

## 触手可得:追踪手势对学习的促进作用\*

匡子翌<sup>1</sup> 冷晓雪<sup>2</sup> 王福兴<sup>2</sup> 胡祥恩<sup>2,3</sup>(1. 陕西师范大学心理学院, 西安 710061; 2. 华中师范大学心理学院, 武汉 430079;  
3. 香港理工大学应用社会科学系, 香港 999077)

**摘要:**追踪手势(tracing gesture)是指手指基于学习内容进行有意义的动态移动。以往研究主要通过具身认知理论,信号原则和认知负荷理论解释追踪手势的有效性。基于对以往追踪手势的实证研究汇总发现:在学习效果上,追踪手势提高了学习者的保持成绩( $d = 0.41$ )和迁移成绩( $d = 0.52$ );在主观评定上,追踪手势降低了学习者感知的内在认知负荷( $d = 0.22$ ),提高了学习者的学习动机( $d = 0.22$ )。未来研究应进一步探讨追踪手势的有效属性和调节因素,并通过更加更多客观的方法验证其有效性。

**关键词:**追踪手势;手势;具身认知;信号原则;认知负荷  
**分类号:**B844

想象这样一个学习情境,学习者用食指指向心脏的结构图,并用食指跟随着图中的箭头追踪心脏血流方向,学习心脏的知识。上述学习者采用的手势叫做追踪手势(tracing gesture),它是指手指基于学习内容进行有意义的动态移动(图1)(Ginns et al., 2016)。追踪手势最早可以追溯到 Montessori(1964)所提出的砂纸字母,儿童可以通过追踪和触摸字母的外形来学习,创造了使用追踪手势的条件。由于学习内容中由各个关键的知识元素组成(例如心脏的各个部分),需要将各个知识元素之间进行组织和整合,例如在心脏知识中将心脏图各部分与术语名词对应,以及各部分对应血流的方向和顺序。学习者可以通过追踪手势在各知识元素之间进行有效地组织和整合,具体而言:一方面,追踪手势属于一种指向性手势。指向性手势是指手对方向和物体的指向(Dargue et al., 2019; Hostetter, 2011),因此追踪手势在指向某个知识元素时,可以引导学习者将注意力关注到当前知识元素上。同时追踪手势的“追踪”更强调学习者将各知识元素进行动态地连接,例如利用手模拟血液在心脏各个部分的循环过程,加强学习者各知识元素的选择组织和整合。以往针对指向性手势已经存在一些系统性的元分析结果,并发现了指向性手势对学习的促进作用(Dargue et al., 2019; Li et al., 2024)。但以往的综述性论文没有直接探讨追踪性手势对学习效

果的影响,例如 Dargue 等人(2019)的研究没有将追踪性手势的相关研究纳入分析, Li 等人(2024)的论文只关注教师的指向性手势对学习效果的影响。本文旨在探讨追踪手势是否促进学习,以及追踪手势影响学习背后的理论机制,从而为学习者和教学者如何使用追踪手势给予一定参考。文章将从如下几个方面进行阐述:第一,追踪手势的类型有哪些;第二,追踪手势是否可以促进学习效果;第三,追踪手势如何影响学习者的主观评定;第四,追踪手势影响学习的核心理论机制包括哪些。最后,基于已有研究和结果,对追踪手势尚未探明的问题进一步讨论展望。

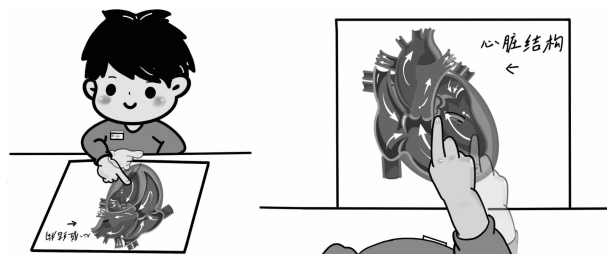


图1 追踪手势的图示

## 1 追踪手势的类型

本研究将追踪手势的分类归纳为外部特征和内部特征两个方面。内部特征是指追踪手势与学习内容本身相关的分类,外部特征则与学习内容无关的

\* 基金项目:国家自然科学基金项目(#62277025);陕西省博士后科研项目(#25010201644)。

通讯作者:匡子翌, E-mail: ziyikuang@snnu.edu.cn;王福兴, E-mail: fxiwang@cenu.edu.cn

分类。在内部特征方面, Schüler 和 Wesslein (2022) 基于追踪手势描绘的内容将追踪手势分为表征性追踪手势 (representational tracing gesture) 和指向性追踪手势 (deictic tracing gesture)。表征性追踪手势是指用手势描绘学习内容的空间属性, 目前研究基本都是采用的表征性追踪手势, 例如有研究者利用追踪手势学习平行线的角度, 追踪手势需要遵循视觉空间物体的形状 (Du & Zhang, 2019; Ginns et al., 2020)。指向性追踪手势是不包括符号信息的指向, 例如, 要求学习者在示意图和对应的文字标签上画一条线 (Schüler & Wesslein, 2022)。在外部特征方面, 追踪手势有无触觉特征, 可以分为有触觉的追踪手势和无触觉的追踪手势。例如, 有触觉的追踪手势是指手指接触到媒体 (如: 纸张和屏幕等) 进行学习 (Macken & Ginns, 2014)。无触觉的追踪手势是指手指不接触到媒体进行追踪的学习 (Hu et al., 2015)。触摸可能会促进学习者的感知, 进而促进学习 (Klatzky & Lederman, 2003)。但目前的研究没有证实有触觉的追踪手势比无触觉的追踪手势更好 (Hu et al., 2015)。尽管目前追踪手势的研究存在上述的几种分类方式, 只有很少研究对这些不同的分类进行对比, 更多的研究还是在探讨有触觉的表征性追踪手势。

