且稳定的关联, 但这一相关会受到年龄的影响, 相关系数从学前的 0.43 下降到小学时期的 0.32 和中学时期的 0.30 (Khatib et al., 2022)。可见, 随着年龄增长, VMI 能力与字母文字阅读的相关程度减弱。

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(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。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、语素及正语法技能; 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。

4 VMI与汉语阅读关系的发展

有研究发现,与字母文字书写系统不同,汉语学前儿童的VMI能力与阅读无关。Wang等(2014)采用抄画韩语、越南语和希伯来语文字的方式测量儿童的VMI能力,同时测量了儿童大声朗

读汉字的阅读能力。结果发现,平均年龄5.4岁的学前儿童三种抄画任务测量的VMI能力与汉字阅读之间均无显著的相关。该研究者又进一步采用纵向设计,使用抄画越南语和希伯来语文字的方式测量平均年龄5.2岁的学前儿童的VMI能力,并在当下和一年后测量儿童的汉字阅读能力。结果发现,儿童的VMI能力与其当下和一年后的汉字阅读均无显著的相关(Wang et al., 2015)。可见,在汉语中,暂无证据发现学前儿童的VMI能力与阅读有显著的相关关系。

对于学龄期儿童,兰莉和李公正(2001)对803名小学儿童进行研究发现,小学儿童的VMI能力与语文成绩显著相关。更进一步地,Tan等(2005)将小学儿童细分为低年龄组(7~8岁)和高年龄组(9~10岁),结果表明,仅在高年龄组儿童中存在VMI能力和阅读之间的显著相关,低年龄组儿童的相关不显著。进一步的回归分析也发现,仅在高年龄组中,VMI能力能显著解释阅读能力10.8%的方差变异。McBride-Chang等(2011)也关注小学高年龄(平均9岁)儿童,发现无论儿童的VMI任务是抄画韩语、越南语还是希伯来语文字,他们的VMI能力均与阅读显著相关。Meng等(2019)通过图形抄画任务测量儿童的VMI能力,结果也发现,小学高年龄(平均9岁左右)儿童的VMI能力与汉字阅读的相关显著。可见,随着年龄的增长,儿童的VMI能力与阅读的相关关系从不显著到显著。孟泽龙(2020)将汉语的相关研究扩展到了大学生,发现平均11岁的高龄儿童和平均22岁的大学生的VMI能力均与识字量相关显著,而平均8岁的低龄儿童的两项能力相关不显著,再次证实了年龄的重要影响。Siok和Tan(2022)通过包含1023名小学儿童的大样本研究也发现,VMI能力与汉字阅读的相关在小学低年龄(平均8~9岁)儿童中不显著,而在小学高年龄(平均10~11岁)儿童中显著。然而,这一研究同时发现,六年级儿童(平均12岁)的VMI能力与汉字阅读相关不显著,但由于部分六年级儿童已经超过该研究使用的标准VMI能力测验的适用范围(Hammill et al., 2014),六年级儿童的结果有待进一步检验。

综上所述,与字母文字的发展趋势相反,汉语儿童的VMI能力与阅读之间的相关随着年龄增长更加紧密,从低龄儿童(9岁以下)中的不显著

相关,到高年龄儿童(9岁以上)和成人中的显著相关。汉字由笔画和部件组成,相较字母文字,构图更加复杂,对视觉分析的要求也更高(Ren et al., 2021)。汉语没有系统的拼读规则。“抄写”是汉字学习的主要方式(Tan et al., 2005),可以通过帮助儿童进行笔画的视觉空间分析,并建立相关的感知运动记忆,由此促进汉字识别(Guan et al., 2011)。在汉语中,之所以 VMI 能力与阅读之间的相关在儿童低年龄时不显著,可能是因为,早期儿童还未开始或刚开始接受识字教学,视觉空间结构十分复杂的汉字于他们而言识别难度较大(Chang et al., 2018)。与此同时,早期儿童通常还未开始抄写汉字或者抄写练习时间较短, VMI 能力也较弱(Heiz & Barisnikov, 2016)。因此,此时儿童较弱的 VMI 能力可能无法与较难的汉字阅读之间形成稳定的关联。然而,随着年龄的增长和受教育年限的增加,儿童的 VMI 能力和阅读能力均得到提升(Carsone et al., 2021; Siok & Tan, 2022),考虑到 VMI 加工中涉及的视觉加工、运动记忆以及二者之间的整合可以帮助识别视觉图形(包括汉字),儿童的 VMI 能力与汉语阅读之间的相关程度随之增强。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。

