

基于认知神经科学的游戏化学习研究综述

尚俊杰, 张 露

(北京大学 教育学院 学习科学实验室, 北京 100871)

[摘 要] 近年来, 游戏化学习备受关注, 众多研究从不同视角证实了游戏的教育功能。作为学习科学的重要研究领域, 认知神经科学促进了人类对脑学习机制的探索研究, 为游戏化学习的研究与设计提供了重要支持。本文梳理了认知神经科学领域对学习过程的理解, 介绍了可应用于教育研究的脑科学研究工具, 以及认知神经科学在阅读与数学领域的研究成果。在此基础上, 调研了利用脑科学研究方法证实的游戏化学习对认知、情绪以及学科学习的相关研究, 分析了认知神经科学对于游戏化学习的重要价值, 并展望了基于认知神经科学的 game 化学习研究的未来发展前景。

[关键词] 认知神经科学; 学习科学; 教育游戏; 游戏化学习; 综述

[中图分类号] G434 [文献标志码] A

[作者简介] 尚俊杰(1972—), 男, 河南林州人。副教授, 博士, 主要从事学习科学与技术、游戏化学习等研究。E-mail: jjshang@pku.edu.cn。

一、引言

当前游戏化学习备受关注, 教育游戏激发学习动机^[1-2]、发展认知能力^[2]、促进学生参与^[3-4], 以及培养学生 21 世纪所需的高阶能力^[5]等功能得到了众多研究的证明。寓教于乐的教学理念也逐渐得到认可, 游戏化学习与学校教育进行整合成为其发展趋势。国内外一些学校已经进行了游戏化学习模式的探索。例如: 美国纽约公立学校 Quest to Learn (<http://www.q2l.org>) 以游戏化学习的方式开展教学活动, 培养学生的创造力和系统性思维, 其游戏化教学机制的成果吸引了广泛的关注。近年来, 也出现了声称能够促进认知能力发展的大脑游戏, 较为有代表性的是商业游戏 Lumosity, 并有研究者通过脑成像技术来评估游戏化学习的成效^[6]。

有关教育游戏功能的实证研究来源于多学科研究领域, 如心理学、社会学等, 其中认知神经科学是一个重要的研究领域^[7-8]。作为神经科学和认知心理学的交叉学科, 认知神经科学是学习科学研究的重要领域。认知神经科学对人脑以及认知能力的研究可为教

育游戏的开发提供科学依据与理论支撑, 也为验证教育游戏功能提供了科学的研究方法。

本文对基于认知神经科学的 game 化学习的研究文献进行了全面调研, 首先分析了大脑的核心特征——可塑性, 大脑在时刻发生变化, 这是证明教育能够促进人的认知能力发展的前提; 介绍了非侵入性脑研究技术的发展, 阐述了脑科学与教育研究相结合在语言和算术领域的研究成果。其次分析了游戏在促进人的工作记忆、视觉能力、注意力等认知能力方面的作用, 介绍了利用游戏进行数学与阅读学习的研究案例, 同时探讨了 game 化学习对学习过程中积极情绪的塑造作用。

二、认知神经科学与教育

(一) 教育与人脑的可塑性: 经验决定的发展过程

认知发展与脑发展同步的这一假设是将心理、脑和教育整合在一起的动力^[9]。脑能够学习是因为其具有可塑性, 能够根据环境刺激产生改变, 适应环境的能力是脑与生俱来的固有属性以及核心特征——可塑性^[10]。在出生时, 所有的神经元都已经具备, 然而脑

基金项目: 北京市教育科学“十三五”规划 2016 年度重点课题“基于 game 化学习的教育教学实践研究”(课题编号: CAHA16052)

皮层中的大部分神经元都还没有充分建立连接,在出生之后经过几年的发展,脑才最终形成复杂的功能结构^[11]。一篇发表在 *Science* 期刊上的研究论文,通过比较受教育程度不同的成人的大脑结构,发现读写方面的教育改变了大脑相应的脑结构功能^[12]。

对大脑可塑性的研究丰富了对教育的理解。Dehaene 基于在算术和阅读领域的研究发现,将教育定义为一种神经元的再利用过程^[13]。神经科学家将学习看作脑加工的过程,是脑对刺激产生的反应,它包括脑对信息的感知、处理和整合^[10]。将脑的生长周期与学习模式直接联系起来的研究将会提供对学习过程的有效说明,将认知发展周期与教育评价量表结合起来的研究是认知神经科学对教育研究与实践的一项杰出贡献^[9]。教育者可以从对脑变化的最初状态、发展轨迹及最终状态的理解中获益^[14]。

