

多媒体学习中线索效应的元分析*

谢和平¹ 王福兴¹ 周宗奎¹ 吴 鹏²

(¹ 青少年网络心理与行为教育部重点实验室, 华中师范大学心理学院, 武汉 430079)

(² 湖北大学教育学院心理系, 武汉 430415)

摘 要 作为多媒体学习中一种重要的指导性教学设计形式, 线索能否引导学习者的注意并促进学习效果, 目前结论尚不一致。研究运用元分析技术, 分别以保持测验、迁移测验的成绩作为学习效果的结果变量, 以线索区的注视时间、注视次数作为注意引导的结果变量, 探讨多媒体环境中的线索对学习效果和注意引导的影响, 并通过调节效应检验考察线索效应的边界条件。采用严格标准进行文献检索和筛选后, 共获取 43 篇符合元分析的文献。在保持测验成绩和迁移测验成绩上, 分别生成了 44 个(3910 人)和 41 个(3906 人)独立效应量; 在对线索区的注视时间和注视次数上, 分别生成了 14 个(938 人)和 11 个(816 人)独立效应量。结果发现, 线索的加入显著提高了保持测验成绩($g = 0.53$)和迁移测验成绩($g = 0.36$), 同时也增加了学习者对线索区的注视时间($g = 0.50$)和注视次数($g = 0.70$)。调节效应分析发现: 在保持测验成绩上, 静态学习材料、陈述性知识、理工科条件下的线索效应分别高于动态学习材料、程序性知识和文科; 在迁移测验成绩上, 时空线索、静态学习材料、陈述性知识条件下的线索效应分别高于物理线索、动态学习材料和程序性知识; 而在眼动指标上, 线索对注意的引导主要受线索类型的调节, 物理线索条件下学习者对线索区的注视时间和注视次数均高于时空线索。结论认为, 线索的加入确实促进了学习者对学习材料的识记和理解效果, 同时也引导了学习者的注意分配; 但线索效应一定程度上受线索类型、学习材料动态性、知识类型、学科属性等因素的调节。未来研究需进一步考察线索效应的其他边界条件。

关键词 线索效应; 学习效果; 注意引导; 边界条件; 多媒体学习; 元分析

分类号 B849:G44

1 引言

随着网络和便携设备客户端在教学领域的广泛应用, 采用语词和画面表征共同呈现材料的多媒体学习(multimedia learning)愈发普及化(Mayer, 2009)。然而, 与传统教学材料相比, 多媒体学习材料具有信息量大、元素的时空变化关系复杂等特点(Tversky, Morrison, & Betrancourt, 2002), 可能会给学习者带来较大的认知负担, 不利于实现高效学习(Ayres & Paas, 2007; Höffler & Leutner, 2007)。因此, 多媒体学习研究者关注如何采用指导性教学设计(instructional design)来提高学习效果(Clark & Mayer,

2011; Mayer, 2009)。而作为一种重要的指导性教学设计形式, 在材料中加入线索(cueing)近年来引起了许多研究者的重视(Boucheix, Lowe, Putri, & Groff, 2013; De Koning, Tabbers, Rikers, & Paas, 2011a; Jamet, 2014; Tabbers, Martens, & van Merriënboer, 2004; 王福兴, 段朝辉, 周宗奎, 2013)。

线索是指在多媒体学习材料中加入的一种能够吸引学习者的注意力, 并旨在促进学习者对材料的选择(selection)、组织(organization)和整合(integration)的非内容信息(non-content information, 如: 箭头、颜色、高亮等), 它可以降低学习者的认知负荷, 从而优化多媒体学习效果(De Koning, Tabbers, Rikers,

收稿日期: 2014-07-21

* 国家自然科学基金青年项目“经验对多媒体学习中图-文整合过程的影响”(#31300864)和中央高校基本科研业务费(CCNU15Z02004)资助。

通讯作者: 王福兴, E-mail: fxwang@mail.ccnu.edu.cn

& Paas, 2007, 2009)。线索能够引导注意且促进学习效果的这种积极作用被称为线索效应(cueing effect)(参见: 王福兴等, 2013)。然而, 作为多媒体教学中指导性设计的一项重要技术, 线索的加入在有效引导注意和提高学习效果上是否具有稳健性, 目前大量的实证研究仍然存在不一致的结论。

1.1 线索与学习效果

许多研究发现, 在多媒体学习材料中合理地加入线索有利于提高学习成绩(De Koning et al., 2007; Jeung, Chandler, & Sweller, 1997; Kalyuga, Chandler, & Sweller, 1999; Mautone & Mayer, 2007)。比如: Ozcelik, Karakus, Kursun 和 Cagiltay (2009)研究发现, 线索能够促进学习者对学习材料的识记和理解效果, 从而表现出更高的保持测验(retention test)和迁移测验(transfer test)成绩¹。Jamet (2014)的研究也证实, 线索的加入有利于促进图文整合加工, 学习者的各项测验成绩也均得到显著提高。目前, 线索在学习效果上的积极效应已经在数学与几何(Jeung et al., 1997)、神经生理(De Koning et al., 2007; De Koning, Tabbers, Rikers, & Paas, 2010b)、机械工程(Boucheix & Guignard, 2005; Boucheix et al., 2013)、心理学(Jamet, 2014)和物理学(Kalyuga et al., 1999; Reisslein, Johnson, & Reisslein, 2015)等众多学科材料的多媒体学习中得到不同程度的证实。

线索对学习效果的促进作用从理论上得到了图文整合假说(text-diagram integration hypothesis)的直接支持(Scheiter & Eitel, 2015)。该假说认为, 线索具有信息组织和整合的功能(De Koning et al., 2009)。在多媒体教学材料中合理地加入线索, 有利于对材料中的图文元素本身及图文元素之间的内在逻辑关系加以强调(Mautone & Mayer, 2001, 2007), 促进学习者将图文信息整合成为连贯、一致的心理表征(Scheiter & Eitel, 2015), 从而实现更为深入的、建构性的认知加工, 最终提高学习成绩。

尽管如此, 仍有一些研究发现线索并不总能有效地促进学习效果(Arslan-Ari, 2013; Lowe & Boucheix,

2011)。例如: Crooks, Cheon, Inan, Ari 和 Flores (2012)研究结果发现, 加入线索并没有对学习材料的回忆和理解成绩产生显著影响。Kriz 和 Hegarty (2007)在其眼动研究中也发现, 虽然线索能够有效引导学习者注意到任务相关信息, 但这也并没有保证他们获得较高的保持和迁移测验成绩。甚至有研究表明, 线索不仅没有促进学习, 反而一定程度上起到了阻碍作用(Imhof, Scheiter, Edelmann, & Gerjets, 2013; Tze & Sazilah, 2012)。

1.2 线索与注意引导

关于线索与学习效果之间的关系, 近年来, 一些研究者试图从眼动视角进行研究和解释(Boucheix et al., 2013; De Koning, Tabbers, Rikers, & Paas, 2010a; Hyönä, 2010; Jarodzka, van Gog, Dorr, Scheiter, & Gerjets, 2013; Jian, Wu, & Su, 2014; Lowe & Boucheix, 2011; Scheiter & Eitel, 2015; van Gog & Scheiter, 2010)。与线索在学习效果上的作用类似, 线索对眼动过程中的注意引导作用也没有得出完全一致的结论。但是, 大部分眼动研究仍然证实了线索的注意引导优势(Boucheix & Lowe, 2010; Jamet, 2014; Jarodzka et al., 2013; Ozcelik, Arslan-Ari, & Cagiltay, 2010; Ozcelik et al., 2009)。即线索作为一种凸显刺激能够高效引导学习者关注重要信息所呈现的区域(线索区), 表现为对线索区的注视时间更长(Jian et al., 2014; Ozcelik et al., 2010)、注视次数更多(Boucheix & Lowe, 2010)、首次到达时间更短(Scheiter & Eitel, 2010, 2015)等。

线索在眼动加工中的优势从理论上得到了注意引导假说(attention-guiding hypothesis)的直接支持(Jamet, 2014)。该假说认为, 线索具有信息选择的功能(De Koning et al., 2009)。在多媒体学习材料中合理地加入线索可增强关键信息的知觉凸显性, 这有助于迅速将学习者的注意力引导到这些被线索化的关键信息上(Ozcelik et al., 2009, 2010), 从而提高学习者对这些信息的注意维持倾向, 即对它们投入更多的(视觉)注意资源并促进其加工(Boucheix & Lowe, 2010; Jamet, 2014; Jian et al., 2014)。

不过, 仍有少量研究未发现线索能够有效提高学习者的注视加工(Folker, Ritter, & Sichelshmidt, 2005)。比如: Fitzhugh (2012)研究发现, 呈现线索没有增加对线索区的注视时间和注视次数。Lowe 和 Boucheix (2011)的研究也证实, 无论是学习前期还是学习后期, 学习者都没有在注视上表现出所谓的线索依赖(cue obedience), 即线索没有引导注意。对于线索在注意引导上的不同结果, 有研究者猜测这

¹ 保持测验和迁移测验成绩均为多媒体学习研究所关注的与学习效果有关的重要后测指标, 二者在测验方式和目的上有所不同: 保持测验通常要求学习者学习结束后对材料内容尽可能多地回忆, 测验答案多为学习材料本身, 因该测验可能存在死记硬背现象, 故主要用以考察学习者的浅层识记效果; 而迁移测验通常是在学习者学习完之后要求其回答或解决与材料相关的一些迁移性问题, 测验答案需要学习者从材料中加以推理, 该测验能较好地避免死记硬背现象, 因此主要用来考察学习者的深层理解效果。

可能与线索的相对凸显性有关(Lowe & Boucheix, 2011)。例如:当学习材料中的元素具有运动属性时,线索的凸显性容易被材料元素的运动性所抵消,因为材料中元素本身的运动也如线索一样具有很强的注意引导作用,这可能导致线索和运动的元素之间产生注意资源的竞争,线索的凸显性则相对降低,不利于发挥线索在注意引导上的有效作用。

