

认知心理学报告



三维客体旋转实验报告

专业： _____
班级： _____
学号： _____
姓名： _____
性别： _____

三维客体旋转实验报告

(浙江大学心理与行为科学系 杭州, 310028)

摘要 心理表象 (mental image) 也称意象, 从信息加工的观点看, 表象是指不在眼前的事物的心理表征, 是一个人的知觉影像。人在执行心理旋转任务时, 是以表象的方式进行加工的: 先形成刺激物的表象, 然后将表象旋转到直立位置后再做出判断。Shepard 等人认为表象的实质是一种类比表征, 与外部客体有着同构关系。本实验旨在对 Shepard 等人的经典实验进行验证, 探讨在三维客体心理旋转中旋转角度和旋转方式 (平面旋转和深度旋转) 对反应时的影响, 并进一步了解心理表象的编码与存储。结果表明, 无论是平面对还是立体对, 被试的反应时及其发展趋势相同; 两对图形的方位差越大, 信息加工的时间越长; 方位差每增加 $80^{\circ} \sim 90^{\circ}$, 反应时就增加 1 秒; 旋转方式以及性别对心理旋转无显著影响; 练习效应显著, 随着试次增多, 被试的反应时显著下降。

关键词 三维客体旋转; 心理表象; 心理旋转

1 引言

心理表象 (mental image) 也称意象, 从信息加工的观点看, 表象是指不在眼前的事物的心理表征, 是一个人的知觉影像。而当今心理表象的研究则起源于 Shepard 和他的同事 Metzler 对心理旋转 (mental rotation) 的证明与解释 (Shepard & Metzler, 1971), Shepard 运用视觉线索研究记忆中视觉刺激的心理旋转。在该实验中, 被试要判断左右呈现的两个刺激对是否相同 (不考虑旋转角度)。在有些试验中, 右边客体是左边客体的镜像 (mirror image) 或同分异构体 (isomer), 所以两者是不同的; 而在另一些试验中, 右边客体与左边客体是相同的, 但是相对于左边的客体, 右边的客体被旋转了一定的角度, 具体参见图 1-1。旋转的方式有两种: 一种是平面旋转 (plane rotation), 即绕着图片平面进行旋转; 另一种是深度旋转 (depth rotation), 即在三维空间中进行旋转。旋转的角度从 0° 到 180° , 每隔 20° 为 1 档, 共 10 档。因变量是做出判断所需的时间。实验结果表明, 无论是深度旋转还是平面旋转, 反应时间和旋转角度呈线性关系, 即随着旋转角度的增大, 判断反应时在逐步增长 (见图 1-2)。实验数据结果表明, 每旋转 53° 大约要 1 秒。

Shepard 等人的研究结果对信息是如何在记忆中进行表征产生了深远的影响。首先, 支持了心理表象的存在, 并用实验揭示了信息在大脑中的信息

加工过程; 其次, 支持了表象是物体抽象类似物的再现, 在没有物理刺激呈现的情况下, 在头脑中可以对记忆中的视觉信息和空间信息进行加工, 而且这种加工操作可以类似于对真实物体的知觉加工。事实上, Shepard 等人认为心理旋转是对真实物理旋转的一种类似物, 只不过这种旋转是在头脑中复现而已, 并且不受任何感觉通道的束缚。具体地说, 人在执行心理旋转任务时, 是以表象的方式进行加工的: 先形成刺激物的表象, 然后将表象旋转到直立位置后再做出判断。Shepard 等人认为表象的实质是一种类比表征, 与外部客体有着同构关系。后来, Shepard 和 Judd (Shepard & Judd, 1976) 又通过似动范式 (连续呈现两个不同旋转角度的三维客体以产生似动) 的研究发现, 产生严格似动 (rigid apparent movement) 所需的最少时间 (Critical Onset Asynchrony, COA) 也随着旋转角度的增大而增大, 从而表明无论是概念驱动的心理旋转还是知觉驱动的似动现象, 对心理表象的操作都是类似的。

本实验旨在对 Shepard 等人的经典实验进行验证, 探讨在三维客体心理旋转中旋转角度和旋转方式 (平面旋转和深度旋转) 对反应时的影响, 并进一步了解心理表象的编码与存储。

