

## Representation of Implicit Sequence Learning: Evidence from Eye Movements

Mengna Liu Zhanglong Lu\*

College of education, Zhengzhou University, Zhengzhou

**Abstract:** Implicit sequence learning paradigm is one of the most frequently applied research paradigms in the field of implicit learning research. The representation of implicit sequence learning is a basic problem in the field of implicit learning. There are two main theoretical views on the representation of implicit sequence learning: stimulus-stimulus (S-S) learning, response-response (R-R) learning. Previous studies mostly used traditional key reaction to investigate implicit sequence learning, which have problems such as different subjects have different response speed and subjects maybe left-hander or right-hander. In order to overcome the shortcoming of traditional key reaction method, the eye movement recording method was used in this study, and the saccadic response time as the dependent variable. Taking 36 college students as subjects ( $19.92 \pm 1.59$  years), the subjects were randomly assigned to the prosaccade group or the antisaccade group. The prosaccade means when the target stimulus appears, subject's eye jumps to the location of the target stimulus; the antisaccade means when the target stimulus appears, subject's eye jumps to the mirror location of the location of the target stimulus. F test was performed on the saccadic reaction time and implicit sequence learning volume of the 1-11 groups.

The results showed that: (1) the main effect of blocks segment was significant. As the block increased, the saccade reaction time decreased significantly; (2) the main effect of the groups was significant. The saccadic reaction time in the prosaccade group was significantly lower than that in the antisaccade group; (3) there was no significant difference in the implicit sequence learning scores between the prosaccade group and the antisaccade group. The results showed that implicit sequence learning is mainly based on reactive learning.

**Key words:** Implicit Learning; Representation; Antisaccade; Eye Movement

Received: 2020-04-05 ; Accepted: 2020-04-16 ; Published: 2020-04-20

# 内隐序列学习表征方式的眼动研究

刘梦娜 卢张龙\*

郑州大学教育学院, 郑州

邮箱: psylzl@zzu.edu.cn

**摘 要:** 内隐序列学习的表征方式是内隐学习领域的基本问题之一。目前关于内隐序列学习的表征方式主要观点有知觉学习和反应学习。本研究使用眼动记录法, 眼跳反应时作为因变量。以 36 名大学生为被试 ( $19.92 \pm 1.59$  岁), 将被试随机分配到朝向眼跳组或反向眼跳组。当目标刺激出现时, 朝向眼跳组被试的眼睛跳向目标刺激所在位置, 而反向眼跳组被试的眼睛跳向目标刺激所在位置的镜像位置。结果发现: (1) 1-11 组段的眼跳反应时, 组段主效应显著, 随

着组段增加,眼跳反应时显著减小;(2)1-11 组段的眼跳反应时,组别主效应显著。朝向眼跳组的眼跳反应时显著低于反向眼跳组的;(3)朝向眼跳组和反向眼跳组的内隐序列学习量差异不显著。朝向眼跳组的内隐序列学习成绩,反向眼跳组的内隐序列学习成绩。结果表明内隐序列学习主要建立在反应学习基础上。

**关键词:** 内隐学习;表征;反眼跳;眼动

收稿日期:2020-04-05;录用日期:2020-04-16;发表日期:2020-04-20

Copyright © 2019 by author(s) and SciScan Publishing Limited

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

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



## 1 引言

内隐序列学习领域的一个核心问题是内隐序列学习的表征方式,内隐序列学习是基于刺激的知觉学习还是基于动作的反应学习?关于此问题存在争论 [1] [2]。基于动作的反应学习认为序列学习是基于反应序列的,即人们在序列反应时任务中习得的是相邻反应和反应之间的联结,也称为动作学习 (motor learning) [3]。基于刺激的知觉学习观点认为内隐序列学习习得的是相邻刺激和刺激之间的联结 [4]。

Gheyson 等人认为以往考察知觉学习的研究控制变量未得到有效控制,例如眼动等 [5],他们对上述控制因素进行控制后,探究是否还存在知觉学习。他们采用的是序列颜色匹配任务 (serial color-matching task),在电脑屏幕上呈现的不同颜色的正方形色块 (红、绿、黄、蓝)。首先呈现三个水平放置的小色块,600 ms 之后三个小色块消失,屏幕上出现一个大的正方形色块。被试仔细观察