基于脑的可塑性,认知神经领域的科学家发现脑在特定时期的发展极易受经验的影响^[15],在此期间,应给予学习者适当的学习体验以促进认知能力的发展。在这些适合特定技能学习的“敏感期”或“机遇期”内,脑需要特定类型的刺激,以实现并保持相关脑结构的发展,科学家已经提出了某些特定的学习敏感期,如语音敏感期、视觉敏感期以及一些特定的情绪敏感期等。例如:如果在1至3岁就接触一门外语,语法是由大脑左半球来处理,说母语的人也是如此,但是当这个过程被延迟时,大脑成像结果显示出一种异常的活动模式,即接触第二语言太晚导致学习语法非常困难^[16]。对敏感期的学习过程的研究有助于开发与敏感期相适应的教育方法,促进更加有效的学习。

(二) 认知神经科学的技术发展

认知神经科学的研究进展也得益于技术设备的快速发展,EEG、fNIRS 以及 fMRI 等技术已经应用于针对儿童的实验研究,这些方法有助于人们更加清楚地了解大脑的功能。采用这些技术进行的神经科学研究的基本假设是任务对脑提出特别需求,这些需求导致化学的、电的神经活动的变化^[17],这些变化引发了心律、肌肉活动、血压等大量生理反应^[18],可以通过技术设备捕捉到相关数据。

1. 功能磁共振成像

功能磁共振成像技术(fMRI)可以使我们得到关于血氧的一系列全脑影像,血氧与神经元互动紧密相连^[14]。这项技术可以让神经科学家观测到在执行任务时脑活动的变化。其原理是任务会激活特定的脑区,更多的血液流向这些细胞,这些区域的含氧量增加。而这项技术的巨大的筒状磁体扫描器会形成由脑细

胞中水分子产生的磁共振信号图像。该技术的空间分辨率较高,但同时也存在一定的缺陷,如噪音较大、参与者需要保持静止、设备成本巨大等^[19]。

2. 功能近红外光谱

与 fMRI 原理类似,fNIRS 信号也能够反映脑中血流量的动态状况,这种技术能够监测颅骨下几毫米的地方,与学习有关的高级认知功能都位于大脑组织的表层。其限制在于不能监测深层的脑组织活动,头发对光学信号有干扰,时间分辨率较低。因此,目前 fNIRS 大多是作为验证工具使用,是其他脑成像技术(如 EEG)的补充^[19]。

3. 脑电图和事件相关诱发电位

EEG 是一种测量脑电活动的非侵入性方法,它能够反应脑电的变化。EEG 和 ERPs 包括能够套在头皮上记录颅骨表面低振幅脑电活动的电极,对大脑自发的自然节律的记录被称为脑电图(EEG)。EEG 和 ERPs 在追踪脑电活动方面具有毫秒级的电位活动差异敏感度,能够为神经处理的时间进程提供依据,这项技术使研究者能够根据脑电波节律中神经震动的幅度、频率和强度分析人类认知任务过程中的认知结构^[19]。

Antonenko 等人关于应用于教育研究的神经影像学的综述,介绍了 fMRI 等测量脑血流的方法具有较高的空间分辨率,EEG 和 ERPs 可以直接测量脑电活动,时间分辨率较高,但其共同的局限性是生态效度较低。因为神经科学研究中所使用的任务大部分都是短期的、脱离情境的,而教育研究所使用的任务嵌入在复杂的社会环境中,涉及“真实”学习境脉的教育神经科学研究尚处于起步阶段^[19]。同时,部分方法对实验环境有高度的依赖,如 fMRI 在扫描的过程中会产生很大的噪音,因此广泛地针对儿童开展研究是较为困难的。

(三) 认知神经科学研究在语言、算术领域的发现

将脑科学研究成果与教育行为相联系的领域已经硕果累累,并具有一定的科学严谨性,尤其是语言和算术领域^[20]。神经科学在诊断和确定有效的干预中,在阅读障碍、计算障碍和老年痴呆等方面的贡献是最明确的。虽然阅读障碍的原因依然不清楚,但研究者认为阅读障碍主要源于听觉皮层(有时可能是视觉皮层)的非典型性特征;而关于计算能力,正规的数学教育应当建立在已有的非正式数学的理解基础上,因为人类出生就具有以数字的方式理解世界的生物本能;基于数字运算与空间认知所涉及的脑区研究,将数字与空间联系起来的教学方法是非常有效的^[10]。