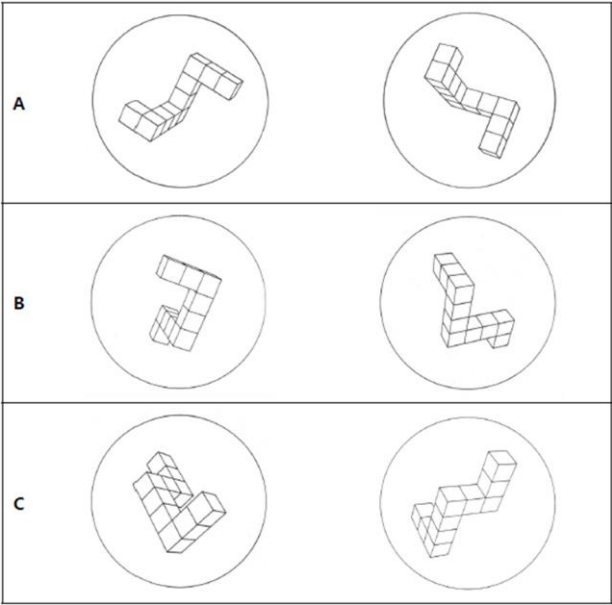


图 1-1 A 是相同平面对（差异 80°），B 是相同深度对（差异 80°），C 是不同对（镜像对）

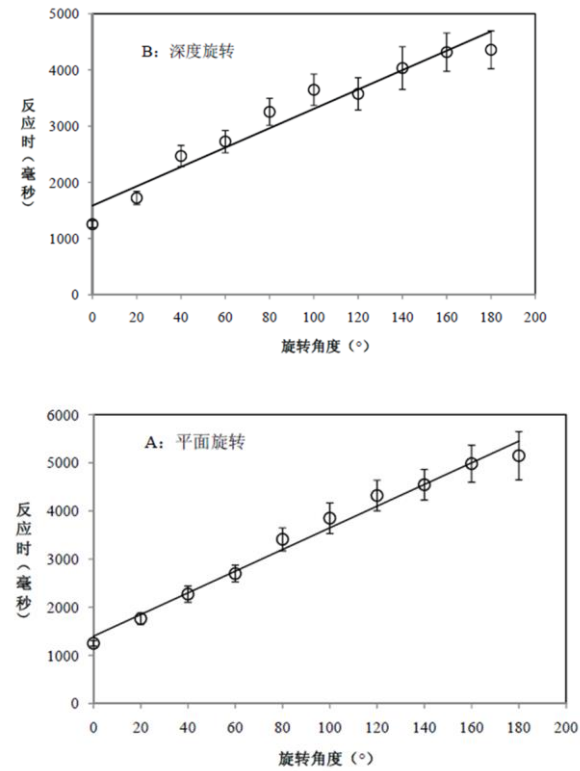


图 1-2 旋转角度与反应时之间的关系图（A 为平面旋转，B 为深度旋转）

2 实验方法

2.1 被试

浙江大学心理系大三学生，共 52 人（男 16，女 36），年龄为 20.3 ± 1.3 岁，均为右利手，视力或矫正视力正常，无色盲色弱。

2.2 仪器与材料

IBM-PC 计算机一台，认知心理学教学管理系统。本实验刺激材料为 10 个小立方体组成的三维客体图片，两两配对，具体参见图 1-1。每张三维客体图片的大小约为 $14.3\text{cm} \times 14.3\text{cm}$ 。

2.3 实验设计与流程

本实验采用两因素被试内设计。因素一为旋转方式，该因素有 2 个水平：平面旋转和深度旋转；因素二为旋转角度，该因素有 10 个水平，旋转角度从 0° 到 180° ，间隔 20° ，共计 10 个水平。

单次试验流程见图 2-1。首先空屏 500 毫秒，紧接着在屏幕上呈现一个“+”注视点，随机呈现一段时间（500~1500 毫秒）后，在注视点两旁分别呈现两个三维客体。

被试的任务是判定出现的两个三维客体是否相同（不考虑旋转角度）。如相同按“J”键，不同则按“F”键。为了减少被试按键过程中的反应定势，生成的实验序列经 Wald-Wolfowitz 游程检验，显著性大于 0.10（双侧）。