小色块的颜色,并在大色块呈现时判断前面呈现的小色块中有几个色块的颜色与大色块相同。共四个按键:按键“1”表示小色块的颜色与大色块均不相同;按键“2”表示有1个小色块的颜色与大色块相同;按键“3”表示有2个小色块的颜色与大色块相同;按键“4”表示有3个小色块的颜色与大色块相同。实验一中,小色块颜色随机呈现,大色块的颜色符合序列规则(知觉学习);实验二中,小色块颜色随机呈现,被试的反应符合序列规则(反应学习)。结果发现存在知觉学习。Kemény和Németh则使用内隐序列学习范式,对不同感觉通道的序列学习进行了考察。在训练阶段,呈现的是视觉序列反应时任务,目标刺激(灰色圆点)可能出现在方框内,刺激出现的位置遵循序列规则,被试对目标刺激(灰色圆点)出现的次数进行计数,不需要做出反应。在测验阶段,呈现的是听觉序列反应时任务,被试对出现的声音刺激进行按键反应,按键反应遵循序列规则。测验阶段的反应序列和训练阶段的位置序列可能相同也可能相反。将被试分为四组:相同组、相反组、随机组、无训练组。结果发现无训练组的练习效应显著高于训练组的;无训练组的序列学习成绩显著高于训练组的。结果表明序列学习建立在刺激基础上[6]。

无论支持基于刺激的实验研究,还是支持基于反应的实验研究,存在一个问题,那就是用传统的按键作为被试的反应,存在弊端。按键看似简单,实则复杂。被试按相应的按键作出反应,在完成反应的过程中,手指的运动是一类事件;反应键被按是另一类事件,这个是手指运动的一个结果;其他细微的可作为动作的反馈或效果的事件,称为效果事件(例如在按键上受到压力)。反应序列包含效应器序列(手指运动序列)、反应空间位置序列(反应按键序列)和反应效果序列。被试对序列的学习,可能是基于手指运动的序列发生序列学习;也可能是基于反应键依次被按的序列发生序列学习,也可能是将反应所得到的效果依次联结起来发生序列学习。而且由于眼动存在动作成分[7],有人质疑是否存在完全知觉学习。为此,我们对按键反应做了调整,采用眼动而不是按键反应。眼动已被证实是研究序列学习的有效手段[8][9][10],而且眼动可以有效避免反应的复杂性,控制了很多以前没有控制的变量,可以说是目前最简单的反应形式。为了有效地将刺激序列和反应序列相分离,首次

将内隐序列学习范式和反眼跳范式相结合,设计了朝向眼跳组和反向眼跳组。朝向眼跳(prosaccade)又称视觉引导性眼跳任务(visually guided saccade task, VST),指被试对突然出现的视觉刺激作出眼跳;反向眼跳(antisaccade)由Hallett首次提出的[11],他使用的是镜像反向眼跳任务,即要求被试眼睛跳向与目标出现位置相反并且以注视点为中心的对称位置,也就是被试需要抑制对突然出现的新刺激的眼跳,并朝相对应的镜像位置进行眼跳。在反向眼跳任务中,被试观测到的序列为知觉序列,而被试作出反向眼跳序列为反应序列。如果内隐序列学习表征方式是基于刺激的,朝向眼跳组会发生序列学习;反向眼跳组不会发生序列学习;如果内隐序列学习表征方式是基于反应的,朝向眼跳组会发生序列学习;反向眼跳组也会发生序列学习。

## 2 实验方法

### 2.1 被试

郑州大学在校生36人,其中男性9名,女性27名,平均年龄为 $19.92 \pm 1.59$ 岁。视力或矫正视力正常,身体健康,均为右利手且母语为中文,之前均未参加过类似内隐学习实验。被试随机分配到朝向眼跳组或反向眼跳组。被试在完成实验后得到一份小礼物。

