

心智游移对阅读的影响:眼动研究的元分析*

王婧茹 江 新

(北京语言大学心理学院, 北京 100083)

摘 要:采用元分析的方法,明确可以稳定测量心智游移的眼动指标,并探究心智游移与阅读理解的关系。通过检索和筛选文献,共 17 篇文献 26 个样本($N=1122$)进入元分析。结果发现:在心智游移研究使用频率最高的六个眼动指标中,眼跳次数为大效应($g=0.99$),注视次数、注视时间、眨眼次数、瞳孔大小和凝视时间为中等效应($0.20 < g < 0.80$)。此外,心智游移和阅读理解存在较弱的负相关($r=-0.15, p<0.001$)。元分析结果表明,眼动追踪技术可以有效测量阅读中的心智游移,并且受多种变量的调节;心智游移不利于阅读理解。

关键词:心智游移;阅读理解;眼动追踪技术;元分析

中图分类号:B842.5

文献标识码:A

文章编号:1003-5184(2024)01-0032-12

1 引言

心智游移(mind wandering)是个体的注意从正在进行的任务转移到自我内部想法或感觉的意识状态(Smallwood & Schooler, 2015)。由于心智游移是一个内隐的、自发的过程(Christoff et al., 2016),如何测量心智游移是研究的核心挑战之一。传统的心智游移测量方法较为主观,比如思维取样法,要求被试持续报告内部思维状态。这虽然可以直接测量心智游移,但是依赖被试的内省能力。随着眼动技术的发展,研究者可以观察心智游移期间眼球运动的变化,弥补传统方法所缺乏的客观性。本研究对使用眼动追踪技术测量心智游移的研究进行元分析,并探讨潜在的调节变量的影响及其与阅读理解之间的关系。

1.1 阅读中的心智游移

阅读是一个复杂的认知过程,有诸多理论对其认知过程进行解释。例如 Kintsch 和 Rawson(2005)提出建构—整合模型(construction-integration model),认为阅读理解有三个层面,即词汇、命题和情境。在词汇层面,读者根据文本输入的信息,在工作记忆中获取词汇意义。在命题层面,根据词义将词汇建构为原始的、不连贯的命题网络。在情境层面,根据读者的先验知识和推理,将文本信息进行有序的整合,最终形成一个连贯的情境模型(Kintsch & Rawson, 2005)。短时间多层面建构的过程需注意高度集中,这样才能理解文本信息。如果在建构过

程中发生心智游移,即个体的注意转向内部生成的与任务无关的想法时,注意与外部世界解耦,导致加工效率下降(Smallwood & Schooler, 2006)。根据 Smallwood 和 Schooler 所描述的情形,心智游移影响个体对外界的感知,阻碍词汇信息编码,影响命题建构。此外,注意解耦使个体缺少自下而上的信息处理,不利于形成复杂的命题和情境模型(Mooneyham & Schooler, 2013),进而妨碍阅读理解(Smallwood, 2011)。

在阅读中,思维经常从文本转移到内部,发生心智游移的频率为 30%~40%(Frank et al., 2015; Smilek et al., 2010; Zhang et al., 2020; 吴国来等, 2017)。一些研究者认为心智游移通过酝酿效应对阅读理解产生积极影响(Gericke et al., 2022),因为当注意从阅读任务中转移时,心智游移的内容不固定在特定主题上,这样会产生更灵活、广泛的思考(Mills et al., 2021)。但是 Mooneyham 和 Schooler(2013)认为心智游移带来的增益与阅读理解所消耗的认知成本相抵消。例如 Bonifacci 等(2022)对 25 篇文献进行元分析,发现心智游移和阅读理解存在负相关($r=-0.21$),D'Mello 和 Mills(2021)也发现同样结论($r=-0.31$)。

1.2 心智游移的测量方法

目前测量心智游移有两种方法,即主观测量和客观测量。主观测量经常使用思维取样法(thought sampling),即持续收集被试报告的内部思维状态

* 基金项目:国家社科基金重大项目(17ZDA305),北京语言大学一流学科团队项目(2023YGF07)。

通讯作者:江新, E-mail:jiangxin@blcu.edu.cn。

(Giambra,1995)。尽管主观测量依赖被试的内省,但其可靠程度已经得到研究的证实。自2006年以来,超过100篇文献使用这种方法测量心智游移(Weinstein,2018)。思维取样法可进一步分为探针探测法(probe-caught)和自我报告法(self-caught)。探针探测法通过探针随机询问被试是否在思考与阅读文本无关的内容(Smallwood & Schooler,2006),这不需要被试持续关注自己的意识状态,但探针可能会中断被试的思考,进而导致理解力下降(Naylor & Sanchez,2018)。自我报告法可以避免探针探测法的缺点,并且更加自然。它要求被试在意识到自己不再专注于所阅读的文本时立刻报告(Schooler et al.,2011)。然而,由于对被试的元意识要求较高,自我报告法也无法收集任务中所有的心智游移。

客观测量可以弥补主观测量的不足,例如眼动研究经常使用的注视次数、注视时间、眨眼次数等指标,可以反映被试发生心智游移时的眼部行为变化(Steindorf & Rummel,2020),其背后的逻辑是被试所注视的内容反映了心理加工过程(Uzzaman & Joordens,2011)。当被试意识到发生心智游移时,注意系统必须在内部(任务无关思维)与外部(任务相关思维)之间找到平衡,而寻找平衡的结果就是正常的阅读被打乱,从而导致眼动指标的变化。个体通过衰减潜在的感知输入的方式,支持内部发生心智游移(Smilek et al.,2010;Walcher et al.,2017)。主动衰减外界信息在眼睛上的表现就是减少注视,闭上眼睛(眨眼)以及发生眼跳,这些眼睛变化行为可以使视觉感受器远离干扰,减少认知负荷,释放认知资源(Serena & Annelies,2014;Vredeveltdt et al.,2011)。

在不同的研究中,虽然研究者们分析了同一个指标,但结果并不一致,有些甚至呈现相反的趋势。以注视次数(fixation count)为例,一些研究发现心智游移时注视次数更少(Faber et al.,2018;Smilek et al.,2010;杜红芹,2015),一些研究发现心智游移时注视次数更多(Foulsham et al.,2013;Steindorf et al.,2021;任方圆,2020),也有研究发现正常阅读和心智游移时的注视次数没有显著差异(Frank et al.,2015;Reichle et al.,2010)。这可能是研究方法不同造成的,需要元分析进行归纳整理。

1.3 影响心智游移与阅读理解的调节变量

1.3.1 个体差异

个体年龄影响阅读中的心智游移。研究发现成年人的心智游移比老年人更频繁(Krawietz et al.,2012;Zavagnin et al.,2014),这是因为成年人更容易被分散注意(Kane & Mcvay,2012)。一项眼动研究发现,老年人报告的心智游移比成年人少,虽然阅读理解没有显著的年龄差异,但老年人在阅读时有更多的回视(Frank et al.,2015)。

1.3.2 实验材料

(1)文本长度。Forrin等(2019)发现被试一致认为段落较长的文本(内容一致)更难,阅读较长的段落会报告更多的心智游移,阅读理解错误率也更高。这可能与段长效应(section-length effect)有关,即个体根据所读材料的长度来衡量维持注意需多少认知努力(Forrin et al.,2019)。然而段长效应只在被试内设计中出现,在被试间设计中没有出现(Forrin et al.,2018),这表明被试在实验中会不自觉地比较文本长度,通过文本长度评估文本难度,进而增加心智游移。