然而,香港儿童的 VMI 能力与汉字阅读的关系与内地儿童表现不一样。有研究者以 369 名香港学前儿童为被试发现,儿童的 VMI 能力与阅读准确性显著相关,在控制了年龄、性别、母亲受教育程度和快速自动命名等因素后, VMI 能力仍能解释阅读准确性 1% 的方差变异(Chung et al., 2018)。近期的另一项追踪研究以 216 名香港学前儿童为被试发现,学前儿童的 VMI 能力与他们小学一、二年级时期的汉字阅读显著相关,并且在控制了年龄、智商、语音意识和语素意识后,学前的 VMI 能力仍能显著预测儿童在小学一、二年级时的汉字阅读(Ye et al., 2021)。可见,与内地不同,香港学前儿童的 VMI 能力与阅读相关紧密。对这种差异的一种解释在于,内地学习的是简体字,而香港学习的是繁体字。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)。与此同时,内地儿童在进入小学阶段后,

才开始接受正式的识字教学,而香港儿童在进入幼儿园后即学习认字(Li & Rao, 2000)。考虑到儿童学习汉字的主要方式是反复抄写(Tan et al., 2005),更早开始抄写且抄写字体更加复杂的香港儿童无疑会得到更好的训练,其 VMI 能力的发展也更快(Li & Rao, 2000)。相比于内地,香港学前儿童更强的 VMI 能力与更简单的阅读之间可能已经形成了稳定的关联。

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。

6 不足与展望

综上所述,在字母文字和汉语书写系统中,VMI 能力与阅读间关系的发展趋势不同。字母文字中,VMI 能力与阅读的相关程度随年龄增长而减小;而在汉语中,VMI 能力与阅读的关系则随年龄的增长而增大,从学前和小学低年级的不显著到小学高年级和成人时期的显著。其中的原因可能与两种书写系统的特点和阅读学习的主要方式有关。本综述通过定性综合已有研究结果提出,VMI 能力与阅读的关系在两种书写系统中有着不同的发展轨迹,并分别提出可能的解释。未来研究可以通过定量元分析或大样本实证研究对此进行验证,以提高结果的生态效度。此外,基于已有研究的不足,我们认为未来研究应该重视以下几个问题:

首先,多角度衡量 VMI 能力,开展系统研究。上述研究所使用的 VMI 测量工具,例如最常见的 Beery 视觉运动整合发展测验,只关注抄画结果的准确性(包括形状、比例、方向和大小等),而忽略了抄画中视知觉与手部运动相协调的过程信息(可量化为流畅性、稳定性等指标)(Maurer & Roebbers, 2021)。一方面,结果相同不代表过程相同,过程变量可以帮助提高 VMI 任务的区分度,可能适用于在结果变量上已达到天花板水平的人群。另一方面,将抄画过程拆解为抄画潜伏期(即从目标图形呈现到个体开始抄画的时间差)、抄画流畅性(即抄画中速度峰值出现的次数)等过程变量,并研究这些变量与阅读之间的关系,可以更清晰地阐明 VMI 能力如何参与阅读过程的问题。