## 2 追踪手势对学习效果的影 响

追踪手势是否可以促进学习效果是研究者或教学者首要关注的问题, 这也对追踪手势应用于教学实践中具有重要的价值和意义。目前追踪手势对学习影响的研究结果可能存在不一致。有一部分研究发现追踪手势可以促进学习效果 (Agosinho et al., 2015; Du & Zhang, 2019; Ginns et al., 2016; Cinns et al., 2019; Cinns et al., 2020; Ginns & King, 2021; Hu et al., 2015; Korbach et al., 2019; Macken & Ginns, 2014; Tang et al., 2019; van Wermeskerken et al., 2016; Wang et al., 2022; Yeo & Tzeng, 2020)。也有一部分研究没有发现追踪手势促进学习效果 (Hu et al., 2014; Korbach et al., 2019; Tang et al., 2019; Wang et al., 2022; Yeo & Tzeng, 2020; 左跟梅, 2022)。还有研究发现追踪手势会阻碍学习效果 (Schüler & Wesslein, 2022)。本文将系统探讨追踪手势的有效性, 参照以往研究采用效应量中值 (median effect size) 来表示总体的效应 (Mayer, 2021)。即计算每个研究追踪手势促进学习的效应量, 然后将所有研究的效应量再求中位数。

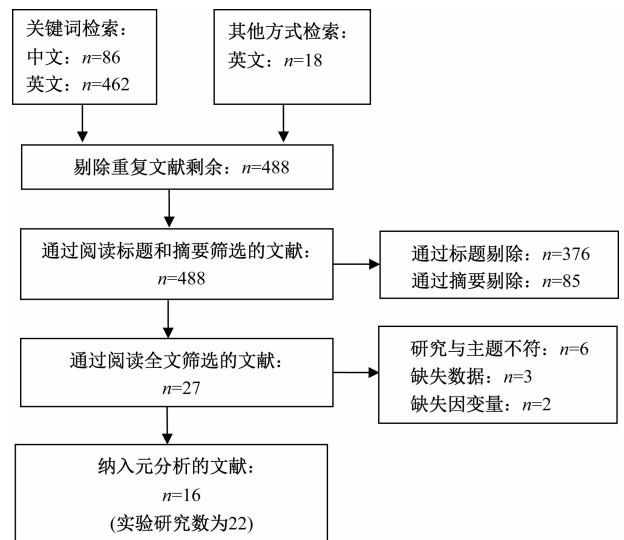


图 2 文献检索流程图

纳入分析的文献是通过中英文关键词从各大数据库搜集得到, 纳入分析的文献必须满足如下标准: (1) 文献必须是实证研究; (2) 文献中必须含有追踪手势与无追踪手势的对比 (表 1); (3) 因变量包含学习效果指标 (保持测验或迁移测验)。英文文献在数据库将关键词 tracing gesture 与 learning, cognitive load 进行联合搜索, 数据库包括 Web of Science (150 篇), EBSCO (244 篇), ProQuest (68 篇)。中文文献英文文献在数据库将关键词追踪手势与学习, 认知负荷进行联合搜索, 数据库包括中国知网 (14 篇), 万方数据库 (72 篇)。此外, 通过文献回溯和谷歌学术搜索的方法对相关文献进行补查 (18 篇)。如图 2 所示, 一共检索到 566 篇文献, 最终纳入分析的文献数为 16 篇, 包括实验研究数 22 项。

很多追踪手势的相关研究探讨了追踪手势对于学习表现的促进作用。在保持测验 (该测验考察了学习者对知识的回忆和再认) (Mayer, 2021) 方面, 汇总的研究中一共有 10 项研究探讨了追踪手势对保持测验的影响, 其中有 6 项 (60%) 研究发现了追踪手势可以促进保持成绩, 有 3 项 (30%) 研究没有发现追踪手势对保持测验的作用, 有 1 项 (10%) 研究发现追踪手势阻碍了保持成绩, 计算追踪手势促进保持测验的效应量中值为  $d = 0.41$  (表 1)。具体而言, 以往的部分研究发现了追踪手势对保持测验的促进作用 (Ginns et al., 2019; Ginns & King, 2021; Korbach et al., 2019; Macken & Ginns, 2014; Tang et al., 2019; van Wermeskerken et al., 2016)。例如一项研究以平行线的角度为学习材料, 比较了学生使用追踪手势和无追踪手势的保持测验成绩,

结果发现追踪手势组的保持测验成绩更高 (Ginns et al., 2019)。Ginns 和 King (2021) 探讨了学习者在电脑上使用追踪手势对学习的影响, 结果发现大学生在学习星球知识时, 追踪手势更能够促进学习者的保持成绩。也有研究没有发现追踪手势对保持测验的影响 (左跟梅, 2022)。左跟梅 (2022) 以心脏知识为学习材料, 通过三项研究对比了大学生追踪手势与无手势在保持测验上的表现, 结果发现是否使用追踪手势并不影响保持测验成绩。还有研究发现追踪手势反而阻碍了保持测验的成绩 (Schüler & Wesslein, 2022)。例如一项研究以鱼类的知识为学习材料, 探讨了指示性追踪手势与无追踪手势的效果, 结果发现指示性追踪手势的保持测验要显著差

于无追踪手势 (Schüler & Wesslein, 2022)。

在迁移测验方面 (该测验考察学习者对知识的迁移和拓展, 可以反映学习者对于学习内容的深层理解) (Mayer, 2021), 汇总的研究中一共有 21 项研究探讨了追踪手势对迁移成绩的影响, 其中有 12 项 (57%) 研究发现了追踪手势可以促进迁移成绩, 有 8 项 (38%) 研究没有追踪手势对迁移成绩的作用, 有 1 项 (5%) 研究发现追踪手势阻碍了迁移成绩, 计算追踪手势促进迁移成绩的效应量中值为  $d = 0.52$  (表 1)。具体而言, 部分研究发现了追踪手势可以促进学习者的迁移成绩 (Agosinho et al., 2015; Du & Zhang, 2019; Ginns et al., 2016; Ginns et al., 2019; Ginns et al., 2020; Ginns & King, 2021;

表 1 追踪手势对学习效果和主观评定的影响 (效应量 Cohen's  $d$  值)