1.3 线索效应的潜在边界条件

Mayer (2010)认为,多媒体学习中所适用的原则或教学设计技术的有效激活存在一定的边界条件(boundary condition)或调节变量,即只有针对特定的学习者、采用某些特定的设计方式或学习材料,才可能更有效地发挥多媒体学习原则的作用。对这些原则的潜在边界条件的探讨不仅有助于更加合理地使用这些原则,同时具有较大的理论和应用价值(Mayer, 2010)。那么,作为多媒体学习的重要原则之一,线索效应是否存在特定的边界条件,有必要进行深入研究。根据 De Koning 等人(2010a)的观点,不同研究间线索的作用之所以不同,可能是由于线索有效性的发挥受到线索类型、学习材料特征以及学习者特征等因素的调节。因此,本研究也关注这些特征的调节作用。

1.3.1 线索类型

根据线索本身的不同属性可以对线索进行不同的分类(Lowe & Boucheix, 2011; Mautone & Mayer, 2001; Mayer, 2009)。王福兴等人(2013)分析了以往研究对线索分类的缺陷后,尝试将线索分为物理线索和时空线索。物理线索强调的是线索的物理属性变化,例如:颜色(Jamet, 2014; Ozcelik et al., 2009, 2010)、箭头(Lin & Atkinson, 2011);而时空线索强调线索的时空位置属性变化,例如:特定区域缩放(Amadieu, Mariné, & Laimay, 2011)、随动画渐进(Boucheix & Lowe, 2010)等。以往研究表明,物理线索和时空线索的效应可能存在差异,但二者在学习效果和注意引导上的作用关系并不明确。一方面,一些研究发现时空线索能较好地促进对学习材料的理解成绩(Boucheix et al., 2013; Seufert & Brünken, 2006);而另一方面,物理线索(Jamet, 2014)却似乎比时空线索(Boucheix & Lowe, 2010)具有更强的注意引导作用。

1.3.2 学习材料特征

在多媒体学习中,学习材料可能是影响线索效应的最为重要的因素之一(De Koning et al., 2010b),它包括多种特征。首先,从学习材料的呈现方式(外

在属性)上来看,材料动态性、呈现通道、呈现步调等特征可能是影响线索效应的潜在因素。学习材料动态性可分静态(static)和动态(dynamic)两种(Tversky et al., 2002)。静态学习材料在教学中较为普遍,其元素往往以静止的形式呈现,例如:静态的 PPT 材料;而随着技术发展,动态学习材料的运用也愈发广泛,其元素在空间位置上往往具有运动性,例如:动画(animation)。虽然线索在不同动态性学习材料中的作用可能有所不同(Grant & Spivey, 2003; Lowe & Boucheix, 2010),但由于线索的凸显性(salience)(Boucheix & Lowe, 2010)往往容易受到动态学习材料中各运动元素而非静态学习材料中的静止元素的干扰,因此以往大部分研究表明线索在静态学习材料中可能更有效(Heiser & Tversky, 2006; Jian et al., 2014; Liu, Lin, & Paas, 2013)。根据不同的呈现通道,可将材料分为视觉单通道学习材料(画面+视觉文本)和视听双通道学习材料(画面+声音解说)(Mayer, 2009)。关于不同通道学习材料中的线索效应,现有研究结果并不一致。部分研究在视听双通道学习材料中发现了更强的线索效应(Tabbers et al., 2004),但其他研究在视觉单通道学习材料中发现线索也很有效(Ozcelik et al., 2009; Reisslein et al., 2015),另有研究则发现两种通道条件下线索的作用效果相同(Crooks et al., 2012)。另外,按照呈现步调,学习材料还可分为学习者步调(learner-paced)的学习材料和系统步调(system-paced)的学习材料(Tabbers & De Koeijer, 2010)。前者是指学习材料可由学习者自行控制(如:播放、暂停、回放、终止等);后者指学习材料由多媒体系统控制。不同呈现步调下的线索效应同样也不明确。无论学习材料为何种呈现步调,均有研究发现了线索的积极作用(如:Johnson, Ozogul, & Reisslein, 2015; Mautone & Mayer, 2007),但也有研究并未发现(如:Arslan-Ari, 2013; Skuballa, Schwonke, & Renkl, 2012)。

其次,从学习材料的内容(内在属性)上来看,知识类型、学科属性等特征可能也是影响线索效应的潜在因素。线索效应研究中所使用的学习材料涉及陈述性知识和程序性知识两类。从以往研究来看,可能由于陈述性知识比程序性知识更为抽象,心理表征的建构更为不易,因此在陈述性知识中加入指导性教学技术线索后对学习的促进作用相对更大(Ibrahim, 2011)。此外,根据学习材料所属的学科领域,可将其分为理科、工科、文科三类。通常情况下,理、工科材料往往是某一科学现象或事物形成的

原理或过程(如: 闪电形成、钢琴工作、神经冲动传导等), 元素交互性较文科更复杂, 因此线索的注意引导及促进作用也更大(Berthold & Renkl, 2009; Huk, Steinke, & Floto, 2003)。

1.3.3 学习者特征

学习者特征主要指学习者自身的教育水平。根据线索相关研究, 可将被试分为大学、中小学水平。多媒体学习的个体差异原则认为, 学习者本身存在的个体生理或认知上的差异可能会造成学习结果的不同(Kalyuga, Ayres, Chandler, & Sweller, 2003; Mayer, 2009)。因此, 同一指导性教学技术(如: 线索)对于不同的学习者而言可能效果也不尽相同(De Koning et al., 2010b; De Koning, Tabbers, Rikers, & Paas, 2011b)。

1.4 本研究假设

综上, 一方面, 线索在学习效果和注意引导上的积极作用并不是绝对稳定的(中文综述见: 王福兴等, 2013)。针对线索作用的这种非稳健性, 本研究拟采用元分析来探讨加入线索与否对多媒体学习效果和注意引导将产生怎样的影响。在多媒体学习领域, 由于研究者多采用保持测验成绩或迁移测验成绩考察学习者的学习效果(Mayer, 2009), 眼动研究多采用线索区的注视时间或注视次数考察线索的注意引导作用(Boucheix & Lowe, 2010; De Koning et al., 2010a), 因此本研究分别以保持测验成绩、迁移测验成绩作为学习效果的结果变量, 以线索区的注视时间、注视次数作为注意引导的结果变量。根据线索的信息选择、组织和整合功能(De Koning et al., 2009), 研究假设: 加入线索能够促进学习者的学习效果, 表现为更高的保持测验成绩和迁移测验成绩; 同时线索也能够有效引导学习者的注意, 表现为更长的注视时间和更多的注视次数。

另一方面, 线索效应可能受到线索类型、学习材料特征以及学习者特征等潜在变量的调节, 因此有必要对线索效应进行调节效应检验。由于元分析技术不仅可以合成总的效应量, 同时也能够根据该效应量的影响因素对其进行亚组分析(subgroup analysis), 即可将影响该效应量的因素看作调节变量进行分组对比(Borenstein, Hedges, Higgins, & Rothstein, 2009), 所以能较好地实现该研究目的。研究假设: 线索效应受线索类型、学习材料特征(包括材料动态性、呈现通道、呈现步调、知识类型、学科属性)和学习者特征(即教育水平)等因素的调节。

2 方法

2.1 文献检索

本文主要采用英文和中文文献搜索两种方式获取中英文实证研究。检索关键词的选取主要基于以往关于多媒体学习线索效应研究中的标题、摘要、关键词等来确定。纵观以往研究发现, Kalyuga 等人于 1999 年较早探讨了多媒体环境中加入线索的作用, 为尽量避免遗漏, 本研究文献检索起始时间稍作提前, 时间跨度为 1995 年 1 月至 2015 年 5 月近 20 年。英文文献搜索数据库主要包括 PsycINFO、Education Research Complete、Science Direct、PubMed、ERIC、ProQuest 博硕士论文全文数据库等, 搜索方式为将关键词“cue”、“cueing”、“signaling”、“attention guidance”分别与“multimedia learning”、“animation”、“eye tracking”、“eye movement”进行联合搜索。中文文献搜索数据库主要为 CNKI 中国学术期刊网络出版总库、CNKI 中国期刊网优秀博硕士论文全文数据库、中国科技期刊数据库(维普期刊)、万方数据库等, 搜索方式为将“线索”、“标记”、“注意引导”分别与“多媒体学习”、“动画”、“眼动”进行联合搜索。关键词的选取标准及文献检索时间跨度同上。同时采用文献回溯法, 根据参考文献进一步进行检索。另外, 也在 Google scholar 中进行补查。

2.2 文献纳入与排除

对于检索到的文献进一步按照以下几个标准纳入元分析或予以排除: (1)研究应为实验研究, 综述等其他非实验类研究予以排除; (2)研究中使用的学习材料应属于多媒体学习材料, 即包含画面(如: 图表、照片、视频、录像、动画)和语词(如: 视觉文本、声音解说)两个基本元素(Mayer, 2009), 二者缺一则不属于多媒体学习范畴, 故仅含画面或仅含语词的研究予以排除; (3)研究应对比有线索和无线索的差异, 未设置对照组(无线索组)的研究予以排除; (4)研究应该报告可生成元分析效应量的完整数据(如: 样本量、平均数、标准差或 t 值、 F 值等), 否则予以排除; (5)研究需报告保持测验成绩或迁移测验成绩, 或对线索区的注视时间、注视次数, 若以上 4 类结果变量均未被考察, 则予以排除; (6)所生成的效应量须在 $\pm 3SD$ 之内, 否则予以排除。

文献检索、纳入及排除流程如图 1 所示。由于部分文献报告了 4 种结果变量中的 1 种或多种, 因此不同结果变量的研究数量不完全一致。在所获得的满足元分析标准的 43 篇文献中, 有 38 篇含保持测验成