1. 语言

脑中确实有专门负责语言功能的结构,研究已确定了左侧额下回以及左侧颞中回后部的功能。布洛卡区位于额下回,与语言的产生、言语加工和言语理解有关;威尔尼克区位于左半球颞叶与顶叶的交汇处,与言语识别功能有关,如词汇理解^[21]。婴幼儿在出生几个月内就能辨别相似辅音和相似元音之间的细小区别,无论是母语还是外语都是如此^[10]。儿童和成人用于读取字母文字的主要系统偏向左脑^[22]。当处理视觉特性、字母形状及拼字法时,大脑的枕颞区最活跃^[19],随着阅读技能的提升,发生在这些区域中的激活会增加^[23];而对那些有发展性阅读障碍的儿童来说,发生在这些区域的激活则会消失^[17]。

阅读需要掌握一系列的复杂技能,对脑的阅读加工进程了解得越多,教师和学生就能更好地应对阅读障碍^[13]。目前,对阅读理解最透彻、受到最广泛认同的阅读模型“双通道理论”也得到了神经科学研究的支持^[24],相关研究也证明了通过有声方法以及全语言的方法开展阅读教学的重要性^[19]。

语言发展存在着敏感期,第二语言学习涉及语法加工和语义加工这两个过程,它们依赖于脑的不同的神经系统,语言学习越早,脑就能越有效地学习这门语言。如果将1~3岁的小孩放在外语的环境中,脑就会以加工母语的方式运用左半球加工语法信息;但如果4~6岁时开始学习外语,脑就需要通过两个半球来加工语法信息;在11~13岁的时候开始接触外语,脑成像研究发现其激活模式已经发生异常;同时,语音知识在12岁前学习更有效^[10]。

2. 算术

虽然神经科学在计算能力方面的研究尚处于起步阶段,但该领域已在过去十年中取得了显著进展,部分脑结构被认为从基因上就是分配给数感的^[19]。耶鲁大学的 McCrink 和 Wynn 教授的研究结果证明,婴儿有基于数量的估算能力,1个月大的婴儿就能注意到周围物体的数量^[25]。在原始数感的基础上,通过与环境的不断联系,儿童就能发展自己的数学能力。

目前已经知道数感系统由两侧的内沟区支撑,顶叶在各种数学运算中发挥了根本性的作用,几乎所有的算术与数量运算都要应用顶叶,尤其是顶内沟^[26]。顶内沟可能还是数学神经网络的核心,近来的神经成像研究揭示了计算障碍儿童顶内沟的特殊结构和功能特征,顶内沟受损会引起严重的加法和减法运算缺陷,而且基本的数字理解如近似、数量估计和比较能力也会受到严重影响^[27]。

一系列固定的脑区在算术过程中会有系统性的激活,其中,左、右顶内沟及左、右前中沟激活最显著^[14]。简单的数量运算都需要多个脑区的协作,仅就数量表征而言,认知神经科学的研究成果支持了“三重编码模型”的三个层面的数量加工方式(数量、视觉和文字)。例如:“Threeness”的抽象数量表征依赖于下顶叶回路;视觉表征涉及下枕—颞叶皮层,如阿拉伯数字“3”的数字表征;而“Three”的语言表征则只依赖于左半球的下枕—颞叶^[10]。

也有研究基于脑成像实验,考察了数学学习依赖于语言能力与视空间表征(Visuo-spatial Representations)^[28]。一些数学的计算知识,如乘法口诀,是作为陈述性知识通过语言系统进行记忆加工的^[19]。而更加复杂的计算则涉及了视空间区域,这说明了多数位(Multi-digit)运算中视觉心像(Visual Mental Imagery)的重要性^[17]。手指计数是获得计算技能的重要发展策略,手指数数所激活的顶叶前运动区(Parietal-premotor)也在计算时被激活^[29]。

三、基于认知神经科学的游戏化学习研究

(一) 电子游戏与认知能力发展

认知功能是指使信息处理和知识发展得以进行的一系列过程,不仅包括感知觉、学习与记忆、意识等功能,还包括社会行为、决策、推理等方面^[30]。近年来,游戏对于促进认知能力发展的功能也被基于脑科学方法的一系列研究证实。

电子游戏可以改善工作记忆。有研究表明,玩超级玛丽游戏(Super Mario)可以增加与工作记忆能力对应脑区的大脑灰质。在这项研究中,实验组的参与者每天玩30分钟游戏,总共持续两个月,研究发现右侧海马结构(HC)、右侧背侧前额叶皮质(DLPFC)以及双侧小脑结构的灰质都有显著的增加,这些区域与工作记忆工作记忆相关^[31]。也有研究证明,采用自适应软件进行训练,可以引发前额叶和顶叶皮层激活程度的提高,而前额叶和顶叶皮层的激活程度与工作记忆容量呈正相关^[32]。

新一代三维游戏对玩家的注意力提出了较高的要求,玩游戏促进了注意力的发展。一项利用ERPs方法的研究证明,玩第一人称射击游戏能够改变支持注意力的神经过程。在研究中,25个参与者需要完成一个视觉区域注意任务(An Attentional Visual Field Task),总共时间是10小时,在游戏前和游戏后进行ERPs测量。虽然ERPs的结果显示游戏并没有影响参与者的自下而上(Bottom-up)的注意力,但任务成绩

