

视觉表象操作加工的眼动实验研究

张霞 刘鸣

(华南师范大学心理学系, 广州 510631)

摘要 本研究通过视觉表象旋转和扫描的眼动实验探讨表象的心理表征方式。实验一结果表明,眼动指标具有与反应时相类似的旋转角度效应。实验二结果显示,表象扫描的反应时和眼动指标都具有与知觉扫描加工一样的距离效应。由此可以认为,表象眼动与知觉眼动模式具有相似性;表象具有相对独立的心理表征方式并有其特殊的加工过程;表象的心理表征可以是形象表征,而非一定是抽象的命题或符号表征。

关键词 视觉表象;表象旋转;表象扫描;眼动;心理表征

分类号 B842

1 问题提出

表象(Mental Imagery)亦称意象、心像,是指在感知觉基础上所形成的,主要表现于记忆和想象活动中的感性形象。表象是不是一种相对独立的心理表征方式?如果是,表象的心理表征究竟是形象表征还是命题或符号表征?这两个问题可以说是当代认知心理学有关表象研究的一个争论焦点。

有心理学家认为表象具有独立的心理表征方式,他们强调表象的心理表征是事物的感性形象。例如 Shepard 等人的视觉表象旋转实验、Kosslyn 等人的表象扫描实验和 Paivio 的图对与字对的匹配判断实验结果就清晰地表明:表象与知觉的机能等价,表象确实可以具有一种类似知觉的信息表征方式。Paivio 据此提出信息加工两种编码说,认为表象与言语构成了相互平行和联系的两个认知系统。言语系统加工离散的语言信息,以命题或符号的形式来表征的。表象系统则对具体的客体或事件的信息进行编码、贮存、转换和提取,以与知觉相类似的形式来表征的。表象系统和言语系统可分别由有关刺激所激活,两类信息可以互相转换。

然而,有些心理学家,如 Pylyshyn 则明确否认表象的相对独立性,反对将表象看作类似知觉的心理表征,认为表象的心理表征不是感性形象,而是符号或命题。即认为形象和语词等所有的信息都是以一种抽象的、意义的命题来表征的。为什么这样说呢?

因为用符号或命题表征说同样可以解释表象旋转和表象扫描的实验结果。

那么,上述问题之争究竟孰是孰非? Anderson (1978)甚至认为,这个争论无法解决,因为难以设计出相应的实验来验证这个问题。

如今,Anderson 等人已经摒弃了他们提出的命题表征理论,均不再坚持认为命题是所有心理表征的基础这一观点(Sternberg, 2003/2006)。然而,其他人,如 Pylyshyn (1994, 2002, 2003, 2008),仍然坚持其立场。

之所以会出现这种难辨是非的研究结果,一方面固然与表象过程本身极其主观复杂的特性有关,而另一方面也与研究指标单一、缺乏交叉验证的考察不无关系。由此可见,上世纪 70 年代以抽象分析法作为方法论的当代认知心理学的研究方法,较多地依靠单一的反应时指标应用于表象研究是难以有效解决争论的。要想进一步探明表象的心理表征等有关问题,有必要寻找新的途径——多样化研究指标交叉验证的考察。我们认为,传统的反应时和即时眼动指标相结合,可能会更好地反映表象的心理特征,进而为表象表征方式的研究提供新的视角。

早期研究者发现,在形成视觉表象时,眼动遵循了预定的模式。Totten (1935)首先提出了表象扫描假设,他认为被试在扫描视觉表象时,其眼动轨迹与扫描原有客体的眼动轨迹相同。Antrobus (1964)有关移动物体表象的研究和 Weber 等人表象扫描的

研究结果都证明了这一点。其后,Noton 和 Stark 的研究也发现知觉和表象建构中的眼动表现出同样的“固定扫描轨迹”。Hebb(1968)指出,表象与知觉机能等价,而眼动则是视知觉和视觉表象中的固有成分,他认为眼动是视觉表象产生的必要条件。此后的一些研究结果支持了 Hebb 的观点(如 Hall, Janssen 和 Nodine 的研究)。Sheehan 和 Neisser(1969)提出表象任务属于自上而下的加工,并提出视觉表象越清晰,就越可能需要眼动过程的参与。Brandt 和 Stark(1997)的视觉表象即时眼动研究则表明,眼动指标可以较好地反映视觉图形的内容和空间特征。视觉表象中存在着同时性的眼动现象,知觉和表象过程中的眼睛扫描途径明显相关,而且表象眼动模式反映了相对知觉的内容和其它各部分的空间分布。Laeng 和 Teodorescu(2002)通过创新的实验设计,比较了不同视觉表象任务与知觉任务下被试眼动指标的差异,研究发现表象与知觉具有一些相同的机制,表象眼动模式与知觉眼动模式具有相似性,并提出在视觉表象的产生过程中眼动是一个必要的环节。换句话说,眼动在图象识别过程中必不可少,眼球运动客观地反映了大脑的信息处理过程。由此可以认为,即时眼动指标能够反映视觉表象操作加工的一些特征,可以作为探讨视觉表象操作加工特性的有效手段。

目前,表象眼动研究的范式有两种。一种是对快速眼动睡眠(REM)“梦”中表象的眼动研究,一种是对清醒状态下的有意识地表象建构中的眼动研究。我们无法直接“阅读”梦的内容,也难于把握被试自我报告的梦中表象内容的可靠性,所以当前眼动研究者主要是运用“清醒”范式,并集中体现在对表象与知觉眼动的对比性研究中。

纵观前人有关表象的眼动研究,大部分着重于探讨表象旋转的眼动特性(Carpenter & Just, 1978; Wexler, Kosslyn, & Berthoz, 1998; Fischer, Deubel, Wohlschlagel, & Schneider, 1999; 吴冰, 孙复川, 1999; Irwin, & Brockmole, 2000; De' Sperati, 2003),而较少有研究涉及表象扫描眼动特性的探讨。至今为止,国内外尚未有研究从探讨表象旋转和表象扫描的眼动特性着手去诠释表象的心理表征方式。

本研究采用表象眼动研究的“清醒”范式,对视觉表象中的表象旋转和表象扫描的操作加工特性作进一步探讨。由眼动实验的结果来进一步考察表象旋转和表象扫描是否确系一种相对独立的心理表征

方式? 表象的心理表征方式究竟是感性形象还是抽象命题?

2 实验一

表象旋转眼动实验

2.1 实验目的

探讨表象旋转是否客观存在? 表象旋转是基于类比、形象表征还是命题表征?

