

手势追踪能否促进多媒体学习？一项元分析研究

李辉, 郑玉玮

济南大学教育与心理科学学院, 山东 济南

收稿日期: 2024年1月5日; 录用日期: 2024年2月22日; 发布日期: 2024年2月29日

摘要

多媒体学习者需要将文本与图片中的相应元素联系起来, 才能取得较好的学习效果。手势追踪就是帮助学习者将文本和图片元素进行有效联结的一种手段。关于手势追踪能否提高多媒体学习效果的问题, 仍没有一致的结论。本研究采用元分析方法, 研究手势追踪对多媒体学习者学习效果、认知负荷和学习动机的影响。共纳入文献16篇, 总样本量1090人, 生成了58个效应量。结果显示, 手势追踪可以促进保持成绩($g = 0.64$)和迁移成绩($g = 0.44$), 提高解题速度($g = -0.42$), 降低内在认知负荷($g = -0.40$)和外在认知负荷($g = -0.40$), 但对相关认知负荷($g = 0.14$)和学习动机($g = 0.46$)没有显著影响。此外, 手势追踪对多媒体学习效果的影响在一定程度上受被试性别、年龄, 学习材料的知识类型、可视化类型、学习时长, 以及问卷类型的调节。

关键词

手势追踪, 追踪效应, 多媒体学习, 元分析

Does Tracing Enhance Multimedia Learning? A Meta-Analysis

Hui Li, Yuwei Zheng

School of Education and Psychology, University of Jinan, Jinan Shandong

Received: Jan. 5th, 2024; accepted: Feb. 22nd, 2024; published: Feb. 29th, 2024

Abstract

The multimedia learners need to relate the words of the text to the corresponding elements in the image to achieve better learning effect. Tracing is a means of helping multimedia learners to make

effective contact with them. Prior studies on the effects of tracing have shown inconsistent findings. In this study, we conducted the meta-analysis to address whether tracing in multimedia learning can influence learning performance, cognitive load and learning motivation. We found 16 articles met the inclusion criteria, 58 effect sizes (1090 participants). The results indicated tracing can improve learners' retention performance ($g = 0.64$) and transfer performance ($g = 0.44$), shorten response time ($g = -0.42$), reduce intrinsic cognitive load ($g = -0.40$) and extraneous cognitive load ($g = -0.40$), but no significant impact on the germane cognitive load ($g = 0.14$) and learning motivation ($g = 0.46$). In addition, tracing effect is subject to the gender, age, the knowledge type, the visual type, the learning length, and the questionnaire type.

Keywords

Tracing Gesture, Tracing Effect, Multimedia Learning, Meta-Analysis

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着现代信息技术与教育教学的深度融合, 多媒体学习资源爆炸式产出。然而, 多媒体材料在提供便捷丰富信息的同时, 也占用了学习者额外的认知资源(Tversky et al., 2002)。为了更好地学习多媒体材料, 学习者需要将文本中的词汇与图片中相应的元素联系起来(Mayer, 2021)。然而, 并不是所有学习者都能够成功地组织文本和图像信息(Mason et al., 2013)。在多媒体学习中, 有学习者使用手势将文本和相关的图像信息进行整合加工。

手势是一种学习者在执行认知加工的任务(如, 思考、推理或说话)时伴随产生的手部姿势, 反映了个体内部认知过程(Alibali et al., 2001)。在学习环境中, 常常可以观察到, 学生在学习新词或图形时, 会不由自主地用手指进行追踪动作。McNeill (1992)将追踪(Tracing)定义为一根或几根手指在学习材料上的移动。手势追踪就是帮助学习者将文本与图片元素联系起来的一种手段。如果学习材料以次优的方式呈现(如, 图片与文本呈现的距离很远), 且不能轻易改变(如, 在课本中)时, 手势追踪能有效提高学习者的学习效果。

认知科学对具身认知(Embodied Cognition)日益重视, 具身认知认为, 最好将思维理解为大脑和身体与环境相互作用的一种功能; 因此, 思维是基于感觉运动系统, 而不是抽象符号操作(Glenberg et al., 2013)。其次, 认知系统的需要控制着行为, 即与环境互动, 行为是进化压力的根源。我们与环境互动的主要方式之一是用手。婴儿在 12 个月大时就开始使用指向手势来管理注意力和兴趣(Liszkowski et al., 2012)。视觉注意和手的位置之间的相互作用的研究也为使用指向作为注意线索提供了有力的支持。将手放在物体附近会改变人们对该物体的视觉注意力和感知, 因此该物体将从周围环境中脱颖而出(Cosman & Vecera, 2010), 并将被更长时间、更深入地观察(Reed et al., 2006)。除了指向之外, 手还支持在观看或聆听刺激的同时, 通过触摸与环境直接互动。研究发现, 当视觉、听觉和触觉输入同步时, 注意力过程会产生协同效应(Talsma et al., 2010)。人们越来越认识到运动对视觉加工的多感官促进作用, 因此 Baddeley (2012) 的最新工作记忆模型推测触觉感官信息包括动觉和触觉输入, 会影响视觉空间模板中的加工。

近年来, 认知负荷理论(Cognitive Load Theory)从 Geary (2008)的进化教育心理学中获得了深刻的启发,

并吸纳了人类认知结构的进化观点(Sweller, 2011)。Geary (2008)提出, 人类进化产生了一系列与信息处理领域相关的认知模块: 这些模块偏重于处理特定形式的信息, 并且是可塑的。基于这一进化观点, 引入了关于知识最基本分类的概念, 即生物学初级知识和生物学次级知识。而工作记忆的局限性只有在习得文化上重要的新知识, 即生物学上的次级知识(如阅读和数学)时才显得至关重要; 而对于学习人类因遗传进化的知识, 即生物学上的初级知识(如, 学习母语和识别面孔)影响较小或没有影响(Geary, 2008)。这意味着, 学习者可以利用占用较少甚至不占用认知资源的生物学上的初级知识来习得生物学次级知识(Paas & Sweller, 2012)。手势是人类进化来的古老纯熟的技能, 占用很少的、甚至不占用工作记忆资源。作为生物学初级知识的一种形式, 手势的利用可以节约工作记忆资源, 促进图式的构建, 帮助学习者习得生物学次级知识, 最终提高多媒体学习效果。

近年来, 手势追踪得到了研究者越来越多的关注。已有研究发现, 手势追踪能提高学习效果(Du & Zhang, 2019; Ginns & King, 2021; Ginns & Kydd, 2019; Hu et al., 2015; Macken & Ginns, 2014; Tang et al., 2019; Yeo & Tzeng, 2019)。研究者将这种手势追踪对学习的促进作用, 命名为追踪效应(Tracing Effect)。但是, 有研究发现, 手势追踪对多媒体学习的促进效果是有限的。Agostinho 等(2015)发现, 手势追踪仅提高了儿童的迁移成绩, 而没有显著提高类似问题测验成绩, 两组学生在反应时和认知负荷得分上也没有显著差异。随后也有研究者发现手势追踪虽然可以促进学习者的多媒体学习, 但并不支持认知负荷假设(Ginns et al., 2016; Ginns et al., 2020; Korbach et al., 2019)。Tang 等(2019)发现追踪可以降低学习者的外在认知负荷, 但没有显著改善内在认知负荷; 与前人的研究结果相反, Schüller 和 Wesslein (2022)发现追踪组的学习者表现出比非追踪组更低的文字-图片整合成绩和绘画成绩, 在文本保持和图片保持成绩上也没发现追踪组的成绩优于非追踪组。Zuo 和 Lin (2022)探究将追踪与总结联合起来是否能促进多媒体学习, 结果未发现手势效应, 追踪组的学习效果并不明显优于非追踪组。

综上所述, 手势追踪是否能降低多媒体学习者的认知负荷并促进其学习效果, 研究结果之间仍存在不一致。基于此, 本研究采用元分析方法可能有助于澄清在个别研究中统计力不足地发现, 验证手势追踪对多媒体学习的影响是否稳健, 并进一步探讨可能存在的潜在的调节因素。

1.1. 手势追踪能否提高学习效果?