### 2.2 实验材料

在屏幕中央从左至右水平排列四个黑色方框,背景为白色。在序列组段中,红色圆点按照序列规则出现在其中一个方框中;在随机组段中,红色圆点随机出现在其中一个方框中。

正式实验共包括13个组段,每个组段包括96个试验。其中第12个组段为随机序列组段,其他组段为规则序列组段,即黑色圆点出现的位置遵循一定的序列规则:4-1-3-2-1-2-4-3-1-4-2-3,其中1、2、3、4分别对应着显示器屏幕从左至右排列着的四个黑色方框的位置。每一个规则序列组段中的起始圆点位置是随机的,但不会出现两个圆点连续出现在同一位置的情况。

## 2.3 实验设计

采用单因素被试间实验设计。自变量为组别，有两个水平：朝向眼跳组和反向眼跳组。因变量为眼跳反应时。朝向眼跳组要求被试眼睛跳向红色圆点所在位置；反向眼跳组要求被试眼睛跳向与红色圆点出现位置相反并且以注视点为中心的对称位置。

## 2.4 实验仪器

采用 EyeLink 1000 plus 眼动仪来记录眼动轨迹，采样率为 1000 Hz。实验材料呈现在 19 英寸的惠普电脑上，显示器分辨率为  $1024 \times 768$  像素，刷新率为 75 Hz。被试眼睛距离显示器中央之间的距离 60 cm。被试双眼注视显示器，但只记录右眼的眼动轨迹。实验程序采用 Experiment Builder 1.1 进行编制。

## 2.5 实验程序

整个实验包括准备阶段、正式实验和意识性水平测试三部分。

### 2.5.1 准备阶段

被试进入实验室后，先让被试熟悉实验室环境，被试阅读并签署知情同意后。主试向被试交待具体实验流程并解答被试在此过程中的疑问。然后简要向他们介绍眼动仪，使被试对仪器和实验有个大致了解。接着，让被试坐在眼动仪前，双眼平视显示器屏幕，将下巴放在下巴托上并要求被试在实验过程中尽量保持头部不动。

### 2.5.2 正式试验

对被试进行五点校准，成功校准后开始正式实验。

反向眼跳组的指导语为：您好，欢迎参加本次实验。请阅读下面一段文字。当您在屏幕中央看到“+”时，请注视该注视点，一段时间后注视点消失，屏幕中将会出现水平排列的四个黑框，其中一个黑框中心会有一个红色圆点，请又快又准的注视该圆点所在黑框的镜像位置直至黑框消失，如当圆点出现在从左往右数的第一个黑框里，请又快又准地注视从左往右数的第四个黑框中红色圆点对应位置，当圆点出现在从左往右数的第二个黑框里，请又快又准地注视从

左往右数的第三个黑框中红色圆点对应位置，反之亦然。若您在练习阶段已经熟悉该操作，请按空格键开始正式实验。若您依然不熟悉该实验，请按回车键重新练习。

朝向眼跳组被试的指导语为：您好，欢迎参加本次实验。请阅读下面一段文字。当您在屏幕中央看到“+”时，请注视该注视点，一段时间后注视点消失，屏幕中将会出现水平排列的四个黑框，其中一个黑框中心会有一个红色圆点，请又快又准地注视该圆点所在位置直至黑框消失。若您在练习阶段已经熟悉该操作，请按空格键开始正式实验。若您依然不熟悉该实验，请按回车键重新练习。

正式实验前被试先进行练习，练习中随机呈现红色圆点，直到被试明白实验流程后才开始正式实验。每个组段结束后被试可以短暂休息。

### 2.5.3 意识性水平测试

当被试完成序列反应时任务后，按照过程分离程序 [12]，对被试的外显知识和内隐知识进行评估。意识性水平测试包括包含任务和排除任务，通过被试在两个任务中的得分可以评估他们进行了内隐学习还是外显学习。包含任务中，向被试呈现随机两个相邻出现红色圆点的方框，让被试按照序列规则填写下一次可能出现红色圆点方框的位置，每填对 1 个记 1 分；在排除任务中，仍给出序列规则中的两个相邻位置，但是要求被试填写第三次不会出现红色圆点方框的位置，且要求不能与前面出现的两个位置相同。如果被试按照序列规则填写，每填出 1 个记 1 分。包含任务和排除任务总分各为 12 分。