2.2 研究方法

2.2.1 被试 大学生被试 22 名,男女各半,视力或矫正视力正常,年龄在 18~25 岁之间。

2.2.2 实验设计 本实验采用 2(图对类型)×8(旋转角度)二因素被试内重复测量实验设计,其中一个因素为图对类型,分为平面对(其中一个图形在平面上旋转一定度数)、镜像对(两个不同的图形)两种水平。实验设置镜像对图形的目的是为了阻止被试利用刺激的特殊性而不是运用表象旋转来完成判断任务。另一个因素为图形的旋转角度,分为顺时针 0°、45°、90°、135°、180°、225°、270°、315° 八个水平。

2.2.3 实验材料 实验材料是由四个边长为 1cm 的黑色小正方形组成的一个规则几何图形,其中一个长为 1cm,视角是 0.82°的箭头指向这个几何图形的中心。每次呈现时,箭头顶端到图片几何中心的距离是相等的,都为 4cm。所有的实验材料均由专业绘图软件 Auto CAD 2000 和 PhotoShop 绘制而成,共有 64 个流程的实验材料。

2.2.4 实验仪器 眼动仪是由 SR Research Ltd 开发的 Eyelink 1000,该设备由两台微机组成,通过以太网连接。用一台微机显示实验材料,另一台微机记录眼动。屏幕分辨率为 1024×768 像素。被试与屏幕的距离约为 70cm,眼睛正对显示器的中心。被试的下颌放在眼动仪的支架上,上面有一红外定位摄像机,帮助在被试头部发生轻微颤动时进行方向校正。被试眼睛的注视情况通过两个微型摄像机输入微机,数据采样率为每秒 1000 次,相邻两次采样的间隔为 1ms。为保证记录的准确性,在实验过程中进行多次休息和校准。所有材料的呈现和眼动记录均由专用软件自动完成。

2.2.5 实验程序 屏幕中央出现一个校准点,然后校准点消失,屏幕首先呈现一张由四个黑色的小正方形和一个箭头组成的图片 5s,在第一张图片呈现消失之后,空屏 10s 作为干扰刺激破坏被试头脑中的知觉残像,以防止被试利用残余表象进行旋转。

之后,在平面上旋转了一定角度的箭头呈现于屏幕上 1.5s,最后,箭头并不从屏幕上消失,而且呈现另一张图片,它是在第一张图片的基础上做了一定角度的旋转。被试的任务是尽可能快而准确地判断两幅图片是否相同。被试判断之后,接着呈现下一对

图,见图 1。不同角度的图片呈现顺序是随机安排的,并且平面对和镜像对图片的呈现也进行了平衡。在进行正式测试前,被试先进行 4 个练习测试,直到熟练掌握为止。

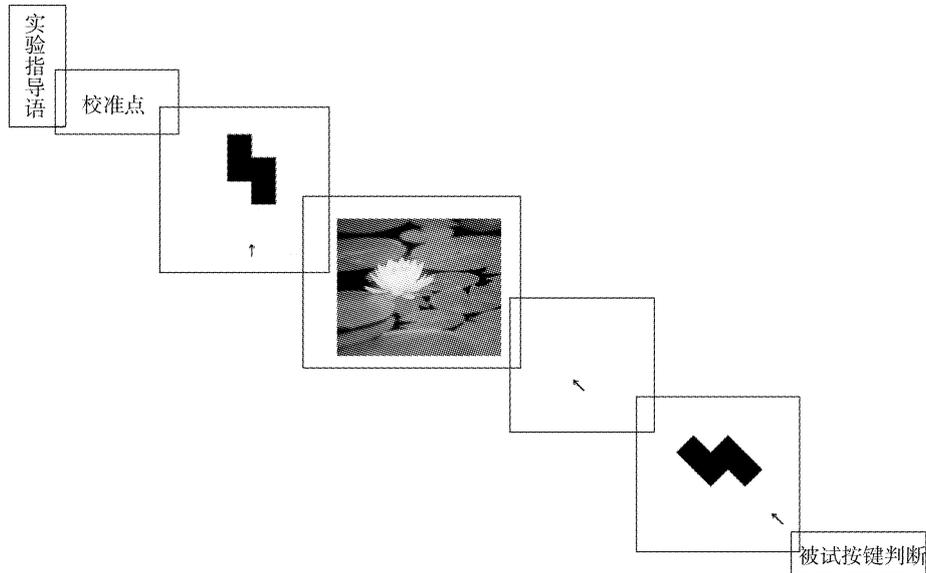


图 1 表象旋转眼动实验材料和流程

2.2.6 测量指标 记录被试的反应时和眼动指标。眼动指标主要包括,平均注视时间、注视次数、平均眼跳时间和眼跳次数。通常将被试视线在注视目标上停留时间超过 100ms、面积不大于 $1^\circ \times 1^\circ$ 视角的停留点定义为一个注视点。总注视时间是指被试完成认知任务时所有注视点的停留时间之和,注视次数即注视点的数量,平均注视时间 = 总注视时间 ÷ 注视次数。眼跳(saccades)是眼动的方式之一,个体通过眼跳来调整视轴,将感兴趣的刺激保持在双眼的视网膜中央窝,以便进一步加工。眼跳时间指的是两个注视点之间的间隔时间。眼跳次数是指眼睛从一个注视点跳到另一个注视点的次数,眼跳次数反应了对图形信息操作加工的程度。结合这些表示时间和位置信息的眼动指标考察表象旋转的加工过程和模式。

2.3 实验结果

2.3.1 眼动结果 对被试的平均注视时间和注视次数作进一步分析,结果见表 1、图 2 和表 2、图 3。图形旋转效应还表现在平均注视时间 [$F(7, 147) = 13.64, p < 0.001$] 和注视次数 [$F(7, 147) = 12.01, p < 0.001$] 上。图形旋转角度对平均注视时间和注视次数都存在极显著主效应。多重比较表明,旋转 180 度情况下的平均注视时间显著高于其他旋转角度 ($p < 0.05$), 注视次数则极显著高于除 90 度, 135 度之外的其他旋转角度 ($p < 0.01$)。回归分析结果显示,在 0 度 - 180 度之间,图形旋转角度与平均注视时间 ($R^2 = 0.69, t = 6.25, p < 0.001$) 和注视次数 ($R^2 = 0.38, t = 3.56, p < 0.01$) 存在极显著的线性关系,平均注视时间和注视次数都表现出随旋转角度而线性增加这一趋势。