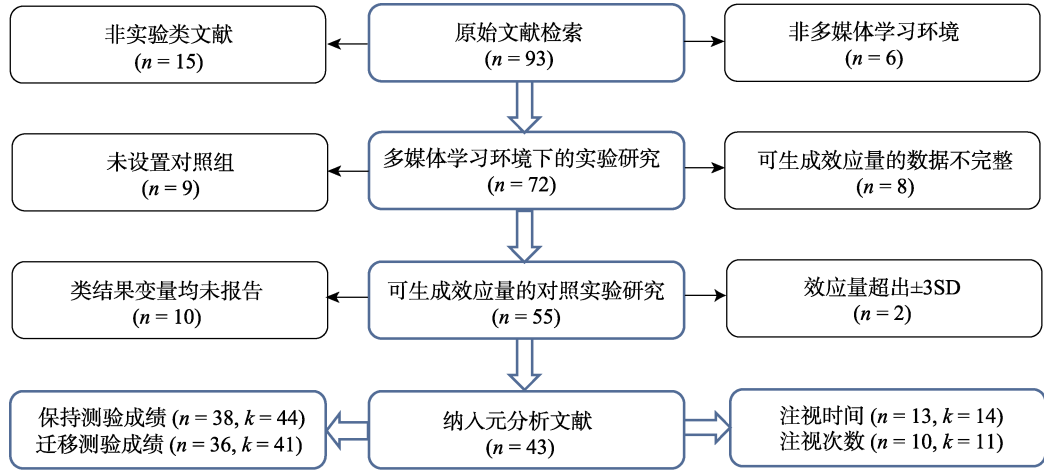


图 1 文献检索、纳入及排除流程
注：n 代表文献数量, k 代表独立效应量数量

绩(被试 3910 人), 36 篇含迁移测验成绩(被试 3906 人), 13 篇眼动研究含注视时间(被试 938 人), 10 篇眼动研究含注视次数(被试 816 人)。由于部分文献中的自变量为本研究关注的调节变量, 因此未进行合并处理(单篇文献效应量的事先合并处理参见 2.4 部分)。最终, 保持测验成绩和迁移测验成绩分别生成了 44 个和 41 个独立效应量, 注视时间和注视次数分别生成了 14 个和 11 个独立效应量。

2.3 文献编码

对于符合元分析标准的文献, 按照以下变量逐条进行编码: (1)基本信息(作者、时间、样本量); (2)线索类型, 按照物理线索和时空线索两类进行编码; (3)学习材料动态性, 若学习材料中的元素具有运动性, 则编码为动态, 否则编码为静态; (4)学习材料呈现通道, 若学习材料为画面加视觉文本, 则编码为视觉

单通道, 若学习材料为画面加声音解说, 则编码为视听双通道; (5)学习材料呈现步调, 若学习进程可由学习者自行控制, 则编码为学习者步调, 若由多媒体系统控制, 则编码为系统步调; (6)知识类型, 根据陈述性知识和程序性知识分别进行编码; (7)学科属性, 根据学习材料所属学科进行编码; (8)教育水平, 按照大学、中小学进行编码; (9)结果变量, 若结果变量考察对学习材料的识记效果, 则编码为保持测验成绩, 若考察对学习材料的理解或迁移能力, 则编码为迁移测验成绩, 若眼动研究考察了对线索区的注视时间、注视次数, 则分别以注视时间、注视次数进行编码; (10)效应量, 对 4 种结果变量的效应量分别进行对应编码。

文献编码结果见表 1。为尽量保证编码的有效性, 分别由两名研究生单独编码后进行对比, 发现二者

表 1 多媒体学习中线索效应的元分析

研究	样本量	线索类型	材料动态性	呈现通道	呈现步调	知识类型	学科属性	教育水平	结果变量	效应量(Hedges's <i>g</i>)
Amadiou et al., 2011	36	ST	DC	V & A	SP	DK	Sci	CS	R & T	-0.22 & -0.60
Arslan-Ari, 2013	200	PC	DC	V & A	LP	DK	Sci	CS	R & T	-0.12 & 0.03
Berthold & Renkl, 2009	85	PC	SC	V	LP	DK	Sci	MP	R & T	0.49 & 0.27
Boucheix & Lowe, 2010	57	ST	SC	V & A	LP	DK	Eng	CS	R & T & FC	0.86 & 0.24 & 0.41
Boucheix et al., 2013	84	ST	SC	V & A	LP	DK	Eng	CS	R & T & FT	1.49 & 0.80 & 0.11
Crooks et al., 2012	73	ST	SC	V	LP	DK	Sci	CS	R	0.19
Crooks et al., 2012	62	PC	SC	V & A	LP	DK	Sci	CS	R	0.08
De Koning et al., 2007	40	PC	SC	V & A	LP	DK	Sci	CS	R & T	0.64 & 0.82
De Koning et al., 2010a	37	PC	SC	V & A	LP	DK	Sci	CS	R & T & FT & FC	0.15 & 0.36 & 0.06 & 0.08
De Koning et al., 2010b	73	PC	SC	V & A	LP	DK	Sci	CS	R & T	0.79 & 1.14
De Koning et al., 2011a	84	PC	SC	V & A	LP	DK	Sci	CS	R & T	0.26 & 0.03
De Koning et al., 2011b	90	PC	SC	V & A	LP	DK	Sci	MP	R & T	0.12 & 0.34

续表 1

研究	样本量	线索类型	材料动态性	呈现通道	呈现步调	知识类型	学科属性	教育水平	结果变量	效应量(Hedges's <i>g</i>)
Heiser & Tversky, 2006	67	PC	SC	V & A	SP	DK	Eng	CS	R	0.81
Huk et al., 2003	38	PC	DC	V & A	SP	DK	Sci	CS	R	0.76
Huk, Steinke, & Floto, 2010	247	PC	DC	V & A	SP	DK	Sci	CS	R & T	0.55 & -0.02
Ibrahim, 2011	226	PC	SC	V	SP	DK	Sci	CS	R & T	0.39 & 0.60
Imhof et al., 2013	48	PC	DC	V & A	SP	DK	Sci	CS	T	-0.54
Jamet, 2014	32	PC	SC	V & A	SP	DK	Sci	CS	R & T & FT & FC	0.87 & 0.38 & 0.90 & 2.01
Jamet, Gavota, & Quaireau, 2008	50	PC	SC	V & A	SP	DK	Sci	CS	R & T	0.76 & 0.26
Jamet et al., 2008	52	PC	DC	V & A	SP	DK	Sci	CS	R & T	0.43 & -0.09
Jarodzka et al., 2013	75	PC	DC	V & A	SP	DK	Sci	CS	T & FT	0.44 & 0.67
Jian et al., 2014	46	PC	SC	V & A	SP	DK	Eng	CS	R & FT	1.82 & 0.27
Johnson et al., 2015	250	PC	SC	V & A	SP	DK	Eng	MP	R & T	0.50 & 0.24
Kalyuga et al., 1999	16	PC	SC	V	LP	DK	Eng	CS	R & T	0.25 & 1.38
Kriz & Hegarty, 2007	40	PC	DC	V & A	LP	DK	Eng	CS	R & T	0.06 & -0.15
Kühl, Scheiter, & Gerjets, 2012	50	PC	DC	V & A	SP	DK	Sci	CS	R & T	1.84 & 1.14
Kühl et al., 2012	100	PC	SC	V & A	SP	DK	Sci	CS	R & T	2.19 & 0.63
Lin, 2011	126	PC	DC	V & A	LP	DK	Sci	CS	T	0.45
Liu et al., 2013	74	PC	SC	V	LP	DK	Sci	MP	R & T	0.92 & 1.01
Mautone & Mayer, 2001	182	PC	SC	V	SP	DK	Eng	CS	R & T	0.19 & 0.45
Mautone & Mayer, 2007	162	PC	SC	V & A	LP	DK	Eng	CS	R & T	0.67 & 0.26
Moreno, 2007	235	PC	DC	V & A	SP	PK	Sia	CS	R & T	0.07 & 0.17
Ozcelik et al., 2010	40	PC	SC	V & A	SP	DK	Eng	CS	R & T & FT & FC	0.13 & 0.70 & 0.92 & 1.29
Ozcelik et al., 2009	52	PC	SC	V	LP	DK	Sci	CS	R & T & FT	0.57 & 0.88 & 0.39
Reisslein et al., 2015	74	PC	SC	V	LP	DK	Eng	MP	R	3.33
Scheiter & Eitel, 2010	35	PC	SC	V	LP	DK	Sci	CS	R & FT & FC	0.83 & 0.99 & 1.15
Scheiter & Eitel, 2015	108	PC	SC	V	LP	DK	Sci	CS	R & T & FC	0.41 & -0.07 & 0.62
Seufert & Brünken, 2006	88	ST	SC	V	LP	DK	Sci	CS	T	0.97
Skuballa et al., 2012	44	PC	DC	V & A	SP	DK	Eng	CS	R & FT	-0.56 & 0.13
Spanjers, van Gog, Wouters, & van Merriënboer, 2012	78	PC	DC	V & A	SP	DK	Sci	MP	T	-0.42
Tabbers, Martens, & van Merriënboer, 2000	76	PC	SC	V	LP	PK	Sia	CS	R & T	0.27 & -0.05
Tabbers et al., 2000	75	PC	SC	V & A	LP	PK	Sia	CS	R & T	0.39 & 0.44
Tabbers et al., 2004	56	PC	SC	V	LP	PK	Sia	CS	R & T	0.25 & 0.09
Tabbers et al., 2004	55	PC	SC	V & A	LP	PK	Sia	CS	R & T	0.50 & 0.35
王福兴, 段朝辉, 周宗奎, 陈琚, 2015	51	PC	SC	V	SP	DK	Sci	CS	R & T & FT & FC	0.12 & 0.09 & 0.02 & 0.30
赵欢欢, 2013	96	ST	SC	V	SP	DK	Sci	CS	R & T & FT & FC	0.60 & 0.60 & -0.02 & 0.02
周洁, 2014	180	PC	DC	V	SP	DK	Eng	CS	R & T & FT & FC	-1.68 & -1.43 & 0.59 & 0.16
邹琴, 2013	135	PC	SC	V	SP	DK	Eng	CS	R & T & FT & FC	1.41 & 1.00 & 0.58 & 0.62
邹琴, 2013	45	PC	SC	V & A	SP	DK	Eng	CS	R & T & FT & FC	0.14 & 0.08 & 1.25 & 0.83