未来研究可以考虑从多角度衡量 VMI 能力,同时包括面向过程和基于结果的评估,以开展系统研究,回答相关问题。

其次,确定 VMI 能力是否是支持阅读发展的必要基础。尽管来自对阅读能力落后的 DD 群体 VMI 能力的研究提供了一些初步的支持性证据。例如,已有研究通过对比 DD 儿童和同阅读水平正常儿童的 VMI 能力,排除阅读经验的干扰,结果发现,DD 儿童的 VMI 能力落后于同阅读水平正常儿童(Meng et al., 2019),说明 DD 儿童的 VMI 缺陷并非阅读落后的结果。此外,孟泽龙(2020)通过干预研究发现,VMI 训练可以有效提高汉语 DD 儿童的阅读流畅性。可见,VMI 能力可能是阅读的基础,提高个体的 VMI 能力可以帮助改善阅读。然而,为了在已有的大量相关研究基础上更好地回答这一问题,未来研究可以考虑从以下角度入手:(1)对没有阅读经验的早期儿童的 VMI 能力进行追踪研究,从时间维度上区分 VMI 能力和阅读能力发展的先后。(2)对正常发展儿童进行训练研究,通过回答 VMI 训练是否可以提高阅读,以进一步回答 VMI 能力是否是阅读的基础。(3)借助 DD 这类阅读能力落后的特殊人群,探究阅读落后是否源于 VMI 缺陷。研究可以考虑将 DD 成人与文盲成人进行对比(参考:Flint & Pammer, 2019),以更好地排除阅读经验的干扰并靠近因果关系。

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, & Fernandes, 2022; Fernandes & Araújo, 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“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, & Fernandes, 2022; Fernandes & Araújo, 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, 由于在字母文字和汉字中, 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。

最后, 明确 VMI 能力与阅读之间相关性及其发展背后潜在的神经机制。已有研究发现, VMI 加工的脑基础包括额下回、颞中回和后顶叶等脑区 (Bauer & Papadelis, 2019; Bueichekú et al., 2020; Gamberini et al., 2020, 2021; Orban et al., 2021; Passarelli et al., 2021; Rolls et al., 2023); 阅读则涉及额中回、后顶叶等广泛的区域 (Guo et al., 2022; Yan et al., 2021)。孟泽龙 (2020) 发现, 在 VMI 任务中后顶叶皮层的激活与汉字阅读显著相关, 暗示着 VMI 加工作用于阅读的关键脑机制可能发生在后顶叶皮层。然而, 该研究仅关注了一个年龄段的儿童 (平均 11 岁) 以及成人 (平均 23 岁), 无法系统地回答发展问题。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。通过神经发育过程了解行为发展, 可以帮助厘清 VMI 能力作用于阅读的机制, 以及这种机制随年龄增长的发展趋势, 并从大脑发育的角度解释这种关系如何随

年龄发展而发生变化。此外, 字母文字和汉语不同的发展模式也可以通过两种书写系统中 VMI 能力和阅读关联脑区的不同进行深入分析。

参考文献

- 包文俊. (2020). 汉字繁简的运用态度及其原因. *汉字文化*, (22), 1-2.
- 丛婧. (2020). 早期儿童视动整合能力的研究现状及展望. *心理学进展*, 10(6), 764-771.
- 兰莉, 李公正. (2001). 视觉-运动整合与儿童学习、行为的关系. *中国行为医学科学*, (5), 85-86.
- 孟泽龙. (2020). *视觉-运动整合能力和汉字阅读的关系研究* [博士学位论文]. 中国科学院大学, 北京.
- Ahn, S. N. (2021). Combined effects of virtual reality and computer game-based cognitive therapy on the development of visual-motor integration in children with intellectual disabilities: A pilot study. *Occupational Therapy International*, 2021, 6696779.
- 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.
- Araújo, S., Maurer, U., & Fernandes, T. (2022). Multisensory integration as a pathway to neural specialization for print in typical and dyslexic readers across writing systems. *Frontiers in Psychology*, 13, 992380.
- Bauer, C. M., & Papadelis, C. (2019). Alterations in the structural and functional connectivity of the visuomotor network of children with periventricular leukomalacia. *Seminars in Pediatric Neurology*, 31, 48-56.
- Beery, K. E., Buktenica, N. A., & Beery, N. A. (2010). *Beery-Buktenica developmental test of visual-motor integration* (6th ed.). Pearson.
- Bialystok, E., McBride-Chang, C., & Luk, G. (2005). Bilingualism, language proficiency, and learning to read in two writing systems. *Journal of Educational Psychology*, 97(4), 580-590.
- Booth, J. R., Lu, D., Burman, D. D., Chou, T. L., Jin, Z., Peng, D. L., ... Liu, L. (2006). Specialization of phonological and semantic processing in Chinese word reading. *Brain research*, 1071(1), 197-207.
- Brannigan, G. G., & Decker, S. L. (2003). *Bender visual-motor gestalt test* (2nd ed.). Pearson.
- Bueichekú, E., Aznárez-Sanado, M., Diez, I., d'Oleire Uquillas, F., Ortiz-Terán, L., Qureshi, A. Y., ... Sepulcre, J. (2020). Central neurogenetic signatures of the visuomotor integration system. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(12), 6836-6843.
- Cameron, C. E., Cottone, E. A., Murrah, W. M., & Grissmer, D. W. (2016). How are motor skills linked to children's school performance and academic achievement? *Child Development Perspectives*, 10(2), 93-98.
- Carson, B., Green, K., Torrence, W., & Henry, B. (2021).