表 1 不同旋转角度在图对类型不同情况下的平均注视时间和标准差

图对类型	旋转角度							
	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
平面对	324.57 (49.67)	358.03 (52.40)	397.37 (68.61)	414.75 (69.79)	440.04 (80.25)	410.87 (36.47)	388.66 (39.57)	366.30 (47.52)
镜像对	338.89 (50.68)	376.93 (61.23)	413.23 (69.90)	425.68 (72.06)	459.50 (80.56)	413.84 (66.96)	402.90 (54.98)	372.87 (46.78)

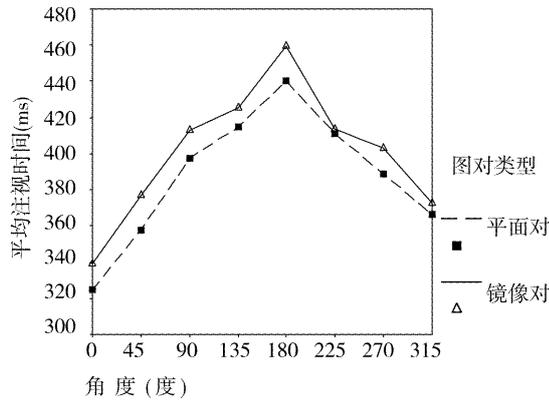


图2 不同旋转角度在图对类型不同情况下的平均注视时间

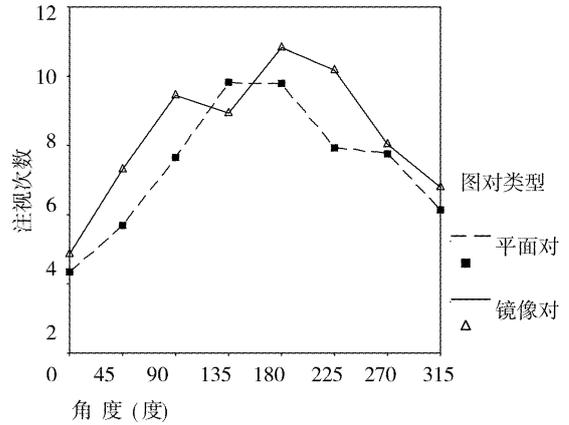


图3 不同旋转角度在图对类型不同情况下的注视次数变化

表2 不同旋转角度在图对类型不同情况下的注视次数和标准差

图对类型	旋转角度							
	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
平面对	4.35(1.97)	5.69(2.16)	7.66(4.83)	9.81(6.32)	9.78(4.56)	7.94(2.69)	7.77(4.85)	6.13(2.77)
镜像对	4.88(1.97)	7.31(3.91)	9.46(6.17)	8.94(3.37)	10.81(4.23)	10.16(5.56)	8.03(4.05)	6.80(3.89)

考察被试的平均眼跳时间和眼跳次数,具体结果见表3、图4和表4、图5。

表3 不同旋转角度在图对类型不同情况下的平均眼跳时间和标准差

图对类型	旋转角度							
	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
平面对	54.93(18.40)	62.14(22.64)	72.71(20.53)	75.69(24.64)	84.69(26.91)	79.70(29.59)	71.99(24.53)	65.57(24.60)
镜像对	54.65(22.04)	64.14(23.70)	84.48(26.47)	81.50(31.10)	87.39(30.48)	77.41(29.99)	74.10(24.37)	66.22(21.62)

表4 不同旋转角度在图对类型不同情况下的眼跳次数和标准差

图对类型	旋转角度							
	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
平面对	3.94(1.69)	5.06(1.93)	7.38(4.50)	9.47(5.87)	10.22(4.03)	7.71(2.04)	7.28(4.61)	5.85(2.45)
镜像对	4.50(1.80)	7.25(3.61)	9.69(5.73)	9.13(3.04)	10.29(3.62)	9.91(5.08)	7.74(3.73)	6.56(3.58)

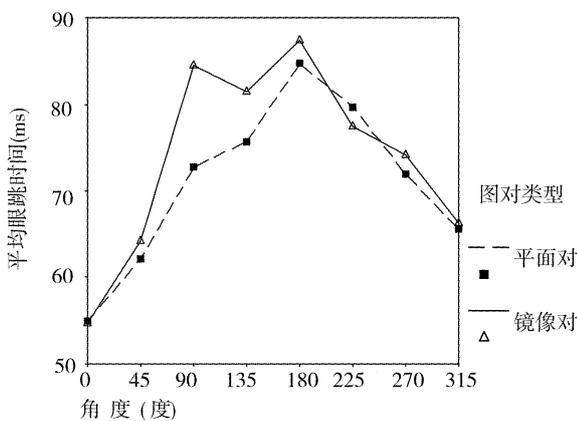


图4 不同旋转角度在图对类型不同情况下的平均眼跳时间

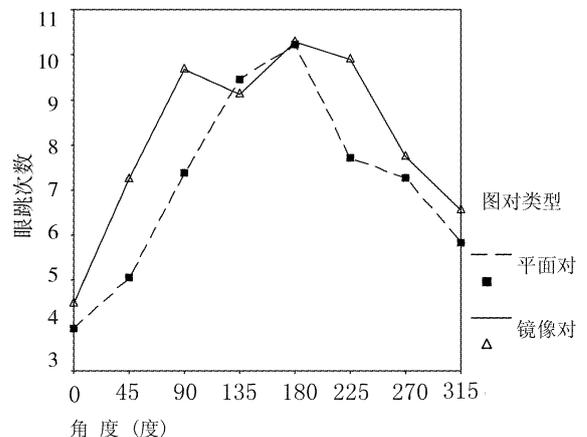


图5 不同旋转角度在图对类型不同情况下的眼跳次数

表 5 不同旋转角度在图对类型不同情况下的反应时间和标准差

图对类型	旋转角度							
	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
平面对	1497.09 (586.56)	2029.72 (647.85)	3111.13 (1448.32)	4024.53 (1828.50)	4714.47 (1503.66)	3687.30 (855.45)	3289.83 (1980.85)	2237.90 (879.38)
镜像对	1645.44 (579.00)	2757.50 (1292.78)	3825.78 (1867.27)	3921.38 (898.42)	4776.66 (1351.07)	4325.50 (1769.31)	3262.85 (1518.20)	2384.51 (1266.76)

方差分析表明,图形旋转角度对平均眼跳时间 [$F(7,147) = 5.33, p < 0.001$] 和眼跳次数 [$F(7,147) = 16.87, p < 0.001$] 存在极显著主效应。多重比较表明,旋转 180 度情况下的平均眼跳时间显著高于除 90 度和 270 度之外的其他旋转角度 ($p < 0.05$),眼跳次数则极显著高于除 90 度,135 度之外的其他旋转角度 ($p < 0.01$)。回归分析结果显示,在 0 度 - 180 度范围内,图形旋转角度与平均眼跳时间 ($R^2 = 0.32, t = 3.18, p < 0.01$) 和眼跳次数 ($R^2 = 0.40, t = 4.12, p < 0.001$) 存在极显著的线性关系,平均眼跳时间和眼跳次数都随旋转角度呈线性增加的趋势。

