

视觉表象生成中的眼动指标评述

刘帝欣

内蒙古师范大学心理学系, 内蒙古 呼和浩特

收稿日期: 2021年8月30日; 录用日期: 2021年10月22日; 发布日期: 2021年10月29日

摘要

有关表象生成的研究是基于感知觉相比较进行的。基于这样的实验逻辑, 研究者发现眼睛运动在表象生成中扮演功能性的角色。因此, 眼动追踪技术成为表象研究的关键技术之一。眼动追踪技术可以在表象生成中提供精准的数据用于分析当前的认知活动, 还可以提供不同被试群体、刺激类型等进行比较研究。考虑到眼动追踪技术在表象研究的领域越来越大, 眼动指标的选取是至关重要。本文通过对国内外文献的梳理, 根据眼动追踪技术在表象生成研究中的应用, 选取了有价值且有意义的眼动指标进行评述, 并对未来眼动追踪技术表象研究中的应用进行展望。

关键词

视觉表象, 眼动指标, 眼动追踪技术

A Review of Eye Movement Indicators in the Generation of Visual Imagery

Dixin Liu

School of Psychology, Inner Mongolia Normal University, Huhhot Inner Mongolia

Received: Aug. 30th, 2021; accepted: Oct. 22nd, 2021; published: Oct. 29th, 2021

Abstract

The research on image generation is based on the comparison of sensation and perception. Based on such experimental logic, researchers found that eye movement plays a functional role in image generation. Therefore, eye movement tracking technology has become one of the key technologies in image research. Eye movement tracking technology can provide accurate data in image generation for analyzing current cognitive activities, and can also provide stimulation types of different subject groups for comparative study. Considering that eye movement tracking technology is increasingly used in the field of image research, the selection of eye movement indicators is of great

importance. Based on the review of domestic and foreign literature, this paper reviews the valuable and meaningful eye movement indicators based on the application of eye movement tracking technology in the research of image generation, and prospects the future application of eye movement tracking technology in the research of image generation.

Keywords

Visual Imagery, Eye Movement Indicators, Eye Tracking Technology

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

1. 引言

表象, 又称心象, 意象, 是指刺激物体不在眼前时在头脑中产生鲜明且生动的形象(王甦, 2006)。表象生成过程是在没有明显相关刺激的情况下, 对某种技能或某个物体形象进行“想”的过程, 其是利用对物体或场景的视觉外观的长期记忆信息来创建短期的、类似感知的表象过程(Farah and Kosslyn, 1981)。基于 Kosslyn 的表象计算理论, 表象生成系统就像电脑计算机一样, 以代码的形式来存储具体的客体和场景的信息, 通过不同表征形式转换与不同功能模块协调运作使表象逐部分呈现(Paivio and Begg, 1974; Kosslyn, 1980; Kosslyn and Thompson, 2003)。

有关表象生成的研究大多是基于与感知觉相比较的实验逻辑基础上进行的。有研究者认为表象类似于感知觉, 又是感知觉的延伸(林钰婷, 张得龙等, 2018)。因此, 研究者们通过 fMRI、PET 等技术探讨视知觉和视觉表象在初级视皮层(v1)脑区的激活情况, 认为视觉表象与视知觉是机能等价的关系(Laeng & Sulutvedt, 2014; Albers et al., 2013; Bosch et al., 2014; Pearson and Kosslyn, 2015)。基于表象生成的实验逻辑与感知觉密不可分, 在日常生活中, 眼睛运动又是感知觉获取外界信息的重要活动方式。由此, 眼动在表象生成中的作用也是值得注意的。

目前, 有两种假设解释了眼动在表象生成过程中扮演的角色——功能说和副现象说。功能说(Function hypothesis)假设指出, 在感知过程中每一次的眼睛运动都是作为表象生成过程中某一部分的重要指标。物体的特征会随着在感知的编码过程中一起被储存。在表象生成过程中, 物体的特征信息会以编码的顺序重现眼球运动。相比之下, 副现象假设(epiphenomenal hypothesis)则认为, 表象生成过程中的眼睛运动是注意力转移的“溢出”。这种“溢出”是由于注意神经性转移而产生的, 与表象之间不存在机能性的联系。两种假设孰对孰错? 大多数研究者通过不同的实验情境支持了功能说(Brandt & Stark, 1997; Laeng and Teodorescu, 2002; Johansson et al., 2012; 何立国, 周爱保等, 2012)。在大量眼动实验数据的支持下, 我们可以认为, 眼球运动在心理表象中扮演着功能性角色, 在心理表象过程中, 眼球运动不是偶然现象, 而是维持表象生成的过程。