研究	样本量	学段	实验操纵	实验内容	学习媒介	主观评定	学习效果
Macken et al., 2014	42	大学生	追踪手势 vs 无手势	心脏知识	纸	ICL (-0.39), ECL (-0.23), GCL (-0.30)	R* (0.89), T* (0.62)
Hu et al., 2014	56	小学生	追踪手势 vs 无手势	平行线下角的关系	纸	/	T (0.24)
Hu et al., 2015, Exp1	42	小学生	追踪手势 vs 无手势	平行线下角的关系	纸	ICL <sup>&amp;</sup> (-0.78)	T* (0.76)
Hu et al., 2015, Exp2	72	小学生	触觉追踪手势 vs 无触觉追踪手势 vs 无手势	平行线下角的关系	纸	ICL <sup>&amp;</sup> (-0.28)	T* (0.52)
Agosinho et al., 2015	61	小学生	追踪手势 vs 无手势	温度示意图	平板电脑	ICL (-0.03)	T* (0.64)
Ginns et al., 2016, Exp1	52	小学生	追踪手势 vs 无手势	三角形角的关系	纸	ICL (0.14)	T* (0.78)
Ginns et al., 2016, Exp2	54	小学生	追踪手势 vs 无手势	加减乘除混合运算	纸	ICL (-0.24)	T* (0.50)
van Wermeskerken, 2016	97	小学生	(观察追踪手势: 有 vs 无) × (描绘性手势: 有 vs 无)	地图路线	电脑	/	R* (0.42)
Du & Zhang, 2019, Exp1	90	小学生	追踪手势 vs 线索 vs 无手势	平行线下角的关系	纸	ICL <sup>&amp;</sup> (-0.82)	T* (1.23)
Korbach et al., 2019	60	大学生	追踪手势 vs 无手势	心脏知识	电脑	ICL (-0.17), ECL (0.01)	R* (0.39), T (0.19)
Ginns et al., 2019	30	大学生	追踪手势 vs 无手势	平行线下角的关系	纸	ICL <sup>&amp;</sup> (-0.64)	R* (1.03), T* (0.80)
Tang et al., 2019	44	小学生	追踪手势 vs 无手势	水循环	纸	ICL (-0.22), ECL (-0.84)	R* (0.74), T (1.11)
Ginns et al., 2020	106	小学生	追踪手势 vs 无手势	平行线下角的关系	电脑	ICL (-0.06), ECL (-0.10)	T* (0.83)
Ginns et al., 2021	44	大学生	追踪手势 vs 无手势	星球知识	电脑	ICL (-0.18), ECL <sup>&amp;</sup> (-0.88), IM* (1.45)	R* (0.86), T* (0.80)
Yeo et al., 2020, Exp1	60	小学生	追踪手势 vs 线索 vs 无手势	平行线下角的关系	纸	ICL <sup>&amp;</sup> (-1.67)	T* (1.77)
Yeo et al., 2020, Exp2	72	小学生	追踪手势 vs 线索 vs 无手势	指数混合运算	纸	ICL (-0.20)	T (-0.04)
Schüler et al., 2022	59	大学生	指向追踪手势 vs 无手势	鱼的知识	平板电脑	/	R <sup>&amp;</sup> (-0.17), T <sup>&amp;</sup> (-0.57)
Wang et al., 2022, Exp1	93	小学生	追踪手势 vs 追踪手势 + 想象 vs 无手势	三角形角的关系	纸	ICL (-0.24), ECL <sup>&amp;</sup> (-0.50), IM* (0.49)	T (0.21)
Wang et al., 2022, Exp2	90	大学生	追踪手势 vs 追踪手势 + 想象 vs 无手势	数学心算	纸	ICL <sup>&amp;</sup> (-0.55), ECL <sup>&amp;</sup> (-0.45), IM (0.27)	T* (0.52)
左跟梅, 2022, Exp1	156	大学生	(追踪手势 vs 观察追踪手势 vs 无手势) × (总结 vs 无总结)	心脏知识	纸	ICL (0.06), ECL (0.10), GCL (0.13), IM (0.16)	R (0.07), T (0.04)
左跟梅, 2022, Exp2	57	大学生	食指追踪 vs 身体追踪 vs 无手势	心脏知识	纸	ICL (0.21), ECL (0.31), GCL* (0.46), IM (-0.16)	R (-0.07), T (0.17)
左跟梅, 2022, Exp3	74	大学生	食指追踪 vs 身体追踪 vs 无手势	心脏知识	纸	ICL (0.17), ECL (0.12), GCL* <sup>&amp;</sup> (-0.19), IM (0.01)	R (0.04), T (0.12)

注: R 指保持测验; T 指迁移测验; ICL 指内在认知负荷; ECL 指外在认知负荷; GCL 指相关认知负荷; IM 指内部动机 / 表示研究中未测量的值; \* 指追踪手势组的效果要好于无手势组; & 表示追踪手势组的效果要差于无手势组; () 中的数字表示追踪手势组与无手势组相比效应量  $d$  值,  $d$  值表示自变量作用的大小,  $d$  值越大表示追踪手势组相较于于无手势组对学习 (或主观评定) 效果的影响越大。

Hu et al., 2015; Macken & Ginns, 2014; Wang et al., 2022; Yeo & Tzeng, 2020)。例如一项研究在平板电脑上探讨追踪手势对学习温度示意图的影响,结果发现追踪手势可以促进学习者的迁移测验(Agosinho et al., 2015)。Ginns 等人(2016)以三角形的角度关系为学习内容,比较了追踪手势和无手势在迁移成绩上的表现,结果发现追踪手势的学习成绩更好。也有一部分研究没有发现追踪手势影响学习者的迁移成绩(Hu et al., 2014; Korbach et al., 2019; Tang et al., 2019; Wang et al., 2022; Yeo & Tzeng, 2020; 左跟梅, 2022)。Yeo 和 Tzeng (2020)探讨了追踪手势对小学生学习混合运算的影响,实验比较了追踪手势,线索和无手势条件,结果在迁移成绩上没有发现追踪手势要好于无手势。一项研究以水循环知识为学习材料也发现追踪手势没有影响小学生的迁移成绩(Tang et al., 2019)。此外,也有研究发现追踪手势阻碍迁移成绩(Schüler & Wesslein, 2022)。