注: PC-物理线索, ST-时空线索; SC-静态学习材料, DC-动态学习材料; V-视觉单通道学习材料, V & A-视听双通道学习材料; LP-学习者步调的学习材料, SP-系统步调的学习材料; DK-陈述性知识, PK-程序性知识; Sci-理科, Eng-工科, Sia-文科; CS-大学, MP-中小学; R-保持测验成绩, T-迁移测验成绩, FT-注视时间, FC-注视次数。

编码结果并无明显差异。

2.4 效应量

对于单位不统一的连续型数据来说,在元分析中通常采用Cohen's d 作为效应量指标(Cohen, 1988)。然而,受不同研究间样本量差异的影响,Cohen's d 会对效应量产生一定的估计偏差,例如对小样本的效应量估计偏高(Borenstein et al., 2009)。为此,Hedges (1981)对该偏差进行了简单的校正,提出了效应量的无偏估计Hedges's g (Borenstein et al., 2009)。因此,参考以往研究(Adesope & Nesbit, 2012; Powers, Zum Vörde Sive Vörding, & Emmelkamp, 2009),本研究选择校正后的标准化均值差Hedges's g 作为无偏效应量。由于部分文献可能包含多项实验,而部分实验又可能包含多种条件,因此为避免单篇文献生成过多效应量而占用过多权重,从而产生一定的结果偏差,研究对部分文献事先进行合并处理后再作为最终的效应量样本。例如,若一项研究同时报告了多种条件下的学习结果,且这些条件(例如:不同的呈现速度)并非本研究关注的调节变量,则将其平均为一个合并效应量(pooled effect size);但如果该变量为本研究关注的调节变量,则不进行合并。

2.5 发表偏差

元分析过程中,如果实际纳入的研究与所有理应被纳入的研究之间存在系统性误差,则认为出现了发表偏差(Borenstein et al., 2009)。一般来说,有统计学意义的研究更容易发表,而发表的研究更容易被纳入元分析。这可能会导致对综合效应的高估,从而影响单个元分析结果的真实性(Franco, Malhotra, & Simonovits, 2014; Kuppens, Laurent, Heyvaert, & Onghena, 2013)。本研究采用常用的失安全系数(Rosenthal's fail-safe number, N_{fs})、Egger线性回归检验(Egger linear regression test)以及剪补法(trim and fill method)评价发表偏差。失安全系数 N_{fs} 值反映的是:当元分析结果在统计上显著时,还需要多少项没有统计学意义的研究才能让该元分析结果变得不显著。该值越大表明存在发表偏差的可能性越小,元分析的结果越稳定,结论被推翻的可能性也越小。有研究者以“ $5k + 10$ ”(k指纳入元分析的独立效应量个数)作为是否存在发表偏差的界限(Rothstein, Sutton, & Borenstein, 2006), N_{fs} 值如果大于 $5k + 10$,则可认为不存在发表偏差。Egger线性回归检验采用线性回归法检验发表偏差,一般先求出线性回归方程的截距(Egger's intercept)及其95% CI,再对该截距是否为0进行假设检验,如果不显著,则表明

不存在发表偏差(Egger, Smith, Schneider, & Minder, 1997)。剪补法主要通过先剪后补的方式使得各研究在平均效应量的左右两边尽量对称分布,并重新估计合并效应量的真实值(Duval & Tweedie, 2000),若剪补后的效应量未发生显著变化,则可认为不存在发表偏差。

2.6 模型选定及软件

大部分元分析基本上是从固定效应模型(fixed-effects model)和随机效应模型(random-effects model)中选择一种作为基础来进行综合效应的估计。Borenstein等(2009)认为模型的选定取决于事先判断研究间是否拥有相同的真实效应量以及分析目的。如果影响结果的任何变量(如:研究对象、研究方法等)在研究间都是相同的,且研究结果不推广到样本以外的其他群体,则固定效应模型适合,否则须采用随机效应模型。由于本研究纳入的文献在线索类型、学习材料特征、学习者特征等诸多方面存在差异,这些差异很可能影响线索的有效性,因此选择随机效应模型对线索的作用进行元分析更为合适。此外,研究通过事后异质性检验(heterogeneity test)进一步验证模型选择的合理性。选择 Q 检验和 I^2 检验识别异质性。 Q 检验具有统计学的显著性,以 p 值形式呈现,若 $p < 0.05$,则表明显著异质。而 I^2 检验反映的是由效应量的真实差异造成的变异在总的变异中所占的比重,以 I^2 值的形式呈现,该值越大表明异质性程度越高。根据Higgins, Thompson, Deeks和Altman (2003)的观点,可将25%、50%、75%大致看作异质性低、中、高的界限。若效应量显著异质且程度并不低,则表明选择随机效应模型合理。

研究采用CMA 2.0 (Comprehensive Meta-Analysis 2.0)进行元分析。

3 结果

3.1 主效应检验

对线索的主效应进行检验,以考察其在促进多媒体学习效果及注意引导上的有效性(见表2)。在保持测验成绩和迁移测验成绩上,线索的平均效应量分别为0.53、0.36;95% CI的上、下限均大于0,表明该效应量非偶然因素引起;双尾检验 p 值小于0.001,说明加入线索后对保持测验成绩和迁移测验成绩的促进作用显著高于无线索。在注视时间和注视次数上,线索的平均效应量分别为0.50、0.70;95% CI的上、下限也均大于0,表明该效应量也并非

表 2 多媒体学习中线索的主效应检验(随机效应模型)

结果变量	<i>k</i>	<i>N</i>	<i>g</i>	95% CI
保持测验成绩	44	3910	0.53***	[0.36, 0.69]
迁移测验成绩	41	3906	0.36***	[0.23, 0.49]
注视时间	14	938	0.50***	[0.30, 0.71]
注视次数	11	816	0.70***	[0.43, 0.97]

注: *k* 代表独立效应量个数, *N* 代表样本量(下同), ****p* < 0.001(双尾检验)。

此处 95% CI 指各结果变量对应的效应量 *g* 的 95%置信区间(含下限和上限)。

表 3 效应量异质性检验

结果变量	异质性				Tau-squared			
	<i>Q</i>	<i>df</i> (<i>Q</i>)	<i>p</i>	<i>I</i> ²	Tau-squared	<i>SE</i>	方差	<i>Tau</i>
保持测验成绩	208.59	43	< 0.001	79.39	0.22	0.07	< 0.01	0.47
迁移测验成绩	124.95	40	< 0.001	67.99	0.11	0.04	< 0.01	0.33
注视时间	23.04	13	< 0.05	43.57	0.06	0.06	< 0.01	0.25
注视次数	26.78	10	< 0.01	62.66	0.10	0.10	< 0.01	0.32

偶然因素引起; 双尾检验 *p* 值小于 0.001, 说明加入线索后, 学习者对线索区的注视时间和注视次数也都显著高于无线索。

3.2 异质性检验

分别对 4 种结果变量进行异质性检验(见表 3)。结果发现 *Q* 检验均显著, 这表明效应量显著异质。对于保持测验成绩和迁移测验成绩, *I*² 值分别为 79.39、67.99, 说明保持测验成绩和迁移测验成绩中由效应量的真实差异造成的变异各占总变异的 79.39%、67.99%; 对于注视时间和注视次数, *I*² 值分别为 43.57、62.66, 表明在对线索区的注视时间和注视次数上由效应量的真实差异造成的变异各占总变异的 43.57%、62.66%。从异质性低、中、高的界限(Higgins et al., 2003)来看, 本研究 4 类结果变量中效应量真实差异所占比重属于接近中等及中等以上的异质性, 进一步表明异质性程度较高。故本研究采用随机效应模型合理。此外, 效应量异质还意味着线索对学习效果的影响可能存在潜在的调节变量(Cooper, 1989)。因此, 需进一步进行亚组分析(调节效应检验), 即对亚组间的异质性进行 *Q* 检验(*Q*_B), 用于考察亚组之间的效应量是否存在差异。

3.3 调节效应检验

研究主要就线索类型、学习材料动态性等 7 种变量是否对线索效应起到调节作用进行了详细分析。

在保持测验成绩上(见表 4), 学习材料动态性显著调节线索的作用, *Q*_B(1) = 4.26, *p* < 0.05, 静态学习材料(*g* = 0.62)显著高于动态学习材料(*g* = 0.22); 知识类型显著调节线索的作用, *Q*_B(1) = 7.32, *p* < 0.01,

陈述性知识(*g* = 0.57)显著高于程序性知识(*g* = 0.21); 学科属性也显著调节线索的作用, *Q*_B(2) = 6.37, *p* < 0.05, 理科(*g* = 0.49)和工科(*g* = 0.64)材料显著高于文科(*g* = 0.21)。其他变量的调节作用均不显著(*p*_s > 0.05)。

在迁移测验成绩上(见表 5), 线索类型显著调节线索的作用, *Q*_B(1) = 8.48, *p* < 0.01, 时空线索(*g* = 0.73)显著高于物理线索(*g* = 0.31); 学习材料动态性显著调节线索的作用, *Q*_B(1) = 8.23, *p* < 0.01, 静态学习材料(*g* = 0.47)显著高于动态学习材料(*g* = 0.09); 知识类型显著调节线索的作用, *Q*_B(1) = 2.83, *p* = 0.092, 陈述性知识(*g* = 0.38)显著高于程序性知识(*g* = 0.19)。其他变量的调节作用均不显著(*p*_s > 0.05)。