2.3.2 反应时结果 另外,我们也对反应时进行了分析,反应时指被试的判断时间,从第三张图片呈现到被试按键反应的时间间隔。结果见表 5、图 6。方差分析显示,图形旋转角度对反应时有极显著影响, $F(7,147) = 20.27, p < 0.001$ 。多重比较表明,旋转 180° 情况下的反应时显著高于其他旋转角度 ($p < 0.05$)。回归分析结果显示,在 0 度 - 180 度之间,图形旋转角度与反应时存在极显著的线性关系 ($R^2 = 0.61, t = 6.81, p < 0.001$),反应时随旋转角度呈线性增加的趋势。判断时间的结果与 Shepard 等人的经典表象旋转研究结果非常一致。并且也与 Kosslyn (1998) 等人新近的研究结果一致。

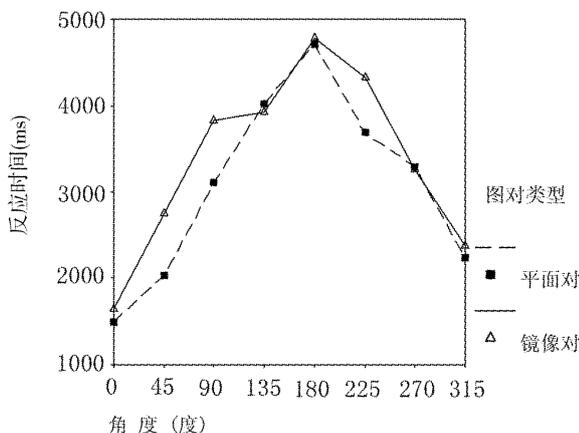


图 6 不同旋转角度在图对类型不同情况下的反应时间

3 实验二

知觉扫描和表象扫描眼动实验

3.1 实验目的

探讨表象是否可以被扫描?表象扫描与知觉扫描是否具有相似的眼动机制?表象是否具有类似知觉的信息表征方式?

3.2 研究方法

3.2.1 被试 大学生被试 20 名,男女各半,视力或矫正视力正常,年龄在 18 ~ 25 岁之间。

3.2.2 实验设计 采用 3(扫描距离) × 2(认知水平)二因素被试内重复测量实验设计,其中一个因素为扫描距离,分为 0cm(即相连)、7cm、10.5cm 三个水平;另一个因素为认知水平,分为知觉和表象两种水平。

3.2.3 实验材料 实验材料是由 20 个 3.5cm × 3.5cm 小正方形所构成的环状正方形,该环状正方形每条边上分别有 6 个小正方形,总面积是 21cm × 21cm,相应的视角为 17.2° × 17.2°。在每个测试中,均有三个黑色小正方形分别随机呈现于环状正方形的三条边上。一个长 0.7cm,视角为 0.57° 的箭头在实验中会出现在这个环状正方形内的中心区域。这个箭头可以分别指向正北、正东北、正东、正东南、正南、正西南、正西和正西北八个方向。此外,箭头顶端距目标正方形的距离分别为 0cm(即相连)、7cm、10.5cm,实验刺激的观察顺序均经随机化处理。所有实验材料均由专业绘图软件 Auto CAD 2000 和 PhotoShop 绘制而成,共有 24 个流程的实验材料。

3.2.4 实验仪器 眼动仪是由 SR Research Ltd 开发的 Eyelink 1000,该设备由两台微机组成,通过以太网连接。用一台微机显示实验材料,另一台微机记录眼动。屏幕分辨率为 1024 × 768 像素。被试与屏幕的距离约为 70cm,眼睛正对显示器的中心。被试的下颌放在眼动仪的支架上,上面有一红外定位摄像机,帮助在被试头部发生轻微颤动时进行方向校正。被试眼睛的注视情况通过两个微型摄像机输

入微机,数据采样率为每秒 1000 次,相邻两次采样的间隔为 1ms。为保证记录的准确性,在实验过程中进行多次休息和校准。所有材料的呈现和眼动记录均由专用软件自动完成。

3.2.5 实验任务 本实验所采用的表象扫描任务

是由芬克(Fink)和平克(Pinker)的表象扫描任务发展而来的,这种表象扫描的标志是被试在一个物体上注意转移的距离越长,所需要的时间就越多。大量的研究已经验证了由 Kosslyn 所得出的这种反应模式。