(2)文章体裁。已有研究常使用的文章体裁有说明文和记叙文。Kane和McVay(2012)发现记叙文的阅读理解与心智游移的频率正相关,Naylor等(2018)发现说明文的阅读理解与心智游移频率负相关。这是因为说明文通常以传达概念和事实为目的,而记叙文讲述与日常生活经验有关的故事,因此读者在阅读记叙文时,会产生强烈的情感连接(Nikolla et al.,2018)。这种情感连接会激发情绪(Smallwood et al.,2009)、兴趣和动机(Unsworth & Mcmillan,2013)等情境因素。此外,个体在阅读不同体裁的文本时,会采取不同的阅读策略,例如阅读说明文的速度会更快、更关注细节,并且会有更多的回视、更短的眼跳和更长的注视(Hyoönä et al.,2002)。

(3)其他。不同的测试可能影响阅读理解,例如,封闭式的问题可能会造成理解差异,而开放式问题则相反(Keenan et al.,2008;Tobia & Bonifacci,2015),读者可以更自由地表达对文本的理解。实验材料的语言也可能产生影响,目前心智游移的研究主要在英语国家进行(Bonifacci et al.,2022),汉语研究逐渐增多(Yang et al.,2022;任方圆,2020;吴国来等,2018)。李恒(2022)发现与阅读母语汉语文本(29.7%)相比,中国大学生阅读英语文本(20.3%)时发生的心智游移频率更低。

1.4 研究预期

尽管越来越多的研究者使用眼动仪检测阅读中

的心智游移,但迄今为止还没有研究对其进行较为全面的整合。本研究回顾了使用眼动追踪技术探讨心智游移和阅读理解关系的文献,并进行元分析。目前已有的相关元分析研究存在一些局限性,如 D' Mello 和 Mills(2021)虽然发现心智游移与阅读理解的总相关系数为 -0.31 ,但没有分析调节变量,也没有进行发表偏差检验。而 Bonifacci 等(2022)纳入更多相关结果($N=73$)并进行更细致的调节效应分析,但是元分析没有纳入汉语为实验材料的研究,也没有区分行为研究与眼动研究,二者结论是否一致需要进一步探讨。因此本研究在 Bonifacci 等(2022)研究的基础上,分析可以稳定测量心智游移的眼动指标,并探究心智游移和阅读理解的关系以及调节变量的影响。

2 方法

2.1 文献检索

元分析研究使用以下方法检索文献。首先,把检索关键词分为三类:心智游移、文本阅读和眼动。心智游移检索词包括心智游移、走神、心不在焉(mind wandering、zoning out),任务无关思维(task unrelated thought)和刺激独立思维(stimulus independent thought);阅读检索词包括阅读(reading)和阅读理解(comprehension),眼动检索词为眼动(eye movement、eye tracking)。对中英检索词分别进行组合,产生 10 个中文组合和 16 个英文组合。接着,在中国知网、万方期刊、Web of Science、PubMed 等数据库进行检索。检索时间范围为 2000 年 1 月~2022 年 10 月。最后,查阅相关的综述、元分析研究,以及筛选出的文献的参考文献,如果符合标准也及时纳入分析。

2.2 文献纳入与筛选标准

由于检索到的文献并不完全符合研究目的,本研究使用以下标准筛选纳入元分析的文献:(1)研

究为使用眼动追踪技术的实证研究,不是综述、元分析等回顾性文章;(2)讨论阅读情境下的心智游移,而非观看视频、驾驶时的心智游移;(3)实验包含阅读任务,材料是篇章、段落或句子;(4)被试不重复且为身心健康的成年人;(5)研究划分了明确的兴趣区,报告了心智游移的眼动数据。最终获得有效文献 17 篇(英文 15 篇,中文 2 篇)。

2.3 数据提取与文献编码

为了方便统计分析,本研究对原始文献的各项特征值进行提取和编码,统计了以下信息:(1)研究信息(作者、发表时间、有效被试数量);(2)被试年龄;(3)实验材料(语言、体裁和长度);(4)阅读理解测试方式;(5)心智游移测量方式;(6)正常阅读与心智游移在眼动指标上的差异。编码由两位研究生完成,如果存在分歧,则经过讨论后改正。原始文献编码信息见表 1。

2.4 数据分析

本研究使用 CMA V3.0(comprehensive meta-analysis)计算效应量和检验调节变量。由于研究数量和被试样本量较小,使用 Cohen's d 会高估效应量,因此本研究采用 Hedges's g 作为最终效应量(郑昊敏等,2011)。效应量大小标准为:当 $g < 0.2$ 时,为小效应;当 $0.2 < g < 0.8$ 时,为中等效应;当 $g > 0.8$ 时,为大效应(Cohen,1969)。异质性检验使用 Q 检验和 I^2 检验,并根据异质性检验结果选择恰当的模型。当研究的异质性较高时,采用随机效应模型;当研究的异质性较低时,采用固定效应模型(罗杰,冷卫东,2013)。在进行调节变量检验时,采用两种方法。首先,对年龄采用元回归分析考察结果是否显著。其次,使用亚组分析检验分类变量结果是否显著。根据已有研究,每个研究特征至少应有 3 个效应量(张亚利等,2022)。

表 1 元分析文献的研究特征

| 研究信息 | N | 年龄 | 文本语言 | 文本体裁 | 文本长度 | RC 测试方式 | MW 测量方式(个数) | 兴趣区 | 注视次数 | 注视时间 | 眨眼次数 | 眼跳次数 | 瞳孔大小 | 凝视时间 |
|----------------------------|-----|------|------|------|------|---------|-------------|---------------------------|---------|------------------|---------|---------|---------|------|
| Bixler & D' Mello, 2015[a] | 178 | 20 | 英语 | 说明文 | 篇章 | 选择题 | 探针(9) | 探针出现前 4-10s | | 首次通过注视时间:MW > NR | | MW > NR | MW > NR | |
| Bixler & D' Mello, 2015[b] | 178 | 20 | 英语 | 说明文 | 篇章 | 选择题 | 探针(9) | 探针出现前 4-10s | | 首次通过注视时间:MW > NR | | MW > NR | MW > NR | |
| D' Mello et al., (2017) | 104 | | 英语 | 说明文 | 篇章 | 选择题 | 自我报告 | 页面第 4s, 8s 和 12s | | | | | | |
| Faber et al., 2018 | 132 | 20.3 | 英语 | 说明文 | 篇章 | 选择题 | 自我报告+问卷 | 页面第 4s, 6s, 8s, 10s 和 12s | | MW = NR | MW > NR | MW < NR | | |
| Faber et al., 2020[a] | 136 | 19.8 | 英语 | 记叙文 | 篇章 | 选择题 | 探针(3) | 探针出现前 15s, 25s | MW < NR | MW = NR | | | | |