在注视时间上(见表 6), 仅线索类型显著调节线索的作用, *Q*_B(1) = 3.05, *p* = 0.081, 物理线索(*g* = 0.56)显著长于时空线索(*g* = 0.07)。其他变量的调节作用不显著(*p*_s > 0.05)。

在注视次数上(见表 7), 仅线索类型显著调节线索的作用, *Q*_B(1) = 5.48, *p* < 0.05, 物理线索(*g* = 0.82)显著多于时空线索(*g* = 0.40)。其他变量的调节作用也不显著(*p*_s > 0.05)。

3.4 发表偏差检验

采用以下方法评价发表偏差(见表 8)。从失安全系数(Rosenthal's *N*_{fs})来看, 保持测验成绩和迁移测验成绩分别为 1737 和 849, 注视时间和注视次数分别为 141 和 185, 均远远大于“5*k* + 10”, 据此, 该指标表明本研究并不存在显著的发表偏差。从 Egger 线性回归检验来看, 在保持测验成绩上, 该指标的值为 2.03, 不接近 0, 且 95% CI 不包含 0, *p*

表 4 线索对保持测验成绩的调节效应检验(随机效应模型)

调节变量	<i>k</i>	<i>N</i>	<i>g</i>	95% CI	异质性		
					<i>Q_B</i>	<i>df</i>	<i>p</i>
线索类型					0.14	1	> 0.05
物理线索	39	3564	0.53***	[0.35, 0.71]			
时空线索	5	346	0.45*	[0.10, 0.80]			
材料动态性					4.26	1	< 0.05
静态材料	34	2788	0.62***	[0.44, 0.80]			
动态材料	10	1122	0.22	[-0.12, 0.55]			
呈现通道					0.16	1	> 0.05
视觉单通道	16	1519	0.56***	[0.24, 0.89]			
视听双通道	28	2391	0.49***	[0.30, 0.67]			
呈现步调					0.01	1	> 0.05
学习者步调	23	1708	0.54***	[0.30, 0.78]			
系统步调	21	2202	0.52***	[0.28, 0.75]			
知识类型					7.32	1	< 0.01
陈述性知识	39	3413	0.57***	[0.38, 0.75]			
程序性知识	5	497	0.21*	[0.04, 0.39]			
学科属性					6.37	2	< 0.05
理科	24	1991	0.49***	[0.32, 0.65]			
工科	15	1422	0.64**	[0.16, 1.12]			
文科	5	497	0.21*	[0.04, 0.39]			
教育水平					1.53	1	> 0.05
大学	39	3337	0.45***	[0.30, 0.60]			
中小学	5	573	1.08*	[0.10, 2.06]			

注：此处 95% CI 指各调节变量对应的效应量 *g* 的 95%置信区间(含下限和上限)(下同)。
Q_B 代表组间异质性 *Q* 检验, **p* < 0.05, ***p* < 0.01, ****p* < 0.001(双尾检验)(下同)。

表 5 线索对迁移测验成绩的调节效应检验(随机效应模型)

调节变量	<i>k</i>	<i>N</i>	<i>g</i>	95% CI	异质性		
					<i>Q_B</i>	<i>df</i>	<i>p</i>
线索类型					8.48	1	< 0.01
物理线索	36	3545	0.31***	[0.18, 0.45]			
时空线索	5	361	0.73***	[0.49, 0.97]			
材料动态性					8.23	1	< 0.01
静态材料	29	2519	0.47***	[0.34, 0.61]			
动态材料	12	1387	0.09	[-0.14, 0.31]			
呈现通道					1.70	1	> 0.05
视觉单通道	14	1425	0.47***	[0.23, 0.72]			
视听双通道	27	2481	0.29***	[0.14, 0.43]			
呈现步调					0.70	1	> 0.05
学习者步调	21	1698	0.41***	[0.23, 0.60]			
系统步调	20	2208	0.30***	[0.12, 0.49]			
知识类型					2.83	1	0.092
陈述性知识	36	3409	0.38***	[0.24, 0.53]			
程序性知识	5	497	0.19*	[0.01, 0.36]			
学科属性					2.81	2	> 0.05
理科	25	2198	0.38***	[0.20, 0.56]			
工科	11	1211	0.39**	[0.01, 0.36]			
文科	5	497	0.19*	[-0.79, 0.53]			
教育水平					0.34	1	> 0.05
大学	36	3329	0.37***	[0.23, 0.51]			
中小学	5	577	0.24	[-0.18, 0.66]			

表 6 线索对兴趣区注视时间的调节效应检验(随机效应模型)

调节变量	<i>k</i>	<i>N</i>	<i>g</i>	95% CI	异质性		
					<i>Q_B</i>	<i>df</i>	<i>p</i>
线索类型					3.05	1	0.081
物理线索	12	758	0.56***	[0.34, 0.77]			
时空线索	2	180	0.07	[-0.43, 0.57]			
材料动态性					0.01	1	> 0.05
静态材料	11	639	0.51***	[0.26, 0.76]			
动态材料	3	299	0.50**	[0.16, 0.84]			
呈现通道					0.10	1	> 0.05
视觉单通道	6	605	0.47***	[0.21, 0.73]			
视听双通道	8	211	0.54***	[0.23, 0.85]			
呈现步调					0.78	1	> 0.05
学习者步调	4	200	0.35	[-0.04, 0.74]			
系统步调	10	738	0.56***	[0.32, 0.80]			
学科属性					0.27	1	> 0.05
理科	7	370	0.44**	[0.15, 0.74]			
工科	7	568	0.56***	[0.25, 0.86]			

注：在注视时间上，研究材料均为陈述性知识，教育水平均为大学，故未对此做调节效应检验。
在注视时间上，研究材料不含文科，故文科材料未进入调节效应检验。

表 7 线索对兴趣区注视次数的调节效应检验(随机效应模型)

调节变量	<i>k</i>	<i>N</i>	<i>g</i>	95% CI	异质性		
					<i>Q_B</i>	<i>df</i>	<i>p</i>
线索类型					5.48	1	< 0.05
物理线索	9	663	0.82***	[0.50, 1.15]			
时空线索	2	153	0.40***	[0.24, 0.55]			
材料动态性					0.57	1	> 0.05
静态材料	10	636	0.72***	[0.44, 1.00]			
动态材料	1	180	0.16	[-1.25, 1.57]			
呈现通道					0.93	1	> 0.05
视觉单通道	6	605	0.60***	[0.37, 0.82]			
视听双通道	5	211	0.90**	[0.34, 1.46]			
呈现步调					0.85	1	> 0.05
学习者步调	4	237	0.54***	[0.21, 0.88]			
系统步调	7	579	0.79***	[0.37, 1.21]			
学科属性					0.05	1	> 0.05
理科	6	359	0.72*	[0.14, 1.29]			
工科	5	457	0.65***	[0.37, 0.92]			

注：在注视次数上，研究材料均为陈述性知识，教育水平均为大学，故也未对此做调节效应检验。
在注视次数上，研究材料也不含文科，故文科材料未进入调节效应检验。

表 8 发表偏差检验

结果变量	Rosenthal's <i>N_{fs}</i>	Egger's intercept	<i>SE</i>	95% CI	<i>p</i>
保持测验成绩	1737	2.03	0.80	[0.41, 3.64]	< 0.05
迁移测验成绩	849	0.76	0.73	[-0.71, 2.24]	> 0.05
注视时间	141	-0.66	1.19	[-3.25, 1.94]	> 0.05
注视次数	185	1.02	0.77	[-0.73, 2.76]	> 0.05

注：此处 95% CI 指 Egger's intercept 的 95%置信区间(含下限和上限)。

值也小于 0.05, 暗示保持测验成绩可能存在发表偏差; 但在迁移测验成绩、注视时间、注视次数上, 该指标的值分别为 0.76、-0.66、1.02, 接近 0, 且 95% CI 均包含 0, p 值大于 0.05, 暗示迁移测验成绩、注视时间、注视次数存在发表偏差的可能性较小。针对以上检验结果(特别是保持测验成绩)的差异, 进一步采用剪补法对合成效应量左右两边的文献进行剪补后, 发现效应量仍显著。综上, 可以认为本研究并不存在较大的发表偏差。

4 讨论

本研究通过元分析技术重点探讨了多媒体环境中的线索对学习效果和注意引导的影响, 同时通过调节效应检验考察了线索效应的边界条件。结果表明, 线索提高了学习者对学习材料的保持和迁移测验成绩, 也增加了其对线索区的注视时间和注视次数。因此, 线索的加入确实促进了对材料的识记和理解效果, 同时也引导了学习者的注意分配。然而线索效应一定程度上受线索类型、学习材料动态性、知识类型、学科属性等因素的调节。

4.1 线索效应的稳健性

从主效应检验的结果来看, 线索对保持测验成绩和迁移测验成绩的促进作用均达到显著水平, 合成后的效应量(Hedges's g)分别为 0.53 和 0.36。同样, 线索也显著增加了学习者对线索区的注视时间和注视次数, 效应量达到 0.50、0.70, 验证了研究假设。即相比无线索, 线索的加入既促进了对材料的识记和理解, 也优化了学习者的注意分配。因此, 与以往大量实证研究结果一致(De Koning et al., 2007, 2010b; Jamet, 2014; Liu et al., 2013; Ozcelik et al., 2009), 本研究从元分析视角进一步证实: 线索效应是稳健的。

从理论上, 线索在注意引导和学习效果上的积极作用可结合注意引导假说、图文整合假说和认知负荷理论(Cognitive Load Theory, CLT)来进行解释。注意引导假说认为, 线索能够在早期的知觉加工(perceptual processing)阶段有效发挥对信息的选择功能(De Koning et al., 2009), 即: 线索可将学习者的注意力引导到特定的关键区域, 增加对这些区域的注视时间和注视次数, 忽视任务无关区域, 从而为后期的深入理解提供保障(Jamet, 2014; Jian et al., 2014; Ozcelik et al., 2009)。该假说得到了本元分析中眼动指标(注视时间和注视次数)的直接支持。图文整合假说认为, 仅仅注意到被线索化的信息并不能保证一定会提高最终的学习成绩, 实现有效的学习还需