在教育领域, 将手势追踪策略应用于教学以辅助学习有着悠久的历史, 最早可以追溯到意大利教育学家蒙特梭利(Montessori, 1912)。她用粗糙的砂纸制成字母表上的字母, 来帮助智力发展障碍的儿童学习语言。幼儿在听字母发音时, 需要用手指根据字母的书写顺序追踪砂纸字母来感受字母之间的区别。这种教学技术可以有效地帮助儿童习得字母。之后, Fernald 和 Keller (1921)将手势追踪设计扩展至有阅读障碍的儿童, 发现手势追踪可以有效促进阅读障碍儿童习得单词。后续大量实验表明, 手势追踪策略可以增强对视觉刺激的识别, 如字母学习(Bara et al., 2007; Bara et al., 2004; Hulme, 1981; Hulme et al., 1987), 帮助幼儿识记几何形状(Kalenine et al., 2011)等简单学习任务。近年来, 研究者开始关注手势追踪是否也能促进复杂抽象知识的学习。

在这些复杂学习任务中, 最常见的手势包括用食指指向和追踪相应的元素。Macken 和 Ginns (2014)证实, 在研究生理学中心脏解剖学的材料时, 当大学生被试指向文本和图画中的相关元素并追踪图画中的血流时, 其在测验中的成绩显著高于未做手势追踪的被试。Ouweland 等(2016)发现, 在编码过程中, 与仅仅命名或观察相比, 使用手指指向的年轻人和老年人在空间源记忆任务中表现更好。以上两项研究考察的是手势追踪对于成年人学习的影响, Hu 等(2014)使用关于平行线角度关系的数学样例作为实验材料, 发现使用手势追踪平行线的小学生在测试阶段比仅将手放在膝盖上的小学生答错题数量显著更少。此后研究者进行了一系列研究, 均发现手势追踪可以提高学习者的学习效果。Yeo 和 Tzeng (2020)为了探

究追踪效应的普遍性, 在实验 2 中使用非空间性材料——数学指数定律样例, 研究手势追踪对小学生学习数学样例的作用, 未发现追踪效应, 追踪组和不追踪组在类似问题、迁移问题、认知负荷上均没有显著差异。无独有偶, Zuo 和 Lin (2022)使用人类心血管系统的材料研究将手势追踪与总结相结合是否会更大程度上促进多媒体学习, 结果也并未发现追踪条件的主效应。与之前的研究结果不同, Schüler 和 Wesslein (2022)用虚拟鱼的图片和相关文本研究手势追踪在多媒体学习中的作用, 结果表明与对照组相比, 追踪组的学习者在文本—图片整合成绩和绘图成绩上更差。所以, 关于手势追踪能否促进多媒体学习, 当前研究结果并不一致。

1.2. 手势追踪能否减轻学习者的认知负荷?

认知负荷理论认为, 当课程很复杂或设计的方式分散了学习注意力时, 学生的工作记忆通常会超载 (Sweller, 2011)。由于人类工作记忆的持续时间和容量有限, 认知负荷理论试图控制学习任务对学习者的工作记忆资源不足造成的过度负荷 (Paas et al., 2010)。Paas 和 Sweller (2012)指出人类可以毫不费力地获得大量的生物学初级知识, 无需指导或外在动机, 因此获得这类知识似乎不受工作记忆限制的影响。涉及生物学初级知识的学习似乎对认知资源的影响很小。工作记忆限制可能只在处理文化构建的知识或生物学次级知识时才至关重要。Paas 和 Sweller (2012)提出的一种可能支持生物次级知识学习的生物初级知识形式是手势。手势作为一种生物学初级知识可以用来帮助学习者获得次级知识(如数学)。

作为生物学初级知识的手势是否真的能够降低学习者的认知负荷呢? 有研究发现手势追踪可以降低认知负荷 (Du & Zhang, 2019; Ginns & King, 2021; Ginns, & Kydd, 2019; Hu et al., 2015; Tang et al., 2019; Yeo & Tzeng, 2019)。但随后的研究未能复制该结果, 发现手势追踪未能降低认知负荷 (Ginns et al., 2016; Ginns et al., 2020; Korbach et al., 2019; Macken & Ginns, 2014)。其次, 在认知负荷上, 在已有的 16 篇文献 (20 个实验)中 14 篇 (18 个实验)测量了认知负荷, 有 8 个实验未发现追踪组与不追踪组在认知负荷上存在显著差异, 有 10 项实验结果表明追踪组的部分认知负荷低于不追踪组, 如, Tang 等 (2019)发现, 追踪水循环海报的元素会降低外在认知负荷, 但不能降低内在认知负荷。

1.3. 手势效应的边界条件?

为什么已有研究在手势追踪对多媒体学习的作用方面存在分歧呢? Mayer 指出, 多媒体教学设计原则存在边界条件, 多媒体学习的效果受学习者特征(如, 性别、年龄、先验知识)、学习内容因素(如, 知识类型、元素数量、材料难度)、教学设计方式(如, 呈现方式、情绪设计)和教师特征(如, 手势、教学风格)等的影响。那么, 手势追踪对多媒体学习的促进作用是否存在边界条件? 对这些调节变量的分析有助于帮助学习者更有效地利用手势追踪进行多媒体学习, 同时可以对研究结果推广到教学实践进行限定。

1.3.1. 实验材料

学习材料是影响多媒体学习效果的最重要因素之一。综合以往研究, 我们归纳出知识类型、可视化类型和学习材料时长这 3 个影响追踪效应的潜在实验材料因素。

1) 知识类型

在已有的 16 篇文献中学习材料的知识类型差距较大, 有 9 篇使用数学样例作为学习材料, 4 篇使用了生理解剖学的心脏血液循环系统作为实验材料, 另有 3 篇选取水循环系统、恒星生命周期、虚拟鱼图文作为研究材料。数学材料所占比例高达 56.25%, 且将数学样例(关于平行线的角度几何样例)作为学习材料的研究均发现了追踪效应。但 Wang 等人 (2021)用低空间性材料(心算样例)进行实验时未发现手势追踪的促进效应。鉴于水循环系统、恒星生命周期、虚拟鱼图文均为介绍某一方面的科学知识, 本研究将其并入同一知识类型——科学知识, 与数学材料、生理解剖学材料一起进行元分析。

2) 可视化类型

此外, 根据多媒体学习原则的通道效应, 一般来说, 视听双通道的学习效果要优于视觉或听觉单通道的, 但是这并不意味着通道愈多愈好, 在加入手势追踪(动觉+触觉通道)后, 可能会出现冗余效应, 干扰学习过程。Miller (1937)发现, 在儿童学习单词时, 仅呈现单词的学习效果要好于单词和图片同时出现时的学习效果, 即“图片——单词”效应, 后来的研究者也验证了此效应(Torcasio & Sweller, 2010)。纳入分析的 16 篇文献, 15 篇学习材料为图片 + 文本, 而 Zuo 和 Lin (2022)使用心脏视频课程作为学习材料, 之后在图片上进行追踪。因此, 相比在单通道学习材料中的应用, 手势追踪在视听双通道学习材料中是否能取得更好的学习效果, 还是产生冗余效应, 造成认知负担, 阻碍了学习, 需要对此进行分析。

3) 学习材料时长

根据新颖性效应, 在多媒体学习环境中, 学生在开始学习新事物时可能会保持较高的兴趣, 但随着学习时间的增长, 学习者的兴趣和参与度会逐渐降低, 同时, 学习者的精力消耗地更大, 导致学习效率逐渐降低; 但也有研究表明学习时间越长, 学习者的成绩越好(Clark, 1983)。因此, 可以将学习时间作为一个调节因素来考察手势追踪效果研究不一致的问题。

1.3.2. 被试特征

综合以往研究发现, 被试的年龄、已有的知识经验、性别、空间能力等因素都会影响学习效果。本研究根据年龄将被试分成大学生和小学生两类, 同时发现有部分研究男女比例悬殊。Yeo 和 Tzeng (2020)在研究中发现追踪效应受学习材料空间特点的影响, 这表明追踪效应可能与学习者的空间能力有关。有研究表明性别和空间能力是相关的(如, Astur et al., 2004; Uttal et al., 2013; Toomey & Heo, 2019)。性别间存在空间能力差异, 男性更高(Astur et al., 2004; Uttal et al., 2013)。因此, 将被试的年龄和性别作为调节变量进行调节效应分析。

1.3.3. 认知负荷量表的类型

手势追踪研究关于认知负荷结果不一致的原因可能是认知负荷量表不够完善, 认知负荷作为一种内在认知过程很难通过自陈问卷进行测量。纳入文献所采用的量表也不同, 早期研究多采用一种简单的量表(只有一个项目, 如 Hu 等人设计的主观测试难度评分量表, 5 点计分)来测量学习者的认知负荷, 多数研究发现手势追踪可以降低认知负荷, 但近年来的研究采用了一种多项目量表(6~8 个项目, 改编自 Leppink 等(2013)编制的认知负荷问卷, 11 点计分), 这些研究中结果多为混合的, 如, Wang 等(2021)发现, 实验一仅证明追踪组在外在认知负荷上显著低于非追踪组, 但实验二结果表明, 追踪组具有更低的外在和内在认知负荷。

综上, 手势追踪对多媒体学习效果和认知负荷的作用并不稳定, 可能存在一些潜在调节变量。元分析不仅可以合成总效应量, 而且可以根据效应量的影响因素来分析调节效应, 从而揭示哪些因素可能影响追踪效应(Borenstein et al., 2009)。因此, 为了深入研究手势追踪对于多媒体学习的影响, 本研究对此进行元分析。在上述论述的基础上, 本研究预期: 在多媒体学习中进行手势追踪可以促进学习者的保持和迁移成绩(假设 1), 并且能提高学习者的兴趣, 降低学习者的认知负荷(假设 2), 但这会受到学习材料的知识类型、可视化类型, 学习时长, 认知负荷问卷类型以及被试性别和年龄的调节(假设 3)。