续表 1

| 研究信息 | N | 年龄 | 文本语言 | 文本体裁 | 文本长度 | RC 测试方式 | MW 测量方式(个数) | 兴趣区 | 注视次数 | 注视时间 | 眨眼次数 | 眼跳次数 | 瞳孔大小 | 凝视时间 |
|--------------------------|-----|--------|------|------|------|---------|-------------|-------------------------------------|-----------------|-------------------|---------|---------|---------|---------|
| Faber et al., 2020 [b] | 136 | 19.8 | 英语 | 记叙文 | 篇章 | 选择题 | 探针(3) | 探针出现前 15s、25s | MW < NR | MW = NR | | | | |
| Foulsham et al., 2013 | 31 | | 英语 | | 句子 | 判断题 | 探针(9) | 目标句 | MW > NR | MW > NR | MW > NR | | | MW = NR |
| Frank et al., 2015 | 26 | 19.5 | 英语 | 记叙文 | 篇章 | 判断题 | 探针 | 探针出现前 3-8s | MW = NR | 首次通过注视时间: MW < NR | MW > NR | | | MW = NR |
| Franklin et al., 2013 | 28 | 19.43 | 英语 | 记叙文 | 篇章 | 选择题 | 探针(26) | 探针前 10s | | | | | | MW > NR |
| Mills et al., 2020 | 70 | 21.09 | 英语 | 说明文 | 篇章 | 选择题 | 自我报告 | 自我报告前 3 秒 | | | | | | |
| Oyarzo et al., 2022[a] | 40 | 21.6 | 西班牙语 | 说明文 | 篇章 | 测试题 | 探针 | 探针出现前 5s | | | MW > NR | MW < NR | | |
| Oyarzo et al., 2022[b] | 40 | 21.6 | 西班牙语 | 说明文 | 篇章 | | 自我报告 | 探针出现前 5s | | | MW > NR | MW < NR | | |
| Oyarzo et al., 2022[c] | 40 | 21.6 | 西班牙语 | 记叙文 | 篇章 | 测试题 | 自我报告 | 探针出现前 5s | | | MW > NR | MW < NR | | |
| Oyarzo et al., 2022[d] | 40 | 21.6 | 西班牙语 | 记叙文 | 篇章 | | 探针 | 探针出现前 5s | | | MW > NR | MW < NR | | |
| Reichle et al., 2010[a] | 4 | | 英语 | 记叙文 | 篇章 | 选择题 | 探针(151.5) | 探针出现前 2.5s, 5s, 10s, 30s, 60s, 120s | 单词注视次数: MW < NR | MW = NR | | | | MW > NR |
| Reichle et al., 2010[b] | 4 | | 英语 | 记叙文 | 篇章 | 选择题 | 自我报告(22.5) | 探针出现前 2.5s, 5s, 10s, 30s, 60s, 120s | 单词注视次数: MW < NR | MW = NR | | | | MW > NR |
| Smilek et al., 2010 | 15 | | 英语 | 说明文 | | | 探针(20) | 探针出现前 5s | MW < NR | MW = NR | MW > NR | | | |
| Steindorf et al., 2020 | 107 | 22.58 | 英语 | 说明文 | 篇章 | 选择题 | 探针(10) | 目标句 | MW > NR | MW > NR | MW = NR | | | |
| Uzzaman & Joordens, 2011 | 33 | | 英语 | 记叙文 | 篇章 | | 探针(10) | 探针出现前 5s | MW = NR | MW = NR | MW = NR | MW = NR | MW = NR | |
| Walcher et al., 2017 | 48 | 23 ± 4 | 德语 | | 句子 | | 探针 | 目标句 | MW > NR | MW < NR | MW > NR | MW < NR | MW > NR | |
| Zhang et al., 2020 E1 | 47 | 18.96 | 英语 | | 句子 | 测试 | 探针 | 目标句 | | | | MW < NR | | MW = NR |
| Zhang et al., 2020 E2 | 40 | 18.85 | 英语 | | 句子 | 测试 | 探针 | 目标句 | | | | MW = NR | | MW = NR |
| 杜红芹, 2015 E4 | 21 | | 汉语 | 说明文 | 篇章 | 判断题 | 探针(6) | 探针出现前后 5s | MW < NR | | MW > NR | MW < NR | | |
| 任方圆, 2020 E1 | 32 | 21.31 | 汉语 | | 句子 | 判断题 | 探针(80) | 目标句 | MW > NR | MW > NR | MW > NR | MW = NR | | MW = NR |
| 任方圆, 2020 E2 | 41 | 20.13 | 汉语 | | 句子 | 判断题 | 探针(120) | 目标句 | MW > NR | MW = NR | MW = NR | MW = NR | | MW = NR |

注:“<”和“>”表示心智游移期间的阅读(MW)和正常阅读(NR)有显著差异, $p < 0.05$ 。“=”则表示二者没有显著差异。

3 结果

3.1 纳入文献基本描述

本研究最终纳入元分析的文献共 17 篇(26 个效应量,1122 名被试),详情见表 1。实验材料涉及多种语言,其中 13 篇文献使用英语(76.5%),2 篇文献使用汉语(11.8%),使用德语和西班牙语的文献各 1 篇(11.7%)。在文章体裁方面,选取说明文和记叙文的文献数量相近。在阅读理解测试方面,有 8 篇文献使用选择题(47.1%),4 篇文献使用判断题(23.5%),其余的文献并未报告具体测试方式(29.4%)。在心智游移测量方式上,研究者偏爱探

针探测法(14 篇,78.9%),自我报告法仅 3 篇(21.1%)。在眼动指标的选取方面,有 10 篇文献选取注视次数(fixation count)或首次通过注视次数(firs-pass fixations),这是读者在兴趣区的总注视次数;11 篇文献选取注视时间(fixation duration)或首次注视时间(first fixation duration),这是读者的眼睛在移动之前停留在某一地方的时间;8 篇文献选取眨眼次数(blink count,读者在兴趣区的总眨眼次数);8 篇文献选取眼跳次数(saccade count,读者在兴趣区进行的总的的眼跳次数);5 篇文献选取凝视时间(gaze duration,读者在兴趣区内所有注视时间的总

和),6 篇文献选取瞳孔大小(pupil size,读者的瞳孔直径大小)。其余眼动指标少于 3 篇文献使用,故不纳入分析。

3.2 测量心智游移的眼动指标统计结果

3.2.1 异质性检验

对纳入元分析的六个眼动指标的结果进行异质性检验,并据此确定是否采用随机效应模型以及是否有必要进行调节变量检验。由于部分文献报告数据不全,最终纳入元分析的有效研究数量(k)如表 2 所示。结果显示,兴趣区凝视时间的 Q 值未达到显著水平,且 I^2 值小于 75%,说明凝视时间的异质性较低,应选取固定效应模型进行分析。注视时间的 Q 值显著($p < 0.001$),但 I^2 值小于 75%,说明注视时间具有中度异质性,应选用随机效应模型。注视次数、眨眼频率、眼跳次数、瞳孔大小的 Q 值均达到统计学上的显著水平($p < 0.001$),说明这几项眼动指标具有高度异质性(郑明华,2013),应选用随机

效应模型。高度异质性表明效应量受其他研究特征因素影响,需进一步检验调节变量的作用。

3.2.2 主效应检验

根据异质性检验结果,采用随机效应模型分析注视次数、注视时间、眨眼频率、眼跳次数和瞳孔大小这五项眼动指标。而凝视时间异质性较低,采用固定效应模型进行分析。结果显示,眼跳次数($g = 0.99$)为大效应,置信区间不包含 0,表明心智游移阅读时的眼跳次数少于正常阅读。注视次数($g = 0.48$)、注视时间($g = 0.23$)、眨眼次数($g = 0.58$)、瞳孔大小($g = 0.70$)以及凝视时间($g = 0.20$)为中等效应,置信区间均不包含 0,表明与正常阅读相比,心智游移阅读时的注视次数更少、注视时间更长、眨眼次数更多、瞳孔更大、凝视时间更长。以上结果说明读者在心智游移时,眼睛注视行为有明显变化。因此使用眼动追踪技术测量并识别心智游移阅读是可行的。

表 2 六个眼动指标的效应值及异质性检验结果

| 眼动指标 | k | 效应量及 95% 的置信区间 | | | 异质性检验 | |
|------|-----|----------------|------|------|---------------|--------|
| | | g | 下限 | 上限 | $Q(df)$ | I^2 |
| 注视次数 | 13 | 0.48 | 0.25 | 0.70 | 66.69(12)*** | 82.01% |
| 注视时间 | 15 | 0.23 | 0.11 | 0.36 | 46.10(14)*** | 69.63% |
| 眨眼次数 | 11 | 0.58 | 0.35 | 0.82 | 49.19(10)*** | 79.67% |
| 眼跳次数 | 14 | 0.99 | 0.64 | 1.35 | 262.82(13)*** | 95.05% |
| 瞳孔大小 | 10 | 0.70 | 0.41 | 0.99 | 110.64(9)*** | 91.87% |
| 凝视时间 | 9 | 0.20 | 0.11 | 0.28 | 14.28(8) | 43.98% |