显著提高的参与者在后期的视觉 ERPs 的幅度增加。这些电位被认为能够通过对干扰的抑制,促进自上而下(Top-down)的空间选择注意。学习者的个体差异也让游戏玩家在游戏中的受益是不同的^[33]。另外,一项运用脑成像方法的研究通过比较游戏玩家和非游戏玩家的脑的注意神经网络利用,以及干扰信息的处理过程,解释了动作游戏促进视觉选择注意的神经机制。在受到移动物体的干扰时,游戏玩家的视觉敏感区域的激活程度较非游戏玩家更低,这说明游戏玩家有更好地对早期无关信息进行筛选的能力;而随着游戏对注意力的要求提高,非游戏玩家的顶叶区域有更多的利用,在相同条件下,游戏玩家很少利用这个区域,额顶叶区域的激活被抑制表明动作游戏玩家可以更加轻松地进行注意力的分配,能够更有效地对早期无关信息进行筛选^[34]。

动作游戏促进了视觉能力的发展,包括视觉的空间解决、即时处理和敏感性^[35]。在玩电子游戏方面投入较多时间的年轻人的一系列视觉能力比非游戏玩家要好,他们能够关注到更多的物体,并能对变化的视觉信息进行有效加工^[36]。在视力发展敏感期的非正常视觉体验会中断视觉皮层的神经回路,进而导致非正常的空间视觉以及弱视。有研究证明,玩电子游戏能够促进患有弱视的成人视觉系统的可塑性,实验参与者用患有弱视的一侧眼睛玩电子游戏(动作游戏或非动作游戏),在短期内(40~80小时,每天2小时)可以引发多重视觉功能的改善,包括视觉准确性(Visual Acuity)、位置视力(Positional Acuity)、空间注意力(Spatial Attention)以及立体视觉(Stereopsis)^[37]。

Spence 和 Feng 对电子游戏促进空间认知的相关文献进行综述。该研究认为密集的电子游戏也有可能带来大脑和行为的改变,其综述的实验表明玩动作游戏能够促进支持空间认知能力的许多基础能力的发展,如感觉能力、知觉能力以及注意能力。这些基础的能力涉及空间解析、注意力、列举计算、多重物体追踪、视觉动作协调等。除了改善较为基础的任务表现,玩动作游戏对完成复杂的空间任务也有好处,如“心像旋转”,同时也能实现学习迁移^[38]。

电子游戏有助于对抗由年龄增加造成的神经认知功能的下降。基于人脑的认知能力发展,也有商业公司开发了脑训练游戏。Lumosity 网站(<http://www.lumosity.com>)提供了一系列游戏,并声称能够改善各种核心认知技能,包括记忆、注意、速度处理、心理灵活性、空间定位、逻辑推理以及问题解决能力^[39]。有研究证明,Lumosity 游戏可以促进老年人的视觉空间工

作记忆和情境记忆的功能效果。19位老年人接受了总共15次、每次1小时的电子游戏训练,区别于控制组(20位老人),接受游戏训练的老人的工作记忆有显著改善,其效果可以保持3个月。电子游戏训练可能是改善老人工作记忆和其他认知功能的有效干预工具^[40]。Nature 杂志也曾报道过一项利用脑科学研究方法开展的研究,该研究证明自适应性的三维电子游戏(NeuroRacer)可以促进老年人的认知控制能力的发展,其效果会保持六个月,训练也带来了注意力保持和工作记忆等认知能力的改善^[41]。

Bavelier 等人的文章综述了游戏的复杂训练环境(Training Environments)能够塑造大脑并促进学习。将游戏促进学习的机制理解为游戏能够增强人的学习能力,即学会学习的能力(Learning to Learn)。该文章的研究者认为,游戏虽然没有教授新的概念或者事实,但游戏培养了学生的注意力和控制力,这都是学校学习的基础;动作游戏促进了人的视力发展,以及视觉短期记忆、多任务处理、执行能力等认知能力,还促进了心理旋转能力,提高了与学校的数学成就呈正相关的空间认知能力。文章同时综述了游戏对促进决策能力发展的作用,动作游戏玩家单位时间的平均信息处理量比非动作玩家的信息处理量多20%,动作游戏也加快了反应时间,让人能够对环境变化迅速而准确地作出决定,多重维度的注意力也可以在玩动作游戏的过程中得到改善^[35]。