上述结果表明,追踪手势在保持测验和迁移测验上都可以促进学习效果,同时追踪手势在两种测验上均发现不一致的结果。通过对表 1 的进一步分析,追踪手势促进大学生保持测验和迁移测验的效应量中值分别为  $d = 0.23$  和  $d = 0.19$ ,而追踪手势促进小学生保持测验和迁移测验的效应量中值分别为  $d = 0.74$  和  $d = 0.64$ ,这表明小学生可能更容易从追踪手势中获益。此外,可能存在以下产生不一致的原因:第一,对于追踪手势的具体操纵可能会影响学习效果。以同时采用心脏知识的几项研究为例,有的研究在实验中同时包含表征性追踪手势和引导性追踪手势,或采用多个手指进行追踪,结果发现了追踪手势促进保持和迁移成绩(Macken & Ginns, 2014; Yeo & Tzeng, 2020)。而左跟梅(2022)在实验中只要求学习者使用食指进行表征性追踪手势,即要求学习者用食指跟踪心脏的血流路径,该研究没有发现追踪手势对保持和迁移成绩的促进效果。此外,Schüler 和 Wesslein(2022)的研究要求大学生使用指向性追踪手势,即将图片中鱼类的特定部位与对应名词联系到一起,结果发现仅使用指向性追踪手势反而阻碍了学习者的保持成绩和迁移成绩。第二,学习材料本身的性质不同可能会影响学习结果。学习者在难度较高的非空间性的材料中,例如要求小学生利用追踪手势学习指数的混合运算,可能不利于提高迁移成绩(Yeo & Tzeng, 2020)。后测过于简单也会导致天花板效应,削弱

追踪手势的效应(Hu et al., 2014)。上述追踪手势的操纵和材料性质的不同可能导致追踪手势与学习内容的整合程度不同,Skulmowski 和 Rey(2018)认为当身体活动与学习任务具有高相关可能更有利于学习效果,因此,追踪手势与学习内容的相关程度可能是产生不一致结果的根本原因。

### 3 追踪手势影响学习效果的主观评定

通过对以往研究的分析发现了追踪手势对保持测验和迁移测验的促进效果,但追踪手势是怎样提高学习效果的?例如追踪手势可能通过认知负荷或者学习动机进而影响学习者的学习效果。以往研究者主要通过问卷的主观评定来测查学习者对认知负荷或学习动机的感知,以便进一步解释追踪手势影响学习效果的原因。因此,本研究汇总了以往追踪手势研究中主观评定,主要包含认知负荷和学习动机两个方面(表 1)。

内在认知负荷(intrinsic cognitive load, ICL)是指学习内容本身带来的认知负荷,其描述了学习任务内在的复杂性,具体而言,学习材料中元素的交互性(即工作记忆中必须同时处理的元素数量)和学习者的知识经验会影响 ICL(Klepsch et al., 2017; Leppink et al., 2013; Sweller et al., 2019)。学习者感知的 ICL 越低学习效果可能越高(Krieglstein et al., 2022),而追踪手势可能会降低学习者感知到的 ICL。表 1 汇总的研究中,一共有 19 项研究探讨了追踪手势对 ICL 的影响,其中有 6 项研究(32%)发现追踪手势可以降低学习者感知的 ICL,有 13 项研究(68%)没有发现追踪手势对 ICL 的影响,计算追踪手势提高 ICL 的效应量中值为  $d = -0.22$ 。

外在认知负荷(extraneous cognitive load, ECL)指的是与学习内容无关的内容所带来的认知负荷,通常是由学习材料的呈现和组织所决定的;即一些与学习内容无关的内容可能会占用学习者的有限认知资源,当超出学习者工作记忆容量,就会造成学习者认知负载带来不利的影响(Sweller et al., 2019)。学习者感知的 ECL 越低学习效果可能越高(Krieglstein et al., 2022),追踪手势可能会降低学习者的 ECL。表 1 汇总的研究中,一共有 10 项研究探讨了追踪手势对 ECL 的影响,其中有 3 项研究(30%)发现追踪手势可以降低学习者感知的 ECL,有 7 项研究(70%)没有发现追踪手势对 ECL 的影响,计算追

追踪手势提高 ECL 的效应量中值为  $d = -0.17$ 。

相关认知负荷 (germane cognitive load, GCL) 是工作记忆中处理施加的内在认知负荷所需的资源 (Sweller et al., 2019)。当学习者进行总结或自我解释时,学习者消耗的认知负荷就属于 GCL。追踪手势可能会增加学习者感知到的 GCL,学习者感知的 GCL 越高学习效果可能越高 (Krieglstein et al., 2022)。表 1 汇总的研究中,一共有 4 项研究探讨了追踪手势对 GCL 的影响,其中有 2 项研究 (50%) 发现追踪手势可以增加学习者感知的 GCL,上述 2 项研究中还有 1 项同时发现追踪手势降低学习者的 GCL,有 2 项研究 (50%) 没有发现追踪手势对 GCL 的影响,计算追踪手势提高 GCL 的效应量中值为  $d = -0.03$ 。

内部动机 (intrinsic motivation, IM) 是指对活动本身的注意和兴趣 (Deci et al., 1981; Deci & Ryan, 2013)。表 1 汇总的研究中,一共有 6 项研究探讨了追踪手势对 IM 的影响,其中有 2 项研究 (33%) 发现追踪手势可以增加学习者感知的 IM,有 4 项研究 (67%) 没有发现追踪手势对 IM 的影响,计算追踪手势提高 IM 的效应量中值为  $d = 0.22$ 。