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

对结果进行敏感性分析,以便检验元分析结果的稳定性。排除任意一个样本之后,注视次数的效应量在 0.39~0.55 之间浮动,注视时间的效应量在 0.17~0.26 之间浮动,眨眼次数的效应量在 0.50~0.64 之间波动,眼跳次数的效应量在 0.83~1.09 之间波动,瞳孔大小的效应量在 0.63~0.77 之间波动,凝视时间的效应量在 0.19~0.21 之间波动。这六项指标的敏感性结果均与各自的总体效应量差别不大,说明本元分析对数据的决策不会对最终结果造成影响,结果具有较高的稳定性。

3.2.3 发表偏差检验

首先,检查发表偏差的漏斗图(如图 1 所示)。6 个漏斗图中,效应量没有均匀地分布在总效应值的两侧,初步显示可能存在发表偏差。其次,采用

Egger 线性回归进行检测(Egger,1997)。结果显示:注视时间的回归截距为 2.67,95% CI[1.26,4.07];眨眼次数的回归截距为 5.78,95% CI[3.35,8.21];眼跳次数的回归截距为 7.00,95% CI[3.97,10.03];瞳孔大小的回归截距为 6.38,95% CI[3.29,9.46];凝视时间的回归截距为 1.77,95% CI[0.37,3.17]。所有结果表明本研究存在发表偏倚,需进一步检验调节变量的影响。

3.2.4 调节效应检验

根据表 3 可知,注视次数在阅读理解测试方式的亚组分析中,效应量存在显著差异,判断题的效应量显著高于选择题(判断题: $g = 0.58$,选择题: $g = 0.12$; $p < 0.05$)。年龄的调节效应不显著,实验材料的语言、长度和体裁三个亚组没有显著差异。

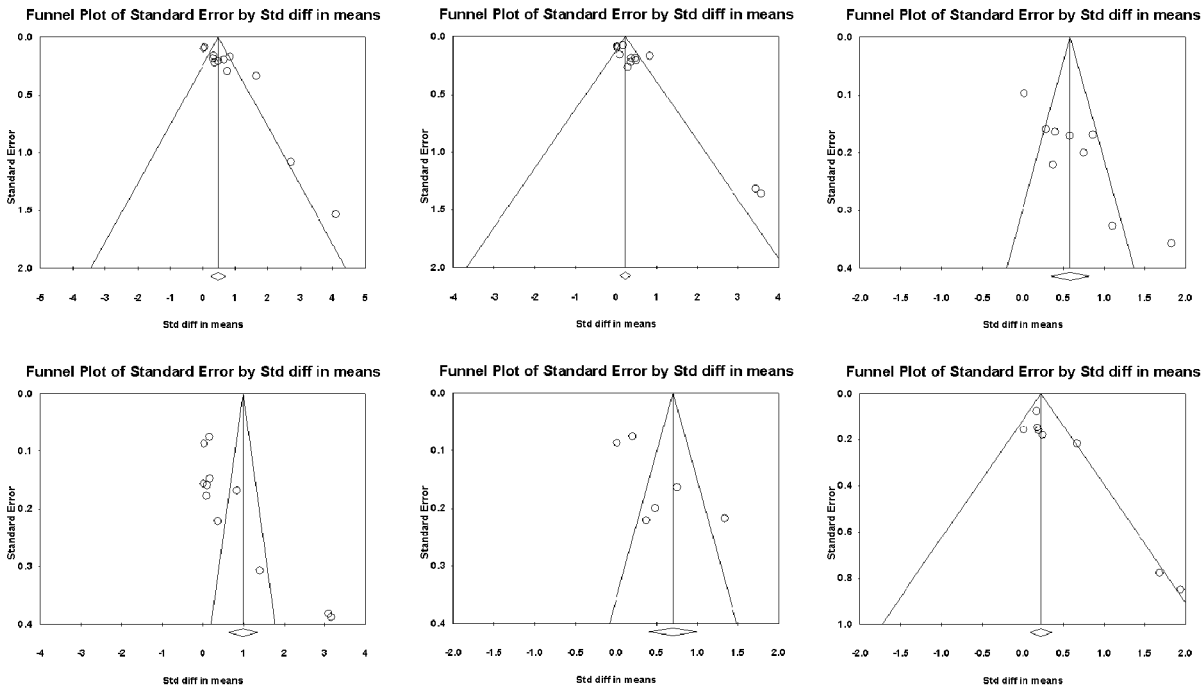


图1 从左到右、从上到下分别为注视次数、注视时间、
眨眼次数、眼跳次数、瞳孔大小和凝视时间的发表偏差漏斗图

表3 调节变量对注视次数效应量的影响

| 调节变量 | 异质性检验 | | | 类别 | <i>k</i> | <i>g</i> | 95% CI | |
|---------|----------|-----------|----------|------------|----------|----------|--------|------|
| | <i>Q</i> | <i>df</i> | <i>p</i> | | | | 下限 | 上限 |
| 被试特征 | 0.94 | 1 | 0.33 | 年龄 | 7 | 0.09 | -0.09 | 0.26 |
| 文本语言 | 2.32 | 1 | 0.13 | 英语/德语/西班牙语 | 10 | 0.37 | 0.02 | 0.62 |
| | | | | 汉语 | 3 | 0.76 | 0.34 | 1.20 |
| 文本长度 | 0.29 | 1 | 0.59 | 篇章 | 9 | 0.42 | 0.16 | 0.68 |
| | | | | 句子 | 4 | 0.54 | 0.25 | 0.67 |
| 文本体裁 | 1.17 | 2 | 0.56 | 说明文 | 3 | 0.65 | 0.17 | 1.13 |
| | | | | 记叙文 | 6 | 0.33 | -0.03 | 0.70 |
| RC 测试方式 | 7.91 | 2 | <0.05 | 选择题 | 5 | 0.12 | -0.16 | 0.39 |
| | | | | 判断题 | 5 | 0.58 | 0.31 | 0.85 |

表4 调节变量对注视时间效应量的影响

| 调节变量 | 异质性检验 | | | 类别 | <i>k</i> | <i>g</i> | 95% CI | |
|---------|----------|-----------|----------|-----|----------|----------|--------|------|
| | <i>Q</i> | <i>df</i> | <i>p</i> | | | | 下限 | 上限 |
| 被试特征 | 2.71 | 1 | 0.09 | 年龄 | 10 | 0.09 | -0.02 | 0.20 |
| 文本长度 | 4.75 | 1 | <0.05 | 篇章 | 11 | 0.15 | 0.02 | 0.28 |
| | | | | 句子 | 4 | 0.44 | 0.21 | 0.67 |
| 文本体裁 | 2.15 | 2 | 0.34 | 说明文 | 5 | 0.13 | -0.08 | 0.33 |
| | | | | 记叙文 | 9 | 0.32 | 0.13 | 0.51 |
| RC 测试方式 | 10.88 | 2 | <0.01 | 选择题 | 8 | 0.10 | -0.03 | 0.22 |
| | | | | 判断题 | 4 | 0.34 | 0.12 | 0.56 |

表5 调节变量对眨眼次数效应量的影响

| 调节变量 | 异质性检验 | | | 类别 | <i>k</i> | <i>g</i> | 95% CI | |
|------|----------|-----------|----------|------------|----------|----------|--------|------|
| | <i>Q</i> | <i>df</i> | <i>p</i> | | | | 下限 | 上限 |
| 被试特征 | 2.71 | 1 | 0.09 | 年龄 | 10 | 0.09 | -0.02 | 0.20 |
| 文本语言 | 1.27 | 1 | 0.26 | 英语/德语/西班牙语 | 8 | 0.51 | 0.23 | 0.78 |