(二)电子游戏与学科学学习

近年来,研究者也在逐步应用脑科学的研究成果进行教育游戏的设计,试图架起认知神经科学与教育科学的桥梁。同时,脑科学的研究方法也为游戏化学习研究提供了新的工具。教育范畴内的注意力、工作记忆、社会认知、焦虑、动机和奖励等问题也可以通过神经科学的方法进行研究^[42]。下面分析几个典型案例。

案例一:分数游戏

Refraction (<http://centerforgamescience.org/?portfolio=refraction>)这款设计精良的分数游戏吸引了众多研究者的目光,先后有来自卡耐基梅隆大学、范德堡大学、休斯顿大学、特拉华大学、犹他州立大学等美国高校及研究机构的学者就其提高后进生(At-risk Students)的分数概念性知识学业成就进行研究。这款游戏描绘的情境是太空中有很多小型宇宙飞船需要补给能量才能继续飞行,学生需要以平分(Splitting)的方式(如1/2、1/3)切断能量绳,而能量绳的长度需要与飞船的大小匹配,匹配成功,小飞船则能够继续飞上太空。

Joseph 等人从行为与神经反应两方面探究 Refraction 游戏的效果,比较了大脑对数字运算、空间能力以及分数游戏运算的激活反应的差异^[43]。该研究发现,从大脑激活强度上看,游戏与数学活动有相似的神经运行结果。其结果显示:游戏对左顶叶和右顶叶的激活程度大于空间活动,虽然游戏对左顶叶的激活程度与阿拉伯数字处理的激活程度无显著差别,但对右顶叶的激活却更加显著。同时,游戏对于前额叶区域的激活程度要明显高于阿拉伯数字处理与空间活动。该研究也对 4128 名三年级学生进行了分数测试,根据前后测成绩的变化,发现玩分数游戏可以提高分数成绩,更重要的是从玩游戏过程中受到的分数理解的影响可以延伸到标准分数测试。

案例二:数字游戏

Number Race (<http://www.thenumberrace.com/nr/home.php?lang=en>) 游戏是全球数学认知领域著名的科学家、三重编码理论提出者 Stanislas Dehaene 教授的团队依据认知神经科学的研究成果开发的数感游戏。该游戏的开发结合了数感的发展、数量表征模型、游戏的动机等理论^[44]。玩家在左右两个宝箱中选择一个打开,两个宝箱各弹出若干个豆子,玩家选择豆子数量较多的那一边,把豆子的数量和已走的步数相加,点击下面标尺上和结果相对应的数字,玩家控制的游戏角色就会前进到这个数字。若干回合后,角色走到 12 即通过这一关。这款游戏能够在很大程度上帮助计算障碍儿童进行基本数学知识的学习^[45]。9 名年龄在 7~9 岁之间有数学学习困难的儿童曾每周使用该软件两小时,总共五周的训练中,其数字感知、比较以及简单的运算方面的能力都有提高^[46]。在法国开展的一项研究中,53 个来自法国社会经济状况较差家庭的幼儿园儿童从游戏中受益^[47]。在芬兰开展的一项针对两种教育游戏的效果比较的研究证明,Number Race 可以提高计算能力较差的幼儿园儿童的简单计算能力^[48]。

案例三:字母游戏

语音意识(Phonological Awareness)可以预测儿童的阅读技能^[49]。存在阅读障碍的儿童建立字母的视觉呈现与声音表达的脑区联结较为困难,Graphogame (<http://info.graphogame.com>) 游戏可以帮助儿童将注意力和决策努力聚焦于字母与声音的对应上^[42]。有研究发现,在八周的课程中,幼儿园的儿童玩 Graphogame 游戏,总共 3.6 小时的游戏时间会导致与字母观看有关的视觉系统的神经活动的变化,这些变化包括在左侧枕颞皮层的血氧水平的增加,以及相关区域的

事件相关电位(ERPs)的变化^[50]。基于认知神经科学研究发现,设计的教育游戏有助于满足特殊儿童的教育需要。

(三)教育游戏与学习者情绪

认知神经科学与教育领域的研究者达成的共识在于,学习是认知、情绪与生理层面进行多层次交流的过程^[10]。情绪是影响学习结果的重要因素,积极的情绪有助于学习,而负性情绪会导致失败的学习,如果学习环境引起学生的恐惧或压力,学生的认知能力会受到影响。而学校教育过程经常忽略情绪的作用。脑科学的研究不但阐明了负性情绪对学习和记忆的阻碍方式,还提供了对情绪进行测量和调控的方法。利用游戏化教学,教师可以为学生提供一个轻松、积极的学习环境,进而克服消极情绪对学习的干扰。