我们利用眼球运动获取外界信息, 并对获得的信息采取相应的行为。视觉表象是基于视觉感官产生一种体验式的精神创造或再创造, 这种体验类似于实际感知视觉刺激的体验, 但没有直接的感官刺激(Johansson et al., 2012)。我们会回想我们所看的事物或所做过的事情。依据过去的经验, 我们会自动的在内心产生表象的内容, 就像“心灵的眼睛”, 它根据事物的特征或物体之间的空间关系将不在眼前的物体“画”出来。基于视觉表象与视感知具有大部分相同的神经结构, 一个较为被认可的解释是将视觉表

象作为对视感知的模拟。在几项著名的表象研究中发现，在表象形成过程中有明显运动现象，这种现象类似于感知觉对物体或场景的识别运动。基于这种解释，大量的研究也报道了限制动眼神经系统在模拟知觉过程中的运动，发现眼睛运动会自发的与视觉表象发生联系。因此，眼动追踪技术也是研究视觉表象的重要工具。

如果眼球运动与心理表象的产生和维持有关，那么有那些眼动指标可以支持眼动在表象生成过程是扮演着功能性角色，而不是副现象角色呢？

2. 眼睛运动与视觉表象生成的联系

关于视觉表象生成的眼动研究是一个相当漫长的历史。早期的研究报道了眼球运动与表象生成是密切有关的。表象生成过程是一种逐渐清晰连续的过程。在表象生成过程中，眼睛运动会呈现有规律的扫描轨迹，并且这种轨迹在不同被试、不同刺激、不同实验要求都呈现出有固定的扫描顺序(Totten, 1935; Antrobus et al., 1964; Noton and Stark, 1971)。Hebb 是第一个明确提出眼动肌肉在表象中是有必要的，表象是对感知觉运动的恢复过程，这个过程由眼睛运动呈现(Hebb, 1968)。但是有研究者质疑眼球运动速度(EMR)和眼电扫描图(EOGs)在表象生成过程中不能详细测量眼球的位置和方向。由此，研究者怀疑眼睛活动与表象生成的关系。

随着科技的发展，研究者使用眼动追踪技术支持眼睛运动与表象生成的关系，并且研究者设计自由眼动和固定眼动的实验模式，打破之前人们的质疑。大量的实验结果也认为了眼动在表象生成中扮演功能性角色(Brandt & Stark, 1997; Laeng and Teodorescu, 2002; Johansson et al., 2012; 何立国, 周爱保等, 2012)。Brandt 和 Stark 研究发现，在视觉表象中的眼球活动密切反映了初始物体的特征和空间排列的视觉场景，编码阶段与表象阶段的眼动扫描路径之间存在相关性(Brandt & Stark, 1997)。在临床实验研究中发现，先天性失明的被试拥有表象能力，并且在表象过程中，与正常被试一样有明显的眼动行为，能够编码和处理空间信息，保留了表象空间信息特征(Kerr, 1983)。

如果眼球运动只是在表象过程中是一种简短的生理现象或注意性转移的溢出，那么随意的眼球运动就不会干扰心理表象的生成。为了打破人们对眼动在表象中是功能性角色的质疑，由此，研究者破坏被试的眼球运动，例如要求被试注视中心点进行表象，结果发现表象内容也随之被破坏(Vito et al., 2014)。综上所述，我们可以认为眼睛运动参与表象生成的过程，其是表象生成过程中的必然发生的现象，眼动在表象生成过程中起着一个功能性的角色。

总的来说，我们可以认为，眼睛运动与表象生成有着密切关系，并且其在表象生成中是必不可少的行为表现方式。因此，眼动追踪技术在表象生成中的研究是一个重要的研究方法，眼动指标就是提供一个有力的数据支撑的作用。那么，一个关键的问题就是那些眼动指标可以作为表象生成的依据。

3. 表象生成中眼动指标

在眼动追踪实验研究中，选取适当且有效的眼动指标对实验目的和数据分析以及讨论是相当有价值并具有意义性。基于表象生成的实验逻辑，表象的眼动研究大致可分为感知阶段和表象阶段。感知阶段为被试在熟悉刺激物时，依据空间排列或物体特征识别刺激物。当屏幕呈现空白时，被试会根据实验问题在屏幕上依据编码时的线索“画”出刺激物，并回答问题，该过程为表象阶段。研究者通过比较和分析两个阶段的眼动指标数据得出眼动在表象中扮演功能性的角色，进一步证实二者关系密不可分的结论。