续表 5

| 调节变量 | 异质性检验 | | | 类别 | <i>k</i> | <i>g</i> | 95% CI | |
|------|----------|-----------|----------|-----|----------|----------|--------|------|
| | <i>Q</i> | <i>df</i> | <i>p</i> | | | | 下限 | 上限 |
| 文本长度 | 0.06 | 1 | 0.81 | 汉语 | 3 | 0.82 | 0.34 | 1.30 |
| | | | | 篇章 | 8 | 0.57 | 0.28 | 0.85 |
| | | | | 句子 | 3 | 0.63 | 0.19 | 1.07 |
| 文本体裁 | 0.67 | 1 | 0.41 | 说明文 | 6 | 0.49 | 0.19 | 0.79 |
| | | | | 记叙文 | 5 | 0.68 | 0.35 | 1.02 |

表 6 调节变量对眼跳次数效应量的影响

| 调节变量 | 异质性检验 | | | 类别 | <i>k</i> | <i>g</i> | 95% CI | |
|---------|----------|-----------|----------|------------|----------|----------|--------|------|
| | <i>Q</i> | <i>df</i> | <i>p</i> | | | | 下限 | 上限 |
| 被试特征 | 0.94 | 1 | 0.33 | 年龄 | 7 | 0.09 | -0.09 | 0.26 |
| 文本语言 | 2.27 | 1 | 0.13 | 英语/德语/西班牙语 | 11 | 1.15 | 0.73 | 1.57 |
| | | | | 汉语 | 3 | 0.46 | -0.33 | 1.25 |
| | | | | 篇章 | 9 | 1.47 | 0.99 | 1.94 |
| 文本长度 | 9.58 | 1 | <0.01 | 句子 | 5 | 0.25 | -0.36 | 0.86 |
| | | | | 说明文 | 6 | 1.19 | 0.60 | 1.78 |
| | | | | 记叙文 | 5 | 1.25 | 0.59 | 1.90 |
| RC 测试方式 | 13.68 | 2 | <0.01 | 选择题 | 3 | 0.12 | -0.59 | 0.83 |
| | | | | 判断题 | 3 | 0.46 | -0.29 | 1.21 |
| MW 测量方式 | 5.35 | 1 | <0.05 | 探针 | 11 | 0.78 | 0.34 | 1.22 |
| | | | | 自我报告 | 3 | 1.94 | 1.06 | 2.82 |

表 7 调节变量对瞳孔大小效应量的影响

| 调节变量 | 异质性检验 | | | 类别 | <i>k</i> | <i>g</i> | 95% CI | |
|---------|----------|-----------|----------|------|----------|----------|--------|------|
| | <i>Q</i> | <i>df</i> | <i>p</i> | | | | 下限 | 上限 |
| 被试特征 | 0.94 | 1 | 0.33 | 年龄 | 7 | 0.09 | -0.09 | 0.26 |
| 文本体裁 | 1.22 | 2 | 0.54 | 说明文 | 5 | 0.56 | 0.19 | 0.92 |
| | | | | 记叙文 | 4 | 0.88 | 0.44 | 1.32 |
| | | | | 探针 | 7 | 0.65 | 0.26 | 1.04 |
| MW 测量方式 | 0.30 | 1 | 0.59 | 自我报告 | 3 | 0.85 | 0.25 | 1.45 |

表 8 调节变量对凝视时间效应量的影响

| 调节变量 | 异质性检验 | | | 类别 | <i>k</i> | <i>g</i> | 95% CI | |
|---------|----------|-----------|----------|-----|----------|----------|--------|------|
| | <i>Q</i> | <i>df</i> | <i>p</i> | | | | 下限 | 上限 |
| 被试特征 | 2.71 | 1 | 0.09 | 年龄 | 10 | 0.09 | -0.02 | 0.20 |
| 文本长度 | 0.95 | 1 | 0.33 | 篇章 | 5 | 0.30 | 0.10 | 0.52 |
| | | | | 句子 | 4 | 0.16 | -0.06 | 0.37 |
| | | | | 选择题 | 4 | 0.25 | -0.01 | 0.55 |
| RC 测试方式 | 0.14 | 2 | 0.93 | 判断题 | 3 | 0.27 | -0.00 | 0.50 |

根据表 4 可知,注视时间在实验材料长度和阅读理解测试方式的两个亚组分析中,效应量存在显著差异:句子的效应量显著高于篇章(句子: $g = 0.44$,篇章: $g = 0.15$; $p < 0.05$);判断题的效应量显著高于选择题(判断题: $g = 0.34$,选择题: $g = 0.10$; $p < 0.01$)。年龄以及实验材料的体裁调节效应不显著。

根据表 5 可知,眨眼次数在年龄、实验材料的语言、长度和体裁方面调节效应均不显著。

根据表 6 可知,眼跳次数在实验材料长度、阅读

理解测试方式和心智游移测试方式的三个亚组分析中,效应量存在显著差异:篇章的效应量显著高于句子(篇章: $g = 1.47$,句子: $g = 0.25$; $p < 0.01$);判断题的效应量显著高于选择题(判断题: $g = 0.46$,选择题: $g = 0.12$; $p < 0.01$);自我报告的效应量显著高于探针(自我报告: $g = 1.94$,选择题: $g = 0.78$; $p < 0.01$)。年龄以及实验材料的语言和体裁调节效应均不显著。

根据表 7 可知,瞳孔大小在年龄、实验材料的体裁、心智游移测量方式的调节效应均不显著。

根据表 8 可知,凝视时间在年龄、实验材料长度和心智游移测量方式的调节效应均不显著。

3.3 心智游移对阅读理解的影响

3.3.1 异质性检验

对心智游移和阅读理解关系的相关结果进行异质性检验(表 9),考察效应量的同质性水平。结果显示心智游移和阅读理解关系的异质性较低($I^2 = 22.99\%$),且 Q 检验未达到统计显著水平($p > 0.05$),说明 13 项样本得出的结论较为一致,应使用固定效应模型进行分析(Higgins, Thompson, Deeks, & Altman, 2008)。

3.3.2 主效应检验

表 9 心智游移和阅读理解关系的效应值及异质性检验结果

| 模型 | k | Estimate | 95% CI | Z | p | $Q(df)$ | I^2 |
|------|-----|----------|----------------|-------|-------|-----------|--------|
| 固定效应 | 13 | -0.149 | [-0.21, -0.10] | -5.08 | 0.000 | 15.58(12) | 22.99% |
| 随机效应 | 13 | -0.151 | [-0.22, -0.08] | -4.30 | 0.000 | | |

3.3.3 发表偏差检验

进一步考察出版偏差影响。如图 2 所示,漏斗图上的点基本围绕效应值对称散开,初步显示不存在发表偏差。采用 Egger 线性回归进行检测,发现截距为 -0.52, $df = 11$, $p > 0.05$,说明不存在发表偏差,因此本研究得到的合并效应值比较稳健。

3.3.4 调节效应检验

为了进一步探究不同调节变量对阅读理解的影响,本研究对年龄、实验材料的体裁以及心智游移测量方式进行检验(见表 10)。结果发现,这三个变量的调节效应均不显著($p > 0.05$)。

使用固定效应模型对心智游移和阅读理解的关系进行主效应检验。根据表 9 可知,二者总相关系数为 -0.15,且达到统计学显著水平($p < 0.001$),表明心智游移和阅读理解存在显著的负相关。根据 Cohen 提出的效应值大小标准,当效应值小于 0.2 时,为小效应,由此可见,心智游移对阅读理解有较弱的影响(Cohen, 1969)。