当大脑感受到额外的奖励时,中脑的多巴胺神经元会被激活并释放出多巴胺,这对整个大脑前额叶等脑区神经元的活性有重要影响^[30]。发表在 *Nature* 杂志上的一项研究发现:在电子游戏中,人脑的纹状体会释放内源性多巴胺,多巴胺能性神经传递与学习、注意、感觉有关^[51]。大量研究表明:数学焦虑对于数学表现有显著的消极影响,但可以通过训练而降低^[52],针对算术学习的游戏对学生的认知成果和情绪改善都是有益的^[53]。

脑机交互设备(Brain-Computer Interface, BCI)能够实时地捕捉人的情绪,可以被用于数学焦虑的训练。一项采用了短期纵向研究设计的研究证明:使用整合了 BCI 技术的数学教育游戏可以降低学习者的数学焦虑。该数学游戏显示了 BCI 设备(Emotive EPOC)所提供的实时的可视化脑神经反馈,提示学习者自身的情绪状态,将数学游戏与 BCI 设备整合,可以有效地监控情绪和降低数学焦虑。先前的研究只关注了教育游戏后的数学成绩,而并没有关注游戏对学习者情感因素的影响(如焦虑、失望、参与等)^[54]。

四、结 论

作为学习科学的重要研究领域,认知神经科学的发展拓展了人们对学习行为的理解,为教育干预手段的设计开发提供了更多科学证据,未来在学习和教育研究中将发挥非常重要的基础性支撑作用^[8]。

基于认知神经科学的游戏化学习研究目前还处于起步阶段,相关的研究不太多,但也已经取得了比较丰富的研究成果。基于认知神经科学研究成果开发的教育游戏,为促进认知能力发展与学科知识的学习提供了有效的支持工具,同时脑科学研究方法也

是验证教育游戏功能的科学方式。情绪对学习的影响逐渐得到关注,游戏化学习可以激发学生的学习兴趣,让学生更加快乐的学习。脑科学设备的发展,如BCI技术在游戏中的应用有助于降低学习者学习过程的焦虑感。

未来,基于认知神经科学的游戏化学习有望在早期教育、基础教育、特殊教育以及终身学习等方面发挥重要作用。随着脑科学研究技术与游戏技术的不断进步,基于认知神经科学的游戏化学习有望实现更加快乐、更加科学的学习。

[参考文献]

- [1] 尚俊杰,肖海明,贾楠.国际教育游戏实证研究综述:2008年—2012年[J].电化教育研究,2014(1):71-78.
- [2] 尚俊杰,裴蕾.重塑学习方式:游戏的核心教育价值及应用前景[J].中国电化教育,2015(5):41-49.
- [3] ANNETTA L A, MINOGUE J, HOLMES S Y, et al. Investigating the impact of video games on high school students' engagement and learning about genetics[J].Computers & Education,2009,53(1):74-85.
- [4] ISLAS SEDANO C, LEENDERTZ V, VINNI M, et al. Hypercontextualized learning games: fantasy, motivation, and engagement in reality[J].Simulation & Gaming,2014,44(6):821-845.
- [5] ROMERO M, USART M, OTT M. Can serious games contribute to developing and sustaining 21st century skills?[J].Games and culture,2015,10(2):148-177.
- [6] KESLER S R, SHEAU K, KOOVAKKATTU D, et al. Changes in frontal-parietal activation and math skills performance following adaptive number sense training: preliminary results from a pilot study [J]. Neuropsychological rehabilitation, 2011,21(4):433-454.
- [7] STEINKUEHLER C, SQUIRE K. Videogames and learning [M]// SAWYER R K.The Cambridge handbook of the learning sciences. New York: Cambridge University Press, 2014:377-396.
- [8] 尚俊杰,庄绍勇,陈高伟.学习科学:推动教育的深层变革[J].中国电化教育,2015(1):6-13.
- [9] FISCHER K W. Dynamic cycles of cognitive and brain development:measuring growth in mind, brain,and education[M]// BATTRO A M, FISCHER K W, LENA P J. The educated brain: essays in Neuroeducation. New York: Cambridge University Press, 2008: 127-150.
- [10] OECD, Center for Education Research Innovation. Understanding the brain: the birth of a learning science[M/OL].Paris:OECD, 2007[2016-10-10].http:// www.oecd.org/site/educeri21st/40554190.pdf.
- [11] SINGER W. Epigenesis and brain plasticity in education [M] // BATTRO A M, FISCHER K W, LENA P J . The educated brain: essays in neuroeducation. New York: Cambridge University Press, 2008:97-101.
- [12] DEHAENE S, PEGADO F, BRAGA L W, et al. How learning to read changes the cortical cerebral constraints in reading and arithmetic: Education as a “neuronal recycling” process networks for vision and language[J].Science,2010,330(6009):1359-1364.
- [13] BATTRO A M, FISCHER K W, LENA P J. Introduction: the mind, brain, and education triad[M] // BATTRO A M, FISCHER K W, LENA P J . The educated brain: essays in neuroeducation. New York: Cambridge University Press, 2008:3-19.
- [14] DEHAENE S. Cerebral constraints in reading and arithmetic: education as a “neuronal recycling” process [M] // BATTRO A M, FISCHER K W, LENA P J . The Educated Brain: Essays in Neuroeducation. New York: Cambridge University Press, 2008: 232-247.
- [15] SINGER W. Epigenesis and brain plasticity in education [M] // BATTRO A M, FISCHER K W, LENA P J . The educated brain: essays in neuroeducation. New York: Cambridge University Press, 2008: 95-109.
- [16] NEVILLE H J, BRUER J T. Language processing: how experience affects brain organization [M]// Jr. BAILEY D B, BRUER J T, SYMONS F J. Critical thinking about critical periods. Baltimore: Brookes Publishing, 2001: 151-172.
- [17] GOSWAMI U. Neuroscience and Education[J]. British Journal of educational Psychology, 2004,31(4):1-14.
- [18] TECCE J J. Psychophysiology: human behavior and physiological response[J].International journal of psychophysiology,2007,65(2): 174-175.
- [19] ANTONENKO P D, VAN GOG T, PAAS F. Implications of neuroimaging for educational research [M]// SPECTOR J M, MERRILL M D, ELEN J, et al . Handbook of research on educational communications and technology. New York: Springer, 2014: 51-63.
- [20] BRUER J T. Building bridges in neuroeducation [M] // BATTRO A M, FISCHER K W, LENA P J . The educated brain: essays in