- Systematic review of visual motor integration in children with developmental disabilities. *Occupational Therapy International*, <https://doi.org/10.1155/2021/1801196>
- Chang, L. Y., Chen, Y. C., & Perfetti, C. A. (2018). GraphCom: A multidimensional measure of graphic complexity applied to 131 written languages. *Behavior Research Methods*, *50*(1), 427–449.
- Cheng-Lai, A., Li-Tsang, C. W., Chan, A. H., & Lo, A. G. (2013). Writing to dictation and handwriting performance among Chinese children with dyslexia: Relationships with orthographic knowledge and perceptual-motor skills. *Research in Developmental Disabilities*, *34*(10), 3372–3383.
- Chung, K. K. H., Lam, C. B., & Cheung, K. C. (2018). Visuomotor integration and executive functioning are uniquely linked to Chinese word reading and writing in kindergarten children. *Reading and Writing*, *31*(1), 155–171.
- Chung, K. K. H., Tong, X., & McBride-Chang, C. (2012). Evidence for a deficit in orthographic structure processing in Chinese developmental dyslexia: An event-related potential study. *Brain Research*, *1472*, 20–31.
- Dere, Z. (2019). Analyzing the early literacy skills and visual motor integration levels of kindergarten students. *Journal of Education and Learning*, *8*(2), 176–181.
- Eden, G. F., Olulade, O. A., Evans, T. M., Krafnick, A. J., & Alkire, D. R. (2016). Developmental dyslexia. In H. Gregory, & S. L. Steven (Eds.), *Neurobiology of language* (pp. 815–826). Academic Press.
- Emam, M. M., Al-Attayah, A. A., Alhuwilah, A., Awed, H. S., & Omara, E. (2021). Cross-cultural validation of the full range test of visual motor integration used with children in four Arab countries. *Optometry and Vision Science*, *98*(6), 644–653.
- Escolano-Pérez, E., Herrero-Nivela, M. L., & Losada, J. L. (2020). Association between preschoolers' specific fine (but not gross) motor skills and later academic competencies: Educational implications. *Frontiers in Psychology*, *11*, 1044.
- Fernandes, T., & Araújo, S. (2021). From hand to eye with the devil in-between: Which cognitive mechanisms underpin the benefit from handwriting training when learning visual graphs? *Frontiers in Psychology*, *12*, 736507.
- Flint, S., & Pammer, K. (2019). It is the egg, not the chicken; dorsal visual deficits present in dyslexia are not present in illiterate adults. *Dyslexia*, *25*(1), 69–83.
- Gamberini, M., Passarelli, L., Fattori, P., & Galletti, C. (2020). Structural connectivity and functional properties of the macaque superior parietal lobule. *Brain Structure and Function*, *225*(4), 1349–1367.
- Gamberini, M., Passarelli, L., Filippini, M., Fattori, P., & Galletti, C. (2021). Vision for action: Thalamic and cortical inputs to the macaque superior parietal lobule. *Brain Structure and Function*, *226*(9), 2951–2966.