要学习者进行更深入的建构性的认知活动。而线索还具有组织和整合的功能(De Koning et al., 2009), 它的加入能够在后期的认知加工(cognitive processing)阶段进一步强调教学材料中图文元素内部及图文元素之间的组织或逻辑结构(Mautone & Mayer, 2001, 2007), 进而将其准确地整合成连贯而一致的心理表征(Scheiter & Eitel, 2015), 这种整合作用对于学习者的识记和理解都具有重要意义。该假说也得到了本元分析中学习效果指标(保持测验成绩和迁移测验成绩)的直接支持。另外, 根据认知负荷理论, 个体在信息加工过程中的认知资源是有限的, 如果超出了认知资源总量, 个体的学习效率就会受到影响(Sweller, van Merriënboer, & Paas, 1998)。由于多媒体学习材料的相对复杂性, 学习过程中涉及较多的认知资源消耗, 因此存在超出认知资源总量的可能或风险。而在材料中合理地加入线索后, 线索可能通过上述选择、组织和整合信息的方式降低外在认知负荷(extraneous cognitive load), 从而提高学习效果(De Koning et al., 2009; 王福兴等, 2013)。不过, 由于本研究并未直接考察线索对认知负荷的影响, 因此仅从间接角度支持了认知负荷理论。总之, 本研究或直接或间接地支持了注意引导假说、图文整合假说和认知负荷理论, 线索可能通过信息选择、组织和整合的方式来降低学习者的外在认知负荷, 从而保证对学习材料良好的识记和理解效果。

需要指出的是, 从效应量上来看, 本研究发现线索在保持测验成绩上的效应量更大, 而在迁移测验成绩上的效应量相对较小, 这暗示线索可能更有利于促进学习者对多媒体学习材料的浅层识记或回忆。先前部分研究也发现类似结果(Jamet, 2014; Jamet et al., 2008; Kühl et al., 2012)。而近期, 国内外研究者均有对线索在保持和迁移测验成绩上的作用进行综述, 结果只有不到半数的研究发现线索能够促进迁移测验成绩(De Koning et al., 2009; 王福兴等, 2013)。因此, 相比保持测验成绩, 线索尽管在对内容的深层理解上可能有一定的促进作用, 但该作用仍相对有限。对此, 可能的解释是, 线索的作用更重要地体现在早期对学习材料中相关信息的注意引导或选择上, 而后期更深层的理解和迁移任务涉及到对元素间交互作用的推理以及更为精细的心理模型(elaborated mental model)的建构, 这往往不是普通的线索力所能及的(De Koning et al., 2009; Kühl et al., 2012)。

4.2 线索效应的边界条件

从调节效应检验的结果来看, 线索效应存在一

定的边界条件, 主要体现在线索类型、学习材料动态性、知识类型以及学科属性等因素的影响上, 而非学习材料的呈现通道、呈现步调和学习者的教育水平, 因此部分验证了调节效应的研究假设。

线索类型在迁移测验成绩上对线索效应起到了调节作用, 时空线索($g = 0.73$)对迁移测验成绩的促进作用比物理线索($g = 0.31$)更大, 即时空线索更能提高学习者对材料的深层理解。从以往研究来看, 与物理线索相比, 时空线索除了具备注意引导功能之外, 还可更好地向学习者提供知识的内在组织关系, 帮助学习者建构知识之间的内在联系, 促进知识的迁移(Seufert & Brünken, 2006)。例如: Boucheix 和 Lowe (2010)采用随动画渐进的时空线索发现, 该线索不仅提供了钢琴工作的时间进程, 同时也明确标示了钢琴各部件的空间运动方向, 有利于学习者从时空维度更好地把握材料的核心内容, 因此促进了深层理解效果。意外的是, 在注视时间和注视次数上发现了与之相反的调节作用, 即物理线索条件下的注视时间比时空线索更长, 注视次数更多。那么, 为什么时空线索的注意引导作用并不比物理线索强, 却对迁移测验成绩的促进作用更大? 对此, 可能存在如下解释: 注意引导固然对实现有效学习起到重要作用, 但并非最为关键的作用(Scheiter & Eitel, 2015)。相比而言, 物理线索更多地从知觉水平(perceptual level)上引导了注意, 但不能保证认知水平(cognitive level)上的有效加工。然而如前所述, 时空线索同时还强调了材料元素间的内在组织关系等, 有利于对材料的深层理解。

学习材料动态性是影响线索有效性的重要因素之一。相比而言, 静态学习材料中的线索显著提高了保持测验成绩($g = 0.62$)和迁移测验成绩($g = 0.47$), 而动态学习材料中则没有发现线索在学习效果上的显著作用。这与以往部分研究结果一致(Heiser & Tversky, 2006; Liu et al., 2013)。例如: Kriz 和 Hegarty (2007)发现加入线索并没有促进动态材料(冲水箱)的学习, 但 Jian 等人(2014)将其学习材料改为静态后, 却发现线索提高了学习者的测验成绩。不过, 在注意引导(注视时间和注视次数)上, 学习材料动态性则未显著调节线索效应。学习材料动态性在学习效果和注意引导上的调节作用的差异, 可能是由于线索在静态和动态学习材料中的组织、整合功能不同所致。尽管动、静态学习材料中的线索都起到了注意引导的作用, 但相比而言, 动态学习材料往往更为复杂(van Merriënboer & Sweller, 2005), 一定程度上可

能阻碍了线索对材料的进一步组织和整合, 不利于学习, 而静态学习材料则与之相反。

知识类型是影响线索效应的另一重要因素。相比程序性知识, 线索在陈述性知识中更能促进保持测验成绩($g = 0.57$)和迁移测验成绩($g = 0.38$)。从知识习得的角度来看, 尽管陈述性知识的习得速度相对较快, 但由于其更为抽象, 图文信息心理表征的建构更为困难, 因此遗忘速度也较快, 不利于学习者稳固地识记和理解, 因此需借助一定指导性教学技术才可能进一步促进图文信息之间的组织和整合。这得到许多线索技术相关研究结果的支持(Ibrahim, 2011; Kühl et al., 2012)。而程序性知识是关于“怎么做”的动态知识, 相比而言更为具体, 图文信息心理模型的建构更加精细, 需要的认知资源相对较少, 因此加入线索后的促进作用并不如陈述性知识那样明显(Moreno, 2007)。

此外, 线索效应一定程度上还受学科属性的影响, 但更多体现在对学习材料的识记上。具体表现为, 理科($g = 0.49$)和工科($g = 0.64$)材料中的线索对保持测验成绩的促进作用较文科($g = 0.21$)更大。这可能与学习材料的元素交互性有关。相比文科材料, 理工科材料通常为解释某一科学现象或者事物工作的原理, 例如心血管系统(De Koning et al., 2010a)、钢琴工作原理(Boucheix & Lowe, 2010)等, 具有较高的元素交互性(Ginns, 2006)。线索的加入则有利于弥补高元素交互性的缺陷, 降低学习过程中的认知负荷, 促进学习(Jeung et al., 1997)。

4.3 研究不足与展望

本研究主要存在以下不足之处: (1)仅分析了线索在多媒体环境(画面+语词)中的作用及其调节因素, 并未考虑线索在其他学习环境中的影响, 例如纯文本(仅语词)的阅读学习环境(Jin, 2013; Lorch, Lorch, & Klusewitz, 1995), 而学习环境因素的差异也可能是线索效应的另一重要调节变量。(2)主效应检验中的眼动指标样本量以及调节效应检验中部分变量的样本量较少或分配不均, 可能影响线索效应及其边界条件的分析结果。(3)未探讨经验水平这一学习者因素的重要作用。现有研究往往在被试选取上刻意控制了先验知识经验, 基本倾向于选择低经验被试(Boucheix et al., 2013; Crooks et al., 2012; De Koning et al., 2007, 2011a), 因此一定程度上限制了对该因素的调节效应分析。

线索研究在多媒体学习中不仅具有重要的理论意义, 还具有较强的教学实践价值。例如: 在多

媒体教学材料设计过程中,建议合理地加入线索以促进对信息的选择、组织和整合,降低认知负荷,特别是当学习材料属于静态、陈述性或理工科时,更应加入线索以使学习效果最优化;从重视最终学习成绩(特别是迁移成绩)的角度来看,教学设计时鼓励加入时空线索(而非物理线索)以更好地提高学习者对材料的理解深度。未来研究可考虑从以下角度深入开展:(1)继续采用眼动技术考察线索在不同条件下的注视加工作用,同时注重探讨眼动注视和学习效果之间的相互关系(Boucheix & Lowe, 2010; Scheiter & Eitel, 2015),这样既可深入了解线索对学习过程中注意分配模式的影响,也可为后续元分析提供充足的数据来源;(2)重视探讨不同的学习环境、学习材料、学习者经验水平等其他潜在调节变量对线索作用的影响,从而考察线索效应的其他边界条件;(3)尽管本元分析在某些潜在的调节变量(如:学习材料的呈现通道、呈现步调)上并未得出显著的调节效应,但这不应成为后续研究继续探讨这些变量的绊脚石,未来研究亦可从其他改进的角度(如:采用更为严格的实验设计)对这些变量的作用进行深入挖掘。

5 结论

研究得出如下结论:(1)线索的加入确实有助于促进学习者对多媒体学习材料的识记和理解效果,表现为更好的保持测验成绩和迁移测验成绩,同时线索也引导了学习者的注意分配,增加了对线索区的注视时间和注视次数。(2)线索效应一定程度上受到线索类型、学习材料动态性、知识类型、学科属性等因素的调节。

致谢: 特别感谢中国科学院心理研究所李会杰副研究员在论文手稿准备期间对于元分析技术的建议和指导!感谢华中师范大学刘华山教授对元分析参数设置和分析方法的建议!

