

物理环境对认知负荷和学习的影响： 认知负荷新模型探讨

[荷] 焕彩熙¹ 杰伦·J.G.·范梅里恩伯尔² 弗莱德·帕斯¹

(1. 伊拉斯姆斯大学 心理学研究所, 荷兰; 2. 马斯特里赫特大学 教育发展与研究系, 荷兰)

[摘要] 认知负荷理论框架承认学习环境的作用, 然而从理论和实证两个角度看, 物理学习环境对认知负荷的具体特征尚未涉及。本文研究了物理学习环境对认知负荷的影响, 认为它是教学有效性的决定因素, 同时对帕斯和范梅里恩伯尔 20 余年前提出的“认知负荷模型”进行更新, 将物理学习环境看成是独立的因果要素, 与学习者特征、学习任务特征或两者结合后产生互动。本文还探讨了前人有关物理学习环境对认知能力影响的研究, 以及对新的认知负荷研究的启发, 并对该领域未来研究方向提出了设想。

[关键词] 认知负荷理论; 物理学习环境; 教学设计

[中图分类号] G443

[文献标识码] A

[文章编号] 1007-2179(2018)01-0054-14

一、引言

帕斯和范梅里恩伯尔(Paas & Van Merriënboer, 1994a)的认知负荷构建模型认为学习者特征、学习任务特征及两者交互作用是导致认知负荷产生的主要因素。假设有两组学生学习解决一种新型的复杂问题, 一组通过解决常规问题学习, 另一组通过研究精心设计的样例学习。每组既有对问题相关领域有一定了解的学生, 也有无任何背景知识的学生。基于认知负荷理论(Paas et al., 2003a, 2004; Sweller et al., 1998, 2011), 进行关于学习者特征(即先前知识)、学习任务特征(即常规问题与样例)和两者交互作用(应用“专长反转效应”)(Kalyuga et al., 2003)的理论和实证研究, 不难预测两组学习者在各自条件下的认知负荷与学习表现。

然而, 如果预先知道学生不得不在嘈杂环境中学习, 基于认知负荷理论会预测到什么? 虽然物理环境特征(如高噪声或高温)会影响认知负荷和学习, 但基于认知负荷理论进行预测依旧困难。事实上, 除了在物理学习环境中处理与任务无关细节的研究外(Plass et al., 2013; Rey, 2012, 2014), 在认知负荷研究中物理环境的作用很大程度被忽视了。

本文旨在重新认识环境在一般认知负荷模型中的作用。第一部分回顾了帕斯和范梅里恩伯尔(Paas & Van Merriënboer, 1994a)提出的初始认知负荷模型。该模型描述了任务特征、学习任务特征及两者交互作用是认知负荷的因果因素。第二部分提出了调整模型。该模型通过重新定义“环境”一词, 将物理学习环境特征和学习任务的特点分开, 并将物理学习环境视作认知负荷的独立因果因素。第三

[收稿日期] 2017-03-21

[修回日期] 2017-10-17

[DOI 编码] 10.13966/j.cnki.kfjyyj.2018.01.006

[基金项目] 浙江省教师专业发展项目“互联网+背景下行业英语翻转课堂的 ARCS 教学设计研究”(FX2017099)。

[作者简介] 焕彩熙, 博士候选人, 荷兰伊拉斯姆斯大学心理学研究所; 杰伦·J.G.·范梅里恩伯尔, 教授, 国际著名教学设计专家, 荷兰马斯特里赫特大学教育发展与研究系; 弗莱德·帕斯, 教授, 荷兰伊拉斯姆斯大学心理学研究所, 澳大利亚卧龙岗大学早期开端研究所兼职研究人员, 国际著名认知科学研究专家。

[译者简介] 熊媛, 讲师, 浙江商业职业技术学院国际交流学院, 研究方向: 外语教育学(19698326@qq.com); 盛群力, 教授, 浙江大学教育学院课程与学习科学系, 研究方向: 教学理论与设计(qlsheng57@126.com)。

部分探讨物理环境对认知负荷和学习的影响, 区分了认知效应、生理效应和情感效应。第四部分讨论物理环境变化如何对认知负荷和学习产生积极影响, 并区分了任务与环境的相互作用、学习者与环境的相互作用, 以及任务、学习者和环境三者之间的交互。第五部分和最后一节讨论了调整模型的理论、实践意义及局限性。

二、认知负荷结构的初始模型

认知负荷理论 (Ayres & Paas 2012; Paas et al., 2003a, 2004; Paas & Sweller, 2012; Paas & Van Merriënboer, 1994a; Sweller et al., 1998; Van Merriënboer & Sweller, 2005, 2010) 是基于人类认知结构知识的理论框架。该架构由长时记忆和工作记忆组成。与长时记忆相反, 工作记忆在容量 (Cowan, 2001; Miller, 1956) 和持续时间 (Peterson & Peterson, 1959) 方面受到严格限制。人在 20 秒内最多可以记住五到九个信息元素, 如果这些信息元素相互交织, 能记住的更少。处理不熟悉的信息时, 工作记忆的限制远远低于复杂认知任务提出的要求; 如果没有长时记忆, 人类认知架构只能处理相对容易的认知任务。然而, 当处理长时记忆认知图式中的熟悉信息时, 工作记忆的限制会被消除。认知图式通过将多个元素合并或组合成为具有特定功能的单个元素, 来存储和组织知识。图式中的元素合并意味着, 当图式从长时记忆转到工作记忆管理行为时只需处理一个元素。人们通过将较低级别图式组成的元素组合成更高级别的图式 (即图式构建), 并不断迭代, 构建越来越多的复杂图式, 提高学业表现。如果学习过程持续时间很长, 那么图式可能会包含大量信息。这些图式的自动化 (即图式熟练)、无意识处理, 进一步减少了工作记忆的负担 (即认知负荷)。因为一个图式可以被工作记忆加工为单个元素, 或者在熟练之后被无意识地运用 (即绕过工作记忆), 所以加工长时记忆中存储的先前学习的信息时, 工作记忆的限制在知识渊博的学习者身上消失了。因此, 一旦信息存储在长时记忆中, 工作记忆就可以处理超过之前容量的复杂材料。

认知负荷理论提出了两种主要的认知负荷类别, 即内在负荷和外在负荷 (Paas et al., 2003b)。内在认知负荷由学习任务的属性决定 (即相互作用

的信息元素的数量), 而外在认知负荷则由学习任务的呈现方式决定 (即教学设计)。外在认知负荷对学习可能无效 (即外部认知负荷) 或有效 (即关联认知负荷)。这一版本的认知负荷理论 (Kalyuga, 2011; Sweller, 2010; Sweller et al., 2011; Leppink et al., 2013; Leppink et al., 2014) 只区别了内在认知负荷和外在认知负荷。新的区别是增加关联负荷的假设, 内在负荷的增加通过在学习任务中添加交互元素实现。增加关联负荷, 包括增加练习 (实践) 问题的变异度 (Paas & Van Merriënboer, 1994b) 或是添加样例的操作信息 (Van Gog et al., 2006)。在这个新概念中, 分配用于处理内在认知负荷的工作记忆资源被称为“相关资源”。

帕斯和范梅里恩伯尔 (Paas & Van Merriënboer, 1994a) 提出的认知负荷结构的初始模型 (见图 1), 区分了认知负荷的因果因素与评估因素, 即影响认知负荷的因素和可用来评估认知负荷的因素。认知负荷可以在心理负荷、心理努力和绩效维度上加以量化。根据帕斯和范梅里恩伯尔 (Paas & Van Merriënboer, 1994a) 的观点, 基于心理负荷的认知负荷评估以任务为中心, 是独立于主体的维度。心理努力是以人为中心的维度, 指由学习者实际分配的用以适应任务需求的能力或资源。基于心理努力的认知负荷评估反映了学习者参与的受控加工量 (Schneider & Shiffrin, 1977; Shiffrin & Schneider, 1977)。因此, 该假设反映了学习者与学习任务特点之间的相互作用。此外, 学业水平也可用于评估认知负荷。付出精力少但学业表现好的学习者比耗

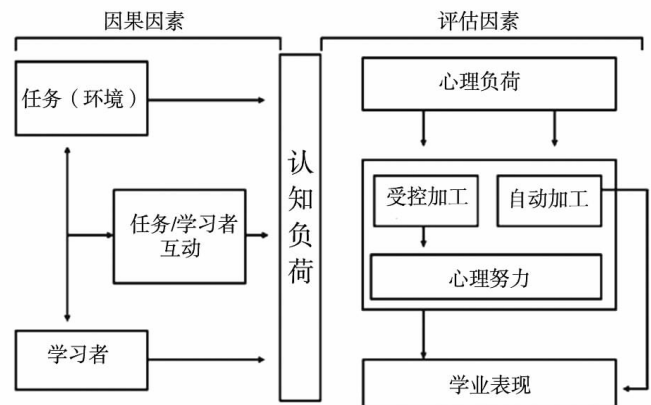


图 1 认知负荷结构的初始模型 (Paas & Van Merriënboer, 1994a)