被试做出按键后，会得到相应的反馈，指示被试反应正确与否及反应时。如果被试在三维客体出现后 10000 毫秒内不予以反应，程序将提示反应超时，以示被试尽快反应。空屏 500 毫秒后，自动进入下一次试验。

实验开始前，从正式实验中随机抽取 20 次作为练习，练习时，无论反应正确、错误或超时均有反馈，但结果不予以记录。练习正确率达到 80% 后方可进入正式实验。正式实验在被试做出正确反应后没有提示，反应错误或反应超时则会有提示。正式实验共有 1000 次试验，分 4 组（每组 250 次），组与组之间分别有一中断，被试可自行控制休息时间。正式实验结束后，进入错误补救程序，即将之前做错的试验再次呈现，直到被试全部反应正确为

止。整个实验持续约 120 分钟。

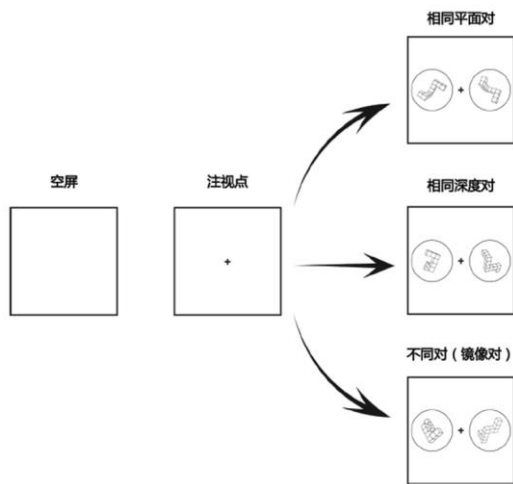


图 2-1 三维客体心理旋转实验流程示意图

3 结果分析

3.1 被试在相同对条件下对不同角度、不同旋转方式下的平均反应时

每个被试和所有被试在相同对条件下对不同角度、不同旋转方式（平面旋转、深度旋转）下的平均反应时数据详见附表 1 和图 3-1。从表中和图中数据可以看出旋转方式，即深度旋转和平面旋转下的平均反应时无明显差异，且随着旋转角度的增加，被试的平均反应时呈现增长趋势。

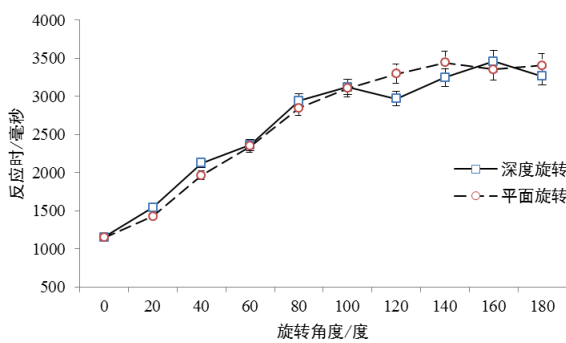


图 3-1 被试在相同对条件下对不同角度、不同旋转方式下的平均反应时

3.2 旋转方式以及旋转角度对反应时的影响

以旋转方式和旋转角度为组间变量，以平均反

应时为因变量，进行多因素重复测量方差分析，经检验，旋转方式的主效应不显著， $F(1, 51)=0.124$ ， $p>0.05$ ，说明在不同旋转方式下被试的平均反应时差异不显著；旋转角度主效应显著， $F(1.738, 88.614)=250.213$ ， $p<0.01$ ， $\eta^2=0.831$ ，说明在不同旋转角度下被试的平均反应时差异显著，反应时随旋转角度的增加而增加；旋转方式与旋转角度的交互作用显著， $F(5.779, 294.728)=8.073$ ， $p<0.01$ ， $\eta^2=0.137$ ，说明两者存在交互作用。

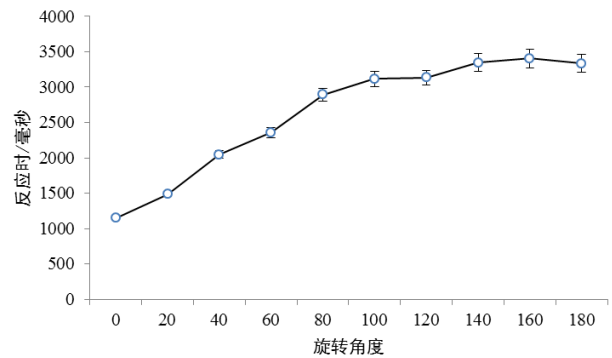


图 3-2 试在相同对条件下对不同角度下的平均反应时

3.3 反应时与旋转角度间的回归方程

对不同旋转方式下反应时与旋转角度的回归方程进行分析。

1. 在深度旋转方式下，Pearson 相关显著 $p<0.01$ ，回归方程的系数为 12.1，公式为 $RT=1527.7+12.1N$ ， $R^2=0.487$ 。对回归进行显著性分析， $F(1, 518)=492.895$ ， $p<0.01$ ，说明回归显著。