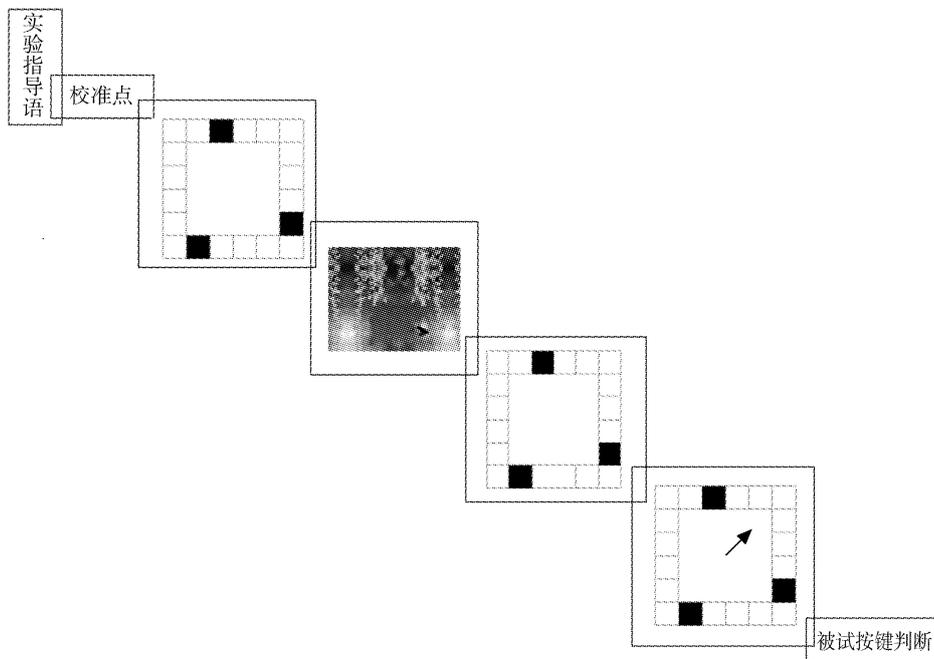


图7 知觉扫描眼动实验材料和流程

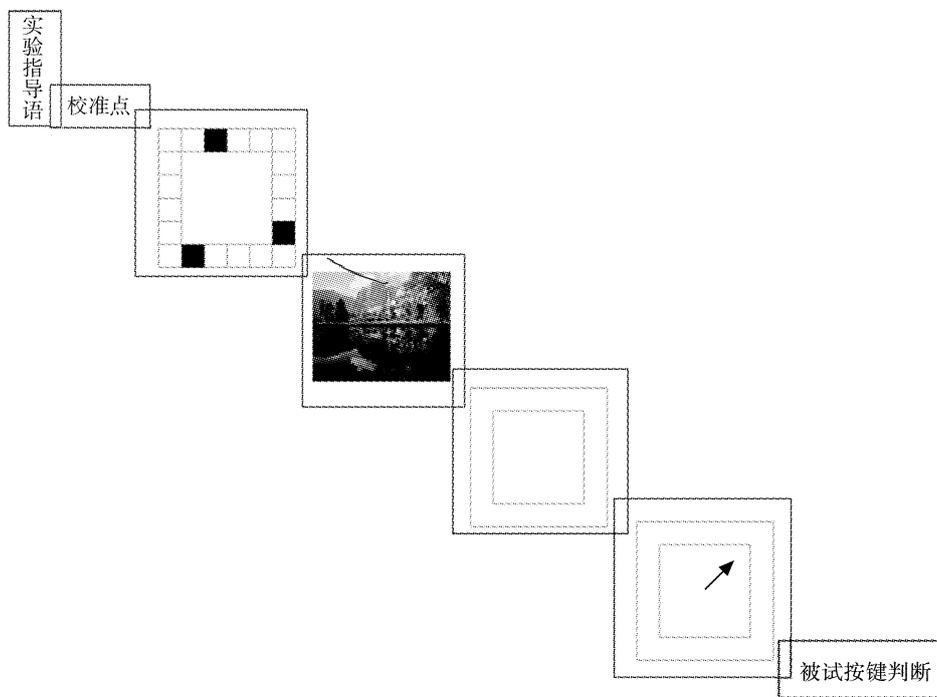


图8 表象扫描眼动实验材料和流程

3.2.6 实验程序 知觉条件下,被试坐在计算机屏幕前开始实验。屏幕上首先呈现一个环状正方形,

被试学习这个环状正方形刺激,5s 后所有刺激消失,空屏 10s。之后,屏幕上再次呈现之前的环状正

方形,250ms 之后一个箭头呈现在屏幕上且与环状正方形都不消失,要求被试判断箭头是否指向一个黑色的小正方形。如果箭头指向其中一个黑色的小正方形,被试就按手柄左键,否则按右键。见图 7。在作出反应后准备好进行下一个新的测试。在进行正式测试前,被试先进行 4 个练习测试,直到熟练掌握为止。

表象条件下,被试坐在计算机屏幕前开始实验,屏幕上首先呈现一个环状正方形,被试学习这个环状正方形刺激,5s 后所有刺激消失,空屏 10s,以消除知觉残像的干扰。之后,屏幕上呈现一个空白的环状正方形,250ms 之后一个箭头出现在屏幕上。如果箭头指向其中一个黑色小正方形,被试就按手柄左键,否则按右键。见图 8。在作出反应后准备好进行下一个新的测试。在进行正式测试前,被试先进行 4 个练习测试,直到熟练掌握为止。

3.2.7 测量指标 记录被试的反应时和眼动指标。眼动指标主要包括,总注视时间,总注视次数,信息区的注视时间,信息区的注视次数。通常将被试视线在注视目标上停留时间超过 100ms、面积不大于 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 视角的停留点定义为一个注视点,总注视时间是指被试完成认知任务时所有注视点的停留时间之和;总注视次数即注视点的数量。信息区的注视时间是所设定的兴趣区内(环状正方形的黑色小正方形以及箭头构成的区域)的注视点停留时间;信息区的注视次数即所设定的兴趣区内注视点的数量。将总注视时间与信息区的注视时间结合起来考察被试的扫描时间,以及将总注视次数与信息区的注视次数结合起来考察被试的扫描次数。

3.3 实验结果

3.3.1 眼动结果 用被试对图片的总注视时间减去被试对信息区的注视时间得到被试的扫描时间,具体结果见表 6、图 9。用被试对图片的总注视次数减去被试对信息区的注视次数得到被试的扫描次数,所得结果如表 7、图 10 所示。

表 6 不同距离在认知水平不同情况下的扫描时间和标准差

认知水平	距离		
	0cm	7cm	10.5cm
知觉水平	289.81 (192.31)	486.74 (195.28)	593.57 (253.17)
表象水平	316.66 (108.70)	533.19 (164.38)	616.16 (136.91)

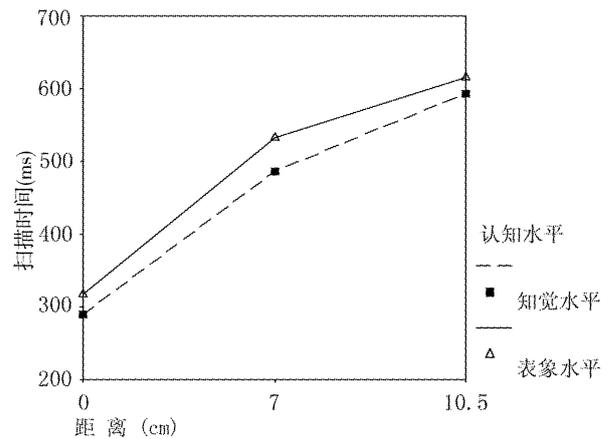


图 9 不同距离在认知水平不同情况下的扫描时间

表 7 不同距离在认知水平不同情况下的扫描次数和标准差

认知水平	距离		
	0cm	7cm	10.5cm
知觉水平	1.23 (0.29)	2.00 (0.49)	2.41 (0.70)
表象水平	1.48 (0.48)	2.23 (0.61)	2.52 (0.56)