上述结果在总体上发现追踪手势可能在降低 ICL 和提高 IM 上具有小的效应。但在各个结果上也存在不一致,通过进一步对表 1 结果的分析,追踪手势降低大学生 ICL 和 ECL 效应量中值分别为  $d = -0.18$  和  $d = -0.11$ ,而追踪手势降低小学生 ICL 和 ECL 效应量中值分别为  $d = -0.24$  和  $d = -0.37$ ,追踪手势似乎降低了小学生更多的 ECL。结合追踪手势影响学习结果的分析可知,追踪手势促进保持和迁移成绩的潜在原因可能是追踪手势降低了学习者的 ICL,降低了学习内容的复杂度,同时也提高了学习者的内部动机,进而使学习者更有动力去学习。本研究还发现追踪手势可能更有利于促进小学生的学习效果可能是由于降低了小学生的 ECL。但研究没有发现 GCL 对学习效果的影响,这可能是由于测查 GCL 的研究数量十分有限所致。除了在上一个部分探讨的原因之外 (即从实验操纵,学习材料的性质等),可能还存在以下影响因素:首先,各个研究之间采用的量表不一致,不同的认知负荷量表在信效度上具有差异 (Krieglstein et al., 2022)。其次,研究大多采用被试间设计。在被试间设计中,被试只对一个水平的实验进行主观评价,这可能会低估个体的感知差异 (Hsee & Zhang, 2010)。

追踪手势除了通过影响学习者的主观评定,还可能通过影响学习者的注意加工来提高学习效果。多媒体学习领域中大量研究者都已经采用眼动技术作为客观指标去探究学习者的注意加工过程,如注视时间,注视次数,眼跳次数等眼动指标可以确切地描述当下学习者对于学习内容各个部分的注意情况 (Hyönä, 2010; van Gog & Scheiter, 2010)。因此,为了探查追踪手势的引导性作用,可以通过眼动技术来探讨追踪手势对注意加工的影响。目前仅有的一项眼动研究探讨了追踪手势的学习者注意加工的影响, Korbach 等人 (2019) 发现追踪手势对学习内容有更高的注视时间,以及在图片和文本之间有更多的眼跳次数。由于以往仅有一项研究探讨追踪手势对注意加工的影响,未来需要更多研究通过眼动技术的方法,进一步探讨追踪手势如何影响学习者的注意加工进而影响学习效果。

## 4 追踪手势影响学习的理论假设

追踪手势促进学习在理论上如何解释,以往研究主要通过具身认知理论 (Embodied Cognition Theory, ECT), 信号原则 (Signaling/Cuing Principle) 和认知负荷理论 (Cognitive Load Theory, CLT) 三个方面去阐述 (图 3)。接下来将对这三个理论进行具体介绍。

ECT 认为认知过程与身体密不可分,一切认知过程都需要依赖于身体和外部环境的互动 (Barsalou, 2008; Wilson, 2002; 叶浩生, 2010)。教育领域也结合 ECT 进行了诸多研究 (Duijzer et al., 2019; Johnson - Glenberg et al., 2014; Skulmowski & Rey, 2018), 研究者将这一领域统称为具身学习 (embodied learning)。具身学习同样遵循身心一体原则,学习和身体密不可分,身体的结构与功能会对学习过程与结果产生重要的影响 (叶浩生, 2014)。Skulmowski 和 Rey (2018) 认为身体活动与当前学习目标相关性越高越有利于学习。追踪手势的动作与学习任务具有高相关性,例如以往探讨追踪手势对学习心脏知识的影响,追踪手势可以模拟心脏的血流变化,这可以更好地提高学习者对知识的表征 (Korbach et al., 2019; Macken et al., 2014; 左跟梅, 2022)。同时,触摸可能会促进学习者的感知,进而促进学习 (Klatzky & Lederman, 2003)。但目前仅有的一项研究没有证实有触觉的追踪手势比无触觉的追踪手势更好 (Hu et al., 2015)。总体而言,基于本研究效应量中值的结果发现,追踪手势可

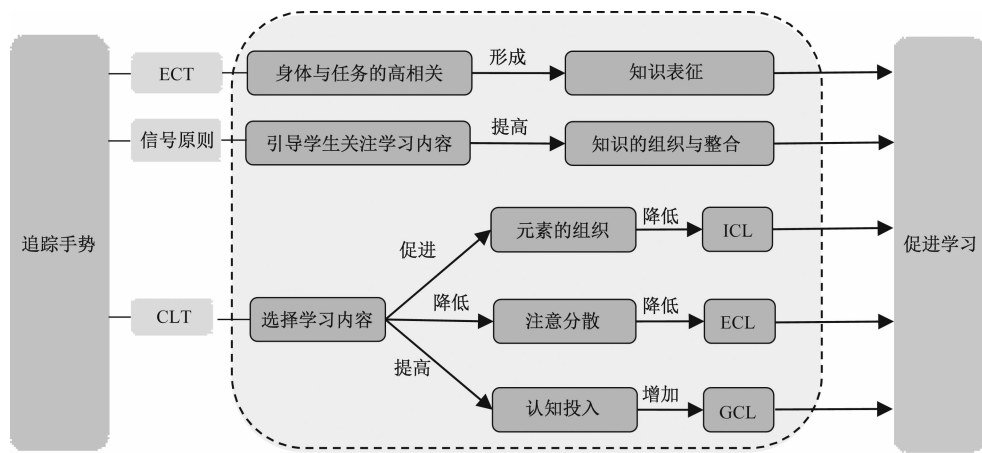


图 3 追踪手势影响学习的理论

以提高学习者的保持成绩 ( $d = 0.41$ ) 和迁移成绩 ( $d = 0.52$ ), 这可能表明与学习任务高相关的身体动作促进了学习者对知识的选择, 组织和整合, 加深知识的表征, 最终提高学习效果。但仍需要更多的研究从 ECT 的视角探讨追踪手势对学习效果的影响, 在追踪手势的条件下操纵身体与任务之间的关系, 如任务相关性和触觉对学习效果的影响。

信号原则主要强调线索的作用, 线索可以将学习者的注意力引向关键的信息, 进而促进学习者对知识的选择, 组织和整合 (Fiorella & Mayer, 2022; Mayer, 2021; van Gog, 2022)。在学习者使用追踪手势或观察追踪手势时, 追踪手势就如同线索使学习者关注到追踪的学习内容, 促进相关联的信息加工, 提高学习成绩。眼动追踪技术是验证信号原则的关键手段, 目前仅有的一项眼动研究发现使用追踪手势的学习者对学习内容有更高的注视时间, 以及在图片和文本之间有更多的眼跳次数, 并进一步分析发现注视时间和眼跳次数都正向预测了学习成绩 (Korbach et al., 2019)。这验证了信号原则。同样, 从整体上本文的结果发现, 追踪手势可以促进学习者的保持和迁移成绩。但目前缺乏更多的直接证据验证追踪手势中的信号原则, 未来需要更多地研究采用眼动技术验证该理论问题。