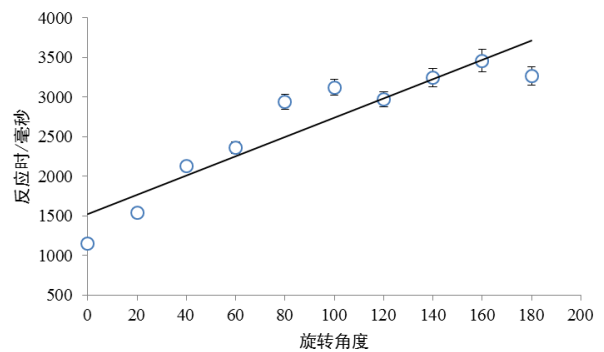


图 3-3 被试在深度旋转下对不同角度的平均反应时

2. 在平面旋转方式下, Pearson 相关显著 $p < .01$, 回归方程的系数为 13.4, 公式为 $RT = 1425.4 + 13.4N$, $R^2 = 0.464$ 。对回归进行显著性分析, $F(1, 518) = 449.618$, $p < .01$, 说明回归显著。

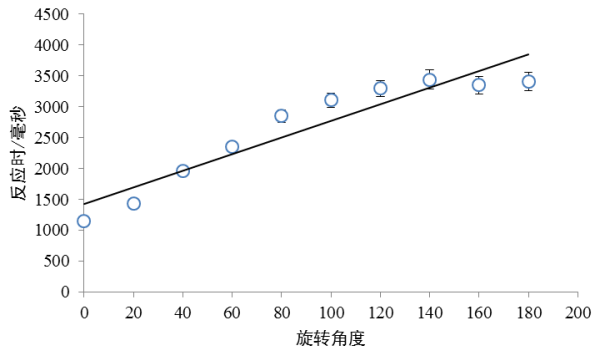


图 3-4 被试在平面旋转下对不同角度的平均反应时

3.4 性别对反应时的影响

由图 3-5 可以看出, 男性被试心理旋转的反应时较高于女性被试的反应时。以不同条件下的反应时为组间变量, 以性别为组间变量, 以反应时为因变量, 进行多因素重复测量方差分析, 经检验, 性别与反应时的交互作用不显著, $F(3.018, 150.197) = 0.750$, $p > 0.05$, 说明反应时不随着性别的不同而不同。

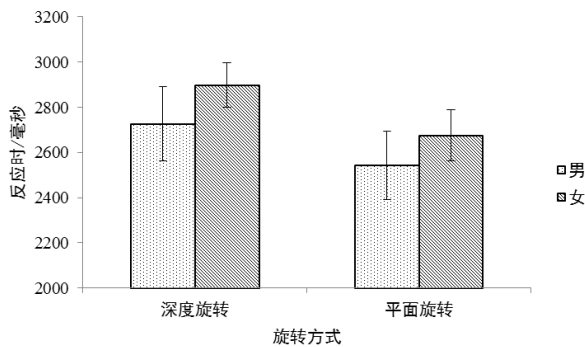


图 3-5 不同性别心理旋转的差异

3.5 相同对与不同对下的反应时随旋转角度的变化

仅深度旋转存在相同对和不同对的区别, 所以仅对深度旋转情况下进行分析。详见图 3-6, 由图可以看出, 当刺激不同时被试的反应时随旋转角度无明显差异, 而当刺激相同时, 随着角度的增加,