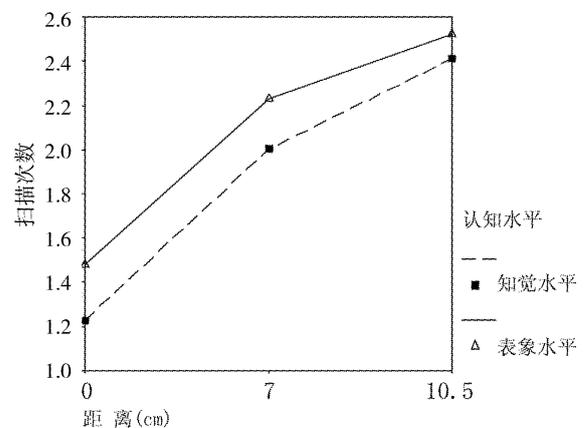


图 10 不同距离在认知水平不同情况下的扫描次数

方差分析显示,距离对扫描时间 [$F(2,38) = 37.88, p < 0.001$] 和扫描次数 [$F(2,38) = 32.61, p < 0.001$] 有极显著影响。多重比较表明,距离为 10.5cm 条件下被试的扫描时间、扫描次数显著大于距离为 0cm、7cm 条件下的扫描时间 ($p < 0.01$) 和扫描次数 ($p < 0.05$),距离为 7cm 条件下被试的扫描时间、扫描次数极显著大于距离为 0cm 条件下的扫描时间 ($p < 0.001$) 和扫描次数 ($p < 0.001$)。而不同认知水平情况下,即知觉水平和表象水平下被试的扫描时间、扫描次数不具有显著性差异。

另外,对知觉水平和表象水平条件下被试的扫

描时间、扫描次数进行相关分析,结果表明不同认知水平间扫描时间的相关系数达到了极显著的水平($r = 0.89, p < 0.001$),不同认知水平间扫描次数的相关系数达到了显著的水平($r = 0.63, p < 0.05$)。回归分析结果显示,知觉水平下被试的扫描时间与表象水平下被试的扫描时间存在极显著的线性关系($R^2 = 0.80, t = 5.90, p < 0.001$),而知觉水平下被试的扫描次数与表象水平下被试的扫描次数之间存在显著的线性关系($R^2 = 0.39, t = 2.41, p < 0.05$),由此可知,两种认知水平条件下扫描时间、扫描次数的眼动轨迹是匹配的。本实验中扫描时间与扫描次数的研究结果与 Brandt 和 Stark (1997) 以及 Laeng 和 Teodorescu (2002) 等的研究一致,都表明表象眼动与知觉眼动模式具有相似性。

3.3.2 反应时结果 另外,我们也对反应时进行了分析,反应时指被试的判断时间,从第四张图片呈现到被试按键反应的时间间隔。具体结果见表 8、图 11。

表 8 不同距离在认知水平不同情况下的反应时和标准差

认知水平	距离		
	0cm	7cm	10.5cm
知觉水平	1255.19 (246.38)	1384.36 (333.80)	1453.26 (265.35)
表象水平	1275.00 (279.46)	1402.99 (338.81)	1469.79 (258.22)

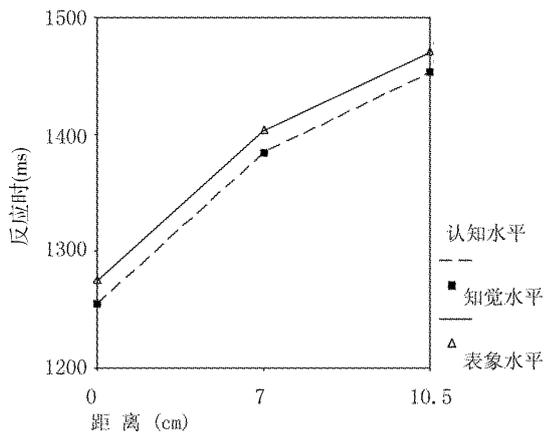


图 11 不同距离在认知水平不同情况下的反应时

方差分析显示,距离对反应时有极显著影响 [$F(2,38) = 11.57, p < 0.001$]。多重比较表明,距离为 10.5cm 条件下被试的反应时显著大于距离为 0cm、7cm 条件下的反应时 ($p < 0.05$),距离为 7cm 条件下被试的反应时显著大于距离为 0cm 条件下的反应时 ($p < 0.05$)。而不同认知水平条件下,即

知觉水平和表象水平条件下被试的反应时不具有显著性差异。判断时间的结果与 kosslyn 等人的研究结果非常一致。

4 实验结果分析讨论

4.1 表象旋转加工的眼动分析

4.1.1 旋转角度效应的眼动分析 实验一的结果表明,无论是平面对还是镜像对图形,在 0 ~ 180 度范围内,随着图片旋转角度的增加,反应时也随旋转角度线性增加。这种线性关系表明在旋转图形的识别过程中确实存在着表象旋转操作。图形的旋转角度越大,识别该图形就要求在记忆中进行更多的操作,因而使识别时间更长。

本实验的眼动结果与 Carpenter 等人的图形配对表象旋转眼动实验结果相似。Carpenter 等人考察受试者对三维图形进行表象旋转操作时的眼动轨迹,实验结果表明注视次数随旋转角度线性增加。因此,本实验中所获得的眼动数据随旋转角度而线性增加的结果进一步证明了旋转图形的识别过程中存在着表象旋转操作。

综上所述,被试对两个图形作比较时,是在头脑里将一个图形转动到另一个图形的方位上来,然后依据匹配的情况再作出判定。表象旋转成为了这类比较的基础。眼动指标和反应时都反映出了随旋转角度而线性增加的旋转角度效应。旋转角度与眼动指标和反应时之间的线性关系表明表象旋转是一个持续的过程,这个过程与客体的物理旋转过程相类似。它与数值计算或符号操纵是不同的。

4.1.2 表象旋转的表征方式特征 表象旋转的研究着眼于表象的表征和加工,开辟了表象研究的新方向,是当前的表象理论的重要组成部分。它有力地支持将表象看作一种相对独立的心理表征的观点。然而命题表征说者认为,表象旋转不是基于类比的形象表征,而是命题表征。依照命题表征说的解释,命题之间的联系会发生系统的变化,命题可以一步步地转换为每个中间状态,直到刺激样本的正位,这种解释似乎也是可行的。然而它无法说明为什么旋转是渐进的,为什么图形偏离 180 度时需时最多。从命题表征说来看,旋转 180 度应当是最容易的,因为命题可以很快地得到所要的变化,如“顶端”变为“底部”,“左侧”变为“右侧”。然而本实验的研究结果却与命题表征说的假设相反,眼动指标和反应时都显示,图形旋转 180 度需要最多的时间。按照命题表征说的解释,被试在完成实验任务时只