对进入元分析的样本进行敏感性分析,排除任意一个样本后的心智游移与阅读理解关系的相关系数在 -0.13 ~ -0.17 之间,与总体估计值相近,说明元分析结果具有较高稳定性。

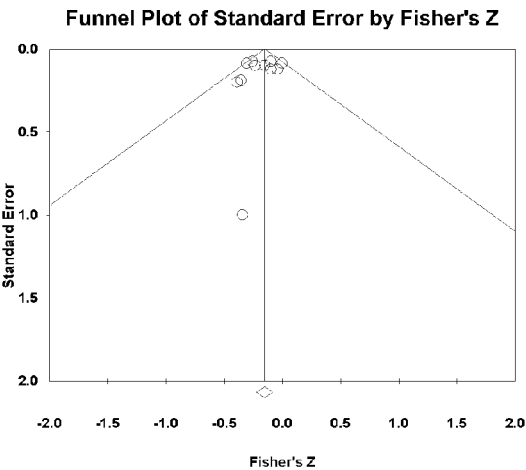


图 2 心智游移和阅读理解关系的发表偏差漏斗图

表 10 不同调节变量对阅读理解的影响

| 调节变量 | 异质性检验 | | | 类别 | k | g | 95% CI | |
|---------|-------|------|------|------|-----|-------|--------|-------|
| | Q | df | p | | | | 下限 | 上限 |
| 被试特征 | 0.00 | 1 | 0.98 | 年龄 | 9 | 0.01 | -0.01 | 0.10 |
| 材料体裁 | 2.31 | 1 | 0.13 | 说明文 | 7 | -0.18 | -0.25 | -0.11 |
| | | | | 记叙文 | 6 | -0.07 | -0.19 | 0.05 |
| RC 测试方式 | 0.65 | 1 | 0.42 | 探针 | 8 | -0.13 | -0.22 | -0.05 |
| | | | | 自我报告 | 5 | -0.19 | -0.30 | -0.07 |

4 讨论

本研究基于 17 篇文献,梳理了阅读中心智游移的眼动研究(表 1)。元分析整理了六个眼动指标的效应值和异质性大小,以及心智游移和阅读理解的关系。元分析结果发现,眼跳次数、注视时间、注视次数、眨眼频率、瞳孔大小和凝视时间均为有效测量心智游移的眼动指标。在心智游移和阅读理解的关系方面,与前人研究结果一致(Bonifacci et al., 2022; D' Mello & Mills, 2021),即心智游移对阅读理解产生负面影响。

4.1 测量心智游移的眼动指标

眼跳次数($g = 0.99$)为大效应,注视次数($g = 0.48$)、注视时间($g = 0.23$)、眨眼次数($g = 0.58$)、瞳孔大小($g = 0.70$)以及凝视时间($g = 0.20$)为中

等效应,效应均显著。调节效应检验发现实验材料(语言、长度和体裁),阅读理解的测试方式(选择题和判断题)和心智游移的测量方式(探针法和自我报告法),对六个眼动指标有不同程度的影响。

元分析结果发现眼跳次数的减少作为心智游移的标志。正常阅读时,个体通过小幅度的眼跳预加工接下来的内容;心智游移时,个体的注意与文本解耦,副中央凹不再对字或词进行处理(闫国利等,2013),因而眼跳次数减少。眼跳次数受文本长度的影响,当个体阅读篇章时,会对文本长度产生预期(Forrin et al.,2019)。这种预期不仅影响个体对文本的资源分配,阻碍个体从外界摄入信息,还会作为心智游移的来源,产生更多的内部思维。眼跳也受阅读理解测试方式的影响,在做判断题时,正常阅读与心智游移阅读的眼跳次数差异更显著。因为相比较四选一选择题,是否判断题更节约认知资源,根据Smallwood等人(2006)的观点,“多余”的认知资源会分配到内部思维上,从而产生更多的心智游移。眼跳次数也受心智游移测量方式的影响,这是因为已有研究通常将主观(探针报告)和客观(眼动指标)测量法相结合,以准确测量心智游移。例如在Uzzaman和Joordens(2011)阅读任务中,探针随机出现并询问被试是否发生心智游移,被试需增加眼跳以及时应对不定时出现的探针。

注视行为可以揭示心智游移期间眼球的动态变化。首先,与正常阅读相比,在心智游移期间注视次数较少。注视次数可以反映认知投入程度(Uzzaman & Joordens,2011),在心智游移期间,注视次数减少表明没有深度处理文本,提取的词义和语义信息有限。因此在结果上体现出阅读变得不那么“吃力”,不再多次注视某个词或某个句子,而是更加自动化。其次,心智游移时,注视时间会增加。注视是积极处理词义和语义的信号(Rayner & Duffy,1986),注视时间的增加,表明视觉处理的效率降低,被试在处理下一个注视点的信息之前,需要花费更长的时间处理信息。另外,心智游移影响个体的凝视行为(Reichle et al.,2010)。结合前人研究,个体在心智游移时喜欢长时间观看复杂的字词,或只是茫然地盯着某一位置而没有处理任何信息。这两种情况都会增加凝视时间。

眨眼次数也可以很好地反映阅读中的心智游移。眨眼本质上是个体试图减少信息输入,并专注思考的行为,当个体对视觉内容有较少参与度时,眨

眼行为会增多(Benedetto et al.,2011;Irwin,2014)。这是因为眨眼与心智游移的关系在于默认网络,默认网络是一种与注意不集中、心智游移相关的大脑连接模式,在个体思考与当前任务无关时会很活跃(Christoff et al.,2009;Raichle,2015)。眨眼会通过激活默认网络参与到注意离开当前任务的过程中。因此,频繁的眨眼代表内部产生更多的无关想法,从而增加心智游移发生的频率(Hollander & Huette,2022)。

瞳孔大小的变化与认知努力有关。在注意的相关研究中,瞳孔大小的变化是重要指标之一(Oyarzo et al.,2022)。当被试心智游移时,眼神涣散、瞳孔直径变大(Robison & Unsworth,2018)。Franklin等人(2013)将瞳孔的动态变化与阅读时的心智游移联系起来,要求被试阅读5000字的推理小说,使用26个探针探测思维状态,结果发现心智游移时的平均瞳孔直径更大。然而其他研究者未能重现这一结果,他们认为瞳孔大小的变化也可能是疲劳引起的(Hopstaken et al.,2015)。

4.2 心智游移妨碍阅读理解

本研究从眼动追踪技术上对心智游移与阅读理解关系的关系进行了元分析,结果发现二者之间存在显著的负相关(-0.15),与D'Mello和Mills(2021)以及Bonifacci等人(2022)的元分析结果一致。心智游移妨碍阅读理解背后的原因是个体处理信息的能力有限,同时加工内部和外部信息会损害其加工效率(Schooler et al.,2011;Smallwood et al.,2008)。一方面,外部任务受到内部想法的影响,例如在阅读时想一些无关的内容;另一方面,专注内部认知任务时,例如思考如何编排论文内容,可能会被外在事件打断。这样,外部(知觉输入)和内部(内部想法)竞争有限的认知资源。因此,在心智游移发生时,个体很难专注于内部思考,不能有效屏蔽外界分心刺激的干扰并构建心理情境模型,最终影响思考并体现在阅读理解得分上。

由于报告心智游移与阅读理解的样本量较少,因此并未发现效应显著的调节变量。但是在实验材料的体裁方面,可以看到这样一种趋势:说明文增加了心智游移与阅读理解之间的负相关。说明文在趣味性和易读性方面低于记叙文,因此个体在阅读过程中更容易感到疲倦和枯燥。在阅读说明文时发生的心智游移是否稳定地多于记叙文,未来还需要更多的实验进行探究。