参 考 文 献

- *为纳入元分析文献
- Adesope, O. O., & Nesbit, J. C. (2012). Verbal redundancy in multimedia learning environments: A meta-analysis. *Journal of Educational Psychology, 104*(1), 250–263.
- *Amadiou, F., Mariné, C., & Laimay, C. (2011). The attention-guiding effect and cognitive load in the comprehension of animations. *Computers in Human Behavior, 27*(1), 36–40.
- *Arslan-Ari, I. (2013). *Examining the effects of cueing and prior knowledge on learning, mental effort, and study time in a complex animation* (Unpublished doctoral dissertation). Texas Tech University.
- Ayres, P., & Paas, F. (2007). Making instructional animations more effective: A cognitive load approach. *Applied Cognitive Psychology, 21*(6), 695–700.
- *Berthold, K., & Renkl, A. (2009). Instructional aids to support a conceptual understanding of multiple representations. *Journal of Educational Psychology, 101*(1), 70–87.
- Borenstein, M., Hedges, L. V., Higgins, J. P. T., & Rothstein, H. R. (2009). *Introduction to meta-analysis*. Chichester, UK: Wiley.
- Boucheix, J.-M., & Guignard, H. (2005). What animated illustrations conditions can improve technical document comprehension in young students? Format, cueing and control of the presentation. *European Journal of Psychology of Education, 20*(4), 369–388.
- *Boucheix, J.-M., & Lowe, R. K. (2010). An eye tracking comparison of external pointing cues and internal continuous cues in learning with complex animations. *Learning and Instruction, 20*(2), 123–135.
- *Boucheix, J.-M., Lowe, R. K., Putri, D. K., & Groff, J. (2013). Cueing animations: Dynamic signaling aids information extraction and comprehension. *Learning and Instruction, 25*, 71–84.
- Clark, R. C., & Mayer, R. E. (2011). *E-learning and the science of instruction: Proven guidelines for consumers and designers of multimedia learning* (3rd ed.). San Francisco, CA: John Wiley & Sons.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Cooper, H. M. (1989). *Integrating research: A guide for literature reviews* (2nd ed.). Newbury Park, CA: Sage.
- *Crooks, S. M., Cheon, J., Inan, F., Ari, F., & Flores, R. (2012). Modality and cueing in multimedia learning: Examining cognitive and perceptual explanations for the modality effect. *Computers in Human Behavior, 28*(3), 1063–1071.
- *De Koning, B. B., Tabbers, H. K., Rikers, R. M. J. P., & Paas, F. (2007). Attention cueing as a means to enhance learning from an animation. *Applied Cognitive Psychology, 21*(6), 731–746.
- De Koning, B. B., Tabbers, H. K., Rikers, R. M. J. P., & Paas, F. (2009). Towards a framework for attention cueing in instructional animations: Guidelines for research and design. *Educational Psychology Review, 21*(2), 113–140.
- *De Koning, B. B., Tabbers, H. K., Rikers, R. M. J. P., & Paas, F. (2010a). Attention guidance in learning from a complex animation: Seeing is understanding? *Learning and Instruction, 20*(2), 111–122.
- *De Koning, B. B., Tabbers, H. K., Rikers, R. M. J. P., & Paas, F. (2010b). Learning by generating vs. receiving instructional explanations: Two approaches to enhance attention cueing in animations. *Computers & Education, 55*(2), 681–691.
- *De Koning, B. B., Tabbers, H. K., Rikers, R. M. J. P., & Paas, F. (2011a). Attention cueing in an instructional animation: The role of presentation speed. *Computers in Human Behavior, 27*(1), 41–45.
- *De Koning, B. B., Tabbers, H. K., Rikers, R. M. J. P., & Paas, F. (2011b). Improved effectiveness of cueing by self-explanations when learning from a complex animation. *Applied Cognitive Psychology, 25*(2), 183–194.
- Duval, S., & Tweedie, R. (2000). Trim and fill: A simple funnel-plot-based method of testing and adjusting for publication bias in meta-analysis. *Biometrics, 56*(2), 455–463.
- Egger, M., Smith, G. D., Schneider, M., & Minder, C. (1997). Bias in meta-analysis detected by a simple, graphical test. *BMJ, 315*(7109), 629–634.
- Fitzhugh, S. L. (2012). *The coherence formation model of illustrated text comprehension: A path model of attention to multimedia text* (Unpublished doctoral dissertation). Temple

- University, Philadelphia.
- Folker, S., Ritter, H., & Sichelschmidt, L. (2005). Processing and integrating multimodal material-The influence of color-coding. In B. G. Bara, L. Barsalou, & M. Bucciarelli (Eds.), *Proceedings of the 27th Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp. 690–695). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Franco, A., Malhotra, N., & Simonovits, G. (2014). Publication bias in the social sciences: Unlocking the file drawer. *Science*, 345(6203), 1502–1505.
- Ginns, P. (2006). Integrating information: A meta-analysis of the spatial contiguity and temporal contiguity effects. *Learning and Instruction*, 16(6), 511–525.
- Grant, E. R., & Spivey, M. J. (2003). Eye movements and problem solving: Guiding attention guides thought. *Psychological Science*, 14(5), 462–466.
- Hedges, L. V. (1981). Distribution theory for Glass's estimator of effect size and related estimators. *Journal of Educational and Behavioral Statistics*, 6(2), 107–128.
- *Heiser, J., & Tversky, B. (2006). Arrows in comprehending and producing mechanical diagrams. *Cognitive Science*, 30(3), 581–592.
- Higgins, J. P. T., Thompson, S. G., Deeks, J. J., & Altman, D. G. (2003). Measuring inconsistency in meta-analyses. *BMJ*, 327(7414), 557–560.
- Höfler, T. N., & Leutner, D. (2007). Instructional animation versus static pictures: A meta-analysis. *Learning and Instruction*, 17(6), 722–738.
- *Huk, T., Steinke, M., & Floto, C. (2003). *Helping teachers developing computer animations for improving learning in science education*. Proceedings of the Society for Information Technology and Teacher Education, Albuquerque, USA.
- *Huk, T., Steinke, M., & Floto, C. (2010). The educational value of visual cues and 3D-representational format in a computer animation under restricted and realistic conditions. *Instructional Science*, 38(5), 455–469.
- Hyyönä, J. (2010). The use of eye movements in the study of multimedia learning. *Learning and Instruction*, 20(2), 172–176.
- *Ibrahim, M. (2011). *Effects of segmenting, signaling, and weeding on learning from educational video* (Unpublished doctoral dissertation). Oklahoma State University.
- *Imhof, B., Scheiter, K., Edelman, J., & Gerjets, P. (2013). Learning about locomotion patterns: Effective use of multiple pictures and motion-indicating arrows. *Computers & Education*, 65, 45–55.
- *Jamet, E. (2014). An eye-tracking study of cueing effects in multimedia learning. *Computers in Human Behavior*, 32, 47–53.
- *Jamet, E., Gavota, M., & Quaireau, C. (2008). Attention guiding in multimedia learning. *Learning and Instruction*, 18(2), 135–145.
- *Jarodzka, H., van Gog, T., Dorr, M., Scheiter, K., & Gerjets, P. (2013). Learning to see: Guiding students' attention via a model's eye movements fosters learning. *Learning and Instruction*, 25, 62–70.
- Jeung, H. J., Chandler, P., & Sweller, J. (1997). The role of visual indicators in dual sensory mode instruction. *Educational Psychology*, 17(3), 329–345.
- *Jian, Y.-C., Wu, C.-J., & Su, J.-H. (2014). Learners' eye movements during construction of mechanical kinematic representations from static diagrams. *Learning and Instruction*, 32, 51–62.
- Jin, S.-H. (2013). Visual design guidelines for improving learning from dynamic and interactive digital text. *Computers & Education*, 63, 248–258.
- *Johnson, A. M., Ozogul, G., & Reisslein, M. (2015). Supporting multimedia learning with visual signalling and animated pedagogical agent: Moderating effects of prior knowledge. *Journal of Computer Assisted Learning*, 31(2), 97–115.
- Kalyuga, S., Ayres, P., Chandler, P., & Sweller, J. (2003). The expertise reversal effect. *Educational Psychologist*, 38(1), 23–31.
- *Kalyuga, S., Chandler, P., & Sweller, J. (1999). Managing split-attention and redundancy in multimedia instruction. *Applied Cognitive Psychology*, 13(4), 351–371.
- *Kriz, S., & Hegarty, M. (2007). Top-down and bottom-up influences on learning from animations. *International Journal of Human-Computer Studies*, 65(11), 911–930.
- *Kühl, T., Scheiter, K., & Gerjets, P. (2012). Enhancing learning from dynamic and static visualizations by means of cueing. *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*, 21(1), 71–88.
- Kuppens, S., Laurent, L., Heyvaert, M., & Onghena, P. (2013). Associations between parental psychological control and relational aggression in children and adolescents: A multilevel and sequential meta-analysis. *Developmental Psychology*, 49(9), 1697–1712.
- *Lin, L. J. (2011). *Learning with multimedia: Are visual cues and self-explanation prompts effective?* (Unpublished doctoral dissertation). Arizona State University.
- Lin, L. J., & Atkinson, R. K. (2011). Using animations and visual cueing to support learning of scientific concepts and processes. *Computers & Education*, 56(3), 650–658.
- *Liu, T. C., Lin, Y. C., & Paas, F. (2013). Effects of cues and real objects on learning in a mobile device supported environment. *British Journal of Educational Technology*, 44(3), 386–399.
- Lorch, R. F., Lorch, E. P., & Klusewitz, M. A. (1995). Effects of typographical cues on reading and recall of text. *Contemporary Educational Psychology*, 20(1), 51–64.
- Lowe, R. K., & Boucheix, J.-M. (2010). Attention direction in static and animated diagrams. In A. Goel, M. Jamnik & N. H. Narayanan (Eds.), *Diagrammatic representation and inference* (Vol. 6170, pp. 250–256). Berlin Heidelberg: Springer.
- Lowe, R. K., & Boucheix, J.-M. (2011). Cueing complex animations: Does direction of attention foster learning processes? *Learning and Instruction*, 21(5), 650–663.
- *Mautone, P. D., & Mayer, R. E. (2001). Signaling as a cognitive guide in multimedia learning. *Journal of Educational Psychology*, 93(2), 377–389.
- *Mautone, P. D., & Mayer, R. E. (2007). Cognitive aids for guiding graph comprehension. *Journal of Educational Psychology*, 99(3), 640–652.
- Mayer, R. E. (2009). *Multimedia learning* (2nd ed.). New York: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. (2010). Unique contributions of eye-tracking research to the study of learning with graphics. *Learning and Instruction*, 20(2), 167–171.
- *Moreno, R. (2007). Optimising learning from animations by minimising cognitive load: Cognitive and affective consequences of signalling and segmentation methods. *Applied Cognitive Psychology*, 21(6), 765–781.
- *Ozcelik, E., Arslan-Ari, I., & Cagiltay, K. (2010). Why does signaling enhance multimedia learning? Evidence from eye movements. *Computers in Human Behavior*, 26(1), 110–117.
- *Ozcelik, E., Karakus, T., Kursun, E., & Cagiltay, K. (2009). An eye-tracking study of how color coding affects multimedia learning. *Computers & Education*, 53(2), 445–453.
- Powers, M. B., Zum Vörde Sive Vörding, M. B., & Emmelkamp, P. M. G. (2009). Acceptance and commitment therapy: A meta-analytic review. *Psychotherapy and Psychosomatics*, 78(2), 73–80.
- *Reisslein, J., Johnson, A. M., & Reisslein, M. (2015). Color