时多且失误多的学习者认知负荷低。

因果因素包括任务(环境)特征、学习者特征及两者的交互作用。需注意的是,在真实学习环境中,没有学习者就没有学习活动,没有学习活动也就没有学习者。所以尽管可以单独给学习者和学习任务的特征下定义,但实际上两者总是相互关联。实验设计中,研究者可以仅操纵一个因素,同时保持另一个恒定。在一些认知负荷理论研究中,学习者特征是不变的,因为参与者是同一特征的群体,被随机分配到只有学习任务特征不同的实验条件中(如常规问题解决与样例研究)。据我们所知,目前的认知负荷理论研究尚没有保持学习任务恒定而学习者特征变化的。其他的认知负荷理论研究则聚焦学习任务特征与学习者特征之间的交互作用。最显著的例子是任务特征与学习者专业知识之间的相互作用的研究,这涉及“专长反转效应”(Kalyuga et al., 2003; Kalyuga et al., 2012)、学习任务特征和学习者年龄(Paas et al., 2001; Van Gerven et al., 2006)等。

认知负荷理论研究所考虑的任务特征主要与实践问题有关。早期多数认知负荷研究仅关注任务的特点,其结论有:自由目标效应(Ayres, 1993; Sweller, 1988)、样例效应(Paas & Van Merriënboer, 1994b; Sweller, 1988)、补全效应(Paas, 1992; Van Merriënboer, 1990; Van Merriënboer & De Croock, 1992)和变异效应(Paas & Van Merriënboer, 1994b)。认知负荷研究涉及的学习者特征有专业知识(Kalyuga et al., 2003; Kalyuga et al., 2012)、年龄(Paas et al., 2001; Van Gerven et al., 2006)、激励(Paas et al., 2005)和情感(Fraser et al., 2012)等。

三、认知负荷新模型探讨

帕斯和范梅里恩伯尔(Paas & Van Merriënboer, 1994a)的初始模型将任务特征归类为由学习任务和 Lernumgebung 赋予的认知需求。学习任务与学习者特征的相互影响在多数研究中被视为认知负荷的因果因素(见图 1 模型的左侧部分),物理学习环境的影响却未被纳入其中。类似的,认知负荷效应的相关评估(即评估因素,见图 1 模型的右半部分)仅研究了学习任务和学习者特征之间的关系,并未考虑物理学习环境。

新的认知负荷模型需要描述学习材料或呈现学

习内容的物理环境的物理特性。因此,我们认为在确定认知负荷的环境因素时,应主要考虑环境的物理特性,重新定义狭义任务特征的概念意义(例如,内在任务难度或者教学设计风格),将“学习任务”与“学习环境”分开考虑。为了实现这一点,我们提出了如图 2 所示的认知负荷结构调整模型。

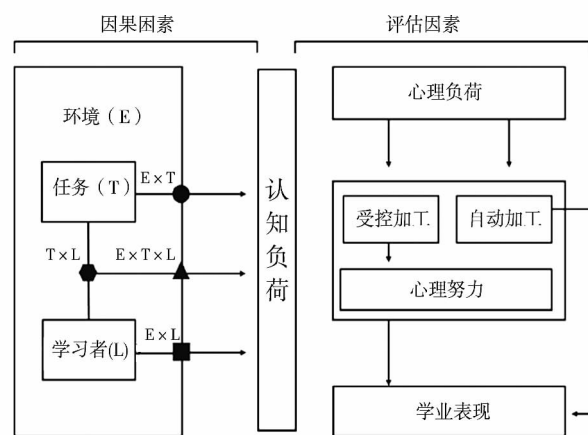


图 2 认知负荷结构的调整模型

●代表物理学习环境(E)和学习任务(T)之间的双向互动;■代表物理学习环境(E)和学习者(L)之间的双向互动;●代表学习任务(T)和学习者(L)之间的双向互动;▲代表物理学习环境(E)、学习任务(T)和学习者(L)三者之间的互动。

在调整模型中,学习任务和 Lernumgebung 被分解成独立的因素。为了避免歧义,调整模型采用“物理学习环境”这一表述,而不是“环境”或“学习环境”。基于学习任务是学习者在 Lernumgebung 中进行的这一假设,我们可以将物理学习环境描述为包含任务和学习者特征的因素(见图 2 的左侧部分)。物理学习环境指教学和学习场所的全部物理属性,包括学习材料或工具的物理特性(如纹理、颜色、尺寸、形状、重量和声音)、建筑环境的物理属性(如体积、密度、照明、内部布置和冷热条件)、自然空间和他人存在,涵盖了人类感觉可以感知到的环境的感官刺激,即视觉、听觉、嗅觉、味觉、触觉、温度和平衡。调整模型在狭义上重新定义了任务特征,即内在任务难度、任务类型或根据任务环境概念区分的教学材料中的教学设计方式,虽然新的因素与任务特征及学习者相互作用,但与因果因素——“学习任务”明显

分离。

需要注意的是, 实践中将物理学习环境和学习任务区分开并不容易。例如, 在机房中用计算机开展学习, 也可称之为基于计算机的学习环境。这种情况下, 基于计算机的学习环境主要指计算机化的学习任务, 以及计算机屏幕的背景颜色和学习者使用的桌椅的物理特性, 甚至是机房的物理特性。此外, 环境的一些要素(即工具和其他物件)在学习过程中应被视为学习任务的一部分。例如, 听诊器和病人不仅仅是医学生学习如何对患者进行胸部听诊的环境。同样, 如果允许学习者使用袖珍计算器解决数学问题, 那么计算器就不仅仅是环境中的物理对象, 也应被视为学习工具, 作为任务的重要组成部分。此外, 有些教学设计包括的环境要素不是学习任务的重要部分。诱惑性细节或一致性效应 (Moreno & Mayer, 2000; Plass et al., 2013; Rey, 2012; Um et al., 2012; Rey, 2014), 指的是实现学习目标的非实质辅料干扰, 但这些辅助材料(如音乐和插图)有时也是由教学设计师设计的环境刺激。

物理环境中的一些元素实际上属于任务的认知领域这一观点使一些研究人员断言, 认知可以扩展到大脑之外, 分布于任务中的人和物上 (Beer, 2000; Clark & Chalmers, 1998; Wilson, 2002)。“分布式认知”(distributed cognition)的假设表明, 认知过程不仅存在于大脑内部, 而且分布于个体和物理环境中 (Clark & Chalmers, 1998)。物理环境中的工具, 如袖珍计算器和白板, 可用作外部认知处理器, 收集和分享个人与协作学习中的知识 (Dillenbourg & Traum, 1997)。当学习者想轻松解决问题或长时间保留信息时, 普通教室中的学习辅助工具, 如铅笔、纸、袖珍计算器和白板, 可用作卸载工具。如果学习任务对认知要求高(如长时间训练)或解决方法不良(如不使用计算器计算多个数字), 那么学习者可以将部分认知任务卸载到物理环境中的工具上, 从而高效运用有限的认知资源 (Wilson, 2002)。

如何更进一步, 尤其是在认知负荷理论框架内, 研究环境对学习的影响? 虽然在认知负荷理论背景下没有考虑物理学习环境特征所赋予的认知负荷的实证研究, 但在认知负荷理论研究之外存在大量关于物理环境对行为、态度和师生表现影响的研究

(Evans, 2006; Jamieson et al., 2000; Mendell & Heath, 2005; Rivlin & Weinstein, 1984; Tanner, 2000, 2008; Weinstein, 1979)。总体来说, 环境对认知处理的影响可以通过以下事实阐明: 对同一对象的感知会因其呈现的环境而不同。例如, 艾宾浩斯 (Titchener, 1901, p. 169, 图 52-3) 创造的视幻觉表明, 同一个中心圆被较大的圆环包围比被较小的圆环包围时显得更小。相似的研究有从亮度、重量、温度、响度和风味的视角观测环境对认知的影响 (如 Anderson & Winawer, 2005; Marks et al., 2012)。

虽然环境因素是否影响学习和如何影响学习的研究成果丰富, 但鲜有物理学习环境影响认知机制的理论研究。本文认为认知负荷理论框架为特定教学设计的教学效果提供了基于人类认知架构的解释, 诠释了前人研究结果并提供了新的研究思路。下面讨论物理环境对认知负荷和学习的影响。

四、物理环境的影响

研究表明, 物理环境对认知负荷和学习的影响有三种: 认知效应、生理效应和情感效应。需留意的是, 由于复杂的多维度特征, 确定物理学习环境对学习的影响并非易事 (Higgins et al., 2005)。物理学习环境对学习者的认知、生理和情感的影响是紧密相连的 (Evans & Stecker, 2004)。