被试反应时明显上升。

以刺激是否相同和旋转角度为组间变量, 以平均反应时为因变量, 进行多因素重复测量方差分析, 经检验, 刺激相同与否的主效应显著, $F(1, 51) = 155.068$, $p < 0.01$, $\eta^2 = 0.753$, 说明刺激相同与否对反应时的差异显著; 旋转角度主效应显著, $F(3.530, 180.010) = 185.051$, $p < 0.01$, $\eta^2 = 0.784$, 说明在不同旋转角度下被试的平均反应时差异显著, 反应时随旋转角度的增加而增加; 刺激是否相同与旋转角度的交互作用显著, $F(3.054, 155.755) = 135.303$, $p < 0.01$, $\eta^2 = 0.726$, 说明两者存在交互作用。

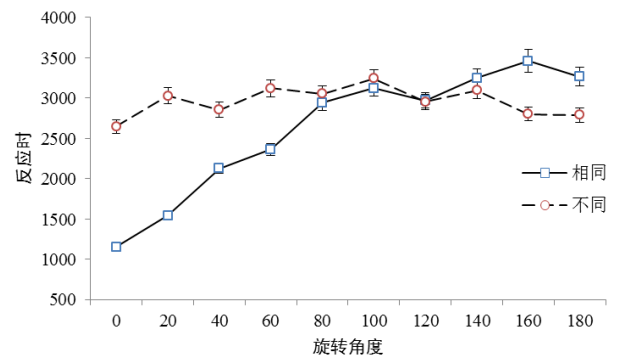


图 3-6 相同对与不同对下的反应时随旋转角度的变化

3.6 考实验过程中的练习效应。

将被试整个实验分为四个实验阶段, 求出每个阶段被试的平均反应时, 从图 3-7, 我们可以看出来, 随着试验阶段数的增加, 被试的平均反应时呈现递减趋势。以被试进行的实验阶段为组间变量, 以平均反应时为因变量, 进行单因素重复测量方差分析, 经检验, 实验阶段的主效应显著, $F(1.986, 101.270) = 67.236$, $p < 0.01$, $\eta^2 = 0.569$, 事后检验表明, 各个阶段均存在显著差异 (all $ps < 0.01$)。说明在不同试验阶段的平均反应时之间的差异显著, 即随着试验阶段数的增加被试的平均反应时显著降低, 所以说明存在练习效应。

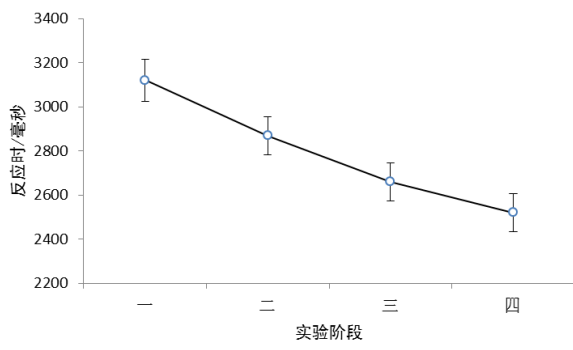


图 3-7 不同阶段被试心理旋转的反应时

3.6 被试的反应策略差异

综合所有被试数据计算得到平均反应时为 2793ms，标准差为 608ms。取高于 1 个标准差的被试为较慢组，低于 1 个标准差的被试为较快组，进行分析。

在相同对条件下，如图 3-8 所示，较快组被试的反应时随着旋转角度的增大改变不大，而较慢组则随着角度变化明显呈上升趋势。对于较快组而言，以旋转角度为组内变量，平均反应时为因变量，结果表明，旋转角度主显著水平， $F(9, 45)=20.009$ ， $p<0.01$ ， $\eta^2=0.800$ ，说明随着旋转角度增加反应时显著增加。对于较慢组而言，以旋转角度为组内变量，平均反应时为因变量，结果表明，旋转角度主显著水平， $F(9, 72)=95.027$ ， $p<0.01$ ， $\eta^2=0.922$ ，说明随着旋转角度增加反应时显著增加。