5 总结与展望

基于元分析结果,眼跳次数、注视时间、注视次数、眨眼频率、瞳孔大小和凝视时间可以稳定测量阅读中心智游移。对调节变量的分析发现,年龄、实验材料、心智游移和阅读理解的测试方式是眼动指标的重要调节变量。此外,眼动研究中,心智游移和阅读理解之间存在负相关($r = -0.15$)。

元分析结果中对调节变量的分析可以为未来研究提供思路:(1)在个体差异方面,未来研究可以聚焦于个体的工作记忆容量(Randall et al., 2014)、推理能力(Wong et al., 2022)等因素对心智游移的影响,以及这些因素在心智游移和阅读理解之间的调节作用。(2)在实验材料方面,心智游移的研究大多在英语国家展开(Forin et al., 2013; Mills et al., 2021; Unsworth & Mcmillan, 2013),未来需要更多以汉语为实验材料的研究,并与之对比。也可以展开第二语言的相关研究,对比阅读母语和二语实验材料时的心智游移差异,例如国内已有研究对中国英语学习者的心智游移和阅读理解之间的关系进行探索(李恒, 2022)。(3)在阅读理解测试方面,已有研究多使用封闭式问题,即选择题或判断题,以考察被试是否理解所阅读的文本。但是 Bonifacci 等人(2022)提出开放式问题可以更好地测试被试的理解能力。目前使用开放式问题的研究较少,因此很难推测开放式问题比封闭式问题更佳。未来可以使用开放式问题作为测量阅读理解能力的方法,探索心智游移和阅读测试类型之间的关系。(4)在心智游移测量方面,眼动研究致力于自然、无干扰地检测心智游移,代替探针探测法或自我报告法。未来可以开发相关软件或仪器,用于提醒发生心智游移的个体,提高学习或工作效率。

参考文献

- 杜红芹. (2015). 心智游移在不同任务中的发生特点及影响因素(博士学位论文). 华中师范大学.
- 李恒. (2022). 走神对中国英语学习者一语和二语阅读绩效的影响. 解放军外国语学院学报, 45(3), 95-102.
- 罗杰, 冷卫东. (2013). 系统评价/Meta 分析理论与实践. 北京: 军事医学科学出版社.
- 任方圆. (2020). 走神对汉语阅读中词频和词长效应的影响(硕士学位论文). 天津师范大学.
- 吴国来, 阴晓娟, 张婧婧, 任方圆, 高原. (2018). 阅读中的走神有程度之分吗? 来自眼动的证据. 心理与行为研究, 16(4), 471-476.
- 吴国来, 周曼, 阴晓娟, 李海英, 李娇花. (2017). 走神对中文

- 阅读绩效的影响. 心理与行为研究, 15(3), 329-334.
- 闫国利, 熊建萍, 臧传丽, 余莉莉, 崔磊, 白学军. (2013). 阅读研究中的主要眼动指标评述. 心理科学进展, 21(4), 589-605.
- 张亚利, 靳娟娟, 俞国良. (2022). 2010~2020 中国内地初中生心理健康问题检出率的元分析. 心理科学进展, 30(5), 965-977.
- 郑昊敏, 温忠麟, 吴艳. (2011). 心理学常用效应量的选用与分析. 心理科学进展, 19(12), 1868-1878.
- 郑明华. (2013). Meta 分析软件应用与实例解析. 北京: 人民卫生出版社.
- Benedetto, S., Pedrotti, M., Minin, L., Baccino, T., Re, A., & Montanari, R. (2011). Driver workload and eye blink duration. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 14(3), 199-208.
- Bonifacci, P., Colombini, E., Marzocchi, M., Tobia, V., & Desideri, L. (2022). Text-to-speech applications to reduce mind wandering in students with dyslexia. *Journal of Computer Assisted Learning*, 38(2), 440-454.
- Christoff, K., Gordon, A. M., Smallwood, J., Smith, R., & Schooler, J. W. (2009). Experience Sampling during fMRI Reveals Default Network and Executive System Contributions to Mind Wandering. *Proceedings of the National Academy of Sciences - PNAS*, 106(21), 8719-8724.
- Christoff, K., Irving, Z. C., Fox, K. C. R., Spreng, R. N., & Andrews-Hanna, J. R. (2016). Mind-wandering as spontaneous thought: A dynamic framework. *Nature Reviews Neuroscience*, 17(11), 718-731.
- Cohen, J. (1969). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. New York: Academic Press.
- D'Mello, S. K., & Mills, C. S. (2021). Mind wandering during reading: An interdisciplinary and integrative review of psychological, computing, and intervention research and theory. *Language and Linguistics Compass*, 15(4).
- Egger, M. (1997). Bias in meta-analysis detected by a simple, graphical test. *Bmj British Medical Journal*, 316.
- Faber, M., Bixler, R., & D'Mello, S. K. (2018). An automated behavioral measure of mind wandering during computerized reading. *Behavior Research Methods*, 50(1), 134-150.
- Forin, N. D., Risko, E. F., & Smilek, D. (2018). In the eye of the beholder: Evaluative context modulates mind-wandering. *Acta Psychologica*, 185, 172-179.
- Forin, N. D., Risko, E. F., & Smilek, D. (2019). On the relation between reading difficulty and mind-wandering: A section-length account. *Psychological Research*, 83(3), 485-497.
- Foulsham, T., Farley, J., & Kingstone, A. (2013). Mind wandering in sentence reading: Decoupling the link between mind