(一) 物理学习环境的认知效应

实证研究清楚表明, 源于物理学习环境的刺激会增加学习者工作记忆的负荷。无论视觉、听觉, 还是噪声都可视作一种典型的无关紧要的环境刺激, 这些刺激消耗了学习者认知过程中极有限的工作记忆资源。在法医心理学领域, 环境在认知表现中的作用的实证示例被发现了。通过闭目排除来自环境的不相关刺激可以减少无效的工作记忆负荷, 并通过释放用于监测环境的工作记忆资源, 改善目击者记忆任务的表现 (Vredeveldt et al., 2011)。格兰博格等人 (Glenberg et al., 1998) 在视觉系统中提供了类似现象的另一示范。该示例显示, 受试者在认知困难的任务中如果不将目光注视周边环境, 可以改善记忆提取。事实上, 转移注视已被视为管理与视觉环境信息处理相关的工作记忆负荷的一种方式 (Doherty-Sneddon & Phelps, 2005)。无关言语效应 (Salamé & Baddeley, 1982, 1986) 是听觉系统中此类

现象的一个众所周知的例子, 指即时测试中来自不相关听觉项目(如背景语音或白噪声)的干扰。吉赛尔加德及其同事(Gisselgard et al., 2003; Gisselgard et al., 2004)使用正电子发射断层扫描发现, 无关听觉刺激(伪词语音或白噪声)影响的神经生理反应与工作记忆功能相关的脑区域的活化增加或减少有关。

物理学习环境对认知的影响可以从语境依存的记忆视角来看, 即当(物理)学习和测试环境相似时记忆表现更好(SM Smith & Vela, 2001)。记忆检索通常是将传入的环境信息与由该信息驱动的“记忆网络”相结合的结果(Tulving & Thomson, 1973)。由于自动(无意识)目标情境的介入, 环境刺激(如气味、颜色和位置)被编码为记忆痕迹(即认知图式)的一部分, 并可用作情境线索来检索相同环境中的其他信息。戈登和巴德利(Godden & Baddeley, 1980)研究了情境对记忆的影响, 通过让深海潜水员在旱地或水下学习和检索词汇表来操纵情境, 结果出现了编码特异性效应, 即水下习得的词汇在水下进行记忆测试结果更好, 同样, 旱地学习的词在旱地测试的结果更好。关于听觉特征, 格兰特等人(Grant et al., 1998)发现, 学习和测试之间的听觉条件相匹配(即安静对安静和嘈杂对嘈杂)时的记忆表现优于不匹配的听觉条件(即安静对嘈杂或嘈杂对安静)。除了视觉和听觉情境线索外, 萨斯等(Suss et al., 2012)证明, 嗅觉情境线索同样会影响学习成绩。

与认知负荷理论观点一致, 大家认为应该尽量减少甚至消除物理环境因素的负面影响对工作记忆产生的外在负荷。虽然学习者能够通过抑制过程从信息加工循环圈中排除不相关的环境刺激, 因其对工作记忆的执行施加了负荷, 这种情况最好不出现(Smith & Jonides, 1999)。关于学习的情境依附问题, 最理想的是学习发生的情境应该优先模拟其将要测试的情境; 如果做不到这一点, 最好将学习安排在各种变式情境中进行, 以利于在新的情境中实现迁移(Paas & Van Merriënboer, 1994b)。

(二) 物理学习环境的生理影响

物理环境可以通过生理因素影响认知负荷和学习。例如, 通过动脉血氧饱和度了解物理学习环境的冷热条件对学习表现的影响。动脉血氧饱和度的

数量与认知表现的质量正相关(Scholey et al., 1999)。基于急性缺氧(如高海拔登山的氧缺乏)的负面影响对人类学习和认知的研究(Kramer et al., 1993), 我们认为空气质量和学习环境的冷热可以通过与氧气相关的生理机制影响个人的学习表现。蓝等人(Lan et al., 2011)的研究也支持这一假设。他们发现在较热的办公环境(30摄氏度)中, 参与者的动脉血氧饱和度较低, 相比温度适中的办公环境(22摄氏度)时不太愿意付出努力。另一个环境直接影响生理的例子与食物对血糖水平的影响有关。例如, 通过葡萄糖饮料提高血糖水平, 可以改善认知任务的表现, 尤其是需要精心处理的认知任务(Scholey et al., 2001)。血糖水平、血氧饱和度和认知表现之间的正相关性可以解释为大脑的代谢需要。也就是说, 困难的认知过程中任务敏感的神经机制对氧和葡萄糖的需求会增加(Scholey et al., 1999; Turner & Carroll, 1985)。

很明显, 学习环境的冷热会对认知表现产生直接的生理影响。然而, 其他因素对认知的影响是生理的还是由其他过程介入的并不明晰。其中一个例子就是灯光对学习环境的影响。一些研究表明, 灯的色温(如暖白与冷白)和亮度(如300与1500Lx)对认知表现有影响(Hygge & Knez, 2001; Knez & Hygge, 2002)。这种影响可能是生理的, 但也可能是由情感情绪变化引起的。

(三) 物理学习环境的情感效应

物理学习环境对学习的影响可以从对学习者的情感影响的角度考虑。假定高品质的物理学习环境(如新鲜空气和合适的教室温度)会对学习者的情感产生积极影响, 他们更愿意投入精力学习。该观点将精神状态、情绪或动机视作物理学习环境和学习表现之间关系的媒介(Erez & Isen, 2002; Uline & Tschannen-Moran, 2008)。埃文斯和莱波雷(Evans & Lepore, 1993)为噪声对儿童的情感和学习表现的非听觉影响提供了证据。例如, 在嘈杂教室环境中的儿童比安静教室环境中的孩子更有可能放弃拼图任务(Cohen et al., 1980)。埃文斯和斯特克(Evans & Stecker, 2004)的研究表明, 噪音可能降低动机, 产生无助感, 从而导致较差的学习结果。

关于学习环境具体物理特征的象征意义, 解释层次的理论观点(the construal level theory perspec-

tive) (Trope & Liberman, 2010) 提供了空间距离对学习效果影响的有趣证据。证据表明, 在判断、感知和识别远端物体或事件时, 人们倾向于使用抽象的心理表征策略; 反过来, 对近端物体或事件使用具体的心理表征 (Bar-Anan et al., 2006; Fujita et al., 2006)。例如, 佳等人 (Jia et al., 2009) 调查了空间距离对创造性认知和洞察问题解决的影响。在两个实验中, 参与者被分配到近距离或远距离小组, 要求执行解决问题的任务, 并被告知任务是远处的还是近处的。当创造性任务从远处而不是近处分配时, 参与者的创造力得到了发挥, 在需要创意和洞察力的问题解决任务上表现更好。因此, 距离的情境因素似乎在物理学习环境特征的社会意义与认知表现的关系中发挥作用。

对不同课堂环境中空间距离, 人们依据物理距离作为维持社会距离的策略选择座位 (Gump, 1980; Mehrabian, 1969; Schwebel & Cherlin, 1972)。教室座位安排的研究表明, 分配到前排和各排中心的学习者比中间、后排和两侧位置的学习者参与更多 (Montello, 1988; Sommer, 1967), 且更专注学习活动 (Marx et al., 1999)。亚当等 (Adam & Galinsky, 2012) 近期的研究表明, 物理特征 (即服装的象征意义) 会影响学习者的认知表现。穿戴实验室服装的参与者在选择性注意任务上的表现优于日常着装的参与者。

认知负荷理论为理解物理学习环境的具体特征的情感影响提供了理论框架。在初始模型中, 帕斯和范梅里恩伯尔 (Paas & Van Merriënboer, 1994a) 提到, 受试者与任务 (环境) 的相互作用可以通过相对不稳定的因素 (如学习者的动机) 影响认知负荷。当前认知负荷的动机观 (Paas et al., 2005) 认为, 糟糕的物理学习环境会影响学习者的情绪状态, 如不适感, 从而降低学习者将认知资源分配给学习任务的意愿, 并对学习产生负面影响。反过来, 管理良好的或高质量的物理学习环境对学习者的认知资源分配给学习任务产生积极影响并促进学习。弗雷泽及其同事的研究 (Fraser et al., 2011; Fraser et al., 2012; Smith & Ayres, 2014) 为情绪对认知负荷的影响提供了实证支持。在医学院模拟学习期间, 经历过模拟死亡的学生比模拟幸存的学生认知负荷高。关于学习材料的情感设计对认知负荷的影响, 乌姆

及其同事 (Um et al., 2012; Plass et al., 2013) 发现, 在多媒体学习材料中使用美观的设计 (如呈现人脸型的教学代理人) 可以使学习者产生积极的情绪和情感, 降低对任务难度的感知。

关于学习者的焦虑, 现有研究表明, 特定类型的学习和测试环境会使学生焦虑, 损害注意力的有效运行, 导致工作记忆失败的干扰性思考, 从而使工作记忆容量偏离主要任务 (Eysenck & Calvo, 1992; Eysenck et al., 2007)。汉考克 (Hancock, 2001) 发现, 在频繁采用评价的课堂中, 学生表现不佳, 动机差, 对于考试易焦虑的学生而言, 这种影响更为显著。贝洛克等人 (Beilock, 2010) 认为, 小学女教师的数学焦虑对女生的数学成绩产生了负面影响。他们发现, 老师对数学的焦虑与女生对“男生精于数学, 而女生长于阅读”这一常见刻板印象的支持正相关。此外, 认同这种刻板印象的女生在整个学年数学学习投入少。如果我们将学校教师视为学习环境的一部分, 很明显, 学习环境会影响学生的焦虑、认知负荷和学习。