- neuroeducation. New York: Cambridge University Press, 2008: 43–58.
- [21] KOIZUMI H. Developing the brain: a functional imaging approach to learning and educational sciences [M] // BATTRO A M, FISCHER K W, LENA P J. The educated brain: essays in neuroeducation. New York: Cambridge University Press, 2008: 166–180.
- [22] EDEN G F, FLOWERS D L, GAREAU L, et al. Development of neural mechanisms for reading [J]. *Nature neuroscience*, 2003, 6(7): 767–773.
- [23] SHAYWITZ B A, SHAYWITZ S E, PUGH K R, et al. Disruption of posterior brain systems for reading in children with developmental dyslexia[J]. *Biological Psychiatry*, 2002, 52(2): 101–110.
- [24] JOBARD G, CRIVELLO F, TZOURIO –MAZOYER N. Evaluation of the dual route theory of reading: a metanalysis of 35 neuroimaging studies[J]. *NeuroImage*, 2003, 20(2): 693–712.
- [25] MCCRINK K, WYNN K. Large–number addition and subtraction by 9–month–old infants [J]. *Psychological science*, 2004, 15(11): 776–781.
- [26] BUTTERWORTH B, VARMA S, LAURILLARD D. Dyscalculia: from brain to education[J]. *Science*, 2011, 332(6033): 1049–1053.
- [27] LEMER C, DEHAENE S, SPELKE E, ET AL. Approximate quantities and exact number words: dissociable systems [J]. *Neuropsychologia*, 2003, 41(14): 1942–1958.
- [28] DEHAENE S, SPELKE E, PINEL P, ET AL. Sources of mathematical thinking: behavioral and brain–imaging evidence [J]. *Science*, 1999, 284(5416): 970–974.
- [29] ZAGO L, PESENTI M, MELLET E, et al. Neural correlates of simple and complex mental calculation[J]. *NeuroImage*, 2001, 13(2): 314–327.
- [30] 李澄宇, 杨天明, 顾勇, 等. 脑认知的神经基础[J]. *中国科学院院刊*, 2016, 31(7): 755–764.
- [31] KUHN S, GLEICH T, LORENZ R C, et al. Playing Super Mario induces structural brain plasticity: gray matter changes resulting from training with a commercial video game[J]. *Mol psychiatry*, 2014, 19(2): 265–271.
- [32] OLESEN P J, WESTERBERG H, KLINGBERG T. Increased prefrontal and parietal activity after training of working memory[J]. *Nature neuroscience*, 2003, 7(1): 75–79.
- [33] WU S, CHENG C K, FENG J, ET AL. Playing a First–person Shooter Video Game induces neuroplastic change [J]. *Journal of cognitive neuroscience*, 2012, 24(6): 1286–1293.
- [34] BAVELIER D, ACHTMAN R L, MANI M, et al. Neural bases of selective attention in action video game players[J]. *Vision research*, 2012, 61: 132–143.
- [35] BAVELIER D, GREEN C S, POUGET A, et al. Brain plasticity through the life span: learning to learn and action video games [J]. *Annual Review of Neuroscience*, 2012, 35: 391–416.
- [36] GREEN C S, BAVELIER D. Action video game modifies visual selective attention[J]. *Nature*, 2003, 423(6939): 534–537.
- [37] LI R W, NGO C, NGUYEN J, et al. Video–game play induces plasticity in the visual system of adults with amblyopia[J]. *Plos Biology*, 2011, 9(8): 1–11.
- [38] SPENCE, I, FENG, J. Video games and spatial cognition.[J]. *Review of general psychology*, 2010, 14(2): 92–104.
- [39] SHUTE V J, VENTURA M, KE F. The power of play: the effects of Portal 2 and Lumosity on cognitive and noncognitiveskills[J]. *Computers & Education*, 2015, 80: 58–67.
- [40] TORIL P, REALES J M, MAYAS J, et al. Video game training enhances visuospatial working memory and episodic memory in older adults[J]. *Frontiers in human neuroscience*, 2016, 10: 1–14.
- [41] ANGUERA J A, BOCCANFUSO J, RINTOUL J L, et al. Video game training enhances cognitive control in older adults[J]. *Nature*, 2013, 501(7465): 97–101.
- [42] MCCANDLISS B D. Educational neuroscience: The early years [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2010, 107(18): 8049–8050.
- [43] BAKER J M, MARTIN T, AGHABABYAN A, et al. Cortical activations during a computer–based fraction learning game: preliminary results from a pilot study[J]. *Technology, knowledge and learning*, 2015, 20(3): 339–355.