是进行命题的转换,那么眼动数据随旋转角度而变化的眼动轨迹就不会呈现出来。眼动是视觉表象中的固有成分,也是表象产生的必要条件,眼动在图形识别过程中必不可少,眼球运动客观地反映了大脑的信息处理过程。因此只有被试确实存在表象旋转的认知操作,才会表现出眼动数据随旋转角度而变化的眼动轨迹。

综上所述,本实验结果清晰地表明,表象是一种相对独立的心理表征方式并有其加工过程,与此同时也反映出视觉表象具有渐进性和空间性的特点。

4.2 表象扫描加工的眼动分析

4.2.1 距离效应的眼动分析 值得一提的是,与经典的表象扫描实验不同的是,本实验所设计的认知任务并没有要求被试预先构成一个视觉表象并进行扫描,但是被试要完成该实验任务就必须进行扫描,也即将扫描要求隐含于被试的认知任务当中。此外,本研究与 Kosslyn (1998) 以及游旭群 (2002) 等人研究设计不同,在表象任务中,箭头并没有与带黑色小正方形的环形刺激一起呈现 50ms 而消失于屏幕上,而是在箭头第二次出现时,屏幕上只出现空白的环状正方形。因此在本实验中可以排除知觉残像对被试实验结果的影响。由此我们可以认为实验二在排除知觉残像的基础上较好地反映出了被试表象扫描的加工特性。

实验二结果显示,距离对反应时有极显著影响;而不同认知水平条件下,即知觉扫描水平和表象扫描水平条件下反应时不具有显著性差异。反应时结果不仅与经典的表象扫描研究 (Kosslyn et al., 1973) 一致,并且也与新近表象扫描的研究结果 (Dror, Kosslyn, & Waag, 1993; Kosslyn & Osherson, 1995; Brown, Kosslyn, & Dror, 1998) 相同。此外,本实验的眼动结果显示,距离对扫描时间和扫描次数有极显著影响;而不同认知水平条件下,即知觉扫描水平和表象扫描水平条件下的扫描时间和扫描次数没有显著差异。

综上所述,实验结果表明,表象同样是可以被扫描的,反应时和眼动指标都反映出了与知觉扫描加工一样的距离效应。表象扫描所需的时间随扫描距离而线性增加,这同知觉时对图画进行扫描是一样的。

4.2.2 表象扫描表征方式的特征 表象扫描实验不仅为表象的存在提供了实验证据,而且提出了表象表征不同于语言的一些特点,如视觉表象之具有空间特性。这样来看,表象确实是可以作为一种类

似知觉的信息表征方式的。但命题表征说者认为被试并没有真的对表象进行扫描,实验要求的特性才是导致实验结果的主要因素。由于被试被要求构成一个视觉表象并进行扫描,所以实验中“距离”的属性很可能已经纳入被试对扫描过程所产生的想象之中,因此实验结果并非来自表象扫描的数据,而是被试对距离特性的想象在影响着扫描表现。按照命题表征说的解释,被试在完成实验任务时只是在头脑中进行命题(如“距离”)的想象操作而相应地调整其反应时,那么眼动数据随距离而变化的眼动轨迹就不会呈现出来。因为眼动是视知觉和视觉表象中的固有成分,眼动是表象产生的必要条件。因此只有被试确实存在表象扫描的认知操作,才会表现出眼动数据随距离而线性增加的眼动轨迹。

实验二中扫描时间和扫描次数的回归分析表明,知觉水平下被试的扫描时间、扫描次数与表象水平下被试的扫描时间、扫描次数之间存在极显著的线性关系,也即知觉水平与表象水平条件下的扫描时间与扫描次数的眼动轨迹具有较高的相似性。而眼动轨迹的相似性正是表象与知觉认知过程机能等价性的重要外显形式。实验二的研究结果与 Brandt 和 Stark (1997) 以及 Laeng 和 Teodorescu (2002) 等的表象眼动研究一致,都表明表象眼动与知觉眼动模式具有相似性,被试知觉扫描加工和表象扫描加工的机制是相似的。

综上所述,实验结果显示,表象与知觉的机能等价,表象是类似知觉的信息表征方式,它可以得到加工,而不是一种副现象。

5 研究结论

实验一研究结果表明,表象旋转的时间随旋转角度线性增加,在旋转 180 度时达到最大。在此过程中,眼睛运动的平均注视时间、注视次数、平均眼跳时间、眼跳次数都表现出了与反应时类似的旋转角度效应。

实验二研究结果显示,表象扫描所需的时间随扫描距离而线性增加。这同知觉时对图画进行扫描是一样的。此外,关于扫描时间和扫描次数的回归分析表明,表象眼动与知觉眼动模式具有相似性。这些结果显示,表象与知觉的机能等价,表象是类似知觉的信息表征方式,它可以得到加工,而不是一种副现象。