3.1. 注视

注视(fixation)是人眼基本的运动现象。注视是眼动过程中眼睛的相对保持静止的状态，一般持续时

间为 200~300 ms (闫国利, 熊建萍等, 2013)。注视位置(landing position)是指注视点所处的位置, 当前的注视位置既是前一次眼跳的落点位置(landing site)也是下一次眼跳的起跳位置(launch site) (闫国利, 熊建萍等, 2013)。每一次注视的时间和位置反映了被试对刺激的加工情况以及对注视物体的编码、存储和提取有关。在感知阶段中, 对物体的编码是一系列注视的综合。我们通过眼球运动注视物体的特征, 并对相关部分特征再聚焦(Yarbus, 1967)。每次注视将事物的特征或场景线索存储在记忆系统中, 并根据运动空间为索引, 用于表象的大致空间位置安排(Laeng and Teodorescu, 2002)。

在感知和表象过程中, 注视的形状和方向是密切相关的。在感知阶段的注视位置同样会在表象阶段进行自发注视(Laeng and Teodorescu, 2002)。同时, Laeng 和 Teodorescu (2002)为了支持眼球运动是表象生成的必然现象, 他们通过固定中央注视限制眼球运动, 发现在记忆系统中提取心理表象的内容受到破坏。总而言之, 注视是眼动在表象生成中良好指标之一。对于同一视觉刺激物的感知和表象之间的注视模式是高相关的, 我们可以通过比较两个阶段的注视位置和方向从而确定眼睛运动在表象生成过程中不是偶然现象。

3.2. 眼动轨迹图

眼动轨迹图是将眼球运动信息叠加在视觉图像上形成的注视点及其移动路线图, 它能具体、直观、全面的反应眼动的时空特征(何立国, 2006)。通过比较不同实验要求、实验刺激以及实验情境, 分析感知阶段和表象阶段路径过程, 进而验证眼动在表象生成中扮演着功能性角色。Neisser 认为当个体表象能力越生动, 其眼睛运动就越可能包含一些扫描过程(Neisser et al., 1969)。研究者通过自由模式和固定模式在不同刺激场景, 视觉表象与场景知觉的路径扫描之间存在正相关(Brandt & Stark, 1997)。这种密切的相关性使研究者们更支持了眼动在表象过程中扮演着功能性角色, 眼动是表象必要的表现形式。扫描路径可以依据空间坐标系扫描复杂场景的特征位置, 由此可以认为眼睛运动是表象生成的外显行为指标。总的来说, 我们可以基于感知与表象的关系比较感知阶段与表象阶段的轨迹图, 通过自由眼动和固定眼动来证明眼睛运动对表象生成器维持的作用。

3.3. 凝视

凝视(gaze)是将物体中包含具体信息或某一部分特征信息集中的位置。凝视时间(gaze duration)是指从首次注视点开始到首次离开当前兴趣区之间的持续时间, 包括兴趣区内的回视(闫国利, 熊建萍等, 2013)。个体通过凝视运动对特定物体信息进行编码, 当事后回忆物体信息时, 凝视会回到物体之前的凝视区域从而提取物体的信息。因此, 要求被试在空白屏幕“画”出之前看到的图像, 被试的目光会停留在明显特征的区域。从记忆中回忆某一物体时, 凝视会停留在物体的信息特征上。由此, 有研究者认为心理表象的产生过程与凝视的位置时密切相关的, 这种相关性也有利于视觉记忆的形成(Laeng & Sulutvedt, 2014)。Laeng 等人认为在生成表象时, 表象中的注视与感知过程中的凝视区域具有高相关性的。综上所述, 在表象生成过程中, 眼球运动有助于正确定位场景或物体的特征(Laeng & Sulutvedt, 2014)。当一个人需要依靠空间关系生成表象时, 凝视是一个良好辅助表象生成的指标, 操作凝视行为就会破坏表象生成的内容。心理表象的生成依赖凝视的形成过程。

3.4. 其他眼动指标

3.4.1. 瞳孔直径

瞳孔直径(pupil dilation/pupil size)是记录当前刺激下被试的瞳孔直径大小, 该数值大小变化被认为是认知加工的努力程度或认知负荷的大小。瞳孔直径大小的变化可以作为心理加工的良好指标。与感知阶

段相比,表象阶段的瞳孔变化更大,也是表象自上而下的信息加工方式的一种特征表现。叶华奇通过比较自由表象和固定表象的瞳孔直径发现无论是静止词汇和非静止词汇中的瞳孔大小变化都是显著的,表明了瞳孔大小是判断表象生成的眼动指标,说明了眼动在表象生成起到功能性作用(叶华奇,文萍,2014)。