- [44] WILSON A J, DEHAENE S, PINEL P, et al. Principles underlying the design of “The Number Race”, an adaptive computer game for remediation of dyscalculia[J].Behavioral and brain functions,2006,2(1):14.
- [45] BUTTERWORTH B, LAURILLARD D. Low numeracy and dyscalculia: identification and intervention [J].Mathematics education, 2010,42(6):527-539.
- [46] WILSON A J, REVKIN S K, COHEN D, et al. An open trial assessment of “The Number Race”, an adaptive computer game for remediation of dyscalculia[J].Behavioral and brain functions,2006,2(1):20.
- [47] WILSON A J, DEHAENE S, DUBOIS O, et al. Effects of an adaptive game intervention on accessing number sense in low-socioeconomic-status kindergarten children[J].Ming brain and education,2009,3(4):224-234.
- [48] RÄSÄNEN P, SALMINEN J, WILSON A J, et al. Computer-assisted intervention for children with low numeracy skills[J].Cognitive development,2009,24(4):450-472.
- [49] MOURGUES C, TAN M, HEIN S, et al. Paired associate learning tasks and their contribution to reading skills [J].Learning and individual differences,2016,46:54-63.
- [50] BREM S, BACH S, KUCIAN K, et al. Brain sensitivity to print emerges when children learn letter-speech sound correspondences [J].Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,2010,107(17):7939-7944.
- [51] KOEPP M J, GUNN R N, LAWRENCE A D, et al. Evidence for striatal dopamine release during a video game[J].Nature,1998,393(6682):266-268.
- [52] SUPEKAR K, IUCULANO T, CHEN L, et al. Remediation of childhood math anxiety and associated neural circuits through cognitive tutoring[J].Journal of neuroscience,2015,35(36):12574-12583.
- [53] NÚÑEZ CASTELLAR E, VAN LOOY J, SZMALEC A, et al. Improving arithmetic skills through gameplay: assessment of the effectiveness of an educational game in terms of cognitive and affective learning outcomes[J].Information sciences,2014,264:19-31.
- [54] VERKIJKA S F, DE WET L. Using a brain-computer interface (BCI) in reducing math anxiety: evidence from South Africa[J].Computers & Education,2015,81:113-122.

Review of Studies on Game-based Learning from the Perspective of Cognitive Neuroscience

SHANG Junjie, ZHANG Lu

(Lab of Learning Sciences, Graduate School of Education, Peking University, Beijing 100871)

[Abstract] In recent years, game-based learning is attached much importance to, and many researches prove the educational functions of games from different perspectives. As an important branch in learning science, cognitive neuroscience promotes the exploration of the learning mechanism of human brain, and provides vital support for the design and study of game-based learning. This paper reviews the understanding of learning process in cognitive neuroscience, introduces the research tools used in brain science for educational researches and research findings of Math and Reading in cognitive neuroscience as well. Then, the proved studies about the effects of game-based learning on cognition, emotions and subject learning in brain science are investigated. What's more, this paper points out the great value of cognitive neuroscience for game-based learning and forecasts the future prospect of game-based learning based on cognitive neuroscience.

[Keywords] Cognitive Neuroscience; Learning Science; Educational Games; Game-based Learning, Review