- Giovagnoli, G., Vicari, S., Tomassetti, S., & Menghini, D. (2016). The role of visual-spatial abilities in dyslexia: Age differences in children's reading? *Frontiers in Psychology*, *7*, 1997.
- Glenberg, A. M., & Gallese, V. (2012). Action-based language: A theory of language acquisition, comprehension, and production. *Cortex*, *48*(7), 905–922.
- Goswami, U. (2015). Sensory theories of developmental dyslexia: Three challenges for research. *Nature Reviews Neuroscience*, *16*(1), 43–54.
- Greenburg, J. E., Carlson, A. G., Kim, H., Curby, T. W., & Winsler, A. (2020). Early visual-spatial integration skills predict elementary school achievement among low-income, ethnically diverse children. *Early Education and Development*, *31*(2), 304–322.
- Guan, C. Q., Liu, Y., Chan, D. H. L., Ye, F., & Perfetti, C. A. (2011). Writing strengthens orthography and alphabetic-coding strengthens phonology in learning to read Chinese. *Journal of Educational Psychology*, *103*(3), 509–522.
- Guo, W., Geng, S., Cao, M., & Feng, J. (2022). The brain connectome for Chinese reading. *Neuroscience Bulletin*, *38*(9), 1097–1113.
- Hammill, D. D. (2004). What we know about correlates of reading. *Exceptional Children*, *70*(4), 453–469.
- Hammill, D. D., Pearson, N. A., & Voress, J. K. (2014). *Developmental test of visual perception* (3rd ed.). Pro-ed An International Publisher.
- Heiz, J., & Barisnikov, K. (2016). Visual-motor integration, visual perception and motor coordination in a population with Williams syndrome and in typically developing children. *Journal of Intellectual Disability Research*, *60*(10), 945–955.
- Hopkins, S., Black, A. A., White, S. L., & Wood, J. M. (2019). Visual information processing skills are associated with academic performance in Grade 2 school children. *Acta Ophthalmologica*, *97*(8), e1141–e1148.
- Hu, C. F., & Catts, H. W. (1998). The role of phonological processing in early reading ability: What we can learn from Chinese. *Scientific Studies of Reading*, *2*(1), 55–79.
- James, K. H., & Gauthier, I. (2006). Letter processing automatically recruits a sensory-motor brain network. *Neuropsychologia*, *44*(14), 2937–2949.
- Kalindi, S. C., McBride, C., Tong, X., Wong, N. L. Y., Chung, K. H. K., & Lee, C. Y. (2015). Beyond phonological and morphological processing: Pure copying as a marker of dyslexia in Chinese but not poor reading of English. *Annals of Dyslexia*, *65*(2), 53–68.
- Khatib, L., Li, Y., Geary, D., & Popov, V. (2022). Meta-analysis on the relation between visuomotor integration and academic achievement: Role of educational stage and disability. *Educational Research Review*, *35*, 100412.
- Li, H., & Rao, N. (2000). Parental influences on Chinese literacy development: A comparison of preschoolers in