CLT 是在追踪手势领域中研究者最为关注的理论。CLT 理论认为, 手势是一种生物初级知识 (Paas & Sweller, 2012)。生物初级知识指的是通过进化得来的无需进行额外学习的知识 (如: 面孔识别、手势); 与之相对, 生物次级知识指的是需要投入努力进行后天学习的知识 (如: 数学, Geary, 2008)。生物初级知识无需学习者投入较多的学习努力, 所以研究者认为可以通过生物初级知识来促进生物次级

知识的学习 (Ginns et al., 2020)。因此, 追踪手势作为一种生物初级知识能够促进数学、地理等生物次级知识的学习。另外, CLT 理论提出, 学习者在进行学习或在解决问题的过程中需要经历三种认知负荷: ICL, ECL 和 GCL。手势可以将信息按照框架进行组织, 将心理表征分类, 进而减少工作记忆的负荷 (Ping & Goldin - Meadow, 2010)。Hu 等人 (2015) 认为追踪手势帮助学习者结合图片和文本信息, 将相关元素进行组织和分类, 减少工作记忆的负荷。因此, 使用追踪手势的学习者会体验到更低的内在认知负荷。其次, 由于追踪手势具有线索的性质, 因此这有助于防止学习者注意力分散产生的 ECL。Tang 等人 (2019) 提出, 追踪手势可以被视为一种“自我线索” (self - signaling), 学习者可以跨越不同但相关的信息以减少视觉搜索, 这就降低了学习者感知的 ECL。同时, 通过追踪手势学习者可能会更加主动地对学习内容进行组织和整合, 这将耗费认知资源, 因此追踪手势还可能增加 GCL (左跟梅, 2022)。从汇总的研究结果可知, 目前追踪手势部分验证的 CLT, 本研究发现追踪手势降低了 ICL, 但是对 ECL 和 GCL 的影响十分微弱, 但研究数量仍然较少, 需要更多地研究进一步探讨追踪手势对认知负荷的影响。

上述三个理论从不同的角度解释了追踪手势对学习效果的影响, 其中 ECT 强调身体的作用, 追踪手势可以很好地将身体整合到学习任务中, 并有利于提高学习效果。而信号原则和认知负荷理论更多的从认知加工过程的角度进行分析, 追踪手势可以作为信号有效地引导学习者关注到关键的知识元素, 这就有利于降低学习者的 ICL 和 ECL, 提高了 GCL。基于目前追踪手势对学习效果不一致的结

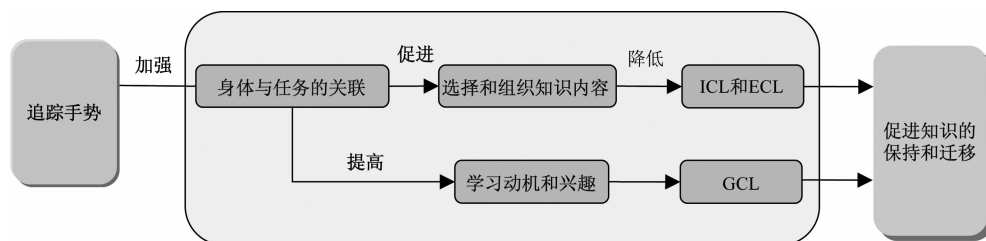


图4 追踪手势影响学习的整合理论

果,从 ECT 角度可知,可能是由于研究间追踪手势与学习任务之间相关程度不同,因而造成了不一致。以及基于信号原则,不同研究的追踪手势可能存在不同的注意引导,进而对认知负荷产生了不同的影响,造成了不一致的学习结果。

本研究基于以往追踪手势影响学习的理论假设和实证研究的分析结果,整合了追踪手势促进学习的理论(图4)。具体而言,学习者在采用追踪手势进行学习时,追踪手势的具身性属性可能会加强身体与学习任务之间的关联,并进一步通过两个方面影响学习效果。一方面,身体与任务之间的关联会促进学习者加强对知识内容的选择,组织和整合,这就有利于降低学习者的 ICL 和 ECL,进而提高保持和迁移效果。另一方面,身体与任务之间的关联会提高学习者的动机和兴趣,进而提高学习者 GCL,从而提高了学习者的保持和迁移学习效果。

## 5 总结与展望

经过对以往研究的汇总和分析,追踪手势可以积极地影响主观评定,并提高学习效果。具体而言,在学习效果方面,追踪手势提高了学习者的保持成绩( $d = 0.41$ )和迁移成绩( $d = 0.52$ )。在主观评定方面,追踪手势降低了学习者感知的内在认知负荷( $d = 0.22$ ),提高了学习者的学习动机( $d = 0.22$ )。目前的研究基本发现追踪手势的有效性。但该领域的研究还处于起步阶段,仍有许多问题尚未探明,未来研究需要从以下几个方面进一步探讨:

第一,目前追踪手势影响学习效果的机制还不清晰,需要基于多种研究方法通过实证研究进一步验证。例如探讨不同的追踪手势是否与学习任务存在不同相关性,当前学习目标相关性越高可能越有利于学习(Skulmowski & Rey, 2018),进而验证 ECT 理论。以及通过眼动追踪技术验证追踪手势中的信号原则(Korbach et al., 2019),目前需要在更多类型追踪手势中验证信号原则,例如表征性追踪手势和指向性追踪手势中是否存在信息选择上的不同,

因而导致知识表征的差异。同时从 CLT 理论角度,以往对认知负荷的验证均是采用主观量表的方式进行施测,目前从主观施测的角度只是部分支持了理论假设,未来也应考虑更加客观的方式进一步证实追踪手势对认知负荷的影响,例如 Sarailoo 等人(2022)发现 EEG 可以作为教育心理学研究中测量认知负荷的工具,这可以帮助教学设计者开发更有效的内容。