2. 元分析

2.1. 文献检索

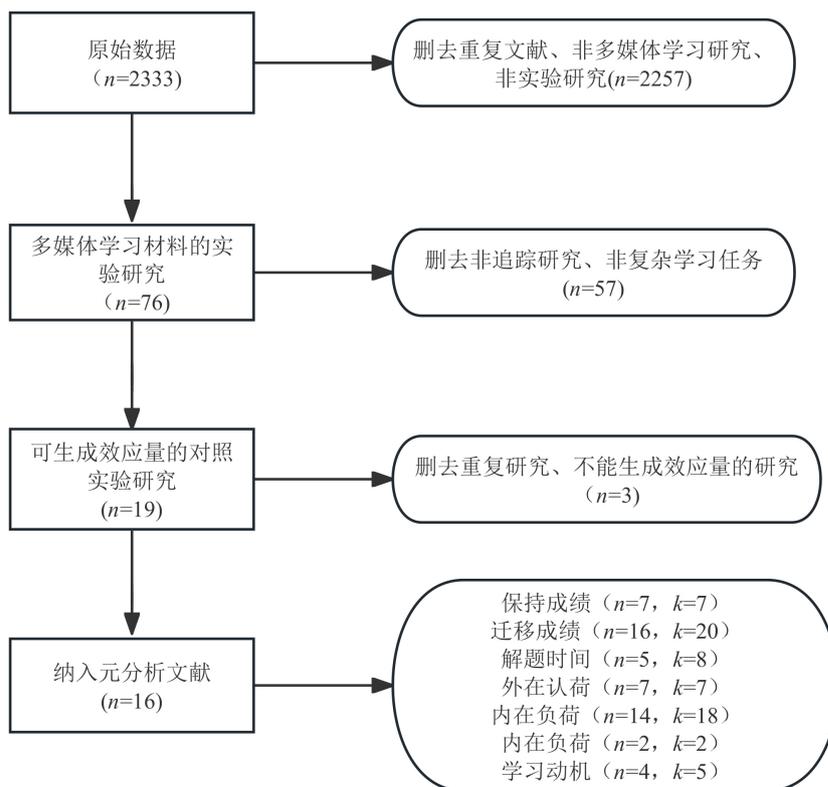
本研究遵循 PRISMA 指南和《开放式荟萃分析的规范化报告》进行元分析(刘宇等, 2021), 研究对相关的中英文文献进行了全面系统的检索, 检索时间截至 2023 年 5 月, 共获得了 16 篇相关研究。检索

库包括 Science Direct、Web of Science、PubMed、PsycINFO 和 Google Scholar 五个英文数据库；中国知网(CNKI)、万方和维普三个中文数据库；并通过纳入文献的参考文献进行补查。从以往研究的标题和关键词中确定了 2 组关键词，“多媒体学习”和“手势追踪”，使用布尔运算法则进行检索。英文关键词将 tracing、deictic tracing、tracing effect、pointing 分别与 multimedia、multimedia learning、learning 进行联合搜索；中文关键词则是将“追踪”、“手势”、“手势追踪”、“指向”、“触摸”分别与“多媒体”、“多媒体学习”、“学习”进行联合搜索。

2.2. 文献纳入与排除

纳入标准：1) 根据多媒体学习的定义，研究所用学习材料需包含图画(如，图片、视频、动画)和文本信息；2) 研究为实证研究；3) 研究为被试间设计，需至少包含一个“图文 + 追踪”条件与“图文 + 不追踪”条件学习效果的对照试验；4) 被试为小学生、中学生、大学生或成年人，排除以学龄前儿童、老年人和有学习障碍者作为被试的研究。5) 研究报告了量化结果，如保持测验、迁移测验或认知负荷；6) 有足够的数据来计算效应量(如，平均数、样本量、标准差等)。

根据文献检索标准，图 1 总结了文献的筛选过程，主要包括三个步骤。第一步，初步检索到期刊文献 2333 篇，根据文章标题，删除重复收录的文献和明显非教育学或心理学的文章。第二步，根据文章标题、关键词和摘要，删去非手势追踪的实证研究和非多媒体学习材料的文献，得到 76 篇文献；最后，通过阅读全文，删掉重复的研究和实验材料为简单学习任务的文章(如，单词学习、识数)，以及无法计算效应量的文章，最终纳入文献 16 篇。



注： n 代表文献数量， k 代表独立效应量数量。

Figure 1. Literature inclusion and exclusion process

图 1. 文献纳入与排除流程

2.3. 文献编码与效应量

首先, 记录文献的基本信息, 包括文章作者、出版时间。其次, 记录实验的相关信息, 包括被试年龄、女性占比, 手势(手势追踪、无手势追踪), 可视化类型(图文、视频 + 图片), 结果变量(保持成绩、迁移成绩、解题时间、认知负荷、学习动机)。最后, 提取计算效应量的数据(如, 样本量、平均值、标准差)。

保持测验和迁移测验是多媒体学习研究最关注的学习效果指标, 而手势追踪对多媒体学习效果的研究以认知负荷理论为理论基础, 将认知负荷测试作为重要的测量指标(王福兴等, 2016), 因此本研究选取以上三个指标作为结果变量。保持测验主要测量学习结束后, 学习者回忆出的知识数量, 考察的是浅层记忆效果, 因为本研究纳入的文献中, 术语测试和识别测试目的是为了测试被试对学习材料的识记, 因此本研究将术语测试、识别测试和回忆测试作为保持测验; 而迁移测验则是要求学习者回答或解决与学习内容相关, 但需要学习者结合自身已有的知识, 并对材料进行深度加工, 考察的是深层理解效果, 本研究纳入的文献中, 以数学问题作为实验材料的结果变量分为两类, 类似问题的正确答案数量、解题时间, 迁移问题的正确答案数量、解题时间, 无论是类似问题还是迁移问题都需要被试从学习材料中进行推理, 需要灵活地使用数学原理, 因此将类似问题结果和迁移问题结果作为迁移测验。理解测试本身就需要对学习材料进行深入分析, 在新的情境中解决问题, 因此也将理解测试成绩作为迁移测验结果。

认知负荷理论认为, 工作记忆的认知负荷可分为三类: 外在认知负荷、内在认知负荷和相关认知负荷(Sweller, 2011)。外在认知负荷(Extraneous Cognitive Load)是学习者对交互因素(如图文)处理的增加而产生的一种不必要的负荷, 是不恰当的教学设计给学习者选择、提取和整合信息带来了困难(Sweller, 2011)。内在认知负荷(Intrinsic Cognitive Load)是由学习任务的复杂性和不同学习要素交互作用的结果决定的。相关认知负荷(Germane Cognitive Load)是在形成和调节心理图式过程中产生的一种负荷, 是实现学习的有效手段。

调节变量编码为 3 类, 学习材料(知识类型、学习时长、可视化类型)、被试(年龄、性别)和认知负荷问卷类型。学习材料的知识类型编码为 3 类, 数学(13)、生理解剖学(4)、科学知识类(3 篇, 包括水循环系统、恒星生命周期、虚拟鱼图文)。可视化类型编码为 2 类, 图文结合(19), 视频 + 图片(1)。

根据文章报告的教育水平, 将被试划分为 2 类, 小学生(13)、大学生(7)。将女性的比例编码为 4 类, 未报告、低、中等和高。具体来说, 如果女性被试的比例低于总样本的 50%, 将这些研究编码为低(5); 如果女性被试占总样本的比例在 50%~75%之间, 将这些研究编码为中等(8); 如果女性被试占总样本的比例高于 75%, 将这些研究编码为高(2)。

研究所采用认知负荷问卷包括 6 种。“Paas 1”, 改编自 Paas (1992)的 5 分图解主观测试难度评分量表, 仅有 1 个项目; “Ginns 1”, Ginn 等人使用的认知负荷量表, 用于评价内容理解和学习的难易程度, 仅有 1 个项目, 9 点计分。“Cierniak 3”, 基于 Cierniak 等(2009)开发的 7 点量表, 主观评分被用于衡量外在、内在和相关认知负荷, 包括 3 个项目。“Leppink 6”, 改编自 Leppink 等(2013)的多项内在和外在认知负荷问卷, 包括 6 个项目, 11 点计分; “Leppink 8”, 包括 8 个项目, 11 点计分; “Leppink 5 + Klepsch 3”, 内在认知负荷和外在认知负荷的指标改编自 Leppink 等(2013)的认知负荷量表, 5 个项目, 而相关认知负荷指标改编自 Klepsch 等(2017)的问卷, 3 个项目, 均为 7 点计分。为了便于分析, 将其进行合并, 编码为 5 类。仅有一个题目测量认知负荷的 Paas 1 和 Ginns 1 编码为 1 类, 共 6 篇文献(9 个独立的效应量); 将改编自 Leppink 等(2013)的多项内在和外在认知负荷问卷编码为 1 类, 共 6 篇文献(7 个独立的效应量); 将 Cierniak 3 单独编码为 1 类, 共 1 篇文献; 将测量相关认知负荷的 Klepsch 3 也单独编码, 共 1 篇文献; 未报告认知负荷的 2 篇文献编码为一类(详见表 1)。