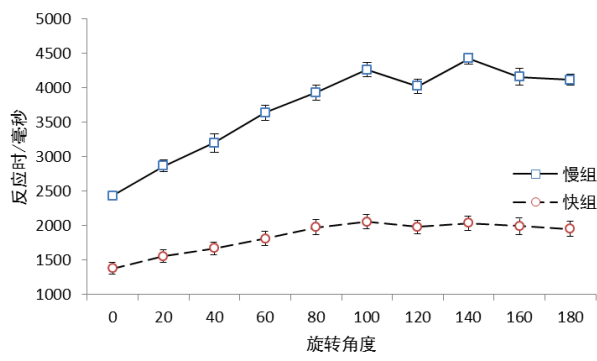


图 3-8 快慢组在不同旋转角度下的平均反应时

虽然两组的结果都证明了心理旋转的存在，但较快组的被试可能存在的速度—正确率权衡，因此

反应时的增长较不明显。另一种假设是，较快组的人本身具有更好的空间知觉加工能力，因此斜率较小。

在相同对条件下，如图 3-9 所示，较快组被试的平均错误率在两种情况下均高于较慢组。对数据进行独立样本 t 检验，结果表明，较快组与较慢组被试在平面旋转时无差异， $t(14)=-0.024$ ， $p>0.05$ ， $\eta^2=0.012$ ；在深度旋转时存在显著差异， $t(14)=2.180$ ， $p<0.05$ ， $\eta^2=0.183$ 。较快组深度旋转的错误率显著高于较慢组。

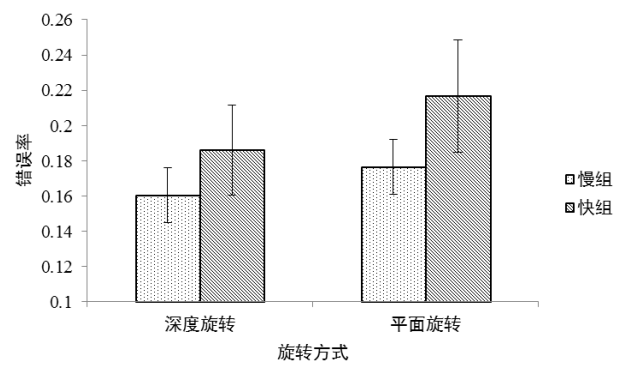


图 3-9 快慢组在不同旋转方式下的平均反错误率

该结果表明，较快组被试更多地采用了分析策略而不是整体策略，即对图形的部分，而不是全部进行旋转。并且，他们可能更多地倾向于通过平面旋转进行判断（即为了追求速度，将所有旋转都归结为平面旋转），从而在深度旋转上表现出了更高的错误率。

4 讨论

4.1 与 Shepard 等人的实验结果进行对照比较

Shepard 的实验结果主要有三点：（1）无论是平面对还是立体对，被试的反时及其发展趋势相同。（2）两对图形的方位差越大，信息加工的时间越长。（3）方位差每增加 53 度，反应时就增加 1 秒。详细结果见图 4-1。

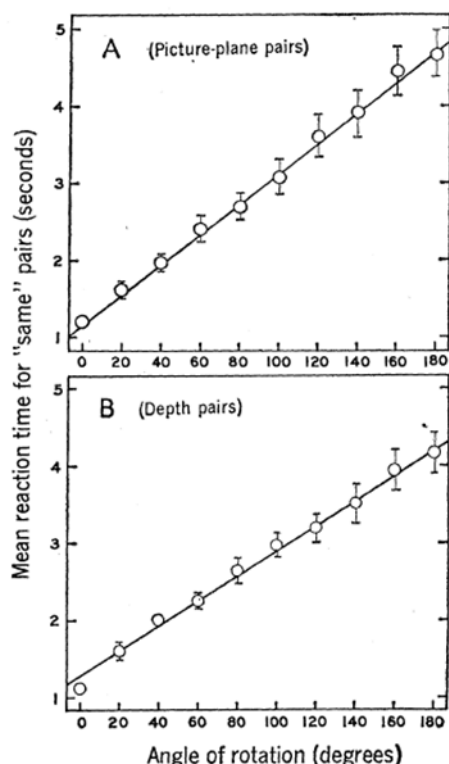


图 4-1 Shepard 两种旋转方式的实验结果

就我们的实验结果而言,我们的结果与 Shepard 的实验结果 1 是一致的,不过相对于他的结果而言,我们的线条并没有他们那个明显、清晰。我们的结果与 Shepard 的实验结果 2 也是一致的。这两者均支持了心理旋转的存在。但我们的结果与 Shepard 的实验结果 3 相差较大。Shepard 在旋转中,方位差每增加 53° 就会产生 1s 的时间差,而在我们的结果中,方位差约需要增加 $80^\circ \sim 90^\circ$ 。这可能是因为被试存在较大差别。我们的被试较擅长心理旋转,而且由于现在游戏等的发展,被试受到的心理旋转的训练较多,这可能是导致被试反应时减少的原因。