3.4.2. 眼跳距离

眼跳(saccade)是指眼球在注视点之间产生的眼动,主要是受中枢神经系统控制产生有规律的随意运动,具体表现为眼球注视点或注视方位突然改变(闫国利,熊建萍等,2013)。眼跳距离反映了被试在注视中的眼动范围。Laeng 的研究结果是表象阶段和感知阶段的平均眼跳距离是保持相对的(Laeng and Teodorescu, 2002)。但有研究者使用有意义的图形发现,表象阶段的平均眼跳距离明显比感知阶段的小。叶华奇通过比较自由表象和固定表象发现,在自由表象时,运动物体诱发自由表象的眼跳距离显著大于静止物体诱发的自由表象;在固定表象时,无论是静止物体还是固定物体诱发的眼跳距离无差异(叶华奇,文萍,2014)。由此,我们可以认为眼跳是表象生成的指标之一,其根据不同的实验处理,不同的刺激材料导致在表象阶段产生不同眼动范围。我们也可以通过眼跳指标得出表象是自上而下的加工过程,受中枢神经系统的控制。

4. 存在问题与展望

目前,越来越多的研究者对表象的眼动研究表现出浓厚的兴趣。随着科学技术的发展,眼动仪的成本降低,精准度高,方便携带等特点,眼动仪已经成为心理学研究的主要仪器之一,国内的各大高校和研究所都使用眼动展开各方面相关研究并获得成果。结合当前有关表象研究成果,展望表象的眼动研究的发展趋势。

4.1. 眼睛运动在不同类型表象中的应用

表象可以根据感觉通道划分为视觉表象、听觉表象、触觉表象、痛觉表象等,也可以按内容划分为记忆表象与想象表象(祁乐瑛,2010)。目前,大多数关于眼动追踪技术在表象的应用研究都是集中在视觉表象研究中,很少有其他类型表象的研究。尽管有研究者采用听觉启动诱导被试产生表象的眼动指标(叶华奇,文萍,2014),但相关研究依旧很少。在未来研究中,我们的目光可以多集中于其他表象类型,探讨眼动追踪在其他类型表象中应用。

4.2. 其他认知活动对表象生成过程中眼动的影响

表象是一个特殊的认知过程,它是思维的重要部分之一,也与感知觉、记忆的关系密不可分。在人的认知系统中,每一个认知部分既是独立的也是互相影响的关系。何立国通过不同的情绪效价研究了表象扫描中的眼动分化。那么值得注意的是,不同情绪效价是否也会对表象生成有影响?我们是否可以考虑其他认知活动对表象生成的影响,例如动机、认知风格、注意阈限等,他们是否也会影响表象生成的过程。

4.3. 被试差异与不同实验材料对表象生成过程中眼动的影响

已有研究证明表象是存在个体差异的,受性别、年龄、表象偏好、认知能力等因素影响都会造成个体表象能力差异(何立国,周爱保等,2012)。也有研究者探讨了不同表象清晰水平的个体的眼睛运动存在差异,高清晰水平个体比低清晰水平个体表现出更高规律性和组织性的眼动行为。那么我们能否进一步研究其他因素对表象的眼动行为是否存在差异?

其次,大部分关于表象生成的材料是物理属性,探讨物理属性(例如,网格图、光栅图、多特征的物

体)对表象生成的影响。但人并非是自然人,而是社会人,个体受民族、文化等因素产生丰富的经验。倘若让被试对具有社会属性的物体进行表象,其眼睛运动是否会与表象的关系更加紧密。

5. 小结

表象是一个富有特色的认知活动。眼动追踪技术无疑是推动表象生成研究进一步的深化,大量实验研究已经证明了眼动与表象具有密不可分的关系。眼动追踪技术也成为研究表象的可靠方法,选择适当的眼动指标也是支持眼动与表象关系的重要依据。因此,眼睛运动在表象生成过程中不是随意运动,而是维持表象生成过程,扮演着功能性的角色。