Table 1. Meta-analysis literature inclusion and coding
表 1. 元分析文献纳入与编码

研究	样本量	被试年龄	学习内容	知识类型	学习时长 (min)	女性占比 (%)	认知负荷 问卷	可视化 类型	结果变量
Hu et al., 2014	56	小学生	平行线几何的角度关系	数学	30	28.57	/	图文	TT
Macken & Ginns, 2014	42	大学生	黑白心脏图片	生理解剖学	25	73.81	Cierniak 3	图文	CT、TT、ICL、ECL、GCL
Hu et al., 2015; Exp. 1	42	小学生	平行线几何的角度关系	数学	30	0	Paas 1	图文	TT、ICL、ST
Hu et al., 2015; Exp. 2	72	小学生	平行线几何的角度关系	数学	30	22.22	Paas 1	图文	TT、ICL、ST
Agostinho et al., 2015	61	小学生	单双线温度图	数学	25	47.54	Paas 1	图文	TT、ICL、ST
Ginns et al., 2016; Exp. 1	52	小学生	平行线几何的角度关系	数学	20	0	Paas 1	图文	TT、ICL
Ginns et al., 2016; Exp. 2	54	小学生	数学四则运算	数学	20	59.26	Paas 1	图文	TT、ICL
Du & Zhang, 2019; Exp. 1	90	小学生	平行线几何的角度关系	数学	28	51.11	Paas 1	图文	TT、ICL
Ginns & Kydd, 2019	30	大学生	纸质黑白心脏材料	生理解剖学	25	66.67	Ginns 1	图文	CT、TT、ICL
Tang et al., 2019	44	小学生	水循环图	科学知识	20	/	Leppink 6	图文	CT、TT、ICL、ECL、LM
Yeo & Tzeng, 2019	72	小学生	平行线几何的角度关系	数学	20	59.72	Paas 1	图文	TT、ICL、ST
Korbach et al., 2019	60	大学生	心脏幻灯片课程	生理解剖学	25	88.9	Leppink 8	图文	CT、TT、ICL、ECL
Yeo & Tzeng, 2020; Exp. 1	60	小学生	平行线几何的角度关系	数学	20	61.67	Paas 1	图文	TT、ICL、ST
Yeo & Tzeng, 2020; Exp. 2	72	小学生	数学指数定律	数学	20	1	Paas 1	图文	TT、ICL、ST
Ginns et al., 2020	106	小学生	平行线几何的角度关系	数学	45	70.75	Leppink 8	图文	TT、ICL、ECL
Ginns & King, 2021	44	大学生	恒星生命周期	科学知识	20	70.45	Leppink 8	图文	CT、TT、ICL、ECL、LM
Wang et al., 2021; Exp. 1	93	小学生	平行线几何的角度关系	数学	30	47.31	Leppink 8	图文	TT、ICL、ECL、ST、LM

续表

Wang et al., 2021; Exp. 2	90	大学生	心算(mental mathematics)	数学	10	48.89	Leppink 8	图文	TT、ICL、ECL、ST、LM
Schüler & Wesslein, 2022	59	大学生	虚拟鱼的照片和相关文本	科学知识	6.36	69.49	/	图文	CT、TT
Zuo & Lin, 2022	156	大学生	心脏视频课程	生理解剖学	20	78.21	Leppink 5 + Klepsch 3	视频 + 图文	CT、TT、ICL、ECL、GCL、LM

注: CT, 保持测验; TT, 迁移测验; ICL, 内在认知负荷; ECL 外在认知负荷; GCL, 相关认知负荷; ST, 学习时长; LM, 学习动机。

采用 Comprehensive Meta-Analysis (v.3.3.070)进行元分析。以“图文 + 追踪”为实验组,“图文 + 不追踪”为控制组计算效应量。元分析通常将 Cohen's *d* 用作效应量指标,然而,当研究间的样本量差别较大时,Cohen's *d* 可能存在一定的估计偏差。因此,本研究使用 Hedges's *g* 作为效应量的无偏估计(Borenstein et al., 2009)。正的 Hedges's *g* 效应量表明,手势追踪对多媒体学习有积极影响。

2.4. 模型选定

元分析总效应量的估计可选择固定效应模型或随机效应模型。首先,应根据研究对象的总体情况来选择模型。固定效应模型假设纳入元分析的所有文献其研究对象(被试年龄、性别等)、研究方法等都一致,因此拥有同一真实效应量,其效应差异可能仅是抽样误差造成的(邵嵘等, 2019)。随机效应模型的假设则更为宽松,允许研究对象、研究范式上存在差异。不同模型的权重匹配不同,得到的效应量结果可能也会不同。据此,固定效应假设只存在研究内变异,大样本被分配较大比重,小样本则占较小比重;而随机效应模型认为研究内和研究间都存在变异,权重分配更为适中,大样本研究就不太可能占主导地位,小样本研究可能发挥更大的作用(周丽等, 2019)。因所纳入元分析的文献的样本量差异较大,被试在年龄和性别上也存在较大差异,所用研究材料不尽相同,因此本文选择随机效应模型进行分析。其次,异质性检验(Heterogeneity Test)的结果也可以用来辅助模型选定,若效应量异质,则选用随机效应模型。

2.5. 发表偏倚

在论文出版方面,在统计上显著的文章更易发表,故纳入元分析的文章可能本身发表偏倚,从而影响元分析结果。由于发表偏倚属于客观因素,暂时没有特别好的办法进行修正,本研究使用失安全系数、漏斗图法和 Egger 线性回归检验来评估发表偏倚。

3. 结果

3.1. 主效应检验

为了探究手势追踪对多媒体学习的影响,同时为了保证元分析的独立性,分别对保持测验等 7 个结果变量下的手势追踪的主效应进行随机效应模型检验(表 2)。结果表明,保持测验、迁移测验、解题时间、外在认知负荷和内在认知负荷的效应量 *g* 值分别是 0.64、0.44、-0.42、-0.40 和 -0.40,且 95% 置信区间不包括 0, *p* 值均小于 0.05,即追踪组确实比非追踪组有更好的保持成绩、迁移成绩,更快的解题速度,更低的内在和外在认知负荷。但追踪组与非追踪组在相关认知负荷($g = 0.14$)和学习动机($g = 0.46$)上并无显著差异。

Table 2. The main effect test of tracing gesture (random effect model)
表 2. 手势追踪的主效应检验(随机效应模型)

结果变量	<i>k</i>	<i>N</i>	<i>g</i>	95% <i>CI</i>
保持测验	7	329	0.64*	[0.13, 1.14]
迁移测验	16	1090	0.44***	[0.26, 0.61]
解题时间	5	433	-0.42**	[-0.70, -0.15]
外在认知负荷	7	468	-0.40*	[-0.70, -0.09]
内在认知负荷	14	975	-0.40***	[-0.64, -0.17]
相关认知负荷	2	92	0.14	[-0.27, 0.54]
学习动机	4	260	0.46	[-0.15, 1.06]

注: *k*: 独立效应量个数; *N*: 样本量; 95% *CI*: 各结果变量对应的效应量 *g* 的 95% 置信区间(含上限和下限), 下同; 双尾检验: **p* < 0.05, ***p* < 0.01, ****p* < 0.001, 下同。

3.2. 异质性检验

分别对保持测验等 7 个结果变量进行异质性检验(见表 3), 一般用 *Q* 检验来检查各个研究间效应量的同质性, 如果 *Q* 值显著, 说明存在异质性。结果发现, 保持测验(*ps* < 0.001)、迁移测验(*ps* < 0.05)、外在认知负荷(*ps* < 0.05)、内在认知负荷(*ps* < 0.001)和学习动机(*ps* < 0.01)的 *Q* 检验均显著, 解题时间(*ps* = 0.09)和相关认知负荷(*ps* = 0.493)的效应量统计异质性不显著。这表明含有保持测验、迁移测验、外在认知负荷、内在认知负荷和学习动机的研究的效应量是异质的。*I*² 指各研究之间方差在总体方差中所占的比例(*I*² = 25%、50%、75%: 异质性低、中、高)。从 *I*² 值上来看, 保持测验为 80.51%, 迁移测验为 50.68%, 外在认知负荷为 62.38%, 内在认知负荷为 70.40%, 学习动机为 81.20%, 表明这 5 个结果变量异质性均为中等及以上, *Q* 显著且 *I*² > 50% 意味着研究间的异质性不容忽视, 表明选择随机效应模型是合理的。