- Beijing, Hong Kong, and Singapore. *International Journal of Behavioral Development*, 24(1), 82–90.
- Lyon, G. R., Shaywitz, S. E., & Shaywitz, B. A. (2003). A definition of dyslexia. *Annals of Dyslexia*, 53(1), 1–14.
- Macdonald, K., Milne, N., Orr, R., & Pope, R. (2020). Associations between motor proficiency and academic performance in mathematics and reading in year 1 school children: A cross-sectional study. *BMC Pediatrics*, 20(1), 1–11.
- Marchetti, R., Vaugoyeau, M., Colé, P., & Assaiante, C. (2022). A sensorimotor representation impairment in dyslexic adults: A specific profile of comorbidity. *Neuropsychologia*, 165, 108134.
- Maurer, M. N., & Roebbers, C. M. (2021). New insights into visual-motor integration exploring process measures during copying shapes. *Psychology of Sport and Exercise*, 55, 101954.
- McBride-Chang, C., Chung, K. K., & Tong, X. (2011). Copying skills in relation to word reading and writing in Chinese children with and without dyslexia. *Journal of Experimental Child Psychology*, 110(3), 422–433.
- McClelland, M. M., & Cameron, C. E. (2019). Developing together: The role of executive function and motor skills in children's early academic lives. *Early Childhood Research Quarterly*, 46, 142–151.
- Memisevic, H., Malec, D., & Bisevic, I. (2019). Predictors of reading fluency in second and third grade students: Results from Bosnia and Herzegovina. *Studia Psychologica*, 61(3), 175–188.
- Meng, Z. L., Wydell, T. N., & Bi, H. Y. (2019). Visual-motor integration and reading Chinese in children with/without dyslexia. *Reading and Writing*, 32(2), 493–510.
- Míguez-Álvarez, C., Cuevas-Alonso, M., & Saavedra, Á. (2022). Relationships between phonological awareness and reading in Spanish: A meta-analysis. *Language Learning*, 72(1), 113–157.
- Mohamed, M. B. H., & O'Brien, B. A. (2022). Defining the relationship between fine motor visual-spatial integration and reading and spelling. *Reading and Writing*, 35, 877–898.
- Obergfell, A. L., Schabmann, A., & Schmidt, B. M. (2022). The relationship between basic auditory processing, prosodic sensitivity and reading in German adults. *Journal of Research in Reading*, 45(1), 119–136.
- Orban, G. A., Sepe, A., & Bonini, L. (2021). Parietal maps of visual signals for bodily action planning. *Brain Structure and Function*, 226(9), 2967–2988.
- Passarelli, L., Gamberini, M., & Fattori, P. (2021). The superior parietal lobule of primates: A sensory-motor hub for interaction with the environment. *Journal of Integrative Neuroscience*, 20(1), 157–171.
- Pinaar, A. E. (2019). The association between under-nutrition, school performance and perceptual motor functioning in first-grade South African learners: The North-West Child Health Integrated with Learning and Development study. *Health SA Gesondheid*, 24, a1046.
- Pinto, G., & Incognito, O. (2022). The relationship between emergent drawing, emergent writing, and visual-motor integration in preschool children. *Infant and Child Development*, 31(2), e2284.
- Pitchford, N. J., Papini, C., Outhwaite, L. A., & Gulliford, A. (2016). Fine motor skills predict maths ability better than they predict reading ability in the early primary school years. *Frontiers in Psychology*, 7, 783.
- Pritchard, V. E., Malone, S. A., & Hulme, C. (2021). Early handwriting ability predicts the growth of children's spelling, but not reading, skills. *Scientific Studies of Reading*, 25(4), 304–318.
- Ren, S., Shao, H., & He, S. (2021). Interaction between conscious and unconscious information-processing of faces and words. *Neuroscience Bulletin*, 37(11), 1583–1594.
- Rolls, E. T., Deco, G., Huang, C. C., & Feng, J. (2023). The human posterior parietal cortex: Effective connectome, and its relation to function. *Cerebral Cortex*, 33(6), 3142–3170.
- Santi, K. L., Francis, D. J., Currie, D., & Wang, Q. (2015). Visual motor integration skills: Accuracy of predicting reading. *Optometry and Vision Science*, 92(2), 217–226.
- Sato, M. (2022). Motor and visual influences on auditory neural processing during speaking and listening. *Cortex*, 152, 21–35.
- Satz, P., Rardin, D., & Ross, J. (1971). An evaluation of a theory of specific developmental dyslexia. *Child Development*, 42(6), 2009–2021.
- Shu, H., McBride-Chang, C., Wu, S., & Liu, H. (2006). Understanding Chinese developmental dyslexia: Morphological awareness as a core cognitive construct. *Journal of Educational Psychology*, 98(1), 122–133.
- Siok, W. T., Niu, Z., Jin, Z., Perfetti, C. A., & Tan, L. H. (2008). A structural-functional basis for dyslexia in the cortex of Chinese readers. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(14), 5561–5566.
- Siok, W. T., & Tan, L. H. (2022). Is phonological deficit a necessary or sufficient condition for Chinese reading disability? *Brain and Language*, 226, 105069.
- Snowling, M. J. (2001). From language to reading and dyslexia. *Dyslexia*, 7(1), 37–46.
- Suggate, S., Pufke, E., & Stoeger, H. (2018). Do fine motor skills contribute to early reading development? *Journal of Research in Reading*, 41(1), 1–19.
- Tan, L. H., Spinks, J. A., Eden, G. F., Perfetti, C. A., & Siok, W. T. (2005). Reading depends on writing, in Chinese. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(24), 8781–8785.
- Tchalenko, J., & Miall, R. C. (2009). Eye-hand strategies in copying complex lines. *Cortex*, 45(3), 368–376.