- and eye. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue canadienne de psychologie expérimentale*, 67(1), 51 – 59.
- Frank, D. J. , Nara, B. , Zavagnin, M. , Touron, D. R. , & Kane, M. J. (2015). Validating older adults' reports of less mind – wandering: An examination of eye movements and dispositional influences. *Psychology and Aging*, 30(2), 266 – 278.
- Gericke, C. , Soemer, A. , & Schiefele, U. (2022). Benefits of mind wandering for learning in school through Its positive effects on creativity. *Frontiers in Education*(Lausanne), 7.
- Giambra, L. M. (1995). A Laboratory Method for Investigating Influences on Switching Attention to Task – Unrelated Imagery and Thought. *Consciousness and Cognition*, 4(1), 1 – 21.
- Higgins, J. , Thompson, S. G. , Deeks, J. J. , & Altman, D. G. (2008). Cochrane handbook for systematic reviews of interventions version 5.1.0. the cochrane collaboration. *Naunyn – Schmiedebergs Archiv für experimentelle Pathologie und Pharmakologie*, 5(2), S38.
- Hollander, J. , & Huette, S. (2022). Extracting blinks from continuous eye – tracking data in a mind wandering paradigm. *Consciousness and Cognition*, 100, 103303.
- Hopstaken, J. F. , Linden, D. , Bakker, A. B. , & Kompier, M. (2015). A multifaceted investigation of the link between mental fatigue and task disengagement. *Psychophysiology*, 52, 305.
- Hyoönä, Jukka, Kaakinen, Johanna, K. , Lorch, & Robert, F. (2002). Individual Differences in Reading to Summarize Expository Text; Evidence From Eye Fixation Patterns. *Journal of Educational Psychology*, 94(1), 44 – 55.
- Irwin, D. E. (2014). Short – term memory across eye blinks. *Memory*, 22(7 – 8), 898 – 906.
- Kane, M. J. , & Mcvay, J. C. (2012). What mind wandering reveals about executive – control abilities and failures. *Current Directions in Psychological Science*, 21(5), 348 – 354.
- Keenan, J. M. , Betjemann, R. S. , & Olson, R. K. (2008). Reading Comprehension Tests Vary in the Skills They Assess: Differential Dependence on Decoding and Oral Comprehension. *Scientific Studies of Reading*, 12(3), 281 – 300.
- Kintsch, W. , & Rawson, K. A. (2005). Comprehension. *The Science of Reading: A Handbook*, 211 – 226.
- Krawietz, S. A. , Tamplin, A. K. , & Radvansky, G. A. (2012). Aging and mind wandering during text comprehension. *Psychology and Aging*, 27(4), 951 – 958.
- Mills, C. , Gregg, J. , Bixler, R. , & D' Mello, S. K. (2021). Eye – Mind reader: An intelligent reading interface that promotes long – term comprehension by detecting and responding to mind wandering. *Human – computer Interaction*, 36(4), 306 – 332.
- Mills, C. , Porter, A. R. , Andrews – Hanna, J. R. , Christoff, K. , & Colby, A. (2021). How task – unrelated and freely moving thought relate to affect: Evidence for dissociable patterns in everyday life. *Emotion*, 21(5), 1029 – 1040.
- Mooneyham, B. W. , & Schooler, J. W. (2013). The Costs and Benefits of Mind – Wandering: A Review. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 67(1), 11 – 18.
- Naylor, J. S. , & Sanchez, C. A. (2018). Can reading time predict mind wandering in expository text? *Applied Cognitive Psychology*, 32(2), 278 – 284.
- Nikolla, D. , Edgar, G. , Catherwood, D. , & Matthews, T. (2018). Can bottom – up processes of attention be a source of 'interference' in situations where top – down control of attention is crucial? *British Journal of Psychology*, 109(1), 85 – 98.
- Oyarzo, P. , Preiss, D. , & Cosmelli, D. (2022). Attentional and meta – cognitive processes underlying mind wandering episodes during continuous naturalistic reading are associated with specific changes in eye behavior. *Psychophysiology*, 59(4), e13994.
- Raichle, M. E. (2015). The brain's default mode network. *Annual Review of Neuroscience*, 38, 433 – 447.
- Randall, J. G. , Oswald, F. L. , & Beier, M. E. (2014). Mind – wandering, cognition, and performance: A theory – driven meta – analysis of attention regulation. *Psychological Bulletin*, 140(6), 1411.
- Rayner, K. , & Duffy, S. A. (1986). Lexical complexity and fixation times in reading: Effects of word frequency, verb complexity, and lexical ambiguity. *Memory & Cognition*, 14(3), 191 – 201.
- Reichle, E. D. , Reineberg, A. E. , & Schooler, J. W. (2010). Eye Movements During Mindless Reading. *Psychological Science*, 21(9), 1300 – 1310.
- Robison, M. K. , & Unsworth, N. (2018). Pupillometry tracks fluctuations in working memory performance. *Attention, Perception & Psychophysics*, 81, 407 – 419.
- Schooler, J. W. , Smallwood, J. , Christoff, K. , Handy, T. C. , Reichle, E. D. , & Sayette, M. A. (2011). Meta – awareness, perceptual decoupling and the wandering mind. *Trends in Cognitive Sciences*, 15(7), 319 – 326.
- Serena, M. , & Annelies, V. (2014). Eye – closure increases children's memory accuracy for visual material. *Frontiers in Psychology*, 5, 241.
- Smallwood, J. (2011). Mind – wandering While Reading: Attentional Decoupling, Mindless Reading and the Cascade Model of Inattention. *Language & Linguistics Compass*, 5(2), 63 – 77.
- Smallwood, J. , Fitzgerald, A. , Miles, L. K. , & Phillips, L. H. (2009). Shifting moods, wandering minds: Negative moods

- lead the mind to wander. *Emotion*, 9(2), 271 – 276.
- Smallwood, J., Mcspadden, M., Luus, B., & Schooler, J. (2008). Segmenting the stream of consciousness: The psychological correlates of temporal structures in the time series data of a continuous performance task. *Brain & Cognition*, 66(1), 50 – 56.
- Smallwood, J., & Schooler, J. W. (2006). The restless mind. *Psychological Bulletin*, 132(6), 946.
- Smallwood, J., & Schooler, J. W. (2015). The science of mind wandering: Empirically navigating the stream of consciousness. *Annu Rev Psychol*, 66, 487 – 518.
- Smilek, D., Carriere, J. S. A., & Cheyne, J. A. (2010). Out of Mind, Out of Sight. *Psychological Science*, 21(6), 786 – 789.
- Steindorf, L., Hammerton, H. A., & Rumme, J. (2021). Mind wandering outside the box—About the role of off – task thoughts and their assessment during creative incubation. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, 15(4), 584 – 595.
- Steindorf, L., & Rummel, J. (2020). Do your eyes give you away? A validation study of eye – movement measures used as indicators for mindless reading. *Behavior Research Methods*, 52(1), 162 – 176.
- Tobia, V., & Bonifacci, P. (2015). The simple view of reading in a transparent orthography: The stronger role of oral comprehension. *Reading and Writing*, 28(7), 939 – 957.
- Unsworth, N., & Mcmillan, B. D. (2013). Mind wandering and reading comprehension: Examining the roles of working memory capacity, interest, motivation, and topic experience. *Journal of Experimental Psychology Learning Memory & Cognition*, 39(3), 832 – 842.
- Uzzaman, S., & Joordens, S. (2011). The eyes know what you are thinking: Eye movements as an objective measure of mind wandering. *Consciousness and Cognition*, 20(4), 1882 – 1886.
- Vredeveltdt, A., Hitch, G. J., & Baddeley, A. D. (2011). Eyeclosure helps memory by reducing cognitive load and enhancing visualisation. *Memory & Cognition*, 39(7), 1253 – 1263.
- Walcher, S., Körner, C., & Benedek, M. (2017). Looking for ideas: Eye behavior during goal – directed internally focused cognition. *Consciousness and Cognition*, 53, 165 – 175.
- Weinstein, Y. (2018). Mind – wandering, how do I measure thee with probes? Let me count the ways. *Behavior Research Methods*, 50(2), 642 – 661.
- Wong, A. Y., Smith, S. L., Mcgrath, C. A., Flynn, L. E., & Mills, C. (2022). Task – unrelated thought during educational activities: A meta – analysis of its occurrence and relationship with learning. *Contemporary Educational Psychology*, 71, 102098.
- Yang, X., Qian, B., Zhou, X., Zhao, Y., Wang, L., & Zhang, Z. (2022). The effects of posture on mind wandering. *Psychological Research*, 86(3), 737 – 745.
- Zavagnin, M., Borella, E., & De Beni, R. (2014). When the mind wanders: Age – related differences between young and older adults. *Acta Psychologica*, 145, 54 – 64.
- Zhang, H., Qu, C., Miller, K. F., & Cortina, K. S. (2020). Missing the joke: Reduced rereading of garden – path jokes during mind – wandering. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 46(4), 638 – 648.

The Relationship Between Mind Wandering and Reading: A Meta – Analysis of Eye Movement Studies

Wang Jingru Jiang Xin

(School of Psychology, Beijing Language and Culture University, Beijing 100083)

Abstract: Using meta – analysis explores the eye movement indicators which are suitable for measuring mind wandering during reading and the relationship between mind wandering and reading comprehension. The analysis suggests that among the six eye movement indicators commonly used in the study of mind wandering, the saccades count was a large effect amount ($g = 0.99$), and the fixation count, fixation duration, blinkcount, pupil size and gaze duration were medium effect amounts ($0.20 < g < 0.80$). In addition, the relationship between mind wandering and reading comprehension had negative effect ($r = -0.15$). The meta – analysis results indicate that eye movement technology can effectively measure mind wandering during reading and is influenced by various variables. Mind wandering is detrimental to reading comprehension.

Key words: mind wandering; reading comprehension; eye movements; meta – analysis