Table 3. Heterogeneity test of effect size
表 3. 效应量异质性检验

结果变量	异质性				<i>Tau-squared</i>			
	<i>Q</i>	<i>Df</i> (<i>Q</i>)	<i>p</i>	<i>I</i> ²	<i>Tau-squared</i>	<i>SE</i>	方差	<i>Tau</i>
保持测验	30.78	6	<0.001	80.51	0.37	0.27	0.07	0.61
迁移测验	30.42	15	<0.05	50.68	0.06	0.05	0.002	0.25
解题时间	8.08	4	0.09	50.48	0.05	0.07	0.01	0.22
外在认知负荷	15.95	6	<0.05	62.38	0.10	0.10	0.01	0.32
内在认知负荷	43.91	13	<0.001	70.40	0.14	0.08	0.01	0.38
相关认知负荷	0.47	1	0.493	<0.001	<0.001	0.12	0.02	<0.001
学习动机	15.96	3	<0.01	81.20	0.30	0.32	0.10	0.55

3.3. 调节效应检验

分别对学习材料的知识类型、可视化类型、学习时长, 被试年龄(大学生、小学生)、被试女性占比以及认知负荷量表类型是否调节手势追踪对多媒体学习效果、认知负荷和学习动机的影响进行检验。

3.3.1. 学习效果

在保持成绩上(表 4), 被试的年龄显著调节了追踪效应($p < 0.01$), 小学生的保持成绩显著高于大学生; 女性被试的比例显著调节了追踪效应($p < 0.01$), 其中女性占比超过 75% 的研究中的保持成绩显著低于女性占比处于 50%~75% 之间的; 认知负荷问卷也显著调节了追踪效应($p < 0.001$), 使用仅有 1 个项目的 (Paas/Ginns 1) 测试难度评分量表作为认知负荷问卷的被试保持成绩显著优于使用 Leppink 等人的多项内在和外在认知负荷问卷的保持成绩。其他结果变量的调节效应均不具有统计意义($ps > 0.05$)。

在迁移成绩上(表 5), 各变量的调节效应均不显著($ps > 0.05$)。

Table 4. Analysis of the moderating effect of tracing effect on retention performance (random effect model)

表 4. 追踪效应对保持成绩的调节效应分析(随机效应模型)

调节变量	<i>k</i>	<i>N</i>	<i>g</i>	95% <i>CI</i>	异质性		
					<i>Q_B</i>	<i>df</i>	<i>p</i>
知识类型							
生理解剖学	4	182	0.63 ^{***}	[0.34, 0.92]	0.001	1	0.975
科学知识	3	147	0.61	[-0.66, 1.88]			
可视化类型							
图文	6	279	0.69 [*]	[0.09, 1.29]	0.61	1	0.437
视频 + 图片	1	50	0.36	[-0.19, 0.91]			
被试年龄							
大学生	6	285	0.47 [*]	[0.01, 0.94]	7.71	1	<0.01
小学生	1	44	1.63 ^{***}	[0.96, 2.31]			
女性被试占比							
未报告	1	44	1.63 ^{***}	[0.96, 2.31]	9.38	2	<0.01
高	2	110	0.45 [*]	[0.07, 0.82]			
中	4	175	0.51	[-0.27, 1.28]			
认知负荷问卷							
未报告	1	59	-0.54 [*]	[-1.06, -0.03]	19.94	3	<0.001
Cierniak 3	1	42	0.87 ^{**}	[0.25, 1.49]			
Paas/Ginns 1	1	30	1.00 ^{**}	[0.26, 1.75]			
Leppink	4	198	0.79 ^{**}	[0.28, 1.30]			

Table 5. Analysis of the moderating effect of tracing effect on transfer performance (random effect model)
表 5. 追踪效应对迁移成绩的调节效应分析(随机效应模型)

调节变量	<i>k</i>	<i>N</i>	<i>g</i>	95% <i>CI</i>	异质性		
					<i>Q_B</i>	<i>df</i>	<i>p</i>
知识类型							
数学	9	761	0.46 ^{***}	[0.31, 0.61]			
生理解剖学	4	182	0.41 ^{**}	[0.12, 0.70]	0.10	2	0.954
科学知识	3	147	0.41	[-0.61, 1.42]			
可视化类型							
图文	15	1040	0.45 ^{***}	[0.26, 0.63]			
视频 + 图片	1	50	0.31	[-0.24, 0.86]	0.22	1	0.639
被试年龄							
大学生	6	285	0.33	[-0.10, 0.75]			
小学生	10	805	0.49 ^{***}	[0.33, 0.66]	0.54	1	0.463
女性被试占比							
未报告	1	44	1.03 ^{**}	[0.41, 1.65]			
高	2	110	0.24	[-0.13, 0.61]			
中	8	501	0.47 ^{**}	[0.15, 0.80]	4.80	3	0.187
低	5	435	0.40 ^{***}	[0.21, 0.58]			
认知负荷问卷							
未报告	2	115	-0.16	[-0.94, 0.62]			
Cierniak 3	1	42	0.61 [*]	[0.00, 1.22]			
Paas/Ginns 1	7	507	0.41 ^{***}	[0.24, 0.59]	4.44	3	0.217
Leppink	6	426	0.60 ^{***}	[0.38, 0.82]			

3.3.2. 认知负荷

从外在认知负荷上看(表 6), 学习材料的知识类型显著调节了追踪效应($p < 0.01$), 知识类型为科学知识的外在认知负荷显著低于数学和生理解剖学知识; 女性被试的比例显著调节了追踪效应($p < 0.05$), 女性被试低于 50% 的研究, 其外在认知负荷显著低于女性被试高于 50% 的被试样本, 而女性被试高于 75% 的研究的外在认知负荷最高。其他结果变量的调节效应均不显著($ps > 0.05$)。

从内在认知负荷上看(表 7), 可视化类型显著调节了追踪效应($p < 0.01$), 图文结合的材料其内在认知负荷显著低于视频 + 图片的学习材料。被试年龄的调节作用呈边缘显著($p = 0.076$), 小学生的内在认知负荷远小于大学生。女性被试占比的调节效应呈边缘显著($p = 0.057$), 女性被试中等(50%~75%)的研究报告的内在认知负荷远高于女性被试低于 50% 和高于 75% 的研究。

Table 6. Analysis of the moderating effect of tracing effect on extraneous cognitive load (random effect model)
表 6. 追踪效应对外在认知负荷的调节效应分析(随机效应模型)

调节变量	<i>k</i>	<i>N</i>	<i>g</i>	95% <i>CI</i>	异质性		
					<i>Q_B</i>	<i>df</i>	<i>p</i>
知识类型							
数学	2	228	-0.45	[-1.04, 0.13]	9.93	2	<0.01
生理解剖学	3	152	-0.04	[-0.35, 0.28]			
科学知识	2	88	-0.89***	[-1.32, -0.46]			
可视化类型							
图文	6	418	-0.45**	[-0.79, -0.12]	1.72	1	0.190
视频 + 图片	1	50	-0.03	[-0.57, 0.52]			
被试年龄							
大学生	4	196	-0.26	[-0.70, 0.18]	0.84	1	0.360
小学生	3	272	-0.55*	[-1.00, -0.11]			
女性被试占比							
未报告	1	44	-0.83**	[-1.43, -0.23]	10.72	3	<0.05
高	2	110	0.04	[-0.33, 0.40]			
中	3	192	-0.41	[0.88, 0.07]			
低	1	122	-0.75***	[-1.11, -0.38]			
认知负荷问卷							
Cierniak 3	1	42	-0.23	[-0.83, 0.37]	0.30	1	0.586
Leppink	6	426	-0.42*	[-0.77, -0.07]			

Table 7. Analysis of the moderating effect of tracing effect on intrinsic cognitive load (random effect model)
表 7. 追踪效应对内在认知负荷的调节效应分析(随机效应模型)

调节变量	<i>k</i>	<i>N</i>	<i>g</i>	95% <i>CI</i>	异质性		
					<i>Q_B</i>	<i>df</i>	<i>p</i>
知识类型							
数学	8	705	-0.56***	[-0.88, -0.24]	3.27	2	0.195
生理解剖学	4	182	-0.13	[-0.55, 0.29]			
科学知识	2	88	-0.20	[-0.61, 0.22]			
可视化类型							
图文	13	925	-0.46**	[-0.69, -0.23]	7.98	1	<0.01
视频 + 图片	1	50	0.40	[-0.15, 0.95]			

续表

被试年龄							
大学生	5	226	-0.13	[-0.46, 0.19]	3.14	1	0.076
小学生	9	749	-0.53***	[-0.82, -0.23]			
女性被试占比							
未报告	1	44	-0.22	[-0.80, 0.37]	7.53	3	0.057
高	2	110	0.16	[-0.29, 0.60]			
中	7	442	-0.62***	[-0.96, -0.28]			
低	4	379	-0.37	[-0.77, 0.03]			
认知负荷问卷							
Cierniak 3	1	42	-0.38	[-0.98, -0.22]	4.11	2	0.128
Paas/Ginns 1	7	507	-0.63***	[-1.00, -0.26]			
Leppink	6	426	-0.16	[-0.44, 0.12]			