- coding of circuit quantities in introductory circuit analysis instruction. *IEEE Transactions on Education*, 58(1), 7–14.
- Rothstein, H. R., Sutton, A. J., & Borenstein, M. (2005). *Publication bias in meta-analysis: Prevention, assessment and adjustments*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- *Scheiter, K., & Eitel, A. (2010). The effects of signals on learning from text and diagrams: How looking at diagrams earlier and more frequently improves understanding. In A. K. Goel, M. Jamnik, & N. H. Narayanan (Eds.), *Diagrammatic representation and inference* (pp. 264–270). Berlin Heidelberg: Springer.
- *Scheiter, K., & Eitel, A. (2015). Signals foster multimedia learning by supporting integration of highlighted text and diagram elements. *Learning and Instruction*, 36, 11–26.
- *Seufert, T., & Brünken, R. (2006). Cognitive load and the format of instructional aids for coherence formation. *Applied Cognitive Psychology*, 20(3), 321–331.
- *Skuballa, I. T., Schwonke, R., & Renkl, A. (2012). Learning from narrated animations with different support procedures: Working memory capacity matters. *Applied Cognitive Psychology*, 26(6), 840–847.
- *Spanjers, I. A. E., van Gog, T., Wouters, P., & van Merriënboer, J. J. G. (2012). Explaining the segmentation effect in learning from animations: The role of pausing and temporal cueing. *Computers & Education*, 59(2), 274–280.
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. G. W. C. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, 10(3), 251–296.
- Tabbers, H. K., & De Koeijer, B. (2010). Learner control in animated multimedia instructions. *Instructional Science*, 38(5), 441–453.
- *Tabbers, H. K., Martens, R. L., & van Merriënboer, J. J. G. (2000). *Multimedia instructions and cognitive load theory: Split-attention and modality effects*. Paper presented at the National Convention of the Association for Educational Communications and Technology, Long Beach, CA.
- *Tabbers, H. K., Martens, R. L., & van Merriënboer, J. J. G. (2004). Multimedia instructions and cognitive load theory: Effects of modality and cueing. *British Journal of Educational Psychology*, 74(1), 71–81.
- Tversky, B., Morrison, J. B., & Betrancourt, M. (2002). Animation: Can it facilitate? *International Journal of Human-Computer Studies*, 57(4), 247–262.
- Tze, W. L., & Sazilah, S. (2012). The effects of visual cues and learners' field dependence in multiple external representations environment for novice program comprehension. *Journal of Interactive Learning Research*, 23(2), 165–189.
- van Gog, T., & Scheiter, K. (2010). Eye tracking as a tool to study and enhance multimedia learning. *Learning and Instruction*, 20(2), 95–99.
- van Merriënboer, J. J. G., & Sweller, J. (2005). Cognitive load theory and complex learning: Recent developments and future directions. *Educational Psychology Review*, 17(2), 147–177.
- Wang, F. X., Duan, Z. H., & Zhou, Z. K. (2013). Attention guidance in multimedia learning: The role of cueing. *Advances in Psychological Science*, 21(8), 1430–1440.
- [王福兴, 段朝辉, 周宗奎. (2013). 线索在多媒体学习中的作用. *心理科学进展*, 21(8), 1430–1440.]
- *Wang, F. X., Duan, Z. H., Zhou, Z. K., & Chen, J. (2015). The spatial contiguity effect in multimedia learning: The role of cueing. *Acta Psychologica Sinica*, 47(2), 224–233.
- [王福兴, 段朝辉, 周宗奎, 陈珺. (2015). 邻近效应对多媒体学习中图文整合的影响: 线索的作用. *心理学报*, 47(2), 224–233.]
- *Zhao, H. H. (2013). *Expertise effect in picture-text integration of multimedia learning: Evidence from eye movement* (Unpublished master's thesis). Central China Normal University, Wuhan.
- [赵欢欢. (2013). 多媒体学习中图-文整合的经验效应: 基于眼动的研究(硕士学位论文). 华中师范大学, 武汉.]
- *Zhou, J. (2014). *Effect of visuospatial cue on animation learning: Evidence from eye movement* (Unpublished master's thesis). Central China Normal University, Wuhan.
- [周洁. (2014). 视觉空间线索对动画学习的影响: 来自眼动的证据(硕士学位论文). 华中师范大学, 武汉.]
- *Zou, Q. (2013). *The effects of internal and external cues on multimedia learning: Evidences from eye movements* (Unpublished master's thesis). Central China Normal University, Wuhan.
- [邹琴. (2013). 内外部线索对多媒体学习效果的影响: 来自眼动的证据(硕士学位论文). 华中师范大学, 武汉.]

Cueing effect in multimedia learning: A meta-analysis

XIE Heping¹; WANG Fuxing¹; ZHOU Zongkui¹; WU Peng²

(¹ Key Laboratory of Adolescent Cyberpsychology and Behavior, Ministry of Education; School of Psychology, Central China Normal University, Wuhan 430079, China) (² School of Education, Hubei University, Wuhan 430415, China)

Abstract

Cueing is an important instructional design technique to improve learning performance in multimedia learning. Recently, researchers focus on whether cueing could guide learners' attention or facilitate learning outcomes. However, there is still no consistent conclusion about cueing effect of guiding attention, organization and integration in multimedia learning. In this study, we conducted a meta-analysis to investigate the effects of cueing on learning performance (e.g. retention and transfer test), attention guiding (e.g. fixation time and fixation count of cued areas), and moderating factors (e.g. physical and spatial-temporal cues, declarative and procedural knowledge, dynamic and static presentation, and subjects of learning materials).

We used key words (e.g. cue, cueing, signaling, attention guidance, multimedia learning, animation, eye tracking, eye movement) to search literatures in database and got 43 related empirical studies. Forty-four

independent effect sizes (3910 participants) were included in retention tests-related meta-analysis while 41 independent effect sizes (3906 participants) were included in transfer tests-related meta-analysis. Fourteen independent effect sizes (938 participants) were included in fixation-time-related meta-analysis while eleven independent effect sizes (816 participants) were included in fixation-count-related meta-analysis to test the attention-guiding effect of cueing. According to the characteristics of studies about cueing effect, we reasonably chose random-effects model as meta-analysis model. CMA2.0 was used to test the independent effect sizes. Finally, the impact of publication bias was tested to guarantee a more convincing conclusion.

The results showed that cueing could significantly improve learning outcomes of retention test ($g = 0.53$, 95% CI = [0.36, 0.69]) as well as transfer test ($g = 0.36$, 95% CI = [0.23, 0.49]). At the same time, learners' fixation time ($g = 0.50$, 95% CI = [0.30, 0.71]) and fixation count ($g = 0.70$, 95% CI = [0.43, 0.97]) of cueing areas attracted much more attention than uncued areas. This result supported the attention guiding hypothesis of cueing in multimedia learning. Moderator analyses indicated that cueing effect in learning outcomes was mainly moderated by types of cueing, dynamism of materials, subjects of materials and types of knowledge. Specifically, cueing resulted in higher retention and transfer scores in conditions of static materials and declarative knowledge rather than dynamic materials and procedural knowledge. Compared with the materials in liberal arts, cueing effect in retention test was weaker than that in science or engineering. In addition, spatial-temporal cues performed much better than physical cues in transfer test. However, in regard to attention-guiding, cueing effect was mainly moderated by cueing types itself. Fixation time was longer and fixation count was more in the condition of physical cues than spatial-temporal cues.

The observed strong cueing effect suggested that presenting cues rationally can indeed improve learners' memorization and comprehension of knowledge as well as distribution of attention. Physical and spatial-temporal cues, declarative and procedural knowledge, dynamic and static presentation, and subjects of learning materials may act as important moderate variables in cueing effect in multimedia learning. The meta-analysis of moderator factors supported the boundary hypothesis of multimedia learning principles (Mayer, 2010). Limitations and future research were also discussed in this study.

Key words cueing effect; learning outcome; attention-guiding; boundary condition; multimedia learning; meta-analysis