五、通过改变物理环境管理认知负荷

如果接受物理学习环境是学习者工作记忆负荷的独立来源, 那么就可以通过管理学习者的认知负荷改善学习。我们的新模型 (见图 2) 表明, 认知负荷管理应该考虑认知负荷 (即物理环境、任务和学习者) 的三个因果因素之间的双向和三向交互作用。这些因素相互作用补充了已知的认知负荷效应, 并为研究提供了新思路。

(一) E × T: 物理环境与任务之间的相互作用

物理环境和学习任务之间的相互作用表明, 教学技术的有效性 (例如, 解决问题与样例学习) 因物理学习环境的特征 (如噪声水平) 而不同, 反之, 也说明为了管理认知负荷, 物理学习环境 (如墙壁的颜色) 的具体变化因任务类型而不同甚至产生反转效果 (如创造性问题解决与记忆容量任务)。

样例效应 (Paas & Van Merriënboer, 1994b; Van Gerven et al., 2002) 指的是, 对新手学生而言, 通过研习对等设计的样例比解决传统问题的学习效果要好得多。研究是否有更合适的物理学习环境进行样例学习或解决等效问题是一件有意思的事情。解决问题的缺陷可以通过管理物理学习环境的具体特征

来弥补。格里戈里·佩雷尔曼(Grigori Perelman)的事例证明了这一观点。这位世界知名的数学家因解决了数学大难题庞加莱猜想,赢得了菲尔兹奖(但他拒绝了)。为了解决这个难题,他住进了树林。据他说,树林的环境有助于创造性解决问题。

现有研究聚焦物理学习环境的具体特征对创造性解决问题的影响,并提供了依据。麦科伊和埃文斯(McCoy & Evans, 2002)研究了物理学习环境对创新思维的影响。他们假设,在解决某项特定任务时,人们喜欢具有某些特征的物理环境。他们鉴别了促进创意表现的一些环境特征,包括视觉细节的复杂性、自然环境(参见佩雷尔曼住进树林提升创造力的轶事)、使用天然材料和适量运用冷色调。与预期一致,他们的研究显示这些特征对创意表现的积极影响。同样,祝和同事提出,不同颜色(红色与蓝色)(Mehta & Zhu, 2009)、噪音级别(70dB 对高85dB/低50dB)(Mehta et al., 2012)和天花板的高度(高与低)(Meyers-Levy & Zhu, 2007),可以激活不同类型的认知任务(即详细具体任务与创造性任务)。他们发现,蓝色、中等噪音和高天花板提高了创意任务的表现,而红色、低噪音和低天花板改善了细致或具体任务的表现。他们还发现,高天花板激活了与自由相关的概念,改善了关系处理,而低天花板激活了与限制相关的概念,改进了特定项目处理。在实验中,两个房间的天花板高度从10英尺降至8英尺。至于颜色的影响,他们就不同颜色对不同认知任务表现的影响进行了系列研究。在记忆任务或校对任务中,红色条件下的参与者表现得比蓝色条件好,而对于创造性任务,结果却相反。他们解释说,红色和蓝色可以引发学习者的不同动机;红色(让人联想到停止或警告)激活回避动机,可以改善细节导向任务的表现,与之相对,蓝色(让人想起海洋或天空),可以激活动机,并提高创意任务的表现。关于噪声等级,他们发现,噪声增大引起分心,导致更高的构象水平与抽象处理,从而增强创造力。更有趣的是,与低级别噪声相比,中高级别噪声导致更抽象的处理,仅中等级别噪声增强创造力,因为高级别噪声会降低信息处理的程度。基于这些研究发现,典型的教室(即具有相对较低的天花板的安静或喧嚣的房间)不是创造性解决问题的最有利环境,更理想的物理环境可以促进创造力。梅塔等人

(Mehta et al., 2012)的研究结果实际上已经在网络/移动应用程序中实现,为环境增加理想的白噪声(如咖啡馆的声音),可以促进创意思维(参见 <http://www.coffitivity.com>)。

乍一看,中级别噪声对创造性任务的积极影响似乎与减少外来负荷的概念相冲突。然而,在认知负荷理论的背景下,也可能与诱惑性细节的存在相关。一些诱惑性细节(如插图、声音效果等)是教学设计的一部分,因此应该被视为任务的一部分,另一些细节既不是教学设计本身也与学习目标无关。虽然后一种类型的诱惑性细节是物理环境的一部分,但它仍可能影响认知负荷和学习。雷伊(Rey, 2012)的综述表明,有些诱惑性细节可能会吸引注意,增加外部认知负荷,而其他一些诱惑性细节可以增强学习者的兴趣,帮助他们投入更多的精力(参见“合理的难度”)(Bjork, 1994)。适度的噪声可视为一个诱惑性细节或合理的难度,帮助学生在在学习上投入更大努力。对诱惑性细节还有待进一步研究,了解其是否真的对认知负荷和学习产生影响。此外,合理难度(即外部负荷)的有效性会因任务类型(如数学问题解决与头脑风暴)而有所不同。

(二)E×L:物理环境与学习者之间的相互作用

研究者发现,与“人与环境匹配观”(Nielsen & Moos, 1978)相一致,学习者首选学习与他在该环境下的成绩存在密切关系;与非优选环境相比,学习者在优选环境中表现更好(Hattie & Watkins, 1988; Wong & Watkins, 1996)。有趣的是,王和沃特金斯(Wong & Watkins, 1996)也发现,低自我监控个体的学习者与环境适应性的影响比高自我监控个体更为显著,因为后者更容易适应不同环境。可以想象,在学习者的专业知识与环境特征之间有类似的相互作用(参见“专长反转效应”)。例如,采用模拟装置学习时,经验丰富的学习者在大量无关节的高保真环境中学习最好(因为他们可以忽略不相关细节,并从模拟环境与真实环境的相似中获益),而经验缺乏的学习者最好在相关细节少的低保真度环境中(因为他们不能忽略这些细节)(Kirschner & Van Merriënboer, 2013)。

关于学习者的焦虑,杜瓦利比和舒默(Dowaliby & Schumer, 1973)将大学生的焦虑在以学习者为中心的环境和以教师为中心的环境下进行了比较。他

们发现,高焦虑学生在以教师为中心的环境中表现更好,低焦虑学生在以学习者为中心的环境中表现更好。这一结果支持了学习者与环境要相适应的理念,低焦虑学生适合以学习者为中心的环境以及圆形或正方形的座位安排,而高焦虑学生适合以教师为中心的环境以及秧田式位置安排。

总的来说,前人研究表明,学习者的具体特征(如年龄、性别和知识背景)可以使他们对环境更加敏感。普遍认同的是,年轻学习者对物理学习环境比成人更敏感。多尔蒂·斯内登等人(Doherty-Sneddon et al., 2002)发现,当环境变得越来越苛刻时,八岁以下的小学生不能像大龄儿童那样有效管理认知资源。具体地说,与低龄儿童相比,大龄儿童和成人(Glenberg et al., 1998)在回答难题比回答简单题目时更容易避开老师的面孔。此外,就广义而言,文化差异会影响学习者特征,可以调和物理环境对学习的影响。亚历山大(Alexander, 2001)指出,典型的教室物理设置,如照明或座位安排由于教育理念的不同因国而异。在这方面,梅塔和朱(Mehta & Zhu, 2009)也提到,同一种颜色对认知任务的影响有不同的文化关联(例如,红色在中国与幸福有关,在美国却是兴奋和危险)。

(三)E × T × L: 物理环境、任务和学习者之间的相互作用

有研究者(Knez & Enmarker, 1998; Knez & Kers, 2000)从室内照明对情绪和认知表现的性别和年龄相关影响研究中推导出三方互动的例子。科内子和克斯(Knez & Kers, 2000)发现室内照明的色温差异如同性别和年龄一样,影响情绪和认知表现。较年轻的成年人在“温暖”的白光照明中呈现消极情绪,老年人在“清冷”的白光照明中也表现出同样情绪。如果假设情绪与投入认知资源意愿之间存在正相关关系(学习者心情越积极,就越愿意投入认知资源)(Paas et al., 2005),由此可推测这些效果与任务的复杂性相互作用,即在暖色白光照明条件下,年轻的成年人在复杂任务中的表现比在冷色白光照明条件下更好,而对于老年人,则可以作出相反的预期。

认知负荷研究中一个众所周知的相互作用是“专长反转效应”(Kalyuga et al., 2012)。该效应表明,新手学习者从样例学习中比从解决等效问题中

学得更多,领域经验丰富的学习者从解决问题中比研究等效的样例中学得多。那么问题是,进一步加强新手学习者样例价值的物理学习环境,是否会与经验丰富的学习者进一步加强解决问题的价值有所不同?回到格里戈里·佩雷尔曼的事例:作为数学领域的天才,他的创造性问题解决因进入树林而获利。由此可见,对于数学领域的新手学生,在教室里研究样例,由于干扰较少,会比进入树林获益更多。虽然我们不熟悉现有的这种三方交互的研究,但这为认知负荷研究人员开辟了新的研究议程。当这项研究从具有丰富实证证据的任务——学习者互动(如专长反转效应)开始时,情况尤其如此。