3.3.3. 学习动机

从学习动机上看(表 8), 女性被试占比显著调节了追踪效应($p < 0.01$), 女性被试占比在 50%~75% (70.45%)的研究其学习动机显著高于女性占比低于 50% (48.1%)和高于 75% (78.21%)研究的。

Table 8. Analysis of the moderating effect of tracing effect on learning motivation (random effect model)
表 8. 追踪效应对学习动机的调节效应分析(随机效应模型)

调节变量	k	N	g	95% CI	异质性		
					Q_B	df	p
知识类型							
数学	1	122	0.51**	[0.15, 0.87]	0.58	2	0.747
生理解剖学	1	50	0.26	[-0.29, 0.81]			
科学知识	2	88	0.54	[-1.17, 2.26]			
被试年龄							
大学生	2	94	0.83	[-0.31, 1.97]	0.96	1	0.327
小学生	2	166	0.13	[-0.69, 0.95]			
可视化类型							
图文	3	210	0.53	[-0.32, 1.37]	0.27	1	0.605
视频 + 图片	1	50	0.26	[-0.29, 0.81]			

续表

女性被试占比							
未报告	1	44	-0.33	[-0.91, 0.26]			
高	1	50	0.26	[-0.29, 0.81]	15.96	3	<0.01
中	1	44	1.43 ^{***}	[0.77, 2.08]			
低	1	122	0.51 ^{**}	[0.15, 0.87]			

3.3.4. 学习时长

通过元回归分析发现(表 9), 在保持成绩上, 学习时长显著调节了追踪效应($\beta = 0.0699, ps < 0.05$), 学习时长正向调节了手势追踪的作用。在迁移成绩上, 学习时长显著调节了追踪效应($\beta = 0.022, ps < 0.05$), 学习时长正向调节了手势追踪的作用。

Table 9. Analysis of the moderating effect of learning duration (meta-regression)

表 9. 学习时长的调节效应分析(元回归分析)

结果变量	<i>K</i>	<i>N</i>	β	SE_{β}	<i>p</i>	95% <i>CI</i>	<i>Z</i>
保持成绩	7	329	0.0699	0.0294	<0.05	[0.0122, 0.1276]	2.38
迁移成绩	16	1090	0.0220	0.0094	<0.05	[0.0035, 0.04094]	2.33
外在认知负荷	7	468	0.0183	0.0171	0.286	[-0.0153, 0.0518]	1.07
内在认知负荷	14	975	0.0009	0.0184	0.962	[-0.0353, 0.0370]	0.05

注: β 代表斜率的点估计值, SE_{β} 代表 β 的标准误。学习动机因存在多重共线性的问题不能进行元回归分析。

3.4. 发表偏倚

本研究选取了漏斗图法、失安全系数、Egger 线性回归检验来评价发表偏倚(表 10)。因仅有 2 篇文章报告了相关认知负荷, 数量太少不能进行偏倚分析, 对另外 6 个结果变量进行发表偏倚分析。首先, 各变量的漏斗图基本上均匀分布在左右两侧, 呈倒漏斗状, 表明各结果变量不太可能存在发表偏倚。其次, 失安全系数的临界值为 $5k + 10$, 如果该系数小于临界值可能存在发表偏倚。迁移成绩、内在认知负荷的失安全系数分别为 193、124, 均远远大于临界值, 表明其不太可能存在发表偏倚; 但其他变量的该系数均小于临界值, 可能存在发表偏倚。最后, 再用 Egger 线性回归检验进行验证, 结果表明, 除保持测验和解题时间外, 迁移测验、外在认知负荷、内在认知负荷和学习动机的值均接近 0, 且所有变量的 95%*CI* 都包含 0, *p* 值均大于 0.05, 表明这些变量存在发表偏倚的概率比较低。综合上述结果, 可以认为本研究存在发表偏倚的可能性较低。

Table 10. Publication bias test

表 10. 发表偏倚检验

	Rosenthal's N_{fs}	Egger's intercept	<i>SE</i>	95% <i>CI</i>	<i>p</i>
保持测验(<i>k</i> = 7)	44	12.38	4.94	[-0.32, 25.07]	0.054
迁移测验(<i>k</i> = 16)	193	0.79	1.96	[-3.42, 5.01]	0.692

续表

解题时间($k = 5$)	20	10.25	4.05	[-2.65, 23.15]	0.085
外在认知负荷($k = 7$)	25	-0.24	3.19	[-8.44, 7.96]	0.942
内在认知负荷($k = 14$)	124	-0.03	2.67	[-5.86, 5.80]	0.991
学习动机($k = 4$)	9	0.47	5.85	[-24.71, 25.65]	0.943

4. 讨论

本研究采用元分析方法探讨了手势追踪对多媒体学习效果的影响, 具体来说, 研究了手势追踪能否减轻学习者的认知负荷, 提高学习动机, 从而提升多媒体学习成绩。此外, 分析了手势效应的潜在调节变量。结果表明在多媒体学习中, 使用手势追踪可以取得更好的保持成绩($g = 0.64$)和迁移成绩($g = 0.44$), 更快的解题速度($g = -0.42$), 更低的内在认知负荷($g = -0.40$)和外在认知负荷($g = -0.40$)。因此, 使用手势追踪可以在一定程度上减轻认知负荷, 提高多媒体学习效果, 但这种追踪效应受到学习材料的知识类型、可视化类型, 学习时长, 问卷类型以及被试性别和年龄的调节。

4.1. 追踪效应的稳健性

从主效应检验的结果来看, 手势追踪对保持成绩、迁移成绩的促进作用, 对解题时间、内在认知负荷、外在认知负荷的削减作用均达到了显著水平, 验证了假设 1, 部分验证了假设 2。本研究从元分析角度进一步证实了手势追踪可以比较稳健地降低内外认知负荷, 进而提高多媒体学习者的学习成绩。当学习者被要求在心理上整合两个或两个以上信息源(如图表和文本)并理解时, 就会发生注意力分散(Tarmizi & Sweller, 1988; Alibali & Nathan, 2012)。这种注意力的分散充当了外部认知负荷的来源, 需要分配工作记忆资源来检索和匹配不同的信息来源; 分配给检索和匹配的资源则无法用于学习(Chandler & Sweller, 1991)。指向和追踪可以通过增强在教学文本中检索和匹配相关参考物的能力来减少分散注意力, 并通过为学习招募认知资源来增强相关认知负荷, 学习者能对学习材料进行更深层次和更为精细的加工, 从而将知识迁移到新的问题情境中, 促进了学习者的多媒体学习效果(Alibali & Nathan, 2012)。研究手势追踪对多媒体学习的作用具有重要的实践意义。教师在教学过程中可以引导学生进行手势追踪, 减轻学习者的内外认知负荷, 从而促进学习者对知识的保持、理解和迁移。

此外, 手势追踪对多媒体学习者迁移成绩的影响非常稳健, 各调节变量都不影响手势追踪的迁移成绩(即学习者将所学内容应用于新情境的能力)。这说明手势追踪可以稳健地帮助学习者将认知加工过程卸载到环境之中, 从而降低认知负荷, 促进深层次的学习, 将知识进行灵活应用, 最终提高多媒体学习效果。因此, 在教学设计中, 应当加入手势追踪设计, 以提高学习者的学习效果。

4.2. 追踪效应的边界条件

从调节效应检验的结果来看, 追踪效应在多媒体学习中的作用存在一定的边界条件, 主要表现在学习材料的知识类型、可视化类型、学习时长, 被试的年龄和性别以及认知负荷问卷的类型的调节作用上, 部分验证了本研究假设 3。

首先, 在外在认知负荷上, 学习材料的知识类型显著调节了手势追踪的效果。知识类型为科学知识($g = -0.89$)的研究报告的外在认知负荷显著低于使用数学($g = -0.45$)和生理解剖学材料($g = -0.04$)的研究。因此, 教学设计者和教育工作者可以在教学实践中加入手势追踪这一教学设计, 尤其是在科学知识和数学教学中。

在内在认知负荷上, 学习材料的可视化类型显著调节了手势追踪的效果。学习图文材料的被试的内在认知负荷($g = -0.46$)显著低于先观看学习视频再在图片上进行操作的被试的内在认知负荷($g = 0.40$)。根据多媒体学习理论, 出现这种结果的原因可能是因为, 视频属于视听双通道, 图片属于视觉单通道, 双通道会比单通道占用更多的工作记忆资源, 可能会产生冗余效应。Chandler 和 Sweller (1991)最先从认知负荷理论的角度证明了冗余效应的存在。实验包括 2 个实验条件, 在整合条件下, 学习者需要对文本和图表进行整合, 非整合条件下没有明确要求学习者进行整合, 结果表明, 非整合条件下学习者的学习时间比整合条件下更短, 学习效果也更好。但纳入的文献中仅 Zuo 和 Lin 使用了视频材料来研究追踪效应, 其他研究者均采用的图文结合的材料, 因此对于这个结果应谨慎看待。