本研究结果清晰地表明,表象是一种相对独立的心理表征方式并有其特殊的加工过程。表象的心

理表征可以是事物的感性形象,是形象表征,而不一定是抽象的命题或符号表征。

参 考 文 献

- Antrobus, J. A., Antrobus, J. S., & Singer J. L. (1964). Eye movements accompanying daydreaming: Visual imagery and thought suppression. *Journal of Abnormal Sociology and Psychology*, 69, 244-252.
- Borst, G., Kosslyn, S. M. (2008). Visual mental imagery and visual perception: Structural equivalence revealed by scanning processes. *Memory and Cognition*, 36 (4), 849-862.
- Brandt, S. A., Stark, L. W. (1997). Spontaneous eye movements during visual imagery reflect the content of the visual scene. *Journal of Cognitive Neuroscience* 9, 27-38.
- Brown, H. D., Kosslyn, S. M., & Dror, I. E. (1998) Aging and scanning of imagined and perceived visual images. *Experimental Aging Research*, 24, 181-194.
- Carpenter, P. A., & Just, M. A. (1978). *Eye fixations during mental rotation. Eye movements and the higher psychological functions*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- DeSperati, C. (2003). Precise oculomotor correlates of visuo spatial mental rotation and circular motion Imagery. *Journal of Cognitive Neuroscience* 15 (8), 1244-1259.
- Dror, I. E., Kosslyn, S. M., & Waag, W. (1993). Visual-spatial abilities of pilots. *Journal of Applied Psychology*, 78 (5), 763-773.
- Dulin, D., Hatwell, Y., Pylyshyn, Z. W., & Chokron, S. (2008). Effects of peripheral and central visual impairment on mental imagery capacity. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 32 (8), 1396-1408.
- Fischer, M. H., Deubel, H., Wohlschlagel, A., & Schneider, W. X. (1999). Visuomotor mental rotation of saccade direction. *Exp Brain Res*, 127, 224-232.
- Han, Y. C., Ren, G. Q. (2006). Cognitive processing on childrens self-imposed delay of gratification. *Acta Psychologica Sinica*, 38 (1), 79-84. [韩玉昌, 任桂琴. (2006). 儿童自我延迟满足的视觉认知过程. *心理学报*, 38 (1), 79-84.]
- Hebb, D. O. (1968). Concerning imagery. *Psychological Review*, 75, 466-477.
- Herman, J. H. (1984). Evidence for a directional correspondence between eye movements and dream imagery in REM sleep. *Sleep*, 7, 52-63.
- Irwin, D. E., Brockmole, J. R. (2000). Mental rotation is suppressed during saccadic eye movements. *Psychonomic Bulletin & Review* 7 (4), 654-661.
- Jin, Y. B., Wang, P. (2006). Eye mvements during vsual iagery. *Psychological Research*, 29 (4), 887-889. [金一波, 王鹏. (2006). 表象建构的眼动机制. *心理科学*, 29 (4), 887-889.]
- Kosslyn, S. M. (1973). Scanning visual images: Some structural implications. *Perception and Psychophysics*, 14, 90-94.
- Kosslyn, S. M., & Osherson, D. (1995). *Mental imagery. Visual Cognition: An Invitation to Cognitive Science*. Cambridge, MA: MIT Press.
- 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.
- Liu, M. (2004). Study on the methodology of mental image. *Psychological Research*, 27 (2), 258-260. [刘鸣. (2004). 表象研究方法论. *心理科学*, 27 (2), 258-260.]
- Mast, F. W., Kosslyn, S. M. (2002). Eye movements during visual mental imagery. *TRENDS in Cognitive Sciences*, 6 (7), 271-272.
- Noton, D., Stark, L. W. (1971). Scapaths in eye movements during pattern. *Science*, 171, 308-311.
- Pylyshyn, Z. W. (1994). Mental pictures on the brain. *Nature*, 372, 289-290.
- Pylyshyn, Z. W. (2002). Mental imagery: In search of a theory. *Behavioral and Brain Sciences* 25 (2), 157-238.
- Pylyshyn, Z. W. (2003). Explaining mental imagery: now you see it, now you dont : Reply to Kosslyn et al. *Trends in Cognitive Sciences*, 7 (3), 111-112.
- Pylyshyn, Z. W. (2003). Return of the mental image: are there really pictures in the brain. *Trends in Cognitive Sciences*, 7 (3), 113-118.
- Sheehan, P. W., Neisser, U. (1969). Some variables affecting the vividness of imagery recall. *British Journal of Psychology*, 60, 71-80.
- Slotnick, S. D., Thompson, W. L., & Kosslyn, S. M. (2005). Visual mental imagery induces retinotopically organized activation of early visual areas. *Cerebral Cortex*, 15, 1570-1583.
- Sternberg, R. J. (2006). *Cognitive Psychology* (Yang, B. J., Chen, Y., & Zou, Z. L.). Beijing, China: China Light Industry Press. (Original work published 2003). [斯腾伯格, R. J. (2006). *认知心理学* (杨炳钧, 陈燕, 邹枝玲译). 北京:中国轻工业出版社.]
- Thompson, W. L., Kosslyn, S. M., Hoffman, M. S., & Kooij, K. V. D. (2008). Inspecting visual mental images: Can people "see" implicit properties as easily in imagery and perception. *Memory and Cognition*, 36 (5), 1024-1032.
- Totten, E. (1935). *Eye movements during visual imagery. Comparative Psychology Monographs*, 11, 1-46.
- Wang, S., Wang, A. S. (1992). *Cognitive psychology. Beijing, China: Peking University Press*. [王甦, 汪安圣. (1992). *认知心理学*. 北京:北京大学出版社.]
- Wexler, M., Kosslyn, S. M., & Berthoz, A. (1998). *Motor processes in mental rotation. Cognition*, 68, 77-94.
- Wu, B., Sun, F. C. (1999). *Eye movements in recognition of rotated Chinese characters. Acta Psychologica Sinica*, 31 (1), 7-13. [吴冰, 孙复川. (1999). 旋转汉字识别的眼动特性. *心理学报*, 31 (1), 7-13.]
- You, X. Q., Yang, Z. L. (2002). *A study on the plasticity in the*

visual imagery scanning process. *Psychological Research*, 25 (1), 18-21.

[游旭群, 杨治良. (2002). 视觉表象扫描加工可塑性水平的研究. *心理科学*, 25 (1), 18-21.]

Eye Movements in the Processing of Visual Mental Imagery

ZHANG Xia , LIU Ming

(*Department of Psychology, South China Normal University, Guangzhou 510631, China*)

Abstract

Visual mental imagery is one kind of mental imagery. Whether mental imagery can be one special kind of mental representation and has its mental process or not is not only focal in imagery research but also is important in the cognitive psychology. The aim of the present study was to investigate the mental processing of mental rotation and visual imagery scanning through eye movements.

Two experiments were conducted in the present study. There were 22 participants (11 males and 11 females) volunteered to take part in Experiment 1 and another 20 participants (10 males and 10 females) took part in Experiment 2. The Experiment 1 investigated whether mental rotation was based on mental image or abstract proposition with a 2 (picture type: ichnography and mirror image) \times 8 (rotation angle: 0, 45, 90, 135, 180, 225, 270 and 315) within-subject design. In the Experiment 2, a 3 (scanning distance: 0cm, 7cm, 10.5cm) \times 2 (cognitive type: perception and imagery) within-subject design was conducted to examine whether imagery could also be scanned and whether the oculomotor behavior during imagery reenacted that which occurred when perceiving the object.

In the Experiment 1, the results indicated that mental rotation time to recognize rotated pictures increased linearly with different angles of rotation, and the RT was the largest when the pictures rotated 180 . Besides, the oculomotor measures had also similar mental rotation effects during the processing. Subjects need to spend more saccade duration, fixation time and more numbers of saccade as well as more numbers of fixation to identify objects when the pictures were rotated from 0 to 180. The results of Experiment 2 showed that imagery could also be scanned and eye scanpaths during imagery were similar to those during visual perception. That is, the time of scanning increased linearly with increases in distance during the imagery and perception phase. Moreover, regression analysis of the time and number of scanning supported the notion that the oculomotor behavior during imagery reenacted that which occurred when perceiving the object.

The present study demonstrated that mental imagery could be one special kind of mental representation and had its mental process. The mental representation of imagery was mental image but not abstract proposition in some special conditions.

Key words visual mental imagery; mental rotation; visual imagery scanning; eye movements; mental representation