- Tinker, M. A. (1940). Dr Robinson on speed versus comprehension in reading; a discussion. *Journal of Educational Psychology, 31*(7), 559–560.
- Tong, X., & McBride-Chang, C. (2010). Developmental models of learning to read Chinese words. *Developmental Psychology, 46*(6), 1662–1676.
- Tremblay, L., Chebbi, B., Bouchard, S., Cimon-Lambert, K., & Carmichael, J. (2014). Learning disabilities and visual-motor skills; comparing assessment from a haptic-virtual reality tool and Bender-Gestalt test. *Virtual Reality, 18*(1), 49–60.
- Van Wyk, Y., Pienaar, A. E., & Coetzee, D. (2020). Relationship between academic achievement, visual-motor integration, gender and socio-economic status: North-West Child Health Integrated with Learning and Development study. *South African Journal of Childhood Education, 10*(1), 1–11.
- Vellutino, F. R., Fletcher, J. M., Snowling, M. J., & Scanlon, D. M. (2004). Specific reading disability (dyslexia): What have we learned in the past four decades? *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 45*(1), 2–40.
- Wang, Y., McBride-Chang, C., & Chan, S. F. (2014). Correlates of Chinese kindergarteners' word reading and writing: The unique role of copying skills? *Reading and Writing, 27*(7), 1281–1302.
- Wang, Y., Yin, L., & McBride, C. (2015). Unique predictors of early reading and writing: A one-year longitudinal study of Chinese kindergarteners. *Early Childhood Research Quarterly, 32*, 51–59.
- Yan, C., Christophel, T. B., Allefeld, C., & Haynes, J. D. (2021). Decoding verbal working memory representations of Chinese characters from Broca's area. *NeuroImage, 226*, 117595.
- Yang, Y., Zuo, Z., Tam, F., Graham, S. J., Li, J., Ji, Y., ... Xu, M. (2022). The brain basis of handwriting deficits in Chinese children with developmental dyslexia. *Developmental Science, 25*(2), e13161.
- Ye, Y., Yan, M., Ruan, Y., McBride, C., & Yeung, C. F. (2021). Literacy learning in early Chinese-English bilinguals: The role of pure copying skill. *Early Childhood Research Quarterly, 55*, 263–274.
- Zemlock, D., Vinci-Booher, S., & James, K. H. (2018). Visual-motor symbol production facilitates letter recognition in young children. *Reading and Writing, 31*(6), 1255–1271.

The development of the correlation between visual-motor integration and reading

ZHAO Yifan, LI Junjun, BI Hong-Yan

(CAS Key Laboratory of Behavioral Science; Center for Brain Science and Learning Difficulties, Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China) (Department of Psychology, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Visual-motor integration (VMI) refers to the integration and coordination of fine motor skills and visual perception skills. Numerous studies have consistently demonstrated a strong correlation between VMI ability and reading, and the degree of correlation is adjusted by age. The developmental trajectory of the correlation between VMI ability and reading varies across different writing systems. In alphabetic writing system, the correlation tends to decline with age, but remains significant until secondary school. Conversely, in Chinese writing system, the correlation increases with age: starting from an insignificant correlation in preschool and lower grades of elementary school, it becomes significant in upper grades of elementary school as well as during adulthood. Future studies need to: 1) adopt a multifaceted approach to measure VMI ability encompassing both process-oriented and outcome-based assessments; 2) focus on determining whether VMI ability serves as an essential foundation for supporting reading development; 3) and elucidate the behavioral and neural mechanisms underlying this correlation and its development.

Keywords: visual-motor integration, reading, development, writing system