在保持成绩和迁移成绩上, 学习时长显著调节了手势追踪效应。学习材料的时间越长, 学习者的保持和迁移成绩越高。因此, 教学设计者和教师在设计和教授多媒体学习材料时要充分考虑学习时长。应当根据学习者的认知水平和学习能力, 给学习者留下充足的学习时间进行学习, 但也要注意学习时间不要过长, 以免造成学习者的疲倦。

在保持成绩上, 被试的年龄显著调节了手势追踪的效果。小学生($g = 1.63$)的保持成绩显著优于大学生被试($g = 0.47$)。因报告保持成绩的研究中, 仅有一项研究的被试是小学生, 所以应当谨慎对待此结果。此外, 在内在认知负荷上, 被试年龄对手势追踪的调节效应达到边缘显著, 小学生($g = -0.53$)的内在认知负荷远远低于大学生($g = -0.13$)。虽然, 在外在认知负荷上, 被试年龄的调节效应不显著, 但是小学生($g = -0.55$)的外在认知负荷也显著低于大学生($g = -0.26$)。因此, 在多媒体学习中进行手势追踪, 可能对小学生更为有效, 可以有效降低小学生的认知负荷, 从而提高保持成绩。但因为样本较少, 不同研究采用的学习材料也不尽相同, 此结果只能作为一种推测, 未来研究者可以设计精巧的实验来探究手势追踪是否对年龄较小的被试更有效。

在保持成绩、外在认知负荷和学习动机上, 女性被试的比例显著调节了手势追踪的效果。女性占比在中等(50%~75%)的研究报告的保持成绩($g = 0.51$)和学习动机($g = 1.45$)显著高于女性占比较高(75%以上)的保持成绩($g = 0.45$)和学习动机($g = 0.27$)。因此, 研究者在研究追踪效应时应当重视男女被试的比例, 尽量平衡女性占比, 女性占比最高不应超过 75%。在外在认知负荷上, 女性占比在中等的研究报告的外在认知负荷($g = -0.41$)显著低于女性占比较高的研究($g = 0.04$), 女性被试较低(50%以下)的认知负荷最低($g = -0.75$)。此外, 在内在认知负荷上, 女性被试占比的调节效应达到边缘显著, 女性被试占比中等(50%~75%)的研究报告的内在认知负荷($g = -0.062$)最低, 女性占比高于 75%的研究报告的内在认知负荷($g = 0.16$)最高。这可能与被试性别联系密切的空间能力有关, 一般认为男性被试的视觉空间能力要优于女性, 而手势追踪与视空间能力相关较高, 在男性被试较多的研究中, 手势追踪更能减轻视空间工作的压力, 进而减轻认知负荷。

在保持成绩上, 认知负荷问卷的类型显著调节了手势追踪的效果。使用项目难度评分(Pass/Ginns 1)作为认知负荷量表的研究其保持成绩($g = 1$)显著高于使用多项认知负荷量表(Cierniak 3 ($g = 0.87$)和 Leppink ($g = 0.79$))。这可能是因为在实验过程中为了保持认知负荷结果的独立性, 一般让被试学习完材料后先填写认知负荷问卷再答题, 项目难度评分仅有一个项目, 填写问卷占用的时间较短, 因此记忆保持的内容更多, 遗忘较少。

本研究假设认知负荷问卷的类型会影响多媒体学习者认知负荷的结果, 但调节效应结果并未验证这一假设, 原因可能是样本量太少(如, 仅有 1 项研究使用了 Cierniak 3 作为认知负荷问卷), 统计结果可能存在偏差。当将使用 Cierniak 3 的研究暂时排除后, 分析在内在认知负荷上, 认知负荷问卷类型对追踪效应的调节作用, 结果表明, 调节效应显著($p < 0.05$), 使用项目难度评分(Pass/Ginns 1, $k = 7$)的研究报告的内在认知负荷($g = -0.63$)显著低于使用多项认知负荷量表(Leppink, $k = 6$, $g = -0.16$)的研究。这可能是因为,

项目难度评分仅有一个项目, 易出现极端值, 而多项认知负荷量表至少包含 3 个内在认知负荷项目, 可能抵消项目间的差异。因此, 研究者应当谨慎选择认知负荷问卷。

5. 局限性

本研究还存在一些局限性。首先, 因手势追踪在多媒体学习中的研究较少, 本文仅检索到 16 篇相关文献, 仅满足了元分析最少独立效应量(20)的要求(方俊燕, 张敏强, 2020)。其次, 本研究得出总体上使用手势追踪比不使用手势追踪的学习效果更好, 认知负荷也更低, 但因研究其内在机制的文献较少, 无法进行元分析, 接下来研究者可以进一步探究手势追踪促进学习效果的认知原理是什么。

参考文献¹

- 方俊燕, 张敏强(2020). 元回归中效应量的最小个数需求: 基于统计功效和估计精度. *心理科学进展*, 28(4), 673-680.
- 邵嵘, 滕召军, 刘衍玲(2019). 暴力视频游戏对个体亲社会性的影响: 一项元分析. *心理科学进展*, 27(3), 453-464.
- 刘宇, 陈树铨, 樊富珉, 等(2021). 开放式荟萃分析的规范化报告. *中国科学(生命科学)*, (6), 764-778.
- 王福兴, 谢和平, 李卉(2016). 视觉单通道还是视听双通道?——通道效应的元分析. *心理科学进展*, 24(3), 335-350.
- 周丽, 王福兴, 谢和平, 等(2019). 积极的情绪能否促进多媒体学习?基于元分析的视角. *心理发展与教育*, 35(6), 697-709.
- *Agostinho, S., Tindall-Ford, S., Ginns, P., Howard, S. J., Leahy, W., & Paas, F. (2015). Giving Learning a Helping Hand: Finger Tracing of Temperature Graphs on an iPad. *Educational Psychology Review*, 27, 427-443. <https://doi.org/10.1007/s10648-015-9315-5>
- Alibali, M. W., & Nathan, M. J. (2012). Embodiment in Mathematics Teaching and Learning: Evidence from Learners' and Teachers' Gestures. *Journal of the Learning Sciences*, 21, 247-286. <https://doi.org/10.1080/10508406.2011.611446>
- Alibali, M. W., Heath, D. C., & Myers, H. J. (2001). Effects of Visibility between Speaker and Listener on Gesture Production: Some Gestures Are Meant to Be Seen. *Journal of Memory and Language*, 44, 169-188. <https://doi.org/10.1006/jmla.2000.2752>
- Astur, R. S., Tropp, J., Sava, S., Constable, R. T., & Markus, E. J. (2004). Sex Differences and Correlations in a Virtual Morris Water Task, a Virtual Radial Arm Maze, and Mental Rotation. *Behavioural Brain Research*, 151, 103-115. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2003.08.024>
- Baddeley, A. (2012). Working Memory: Theories, Models, and Controversies. *Annual Review of Psychology*, 63, 1-29. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-120710-100422>
- Bara, F., Gentaz, E., & Colé, P. (2007). Haptics in Learning to Read with Children from Low Socio-Economic Status Families. *British Journal of Developmental Psychology*, 25, 643-663. <https://doi.org/10.1348/026151007X186643>
- Bara, F., Gentaz, E., Colé, P., & Sprenger-Charolles, L. (2004). The Visuo-Haptic and Haptic Exploration of Letters Increases the Kindergarten-Children's Understanding of the Alphabetic Principle. *Cognitive Development*, 19, 433-449. <https://doi.org/10.1016/j.cogdev.2004.05.003>
- Borenstein, M., Hedges, L. V., Higgins, J. P. T., & Rothstein, H. R. (2009). *Introduction to Meta-Analysis*. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470743386>
- Chandler, P., & Sweller, J. (1991). Cognitive Load Theory and the Format of Instruction. *Cognition and Instruction*, 8, 293-332. https://doi.org/10.1207/s1532690xci0804_2
- Cierniak, G., Scheiter, K., & Gerjets, P. (2009). Explaining the Split-Attention Effect: Is the Reduction of Extraneous Cognitive Load Accompanied by an Increase in Germane Cognitive Load? *Computers in Human Behavior* 25, 315-324. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2008.12.020>
- Clark, R. E. (1983). Reconsidering Research on Learning from Media. *Review of Educational Research*, 53, 445-459. <https://doi.org/10.3102/00346543053004445>
- Cosman, J. & Vecera, S. (2010). Attention Affects Visual Perceptual Processing near the Hand. *Psychological Science*, 21, 1254-1258. <https://doi.org/10.1177/0956797610380697>
- *Du, X., & Zhang, Q. (2019). Tracing Worked Examples: Effects on Learning in Geometry. *Educational Psychology*, 39, 169-187. <https://doi.org/10.1080/01443410.2018.1536256>
- Fernald, G. M., & Keller, H. (1921). The Effect of Kinesthetic Factors in Development of Word Recognition in the Case of