参考文献

- 何立国(2006). *视觉心理表象的眼动机制*. 硕士学位论文,兰州:西北师范大学.
- 何立国,周爱保,郭田友,鲍旭辉(2012). 任务信息通达对视觉表象眼动的影响. *心理学报*, (7), 62-75.
- 林钰婷,张得龙,刘鸣(2018). 视觉表象生成系统及其影响因素. *心理科学进展*, 26(4), 70-78.
- 祁乐瑛(2010). 认知加工中的表象表征与命题表征. *青海师范大学学报(哲学社会科学版)*, 33(2), 129-133.
- 王甦(2006). *当代心理学研究*. 北京大学出版社.
- 闫国利,熊建萍,臧传丽,余莉莉,崔磊,白学军(2013). 阅读研究中的主要眼动指标评述. *心理科学进展*, 21(4), 589-605.
- 叶华奇,文萍(2014). 听觉诱发表象的眼动机制. *心理学探新*, 34(2), 136-140.
- Albers, A. M. et al. (2013). Shared Representations for Working Memory and Mental Imagery in Early Visual Cortex. *Current Biology*, 23, 1427-1431. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2013.05.065>
- Antrobus, J. S., Antrobus, J. S., & Singer, J. L. (1964). Eye Movements Accompanying Daydreaming, Visual Imagery, and Thought Suppression. *Journal of Abnormal Psychology*, 69, 244. <https://doi.org/10.1037/h0041846>
- Bosch, S. E. et al. (2014). Reinstatement of Associative Memories in Early Visual Cortex Is Signaled by the Hippocampus. *Journal of Neuroscience*, 34, 7493-7500. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0805-14.2014>
- Brandt, S., & Stark, L. W. (1997). Spontaneous Eye Movements during Visual Imagery Reflect the Content of the Visual Scene. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9, 27-38. <https://doi.org/10.1162/jocn.1997.9.1.27>
- Farah, M. J., & Kosslyn, S. M. (1981). Structure and Strategy in Image Generation. *Cognitive Science: A Multidisciplinary Journal*, 5, 371-383. https://doi.org/10.1207/s15516709cog0504_3
- Hebb, O. D. (1968). Concerning Imagery. *Psychological Review*, 75, 466-477. <https://doi.org/10.1037/h0026771>
- Johansson, R. et al. (2012). Eye Movements during Scene Recollection Have a Functional Role, But They Are Not Reinstatements of Those Produced during Encoding. *Journal of Experimental Psychology Human Perception & Performance*, 38, 1289-1314. <https://doi.org/10.1037/a0026585>
- Kerr, N. H. (1983). The Role of Vision in "Visual Imagery" Experiments: Evidence from the Congenitally Blind. *Journal of Experimental Psychology General*, 112, 265-277. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.112.2.265>
- Kosslyn, S. M. (1980). *Image and Mind*. Harvard University.
- Kosslyn, S. M., & Thompson, W. L. (2003). When Is Early Visual Cortex Activated during Visual Mental Imagery? *Psychological Bulletin*, 129, 723-746. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.129.5.723>
- Laeng, B., & Sulutvedt, U. (2014). The Eye Pupil Adjusts to Imaginary Light. *Psychological Science: A Journal of the American Psychological Society*, 25, 188-197. <https://doi.org/10.1177/0956797613503556>
- Laeng, B., & Teodorescu, D.-S. (2002). Eye Scanpaths during Visual Imagery Reenact Those of Perception of the Same Visual Scene. *Cognitive Science*, 26, 207-231. https://doi.org/10.1207/s15516709cog2602_3
- Neisser, U. et al. (1969). Perceptual Organization in the Prefix Effect. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 8, 424-429. [https://doi.org/10.1016/S0022-5371\(69\)80135-0](https://doi.org/10.1016/S0022-5371(69)80135-0)
- Noton, D., & Stark, L. (1971). Scanpaths in Saccadic Eye Movements While Viewing and Recognizing Patterns. *Vision Research*, 11, 929-942. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(71\)90213-6](https://doi.org/10.1016/0042-6989(71)90213-6)
- Paivio, A., & Begg, I. (1974). Pictures and Words in Visual Search. *Memory & Cognition*, 2, 515-521. <https://doi.org/10.3758/BF03196914>

-
- Pearson, J., & Kosslyn, S. M. (2015). The Heterogeneity of Mental Representation: Ending the Imagery Debate. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *112*, 10089-10092.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1504933112>
- Totten, E. (1935). Eye Movement during Visual Imagery. *Comparative Psychology Monographs*, *2*, 11-46.
- Vito, S. D. et al. (2014). Eye Movements Disrupt Spatial But Not Visual Mental Imagery. *Cognitive Processing*, *15*, 543-549.
<https://doi.org/10.1007/s10339-014-0617-1>
- Yarbus, A. L. (1967). *Eye Movements and Vision*, *Eye Movements and Vision*. Springer.
<https://doi.org/10.1007/978-1-4899-5379-7>