第二,不同类型的追踪手势对学习效果的影响有待进一步探讨,从以往研究中也发现,追踪手势的研究同质性较强,仍缺乏厘清追踪手势的关键因素。例如,有部分研究的追踪手势操纵同时包含表征性追踪手势和指向性追踪手势,同时还要求学习者采用多个手指进行追踪(Macken & Ginns, 2014; Yeo & Tzeng, 2020)。而有的研究在操纵追踪手势只要求被试利用食指进行表征性追踪(左跟梅, 2022)。因此,未来研究需要进一步探讨影响追踪手势的关键因素:第一,需要更多研究进一步验证指向性追踪手势的有效性(Schüler & Wesslein, 2022),目前仅有的一项研究发现指向性追踪不利于学习,这不符合实际理论预期,需要更多的研究证明这一结论;第二,需要验证触觉在追踪手势中的作用(Hu et al., 2015),例如 Hu 等人(2015)在实验二中对比了用手指在纸表面追踪、用手指在纸上方追踪和无追踪三种情景,结果发现两个追踪情景都能够促进学习者的学习表现,在纸表面追踪好于在纸上方追踪,但结果仅仅为边缘显著。因此,目前追踪手势的关键因素和有效类型的研究十分有限,研究处于起步阶段,还需要实证研究进一步论证。

第三,观察追踪手势是否影响学习效果,以及观察不同类型的追踪手势是否对学习产生不同的影响,这对提高视频学习和在线学习具有重要意义。从表1可知,目前仅有四项研究探讨了观察追踪手势对学习的影响,但没有发现一致的结果(Du & Zhang, 2019; Smyrnis et al., 2022; van Wermeskerken et al., 2016; 左跟梅, 2022)。一方面,如前

所述,这可能是观察追踪手势本身与学习任务的相关性存在不同。另一方面,这可能与学习情境的不同有关,例如 Smyrnis 等人(2022)的研究发现在线下环境中,相比于观察追踪手势,模仿教师的追踪手势使得学生的学习成绩更好、认知负荷更低、学习动机更强。而在视频学习的环境中并没有发现积极的学习效果(van Wermeskerken et al., 2016; 左跟梅, 2022)。视频学习的便利性带来很强的实践价值,因此有必要进一步改善基于视频学习的观察追踪手势。例如可以考虑在观察追踪手势的教学设计中添加教学代理或呈现教师形象(Dai et al., 2022),以提高学习者的社会存在感,进一步提高学习效果。上述的两种造成不一致的可能性可能外显在学习者对学习内容的注意加工的作用,未来研究可以通过结合眼动技术验证这一问题,以便从机制上探讨观察追踪手势对学习效果的影响。

第四,追踪手势的有效性是否受边界条件的影响?从表 1 来看,学习材料的空间属性可能影响追踪手势的有效性,追踪手势在非空间材料上(例如混合运算等)的学习表现可能不如空间性材料(Wang et al., 2022)。首先,空间材料的特性可能使得追踪手势更为有效,学习者可以通过追踪手势组织空间信息,更好地构建心理模型,从而促进对学习内容的记忆和理解;其次,非空间的材料更难以理解,学习者可能体验到更高的内在认知负荷,追踪手势可能对学习内容组织整合。同时,以往研究主要还是聚集在科学知识的领域中,在文科领域是否具有有效性也需要进一步验证。再次,追踪手势可能对不同年龄段的学习者有着不同的促进效果。本文发现相比于大学生,追踪手势更有利于提高小学生的保持成绩和迁移成绩。未来研究可以通过实验进行直接对比来验证年龄这一边界条件。最后,追踪手势还会受其他生成策略的影响。Wang 等人(2022)将想象策略结合到追踪手势中,并发现想象追踪可以有效地提高学习者的学习效果,但该研究没有发现与追踪手势的差异。这可能是研究中没有明确指导学习者想象的步骤,需要进一步对其进行探讨。同时可以考虑结合其他生成策略(例如总结,绘图)是否影响追踪手势的有效性。

#### 参考文献:

\* 为纳入分析的文献

\* 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.

Barsalou, L. W. (2008). Grounded cognition. *Annual Review of Psychology*, 59, 617-645.

Dai, L., Jung, M. M., Postma, M., & Louwerse, M. M. (2022). A systematic review of pedagogical agent research: Similarities, differences and unexplored aspects. *Computers & Education*, 104607. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104607>

Deci, E. L., & Ryan, R. M. (2013). *Intrinsic motivation and self-determination in human behavior*. Springer Science & Business Media.

Deci, E. L., Nezlek, J., & Sheinman, L. (1981). Characteristics of the rewarder and intrinsic motivation of the rewardee. *Journal of Personality and Social Psychology*, 40(1), 1-10. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.40.1.1>

Dargue, N., Sweller, N., & Jones, M. P. (2019). When our hands help us understand: A meta-analysis into the effects of gesture on comprehension. *Psychological Bulletin*, 145(8), 765-784.

\* Du, X., & Zhang, Q. (2019). Tracing worked examples: Effects on learning in geometry. *Educational Psychology*, 39, 169-187.

Duijzer, C., Van den Heuvel-Panhuizen, M., Veldhuis, M., Doorman, M., & Leseman, P. (2019). Embodied learning environments for graphing motion: A systematic literature review. *Educational Psychology Review*, 31(3), 597-629.

Fiorella, L., & Mayer, R. E. (2022). Principles for reducing extraneous processing in multimedia learning: Coherence, signaling, redundancy, spatial contiguity, and temporal contiguity principles. In R. E. Mayer, & L. Fiorella (Eds.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (3rd ed., pp. 185-198). Cambridge University Press.

Geary, D. C. (2008). An evolutionarily informed education science. *Educational Psychologist*, 43, 179-195.

\* 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.

\* Ginns, P., Hu, F. T., Byrne, E., & Bobis, J. (2016). Learning by tracing worked examples. *Applied Cognitive Psychology*, 30, 160-169.

\* Ginns, P., & King, V. L. (2021). Pointing and tracing enhance computer-based learning. *Educational Technology Research and Development*, 69, 1387-1403.

\* 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). Sydney, Australia: University of Sydney.

Hostetter, A. B. (2011). When do gestures communicate? A meta-analysis. *Psychological Bulletin*, 137(2), 297-315.