## 3 实验结果

采用眼动数据分析软件“Data Viewer 1.1”和 SPSS 21.0 进行数据分析。1 名被试由于眼睛校准存在问题，2 名被试未能完成全部实验，数据被剔除。

### 3.1 意识性水平测验

根据被试在意识性水平测验的成绩，包含条件的得分小于 3 分，或者包含条件得分小于或等于排除条件得分的被试为内隐被试，不满足以上条件的被试为外显被试 [13]。内隐被试共 28 人，朝向眼跳组和反向眼跳组各 14 人。



### 3.2 眼跳反应时

朝向眼跳和反向眼跳条件下的眼跳反应时如图 1 所示。对 1-11 组段眼跳反应时进行 2（组别：朝向眼跳组、反向眼跳组） $\times$  11（组段：1-11）方差分析，结果发现：组别主效应显著， $F(1, 26) = 47.45$ ,  $p < 0.001$ ,  $\eta^2 = 0.65$ ，朝向眼跳组眼跳反应时（530 ms）显著低于反向眼跳组（835 ms）。组段主效应显著， $F(10, 260) = 50.51$ ,  $p < 0.001$ ,  $\eta^2 = 0.66$ ，随着组段增加，眼跳反应时显著减小。组段和组别交互作用不显著， $F(10, 260) = 0.80$ ,  $p > 0.05$ ,  $\eta^2 = 0.03$ 。

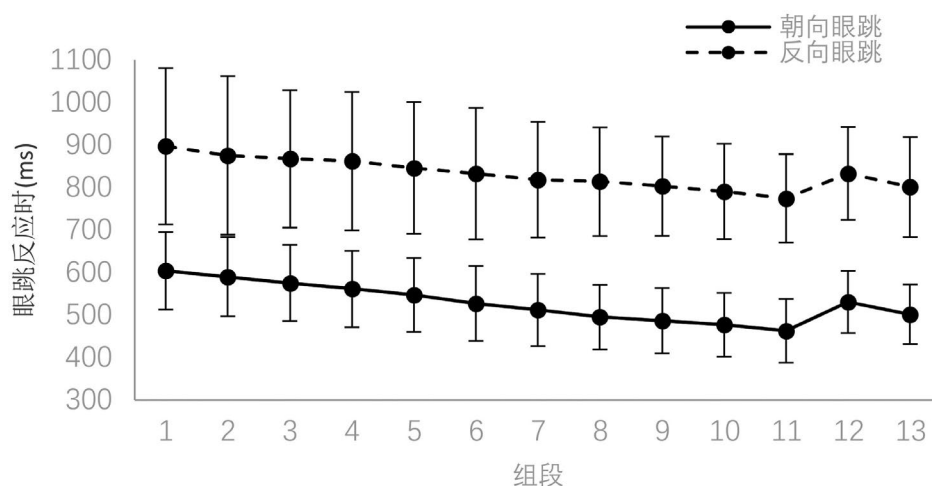


图 1 朝向眼跳和反向眼跳条件下的眼跳反应时

Figure 1 Response time of saccade under saccade and reverse saccade conditions

### 3.3 内隐学习量

对朝向眼跳和反向眼跳条件下的内隐序列学习量进行  $F$  检验。内隐序列学习量计算方法为第 11 组段和第 13 组段眼跳反应时平均数与第 12 组段眼跳反应时的差值 [14]。结果发现朝向眼跳组的内隐序列学习量和反向眼跳组的内隐序列学习量差异不显著， $F(1, 26) = 2.65$ ,  $p > 0.05$ ,  $\eta^2 = 0.09$ ，朝向眼跳组的内隐序列学习成绩 48 ms，反向眼跳组的内隐序列学习成绩 45 ms。