另一个新发现的认知负荷效应是“分布式认知范式”(distributed cognition paradigm),称为“集体工作记忆效应”(the collective working memory effect)(Kirschner et al., 2009, 2011a)。该效应可用于提供三方交互的范例。当个体经历较低的认知负荷并通过协作工作取得较好的学习成果时,集体工作记忆效应就会产生。有趣的是,合作工作或独立工作可被视为物理环境的变化。基尔希纳等的研究(Kirschner, 2009, 2011a)表明,一组学习者可被视为协同工作记忆的集合,学习者共享工作记忆负荷在执行复杂认知任务时比个体学习者表现更好。此外,他们的研究也表明,在简单的学习任务中,个体学习比协作学习的学业成就高,因为沟通需要相对高的认知成本,个体学习不需要沟通。基尔希纳等(Kirschner, 2011b)的研究表明,新手学习者在学习阶段通过合作解决问题开展学习,比协作样例学习的效果更好,个体学习则会出现相反的结果。有趣的是,瑞特闹缇等(Retnowati et al., 2010)进行了类似研究,发现相比问题解决团队,通过样例学习的学习者获益更多。这些研究反映了学习任务特征(样例学习与问题解决)与物理学习环境(个人与集体)之间的双向交互。研究中如果增加学习者的特征,如学习者的专业知识,探索三方互动会更有趣。

六、讨论

迄今为止,认知负荷理论的研究人员很少关注物理学习环境对认知负荷和学习的影响。在实验中,物理环境通常被视为保持恒定的控制变量。本文的主要目的是证明物理学习环境应该被视作认知

负荷中明显的因果因素, 与学习者特征和学习任务特征相互作用。我们提出了认知负荷构建的调整模型(见图2), 确定了三个不同因果因素对认知负荷的交互影响。关键问题不仅在于物理环境、学习和学业表现之间存在因果关系, 更重要的是是否可以通过认知负荷的视角解释物理学习环境的影响, 以及设计的物理学习环境是否会对认知负荷和学习产生积极影响。认知负荷理论认为, 由于人类工作记忆的容量和持续时间限制, 管理学习者的认知负荷是学习的关键问题。从认知负荷理论的角度来说, 如果物理环境是认知负荷的因果因素, 那么它可以在认知负荷管理中发挥作用, 可被视作学习和学业表现的决定因素。

认知负荷调整模型的理论含义在于通过将物理学习环境纳入认知负荷的因果因素来扩展认知负荷理论。然而, 这种扩展的意义只能通过实证研究揭示物理学习与学习者的特征和/或学习任务之间的相互作用。这需要一种新的研究方法进行测试该模型, 并确定物理学习环境对认知负荷、学习过程和学业表现的影响。参照认知负荷理论的学习效率的概念(Paas et al., 2005; Paas & Van Merriënboer, 1993), 如果心理努力程度低而学业表现好, 那么相应的物理学习环境可被视作认知高效。

此外, 已有研究还缺少直接测试物理学习环境的具体特征是否可以通过减少外在负荷或增加关联负荷来管理学习中的认知负荷。认知负荷测量可用于识别对现有物理学习环境的直接和短期认知反应, 与其他因素如生理情况可能引起的影响区分开来。有趣的是, 作为认知负荷的因果因素的物理学习环境的识别有助于阐明关联负荷的概念。关联负荷的新概念将其定义为分配用于处理内在认知负荷(Kalyuga, 2011; Sweller, 2010)的相关工作记忆资源, 通过添加工作记忆中的互动元素(如从长时记忆或情境)增加内在负荷。果真如此的话, 物理环境也可以通过引入中等级别的噪声(Mehta et al., 2012)施加关联认知负荷, 这时就需要重新界定关联负荷的概念, 因为噪声不可能增加工作记忆中互动元素的数量。

另一有趣的问题是, 认知负荷的调整模型是否与工作记忆的演变解释相一致(Paas & Sweller, 2012; Sweller, 2008)。吉尔里(Geary, 2008)区分了

生物初级知识和生物次级知识。所谓初级知识(如学习说话)是物种为了适应生存历经几代进化而来的, 次级知识(如学习数学)不是进化获得文化的重要知识。生物学上的初级知识受到工作记忆限制的影响远小于生物次级知识。帕斯和斯威勒(Paas & Sweller, 2012)提出, 几种认知负荷效应依赖于生物学上的初级知识来促进生物次级知识的获取。相关效应的例子在协作学习环境中大量存在, 学习者使用生物上初级的沟通技巧分享彼此之间学习任务施加的总认知负荷(Paas & Sweller, 2012)。类似机制在“生存处理范式”中起作用(Nairne & Pandeirada, 2010; Otgaar & Smeets, 2010)。该范式对参与者处理“基于适合度场景”(fitness-based scenarios)的针对性记忆能力进行了测试。例如, 奈恩等(Nairne & Pandeirada, 2010; Weinstein et al., 2008)研究表明, 参与者在原始环境(草原)处理针对性记忆的效果比在现代城市环境好。虽然这些研究没有测量认知负荷, 但可推测原始环境对工作记忆的负荷比现代环境低。

当前的研究存在一定局限性, 主要涉及用于证实物理环境在认知负荷和学习中发挥作用的范例的限制。本文的局限在于只关注物理环境对学习的短期影响, 忽略了学习者对物理环境的生理反应, 还可能存在长期影响。例如, 有研究发现, 长期接触重金属或有毒物质会对儿童的认知发展, 比如智商(Evans, 2006; Needleman et al., 1979)产生负面影响。洪等人(Hong et al., 2013)发现, 暴露在双酚A环境中的学习行为容易引发学习障碍。在1089名8-10岁的儿童中, 从学习障碍的规模看, 双酚A的尿液水平与学商(Learning quotient)负相关。范例有限反映了教育研究领域的现状, 很难找到控制得宜的研究来说明物理环境对认知负荷和学习的作用。相关研究还有待进一步深入。

总之, 将物理学习环境视为影响认知负荷和学习的一个独立因素, 是有充分依据的。本文提出了一种新的认知负荷模型, 清楚表明了物理学习环境的变化可以减轻对教学的影响及其对认知负荷和学习的影响。新模型为认知负荷理论开辟了新的研究路线, 不仅具有理论上的重要性, 而且有助于学习环境的设计。

(翻译: 熊媛 盛群力)

[资料来源]

Hwan-Hee, C., Jeroen, J. G., van Merriënboer & Paas, F. (2014). Effects of the physical environment on cognitive load and learning: Towards a new model of cognitive load[J]. *Educational Psychology Review* (26): 225-244. DOI 10.1007/s10648-014-9262-6. 本文翻译经作者授权。

[参考文献]

[1] Adam, H., & Galinsky, A. D. (2012). Enclothed cognition [J]. *Journal of Experimental Social Psychology*, (48): 918-925. doi: 10.1016/j.jesp.2012.02.008.

[2] Alexander, R. J. (2001). *Culture and pedagogy: International comparisons in primary education* [M]. Oxford: Blackwell.

[3] Anderson, B. L., & Winawer, J. (2005). Image segmentation and lightness perception[J]. *Nature*, (434): 79-83. doi:10.1038/nature03271.

[4] Ayres, P. (1993). Why goal-free problems can facilitate learning[J]. *Contemporary Educational Psychology*, (18): 376-381. doi:10.1006/ceps.1993.1027.

[5] Ayres, P., & Paas, F. (2012). Cognitive load theory: new directions and challenges[J]. *Applied Cognitive Psychology*, (26): 827-832. doi:10.1002/acp.2882.

[6] Bar-Anan, Y., Liberman, N., & Trope, Y. (2006). The association between psychological distance and construal level: Evidence from an implicit association test[J]. *Journal of Experimental Psychology*, (35(4)): 609. doi:10.1037/0096-3445.

[7] Beer, R. D. (2000). Dynamical approaches to cognitive science[J]. *Trends in Cognitive Sciences*, (4): 91-99. doi: 10.1016/S1364-6613(99)01440-0.

[8] Beilock, S. L., Gunderson, E. A., Ramirez, G., & Levine, S. C. (2010). Female teachers' math anxiety affects girls' math achievement[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, (107): 1860-1863. doi:10.1073/pnas.0910967107.

[9] Bjork, R. A. (1994). Memory and meta-memory considerations in the training of human beings[A]. In Metcalfe & A. Shimamura (Eds.), *Metacognition: knowing about knowing*[C]. Cambridge, MA: MIT Press: 185-205.

[10] Clark, A., & Chalmers, D. (1998). The extended mind [J]. *Analysis*, (58): 7-19. doi:10.1093/analysis/58.1.7.