\* Hu, F. T., Ginns, P., & Bobis, J. (2014). Does tracing worked examples enhance geometry learning? *Australian Journal of Educational and 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.
- Hsee, C. K., & Zhang, J. (2010). General evaluability theory. *Perspectives on Psychological Science*, 5(4), 343 – 355.
- Hyönä, J. (2010). The use of eye movements in the study of multimedia learning. *Learning and Instruction*, 20(2), 172 – 176.
- Johnson – Glenberg, M. C., Birchfield, D. A., Tolentino, L., & Koziupa, T. (2014). Collaborative embodied learning in mixed reality motion – capture environments: Two science studies. *Journal of Educational Psychology*, 106(1), 86 – 104.
- Klatzky, R. L., & Lederman, S. J. (2003). Touch. In B. Weiner, A. F. Healy, & R. W. Proctor (Eds.), *Handbook of psychology: Vol. 4. Experimental psychology* (pp. 147 – 176). New York: Wiley.
- Klepsch, M., Schmitz, F., & Seufert, T. (2017). Development and validation of two instruments measuring intrinsic, extraneous, and germane cognitive load. *Frontiers in Psychology*, 8, 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.
- Kriegelstein, F., Beege, M., Rey, G. D., Ginns, P., Krell, M., & Schneider, S. (2022). A systematic meta – analysis of the reliability and validity of subjective cognitive load questionnaires in experimental multimedia learning research. *Educational Psychology Review*, 34, 2485 – 2541.
- 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.
- Li, W., Kuang, Z., Leng, X., Mayer, R. E., & Wang, F. (2024). Role of gesturing onscreen instructors in video lectures: A set of three – level meta – analyses on the embodiment effect. *Educational Psychology Review*, 36, 67. <https://doi.org/10.1007/s10648-024-09910-0>
- \* Macken, L., & Ginns, P. (2014). Pointing and tracing gestures may enhance anatomy and physiology learning. *Medical Teacher*, 36(7), 596 – 601.
- Mayer, R. E. (2021). *Multimedia learning* (3rd ed.). New York: Cambridge University Press.
- Montessori, M. (1964). *The Montessori Method, Rome 1912*. Bentley, Inc.
- 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.
- Ping, R., & Goldin – Meadow, S. (2010). Gesturing saves cognitive resources when talking about nonpresent objects. *Cognitive Science*, 34, 602 – 619.
- Sarailoo, R., Latifzadeh, K., Amiri, S. H., Bosaghzadeh, A., & Ebrahimpour, R. (2022). Assessment of instantaneous cognitive load imposed by educational multimedia using electroencephalography signals. *Frontiers in Neuroscience*, 16, 744737. <https://doi.org/10.3389/fnins.2022.744737>
- \* Schueler, A., & Wesslein, A. K. (2022). Investigating the effect of deictic tracing on multimedia learning. *Learning and Instruction*, 77, 101525. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2021.101525>
- Skulmowski, A., & Rey, G. D. (2018). Embodied learning: introducing a taxonomy based on bodily engagement and task integration. *Cognitive Research: Principles and Implications*, 3(1), 6. <https://doi.org/10.1186/s41235-018-0092-9>
- Smyrnis, E., Ginns, P., & Bobis, J. (2022). Mimicking tracing actions enhances young children’s mathematical learning. *Applied Cognitive Psychology*, 36(6), 1356 – 1364.
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G. & Paas, F. (2019). Cognitive architecture and instructional design: 20 Years Later. *Educational Psychology Review*, 31, 261 – 292.
- \* 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.
- van Gog, T. (2022). The signaling (or cueing) principle in multimedia learning. In R. E. Mayer, & L. Fiorella (Eds.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (3rd ed., pp. 221 – 230). Cambridge University Press.
- \* van Wermeskerken, M., Fijan, N., Eielts, C., & Pouw, W. T. (2016). Observation of depictive versus tracing gestures selectively aids verbal versus visual – spatial learning in primary school children. *Applied Cognitive Psychology*, 30(5), 806 – 814.
- van Gog, T., & Scheiter, K. (2010). Eye tracking as a tool to study and enhance multimedia learning. *Learning and Instruction*, 20(2), 95 – 99.
- \* Wang, B., Ginns, P., & Mockler, N. (2022). Sequencing tracing with imagination. *Educational Psychology Review*, 34, 421 – 449.
- Wilson, M. (2002). Six views of embodied cognition. *Psychonomic Bulletin & Review*, 9, 625 – 636.
- \* 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(4), 733 – 751.
- 叶浩生. (2010). 具身认知: 认知心理学的新取向. *心理科学进展*, 18(5), 705 – 710.
- 叶浩生. (2014). “具身”涵义的理论辨析. *心理学报*, 46(7), 1032 – 1042.
- \* 左跟梅. (2022). 手势追踪在多媒体学习中的效应研究 (硕士学位论文), 华东师范大学, 上海.

## Graspable: The Promoting Effect of Tracing Gesture on Learning

KUANG Ziyi<sup>1</sup> LENG Xiaoxue<sup>2</sup> WANG Fuxing<sup>2</sup> HU Xiangen<sup>2,3</sup>

(1. School of Psychology, Shaanxi Normal University, Xi'an 710061;

2. School of Psychology, Central China Normal University, Wuhan 430079;

3. Department of Applied Social Sciences, The Hong Kong Polytechnic University, Hongkong 999077)

**Abstract:** Tracing gestures are defined as dynamic finger movements that correspond to the learning content. Previous studies have mainly explained the effectiveness of tracing gestures through embodied cognition theory, signaling principles, and cognitive load theory. This study found that tracing gestures significantly enhanced learners' retention scores ( $d = 0.41$ ) and transfer scores ( $d = 0.52$ ) in terms of learning outcomes. Additionally, in terms of subjective experience, tracing gestures reduced learners' perceived intrinsic cognitive load ( $d = 0.22$ ) and increased learning motivation ( $d = 0.22$ ). Future research should further explore the moderating factors of tracing gestures and verify their effectiveness within more objective methodologies.

**Key words:** tracing gesture; gesture; embodied cognition; signaling principle; cognitive load