## 4 讨论

本研究首次尝试将反向眼跳范式和序列反应时范式相结合,采用眼动记录法,探究内隐序列学习的表征方式。结果发现朝向眼跳条件下存在内隐序列学习。随着组段的增加,眼跳反应时逐渐减少;当插入随机组段后,眼跳反应时增加。有意思的是,本研究首次发现反向眼跳条件下仍旧存在内隐序列学习,而且朝向眼跳和反向眼跳的序列学习量没有差异。朝向眼跳条件下存在内隐序列学习,和以往研究结果相一致,以往研究考察的是朝向眼跳条件下内隐序列学习情况[8][9][10]。反向眼跳条件下的反应时比朝向眼跳条件下的反应时长,这是因为反向眼跳条件下刺激出现的位置和眼跳位置不是同一个位置,还包含了反应抑制过程,为此眼跳反应时有所增加。虽然反向眼跳条件下的眼跳反应时比较长,但是经过大量练习,反向眼跳条件下和朝向眼跳条件下的序列学习量没有显著差异。

以往研究很难将知觉学习和反应学习相分离。将按键作为反应方式,将几个不同类型序列学习混淆在一起。被试可能对手指运动序列发生了序列学习;也可能对反应按键位置序列发生了序列学习;也可能对反应效果序列(例如手指按压感)发生序列学习。相比较而言,采取眼动作为反应,有效避免了按键作为反应存在的问题。在朝向眼跳任务中,知觉序列和眼动序列是一致的,被试对知觉序列和眼动序列进行学习;在反向眼跳任务中,知觉序列和眼动序列是不一致的,被试对知觉序列和眼动序列进行学习。如果朝向眼跳和反向眼跳下的序列学习量相同,表明内隐序列学习可能是建立在反应基础上。由于采用眼动作为反应,有效控制了反应效果因素,R-E观点无法解释本研究结果[15]。被试也有可能学习了R-S或S-R联结,或者将R、S作为一个特征[16],有待进一步探究。Gheysen等人[5]曾尝试对按键反应存在的不足进行改进,但他们研究中没有使用内隐序列学习范式。Kemény和Németh[6]虽然使用了内隐序列学习范式,但是他们的研究重点是视觉、听觉不同感觉通道的序列学习迁移,而不是内隐序列学习的表征方式。有研究为了将知觉学习和反应学习完全分立,甚至不允许被试眼动,发现在不允许眼动条件下,可以对规则发生学

习。需要指出的是他们使用的是背景线索范式,不是序列反应时范式 [17]。不发生眼跳时,对序列的学习可能是通过空间注意的转移。Coomans 等人研究中 [18],没有使用眼动仪,无法确定是否发生了眼跳,在严格控制眼跳条件下,是否发生内隐序列学习,有待进一步验证。

反向眼跳任务需要反应抑制能力,对于抑制能力下降的人群,例如老年人 [19] 与抑制能力有关的前额叶受损患者,他们在反向眼跳任务中存在内隐序列学习吗?今后的研究,可以考察老年人或与抑制能力有关的前额叶受损患者在反向眼跳任务中的内隐序列学习情况。

## 5 结论

内隐序列学习主要建立在反应学习基础上。

## 基金项目

河南省教育厅人文社会科学研究项目(2020-ZDJH-419)。

## 参考文献

- [1] Willingham D B. Implicit motor sequence learning is not purely perceptual [J]. Memory & Cognition, 1999, 27 (3): 561-72.  
<https://doi.org/10.3758/BF03211549>
- [2] Willingham D B. Implicit motor sequence learning is represented in response locations [J]. Memory & Cognition, 2000, 28 (3): 366-375.  
<https://doi.org/10.3758/BF03198552>
- [3] Schwarb H, Schumacher E H. Implicit sequence learning is represented by stimulus-response rules [J]. Memory & Cognition, 2010, 38 (6): 677-688. <https://doi.org/10.3758/MC.38.6.677>
- [4] Heuer H, Schmidtke V, Kleinsorge T. Implicit Learning of Sequences of Tasks [J]. journal of experimental psychology learning memory &