[11] Cohen, S., Evans, G. W., Krantz, D. S., & Stokols, D. (1980). Physiological, motivational, and cognitive effects of aircraft noise on children; Moving from the laboratory to the field[J]. *American Psychologist*, (35): 231-243. doi:10.1037/0003-066X.35.3.231.

[12] Cowan, N. (2001). The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity[J]. *Behavioral and Brain Sciences*, (24): 87-114. doi:10.1017/S0140525X01003922.

[13] Dillenbourg, P., & Traum, D. (1997). The role of a whiteboard in a distributed cognitive system[EB/OL]. Paper presented at the

Swiss workshop on collaborative and distributed systems, Lausanne, Switzerland, May 1st 1997. Retrieved on January, 15, 2014. From <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.21.1042&rep=rep1&type=pdf>.

[14] Doherty-Sneddon, G., & Phelps, F. G. (2005). Gaze aversion: A response to cognitive or social difficulty[J]. *Memory & Cognition*, (33): 727-733. doi:10.3758/BF03195338.

[15] Doherty-Sneddon, G., Bruce, V., Bonner, L., Longbotham, S., & Doyle, C. (2002). Development of gaze aversion as disengagement from visual information[J]. *Developmental Psychology*, (38): 438-445. doi:10.1037/0012-1649.38.3.438.

[16] Dowaliby, F., & Schumer, H. (1973). Teacher-centered versus student-centered mode of college classroom instruction as related to manifest anxiety[J]. *Journal of Educational Psychology*, (64): 125. doi: 10.1037/h0034590.

[17] Erez, A., & Isen, A. M. (2002). The influence of positive affect on the components of expectancy motivation[J]. *Journal of Applied Psychology*, (87): 1055-1067. doi:10.1037/0021-9010.87.6.1055.

[18] Evans, G. W. (2006). Child development and the physical environment[P]. *Annual Review of Psychology*, (57): 423-451. doi:10.1146/annurev.psych.57.102904.190057.

[19] Evans, G. W., & Lepore, S. J. (1993). Nonauditory effects of noise on children: A critical review[J]. *Children's Environments*, (10): 31-51. doi:10.2307/41515250.

[20] Evans, G. W., & Stecker, R. (2004). Motivational consequences of environmental stress[J]. *Journal of Environmental Psychology*, (24): 143-165. doi:10.1016/S0272-4944(03)00076-8.

[21] Eysenck, M. W., & Calvo, M. G. (1992). Anxiety and performance: The processing efficiency theory[J]. *Cognition & Emotion*, (6): 409-434. doi:10.1080/02699939208409696.

[22] Eysenck, M. W., Derakshan, N., Santos, R., & Calvo, M. G. (2007). Anxiety and cognitive performance: attentional control theory[J]. *Emotion*, (7): 336-353. doi:10.1037/1528-3542.7.2.336.

[23] Fraser, K., Huffman, J., Ma, I., Wright, B., McIlwrick, J., & McLaughlin, K. (2011). Death of a manikin: Adverse effects on learning and mechanisms[J]. *CHEST Journal*, (140): 1024A-1024A. doi:10.1378/chest.1112887.

[24] Fraser, K., Ma, I., Teteris, E., Baxter, H., Wright, B., & McLaughlin, K. (2012). Emotion, cognitive load and learning outcomes during simulation training[J]. *Medical Education*, (46): 1055-1062. doi:10.1111/j.1365-2923.2012.04355.x.

[25] Fujita, K., Henderson, M. D., Eng, J., Trope, Y., & Liberman, N. (2006). Spatial distance and mental construal of social events[J]. *Psychological Science*, (17): 278-282. doi:10.1111/j.1467-9280.2006.01698.x.

[26] Geary, D. C. (2008). An evolutionarily informed education science [J]. *Educational Psychologist*, (43): 179-195. doi: 10.1080/00461520802392133.

[27] Gisselgard, J., Petersson, K. M., Baddeley, A. D., & Ing-

- var, M. (2003). The irrelevant speech effect: a PET study[J]. *Neuropsychologia*, (41): 1899-1911. doi: 10.1016/S0028-3932(03)00122-2.
- [28] Gisselgard, J., Petersson, K. M., & Ingvar, M. (2004). The irrelevant speech effect and working memory load[J]. *NeuroImage*, (22): 1107-1116. doi:10.1016/j.neuroimage.2004.02.031.
- [29] Glenberg, A. M., Schroeder, J. L., & Robertson, D. A. (1998). Averting the gaze disengages the environment and facilitates remembering[J]. *Memory & Cognition*, (26): 651-658. doi:10.3758/BF03211385.
- [30] Godden, D., & Baddeley, A. D. (1980). When does context influence recognition memory[J]. *British Journal of Psychology*, (71): 99-104. doi:10.1111/j.2044.8295.1980.tb02735.x.
- [31] Grant, H. M., Bredahl, L. C., Clay, J., Ferrie, J., Groves, J. E., McDorman, T. A., & Dark, V. J. (1998). Context dependent memory for meaningful material: information for students[J]. *Applied Cognitive Psychology*, (12): 617-623. doi:10.1002/(SICI)1099-0720(199812)12:6<617:AID-ACP542>3.0.CO;2-5.
- [32] Gump, P. V. (1980). The school as a social situation[P]. *Annual Review of Psychology*, (31): 553-582. doi:10.1146/annurev.ps.36.020185.000555.
- [33] Hancock, D. R. (2001). Effects of test anxiety and evaluative threat on students' achievement and motivation[J]. *Journal of Educational Research*, (94): 284-290. doi:10.1080/00220670109598764.
- [34] Hattie, J., & Watkins, D. (1988). Preferred classroom environment and approach to learning[J]. *British Journal of Educational Psychology*, (58): 345-349. doi:10.1111/j.2044-8279.1988.tb00910.x.
- [35] Higgins, S., Hall, E., Wall, K., Woolner, P., & McCaughey, C. (2005). The impact of school environments: A literature review. The Centre for Learning and Teaching, School of Education[R], Communication and Language Science, University of Newcastle. Retrieved on February 16, 2014. from <http://www.ncl.ac.uk/cflat/news/DCReport.pdf>.
- [36] Hong, S. B., Hong, Y. C., Kim, J. W., Park, E. J., Shin, M. S., Kim, B. N. (2013). Bisphenol A in relation to behavior and learning of school - age children[J]. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, (54): 890-899. doi:10.1111/jcpp.12050.
- [37] Hygge, S., & Knez, I. (2001). Effects of noise, heat and indoor lighting on cognitive performance and self reported affect[J]. *Journal of Environmental Psychology*, (21): 291-299. doi:10.1006/jev.2001.0222.
- [38] Jamieson, P., Fisher, K., Gilding, T., Taylor, P. G., & Trevitt, A. C. F. (2000). Place and space in the design of new learning environments[J]. *Higher Education Research and Development*, (19): 221-236. doi:10.1080/072943600445664.
- [39] Jia, L., Hirt, E. R., & Karpen, S. C. (2009). Lessons from a faraway land: The effect of spatial distance on creative cognition[J]. *Journal of Experimental Social Psychology*, (45): 1127-1131. doi:10.1016/j.jesp.2009.05.015.
- [40] Kalyuga, S. (2011). Cognitive load theory: How many types of load does it really need[J]. *Educational Psychology Review*, (23): 1-19. doi:10.1007/s10648-010-9150-7.
- [41] Kalyuga, S., Ayres, P., Chandler, P., & Sweller, J. (2003). The expertise reversal effect[J]. *Educational Psychologist*, (38): 23-31. doi:10.1207/S15326985ep3801_4.
- [42] Kalyuga, S., Rikers, R., & Paas, F. (2012). Educational implications of expertise reversal effects in learning and performance of complex cognitive and sensorimotor skills[J]. *Educational Psychology Review*, (24): 313-337. doi:10.1007/s10648-012-9195-x.
- [43] Kirschner, F., Paas, F., & Kirschner, P. A. (2009). A cognitive load approach to collaborative learning: United brains for complex tasks[J]. *Educational Psychology Review*, (21): 31-42. doi:10.1007/s10648-008-9095-2.
- [44] Kirschner, F., Paas, F., & Kirschner, P. A. (2011a). Task complexity as a driver for collaborative learning efficiency: The collective working-memory effect[J]. *Applied Cognitive Psychology*, (25): 615-624. doi:10.1002/acp.1730.
- [45] Kirschner, F., Paas, F., Kirschner, P. A., & Janssen, J. (2011b). Differential effects of problem-solving demands on individual and collaborative learning outcomes[J]. *Learning and Instruction*, (21): 587-599. doi:10.1016/j.learn.instruc.2011.01.001.
- [46] Kirschner, P. A., & Van Merriënboer, J. J. G. (2013). Do learners really know best Urban legends in education[J]. *Educational Psychologist*, (48): 169-183. doi:10.1080/00461520.2013.804395.
- [47] Knez, I., & Enmarker, I. (1998). Effects of office lighting on mood and cognitive performance and a gender effect in work-related judgment[J]. *Environment and Behavior*, (30): 553-567. doi:10.1177/001391659803000408.
- [48] Knez, I., & Kers, C. (2000). Effects of indoor lighting, gender, and age on mood and cognitive performance[J]. *Environment and Behavior*, (32): 817-831. doi:10.1177/0013916500326005.
- [49] Knez, I., & Hygge, S. (2002). Irrelevant speech and indoor lighting: effects on cognitive performance and self-reported affect[J]. *Applied Cognitive Psychology*, (16): 709-718. doi:10.1002/acp.829.
- [50] Kramer, A. F., Coyne, J. T., & Strayer, D. L. (1993). Cognitive function at high-altitude[J]. *Human Factors*, (35): 329-344. doi:10.1177/001872089303500208.
- [51] Lan, L., Wargocki, P., Wyon, D. P., & Lian, Z. (2011). Effects of thermal discomfort in an office on perceived air quality, SBS symptoms, physiological responses, and human performance[J]. *Indoor Air*, (21): 376-390. doi:10.1111/j.1600-0668.2011.00714.x.
- [52] Leppink, J., Paas, F., Van der Vleuten, C. P. M., Van Gog, T., & Van Merriënboer, J. J. G. (2013). Development of an instrument for measuring different types of cognitive load[J]. *Behavioral Research Methods*, (45): 1058-1072. doi:10.3758/s13428-013-0334-1.
- [53] Leppink, J., Paas, F., Van Gog, T., Van der Vleuten, C.