¹ “*” 为纳入元分析文献。

- Non-Readers. *Journal of Educational Research*, 4, 355-377. <https://doi.org/10.1080/00220671.1921.10879216>
- Geary, D. C. (2008). An Evolutionarily Informed Education Science. *Educational Psychologist*, 43, 179-195. <https://doi.org/10.1080/00461520802392133>
- *Ginns, P., & King, V. (2021). Pointing and Tracing Enhance Computer-Based Learning. *Educational Technology Research and Development*, 69, 1387-1403. <https://doi.org/10.1007/s11423-021-09997-0>
- *Ginns, P., & Kydd, A. (2019). Learning Human Physiology by Pointing and Tracing: A Cognitive Load Theory. In S. Tindall-Ford, S. Agostinho, & J. Sweller (Eds.), *Advances in Cognitive Load Theory: Rethinking Teaching* (pp. 119-129). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780429283895-10>
- *Ginns, P., Hu, F. T., & Bobis, J. (2020). Tracing Enhances Problem-Solving Transfer, but without Effects on Intrinsic or Extraneous Cognitive Load. *Applied Cognitive Psychology*, 34, 1522-1529. <https://doi.org/10.1002/acp.3732>
- *Ginns, P., Hu, F. T., Byrne, E., & Bobis, J. (2016). Learning by Tracing Worked Examples. *Applied Cognitive Psychology*, 30, 160-169. <https://doi.org/10.1002/acp.3171>
- Glenberg, A. M., Witt, J. K., & Metcalfe, J. (2013). From the Revolution to Embodiment: 25 Years of Cognitive Psychology. *Perspectives on Psychological Science*, 8, 573-585. <https://doi.org/10.1177/1745691613498098>
- *Hu, F. T., Ginns, P., & Bobis, J. (2014). Does Tracing Worked Examples Enhance Geometry Learning. *Australian Journal of Educational & Developmental Psychology*, 14, 45-49.
- *Hu, F. T., Ginns, P., & Bobis, J. (2015). Getting the Point: Tracing Worked Examples Enhances Learning. *Learning and Instruction*, 35, 85-93. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2014.10.002>
- Hulme, C. (1981). The Effects of Manual Tracing on Memory in Normal and Retarded Readers: Some Implications for Multi-Sensory Teaching. *Psychological Research*, 43, 179-191. <https://doi.org/10.1007/BF00309828>
- Hulme, C., Monk, A., & Ives, S. (1987). Some Experimental Studies of Multi-Sensory Teaching: the Effects of Manual Tracing on Children's Paired-Associate Learning. *British Journal of Developmental Psychology*, 5, 299-307. <https://doi.org/10.1111/j.2044-835X.1987.tb01066.x>
- Kalenine, S., Pinet, L., & Gentaz, E. (2011). The Visual and Visuo-Haptic Exploration of Geometrical Shapes Increases Their Recognition in Preschoolers. *International Journal of Behavioral Development*, 35, 18-26. <https://doi.org/10.1177/0165025410367443>
- Klepsch, M., Schmitz, F., & Seufert, T. (2017). Development and Validation of Two Instruments Measuring Intrinsic, Extraneous, and Germane Cognitive Load. *Frontiers in Psychology*, 8, Article 1997. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01997>
- *Korbach, A., Ginns, P., Brünken, R., & Park, B. (2019). Should Learners Use Their Hands for Learning? Results from an Eye-Tracking Study. *Journal of Computer Assisted Learning*, 36, 102-113. <https://doi.org/10.1111/jcal.12396>
- Leppink, J., Paas, F., van der Vleuten, C. P., van Gog, T., & van Merriënboer, J. J. (2013). Development of an Instrument for Measuring Different Types of Cognitive Load. *Behavior Research Methods*, 45, 1058-1072. <https://doi.org/10.3758/s13428-013-0334-1>
- Liszkowski, U., Brown, P., Callaghan, T., Takada, A., & de Vos, C. (2012). A Prelinguistic Gestural Universal of Human Communication. *Cognitive Science*, 36, 698-713. <https://doi.org/10.1111/j.1551-6709.2011.01228.x>
- *Macken, L., & Ginns, P. (2014). Pointing and Tracing Gestures May Enhance Anatomy and Physiology Learning. *Medical Teacher*, 36, 596-601. <https://doi.org/10.3109/0142159X.2014.899684>
- Mason, L., Tornatora, M. C., & Pluchino, P. (2013). Do Fourth Graders Integrate Text and Picture in Processing and Learning from an Illustrated Science Text? Evidence from Eye-Movement Patterns. *Computers & Education*, 60, 95-109. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.07.011>
- Mayer, R. E. (2021). *Multimedia Learning* (3rd ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108894333.003>
- McNeill, D. (1992). *Hand and Mind*. University of Chicago Press.
- Miller, W. (1937). The Picture Crutch in Reading. *Elementary English Review*, 14, 263-264.
- Montessori, M. (1912). *The Montessori Method*. W. Heinemann.
- Ouwehand, K., van Gog, T., & Paas, F. (2016). Effects of Pointing Compared with Naming and Observing during Encoding on Item and Source Memory in Young and Older Adults. *Memory*, 24, 1243-1255. <https://doi.org/10.1080/09658211.2015.1094492>
- Paas, F. (1992). Training Strategies for Attaining Transfer of Problem-Solving Skill in Statistics: A Cognitive-Load Approach. *Journal of Educational Psychology*, 84, 429-434. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.84.4.429>
- Paas, F., & Sweller, J. (2012). An Evolutionary Upgrade of Cognitive Load Theory: Using the Human Motor System and Collaboration to Support the Learning of Complex Cognitive Tasks. *Educational Psychology Review*, 24, 27-45.

<https://doi.org/10.1007/s10648-011-9179-2>

- Paas, F., van Gog, T., & Sweller, J. (2010). Cognitive Load Theory: New Conceptualizations, Specifications, and Integrated Research Perspectives. *Educational Psychology Review*, 22, 115-121. <https://doi.org/10.1007/s10648-010-9133-8>
- Reed, C. L., Grubb, J. D., & Steele, C. (2006). Hands Up: Attentional Prioritization of Space near the Hand. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 32, 166-177. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.32.1.166>
- *Schüler, A., & Wesslein, A. (2022). Investigating the Effect of Deictic Tracing on Multimedia Learning. *Learning and Instruction*, 77, Article 101525. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2021.101525>
- Sweller, J. (2011). Cognitive Load Theory. In J. P. Mestre, & B. H. Ross (Eds.), *Psychology of Learning and Motivation* (Vol. 55, pp. 37-76). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-387691-1.00002-8>
- Talsma, D., Senkowski, D., Soto-Faraco, S., & Woldorff, M. G. (2010). The Multifaceted Interplay between Attention and Multisensory Integration. *Trends in Cognitive Sciences*, 14, 400-410. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2010.06.008>
- *Tang, M., Ginns, P., & Jacobson, M. J. (2019). Tracing Enhances Recall and Transfer of Knowledge of the Water Cycle. *Educational Psychology Review*, 31, 439-455. <https://doi.org/10.1007/s10648-019-09466-4>
- Tarmizi, R., & Sweller, J. (1988). Guidance during Mathematical Problem Solving. *Journal of Educational Psychology*, 80, 424-436. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.80.4.424>
- Toomey, N., & Heo, M. (2019). Cognitive Ability and Cognitive Style: Finding a Connection through Resource Use Behavior. *Instructional Science*, 47, 481-489. <https://doi.org/10.1007/s11251-019-09491-4>
- Torcasio, S., & Sweller, J. (2010). The Use of Illustrations When Learning to Read: A Cognitive Load Theory Approach. *Applied Cognitive Psychology*, 24, 659-672. <https://doi.org/10.1002/acp.1577>
- Tversky, B., Morrison, J. B., & Betrancourt, M. (2002). Animation: Can It Facilitate? *International Journal of Human-Computer Studies*, 57, 247-262. <https://doi.org/10.1006/ijhc.2002.1017>
- Uttal, D. H., Meadow, N. G., Tipton, E., Hand, L. L., Alden, A. R., Warren, C., & Newcombe, N. S. (2013). The Malleability of Spatial Skills: A Meta-Analysis of Training Studies. *Psychological Bulletin*, 139, 352-402. <https://doi.org/10.1037/a0028446>
- *Wang, B., Ginns, P., & Mockler, N. (2021). Sequencing Tracing with Imagination. *Educational Psychology Review*, 34, 421-449. <https://doi.org/10.1007/s10648-021-09625-6>
- *Yeo, L.-M., & Tzeng, Y.-T. (2019). Tracing Effect in the Worked Examples-Based Learning: An Exploration of Individual Differences in Working Memory Capacity. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 15, Article No. em1760. <https://doi.org/10.29333/ejmste/105482>
- *Yeo, L.-M., & Tzeng, Y.-T. (2020). Cognitive Effect of Tracing Gesture in the Learning from Mathematics Worked Examples. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 18, 733-751. <https://doi.org/10.1007/s10763-019-09987-y>
- *Zuo, G., & Lin, L. (2022). Engaging Learners by Tracing and Summarizing in a Computer-Based Environment. *Applied Cognitive Psychology*, 36, 391-401. <https://doi.org/10.1002/acp.3928>