- cognition, 2001, 27 ( 4 ) : 967. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.27.4.967>
- [ 5 ] Gheysen F, Gevers W, Schutter E D, et al. Disentangling perceptual from motor implicit sequence learning with a serial color-matching task [ J ] . Experimental Brain Research, 2009, 197 ( 2 ) : 163-174. <https://doi.org/10.1007/s00221-009-1902-6>
- [ 6 ] Kemény F, Németh K. Stimulus dependence and cross-modal interference in sequence learning [ J ] . The quarterly journal of experimental psychology, 2017, 70 ( 12 ) : 2535-2547. <https://doi.org/10.1080/17470218.2016.1246579>
- [ 7 ] Marcus D J, Karatekin C, Markiewicz S. Oculomotor evidence of sequence learning on the serial reaction time task[ J ]. Memory & Cognition, 2006, 34( 2 ) : 420-432. <https://doi.org/10.3758/BF03193419>
- [ 8 ] Kinder A, Rolfs M, Kliegl R. Sequence learning at optimal stimulus-response mapping: Evidence from a serial reaction time task [ J ] . Quarterly Journal of Experimental Psychology, 2008, 61 ( 2 ) : 203-209. <https://doi.org/10.1080/17470210701557555>
- [ 9 ] Lu Z, Lin J, Li Xiaoyu. An Experimental Study on Relationship Between Subliminal Emotion and Implicit Sequence Learning: Evidence From Eye Movements [ J ] . International Journal of Psychological and Brain Sciences, 2018, 3 ( 1 ) : 1-6. <https://doi.org/10.11648/j.ijpbs.20180301.11>
- [ 10 ] Lu Z, Li X. An Eye Movement Study on the Relationship Between Multiple Implicit Sequence Learning and Attention [ J ] . Psychology and Behavioral Sciences, 2018, 7 ( 1 ) : 8-13. <https://doi.org/10.11648/j.pbs.20180701.13>
- [ 11 ] Hallett P E. Primary and secondary saccades to goals defined by instructions [ J ] . Vision Research, 1978, 18 ( 10 ) : 1279-1296. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(78\)90218-3](https://doi.org/10.1016/0042-6989(78)90218-3)
- [ 12 ] Jacoby L L. A Process Dissociation Framework: Separating Automatic from Intentional Uses of Memory [ J ] . Journal of Memory and Language, 1991, 30 ( 5 ) : 513-541. [https://doi.org/10.1016/0749-596X\(91\)90025-F](https://doi.org/10.1016/0749-596X(91)90025-F)

- [ 13 ] 吕勇, 胡伟, 吴国来, 等. 序列反应时任务中内隐和外显学习表征方式的实验研究 [ J ] . 心理科学, 2008, 31: 770–773.
- [ 14 ] Nissen M. Attentional requirements of learning: evidence from performance measures [ J ] . Cognit Psychol, 1987, 19 ( 1 ) : 1–32.  
[https://doi.org/10.1016/0010-0285\(87\)90002-8](https://doi.org/10.1016/0010-0285(87)90002-8)
- [ 15 ] Hoffmann J, Martin C, Schilling A. Unique transitions between stimuli and responses in SRT tasks: Evidence for the primacy of response predictions [ J ] . Psychological Research, 2003, 67 ( 3 ) : 160–173.  
<https://doi.org/10.1007/s00426-002-0117-2>
- [ 16 ] The Theory of Event Coding ( TEC ) : A framework for perception and action planning [ J ] . Behavioral & Brain Sciences, 2001, 24 ( 5 ) : 849–878.  
<https://doi.org/10.1017/S0140525X01000103>
- [ 17 ] Higuchi Y, Saiki J. Implicit Learning of Spatial Configuration Occurs without Eye Movement [ J ] . Japanese Psychological Research, 2017, 59 ( 2 ) : 122–132. <https://doi.org/10.1111/jpr.12147>
- [ 18 ] Daphné Coomans, Deroost N, Vandenbossche J, et al. Visuospatial Perceptual Sequence Learning and Eye Movements [ J ] . Experimental Psychology, 2012, 59 ( 5 ) : 279–285.  
<https://doi.org/10.1027/1618-3169/a000155>
- [ 19 ] 陈天勇, 李德明. 抑制和加工速度与液态智力的年轻化 [ J ] . 心理学报, 2006, 38 ( 5 ) : 734–742.