- P. M. , & VanMerriënboer, J. J. G. (2014). Effects of pairs of problems and examples on task performance and different types of cognitive load[J]. *Learning and Instruction*, (30) : 32-42. doi:10.1016/j.learninstruc.2013.12.001.
- [54] Marks, L. E. , Shepard, T. G. , Burger, K. , & Chakwin, E. M. (2012). Flavor intensity perception: effects of stimulus context [J]. *Physiology & Behavior*, (105) : 443-450. doi:10.1016/j.physbeh.2011.08.039.
- [55] Marx, A. , Fuhrer, U. , & Hartig, T. (1999). Effects of classroom seating arrangements on children's question asking[J]. *Learning Environments Research*, (2) : 249-263. doi: 10.1023/A:1009901922191.
- [56] McCoy, J. M. , & Evans, G. W. (2002). The potential role of the physical environment in fostering creativity[J]. *Creativity Research Journal*, (14) :409-426. doi:10.1207/S15326934CRJ1434_11.
- [57] Mehrabian, A. (1969). Significance of posture and position in the communication of attitude and status relationships[J]. *Psychological Bulletin*, (71) : 359-372. doi:10.1037/h0027349.
- [58] Mehta, R. , & Zhu, R. J. (2009). Blue or red Exploring the effect of color on cognitive task performances [J]. *Science*, (323) : 1226-1229. doi:10.1126/science.1169144.
- [59] Mehta, R. , Zhu, R. J. , & Cheema, A. (2012). Is noise always bad Exploring the effects of ambient noise on creative cognition [J]. *Journal of Consumer Research*, (39) : 784-799. doi: 10.1086/665048.
- [60] Mendell, M. J. , & Heath, G. A. (2005). Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance A critical review of the literature[J]. *Indoor Air*, (15) : 27-52. doi:10.1111/j.1600-0668.2004.00320.x.
- [61] Meyers-Levy, J. , & Zhu, R. J. (2007). The influence of ceiling height: The effect of priming on the type of processing that people use[J]. *Journal of Consumer Research*, (34) : 174-186.
- [62] Miller, G. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information[J]. *Psychological Review*, (63) : 81-97. doi:10.1037/h0043158.
- [63] Montello, D. R. (1988). Classroom seating location and its effect on course achievement, participation, and attitudes[J]. *Journal of Environmental Psychology*, (8) : 149-157. doi:10.1016/S0272-4944(88)80005-7.
- [64] Moreno, R. , & Mayer, R. E. (2000). A coherence effect in multimedia learning: The case for minimizing irrelevant sounds in the design of multimedia instructional messages[J]. *Journal of Educational Psychology*, (92) : 117-125. doi:10.1037//0022-0663.92.1.117.
- [65] Nairne, J. S. , & Pandeirada, J. N. S. (2010). Adaptive memory: Ancestral priorities and the mnemonic value of survival processing[J]. *Cognitive Psychology*, (61) : 1-22. doi:10.1016/j.cogpsych.2010.01.005.
- [66] Needleman, H. L. , Gunnoe, C. , Leviton, A. , Reed, R. , Peresie, H. , Maher, C. , & Barrett, P. (1979). Deficits in psychological and classroom performance of children with elevated dentine lead levels [J]. *The New England Journal of Medicine*, (300) : 689-695. doi:10.1056/NEJM197903293001301.
- [67] Nielsen, H. D. , & Moos, R. H. (1978). Exploration and adjustment in high school classrooms: A study of person environment fit [J]. *The Journal of Educational Research*, (72) : 52-57. doi:10.2307/27537177.
- [68] Otgaar, H. , & Smeets, T. (2010). Adaptive memory: Survival processing increases both true and false memory in adults and children[J]. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, (36) : 1010. doi:10.1037/a0019402.
- [69] Paas, F. (1992). Training strategies for attaining transfer of problem-solving skill in statistics: A cognitive-load approach[J]. *Journal of Educational Psychology*, (84) : 429-434. doi:10.1037/0022-0663.84.4.429.
- [70] Paas, F. , Camp, G. , & Rikers, R. (2001). Instructional compensation for age-related cognitive declines: Effects of goal specificity in maze learning [J]. *Journal of Educational Psychology*, (93) : 181. doi:10.1037/0022-0663.93.1.181.
- [71] Paas, F. , Renkl, A. , & Sweller, J. (2003a). Cognitive load theory and instructional design: Recent developments[J]. *Educational Psychologist*, (38) : 1-4. doi:10.1207/S15326985ep3801_1.
- [72] Paas, F. , Renkl, A. , & Sweller, J. (2004). Cognitive load theory: Instructional implications of the interaction between information structures and cognitive architecture[J]. *Instructional Science*, (32) : 1-8. doi:10.1023/B:TRUC.0000021806.17516.d0.
- [73] 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[J]. *Educational Psychology Review*, (24) : 27-45. doi:10.1007/s10648-011-9179-2.
- [74] Paas, F. , Tuovinen, J. E. , Tabbers, H. , & Van Gerven, P. W. M. (2003b). Cognitive load measurement as a means to advance cognitive load theory[J]. *Educational Psychologist*, (38) : 63-71. doi: 10.1207/S15326985ep3801_8.
- [75] Paas, F. , Tuovinen, J. E. , Van Merriënboer, J. J. G. , & Darabi, A. A. (2005). A motivational perspective on the relation between mental effort and performance: Optimizing learner involvement in instruction[J]. *Educational Technology Research and Development*, (53) : 25-34. doi:10.1007/Bf02504795.
- [76] Paas, F. , & Van Merriënboer, J. J. G. (1993). The efficiency of instructional conditions: An approach to combine mental effort and performance measures [J]. *Human Factors*, (35) : 737-743. doi: 10.1177/001872089303500412.
- [77] Paas, F. , & Van Merriënboer, J. J. G. (1994a). Instructional control of cognitive load in the training of complex cognitive tasks [J]. *Educational Psychology Review*, (6) : 351-371. doi: 10.1007/bf02213420.
- [78] Paas, F. , & Van Merriënboer, J. J. G. (1994b). Variability of worked examples and transfer of geometrical problem-solving skills:

- A cognitive-load approach[J]. *Journal of Educational Psychology*, (86): 122-133. doi:10.1037/0022-0663.86.1.122.
- [79] Peterson, L. R., & Peterson, M. J. (1959). Short-term retention of individual verbal items[J]. *Journal of Experimental Psychology*, (58): 193-198. doi:10.1037/h0049234.
- [80] Plass, J. L., Heidig, S., Hayward, E. O., Homer, B. D., & Um, E. (2013). Emotional design in multimedia learning: Effects of shape and color on affect and learning[J]. *Learning and Instruction*, (29): 128-140. doi:10.1016/j.learninstruc.2013.02.006.
- [81] Retnowati, E., Ayres, P., & Sweller, J. (2010). Worked example effects in individual and group work settings[J]. *Educational Psychology*, (30): 349-367. doi:10.180/01443411003659960.
- [82] Rey, G. D. (2012). A review of research and a meta-analysis of the seductive detail effect[J]. *Educational Research and Review*, (7): 216-237. doi:10.1016/j.edurev.2012.05.003.
- [83] Rey, G. D. (2014). Seductive details and attention distraction—an eye tracker experiment[J]. *Computers in Human Behavior*, (32): 133-144. doi:10.1016/j.chb.2013.11.017.
- [84] Rivlin, L. G., & Weinstein, C. S. (1984). Educational issues, school settings, and environmental psychology[J]. *Journal of Environmental Psychology*, (4): 347-364. doi:10.1016/S0272-4944(84)80005-5.
- [85] Salamé, P., & Baddeley, A. D. (1982). Disruption of short-term memory by unattended speech: Implications for the structure of working memory[J]. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, (21): 150-164. doi:10.1016/S0022-5371(82)90521-7.
- [86] Salamé, P., & Baddeley, A. D. (1986). Phonological factors in STM: Similarity and the unattended speech effect[J]. *Bulletin of the Psychonomic Society*, (24): 263-265. doi:10.3758/BF03330135.
- [87] Schneider, W., & Shiffrin, R. M. (1977). Controlled and automatic human information processing: I. Detection, search, and attention[J]. *Psychological Review*, (84): 1-66. doi:10.1037/0033-295X.84.1.1.
- [88] Scholey, A. B., Harper, S., & Kennedy, D. O. (2001). Cognitive demand and blood glucose[J]. *Physiology & Behavior*, (73): 585-592. doi:10.1016/S0031-9384(01)00476-0.
- [89] Scholey, A. B., Moss, M. C., Neave, N., & Wesnes, K. (1999). Cognitive performance, hyperoxia, and heart rate Schwebel, A. I., & Cherlin, D. L. (1972). Physical and social distancing in teacher-pupil relationships[J]. *Journal of Educational Psychology*, (63): 543-550. doi:10.1037/h0034081.
- [90] Shiffrin, R. M., & Schneider, W. (1977). Controlled and automatic human information processing: II. Perceptual learning, automatic attending, and a general theory[J]. *Psychological Review*, (84): 127-190.
- [91] Smith, A., & Ayres, P. (2014). The impact of persistent pain on working memory and learning[J]. *Educational Psychology Review*, (26): 245-264.
- [92] Smith, E. E., & Jonides, J. (1999). Storage and executive processes in the frontal lobes[J]. *Science*, (283): 1657-1661. doi:10.1126/science.283.5408.1657.
- [93] Smith, S. M., & Vela, E. (2001). Environmental context-dependent memory: A review and meta-analysis[J]. *Psychonomic Bulletin & Review*, (8): 203-220. doi:10.3758/BF03196157.
- [94] Sommer, R. (1967). Classroom ecology[J]. *Journal of Applied Behavioral Science*, (3): 489-503.
- [95] Suss, C., Gaylord, S., & Fagen, J. (2012). Odor as a contextual cue in memory reactivation in young infants[J]. *Infant Behavior & Development*, (35): 580-583. doi:10.1016/j.infbeh.2012.05.004.
- [96] Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: effects on learning[J]. *Cognitive Science*, (12): 257-285. doi:10.1016/0364-0213(88)90023-7.
- [97] Sweller, J. (2008). Instructional implications of David C. Geary's evolutionary educational psychology[J]. *Educational Psychologist*, (43): 214-216. doi:10.1080/00461520802392208.
- [98] Sweller, J. (2010). Element interactivity and intrinsic, extraneous, and germane cognitive load[J]. *Educational Psychology Review*, (22): 123-138. doi:10.1007/s10648-010-9128-5.
- [99] Sweller, J., Ayres, P., & Kalyuga, S. (2011). *Cognitive load theory (vol. 1)* [M]. New York: Springer.
- [100] Sweller, J., Van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. (1998). Cognitive architecture and instructional design[J]. *Educational Psychology Review*, (10): 251-296. doi:10.1023/A:1022193728205.
- [101] Tanner, C. K. (2000). The influence of school architecture on academic achievement[J]. *Journal of Educational Administration*, (38): 309-330. doi:10.1108/09578230010373598.
- [102] Tanner, C. K. (2008). Explaining relationships among student outcomes and the school's physical environment[J]. *Journal of Advanced Academics*, (19): 444-471. doi:10.4219/jaa-2008-812.
- [103] Titchener, E. B. (1901). *Experimental psychology: A manual of laboratory practice (vol. 1)* [M]. New York: The Macmillan Co.
- [104] Trope, Y., & Liberman, N. (2010). Construal-level theory of psychological distance[J]. *Psychological Review*, (117): 440-463. doi:10.1037/a0018963.
- [105] Tulving, E., & Thomson, D. M. (1973). Encoding specificity and retrieval processes in episodic memory[J]. *Psychological Review*, (80): 352-373. doi:10.1037/h0020071.
- [106] Turner, J. R., & Carroll, D. (1985). Heart rate and oxygen consumption during mental arithmetic, a video game, and graded exercise: further evidence of metabolically-exaggerated cardiac adjustments[J]. *Psychophysiology*, (22): 261-267. doi:10.1111/j.1469-8986.1985.tb01597.x.
- [107] Uline, C., & Tschannen-Moran, M. (2008). The walls speak: the interplay of quality facilities, school climate, and student achievement[J]. *Journal of Educational Administration*, (46): 55-73. doi:10.1108/09578230810849817.
- [108] Um, E., Plass, J. L., Hayward, E. O., & Homer, B. D. (2012). Emotional design in multimedia learning[J]. *Journal of Educa-*

tional Psychology, (104): 485-498. doi:10.1037/A0026609.

[109] Van Gerven, P. W. M., Paas, F., Van Merriënboer, J. J. G., & Schmidt, H. G. (2002). Cognitive load theory and aging: effects of worked examples on training efficiency[J]. Learning and Instruction, (12): 87-105. doi:10.1016/s0959-4752(01)00017-2.

[110] Van Gerven, P. W. M., Paas, F., Van Merriënboer, J. J. G., & Schmidt, H. G. (2006). Modality and variability as factors in training the elderly[J]. Applied Cognitive Psychology, (20): 311-320. doi:10.1002/acp.1247.

[111] Van Gog, T., Paas, F., & Van Merriënboer, J. J. G. (2006). Effects of process-oriented worked examples on troubleshooting transfer performance[J]. Learning and Instruction, (16): 154-164. doi:10.1016/j.learninstruc.2006.02.003.

[112] Van Merriënboer, J. J. G. (1990). Strategies for programming instruction in high school: Program completion vs. program generation[J]. Journal of Educational Computing Research, (6): 265-285. doi:10.2190/4NK5-17L7-TWQV-1EHL.

[113] Van Merriënboer, J. J. G., & De Croock, M. B. M. (1992). Strategies for computer-based programming instruction: Program completion vs. program generation[J]. Journal of Educational Computing Research, (8): 365-394. doi:10.2190/MJDX-9PP4-KFMT-09PM.

[114] Van Merriënboer, J. J. G., & Sweller, J. (2005). Cognitive load theory and complex learning: Recent developments and future directions[J]. Educational Psychology Review, (17): 147-177. doi:10.1007/s10648-005-3951-0.

[115] Van Merriënboer, J. J. G., & Sweller, J. (2010). Cognitive load theory in health professional education: Design principles and strategies[J]. Medical Education, (44): 85-93. doi:10.1111/j.1365-2923.2009.03498.x.

[116] Vredeveltdt, A., Hitch, G., & Baddeley, A. D. (2011). Eye closure helps memory by reducing cognitive load and enhancing visualization[J]. Memory & Cognition, (39): 1253-1263. doi:10.3758/s13421-011-0098-8.

[117] Weinstein, C. S. (1979). The physical environment of the school: A review of the research[J]. Review of Educational Research, (49): 577-610. doi:10.3102/00346543049004577.

[118] Weinstein, Y., Bugg, J. M., & Roediger, H. L. (2008). Can the survival recall advantage be explained by basic memory processes[J]. Memory & Cognition, (36): 913-919. doi:10.3758/MC.36.5.913.

[119] Wilson, M. (2002). Six views of embodied cognition[J]. Psychonomic Bulletin & Review, (9): 625-636. doi:10.3758/BF03196322.

[120] Wong, N., & Watkins, D. (1996). Self-monitoring as a mediator of person-environment fit: An investigation of Hong Kong mathematics classroom environments[J]. British Journal of Educational Psychology, (66): 223-229. doi:10.1111/j.2044-8279.1996.tb01191.x.

(编辑:李学书)

Effects of the Physical Environment on Cognitive Load and Learning: Towards a New Model of Cognitive Load

Hwan-Hee Choi¹, Jeroen J. G. van Merriënboer² & Fred Paas¹

(1. Institute of Psychology, Erasmus University Rotterdam, Netherlands;

2. Department of Educational Development and Research, Maastricht University, Netherlands)

Abstract: *Although the theoretical framework of cognitive load theory has acknowledged the role of the learning environment, the specific characteristics of the physical learning environment that could affect cognitive load have never been considered, neither theoretically nor empirically. In this article, we argue that the physical learning environment, and more specifically its effects on cognitive load, can be regarded as a determinant of the effectiveness of instruction. We present an updated version of the cognitive load model of Paas and Van Merriënboer (Educational Psychology Review, 6:351-371, 1994a), in which the physical learning environment is considered a distinct causal factor that can interact with learner characteristics, learning-task characteristics, or a combination of both. Previous research into effects of the physical learning environment on cognitive performance that could inspire new cognitive load research is discussed, and a future research agenda is sketched.*

Key words: *cognitive load theory; physical learning environment; instructional design*