除此之外,Shepard (1971) 的实验在实验器材、实验分组及实验次数与本实验不同。其中,Shepard 采用了 1600 次试次,而本实验为 1000 次。在实验分组上,Shepard 将一半被试只做深度旋转或平面旋转中的一种,另一半被试同时做深度旋转和平面旋转。和本实验得出的结果一样,深度旋转和平面旋转无显著差异,该结果表明,两种维度的旋转所涉及的心理机制是相通的,即个体采用的是整体加

工,而并非部分加工。但是在错误率方面,Shepard 实验的错误率平均为 3.2%,远低于本实验的错误率,这可能与实验过程有关,Shepard 的实验中采用 8~10 个 1h 的 block,被试可以得到充分的休息,而本实验的被试可能倾向于较快的做完,所以可能造成了较高的错误率。

Shepard 还发现了,相同的反应时要低于不同对接近 1s,这与本实验结果相似。Shepard 认为,这是因为被试需要更多地时间去确认,在旋转完毕后,两个图形仍不匹配而导致。

因此,Shepard (1968) 和 Shepard 以及 Chipman (1970) 引入了一个专有术语——二阶同构 (second-order isomorphism),用来表示非一一对应的外部事物和内部表征之间的关系。这一看法认为,如果在记忆中的事物间的关系和现实中的这些事物间的关系是一样的,那么这就是二阶同构。一阶同构和二阶同构之间的差别很小,但是很重要:事物在我们的脑海中不是直接地或结构性地被表征的,但是内部关系操作的方式和外部关系操作的方式相似。

根据 Shepard 研究小组的成果,表现的存在似乎已得到了有力的例证,表象即便不是在结构上等同于客观物体,至少在功能上是相关的。

4.2 证明心理旋转及心理旋转的影响因素

4.2.1 证明心理旋转

实验过程:

每个 trial 的最开始,给被试呈现一个他熟悉的随机的二维的多边形,共持续 2s。然后给被试呈现一个短暂的空白屏,要求被试想象这个多边形沿顺时针方向旋转。经过随机时长后,出现一个随机方向的图形,它可能是与该图形,也可能是该图形的镜像对称。要求被试忽略方向差异,尽快判断前后两者是否一致。

当被试确实在进行心理旋转,并且经过一定时间后,被试正好将前一幅图转到后一幅图的角度时,被试反应最快,反应时较短,而两者相差较大时,被试的反应较慢,反应时较长。

就实验细节而言,三维图形的大小、颜色、屏幕亮度、背景亮度等都会影响被试的反应时。

4.2.2 心理旋转的影响因素

从实验而言，影响因素如下

1. 受刺激的感觉器官。例如不同感觉器官的反应时不同；同一感觉器官接受不同刺激时反应时不同；感觉器官的受刺激部位不同反应时不同。

2. 刺激强度。例如刺激强度有一个最适合的强度，强度过大或过小被试的反应时都会增长；刺激的时间和空间积累作用当物理刺激强度本身不变，而增加视觉刺激的面积时，由于感受器神经兴奋的空间累积作用，也会增加刺激的心理强度。

3. 机体状态。例如感觉器官的适应水平眼睛对光适应和暗适应的水平不同，反应时间也不同；被试的准备状态预备时间，即从预备信号发出到呈现刺激这段时间过短或过长，都会使得反应时间延长。因为预备时间过短，被试可能没时间准备反应，预备时间过长，会使被试的准备状态衰退，所以对反应时间都有不利的影响；额外动机如奖惩措施；年龄等。

就个人和外部整体影响而言，心理旋转反应时的影响因素如下：

1. 个性特征与心理旋转能力

(1) 性别与心理旋转能力。

尽管我们的实验没有做出来性别差异，但是前人有实验支持性别差异的存在，且男女在二维图形与三维图形之间存在较大的差异，男性在心理旋转测试上存在较为明显的优势，但有实验表明女性在深度上的旋转优于男性。

(2) 年龄与心理旋转能力。

2. 家庭因素与心理旋转能力

在家庭因素里，父母的基因特征和教育倾向性是影响人们心理旋转能力的重要因素。具有高空间能力基因特征的父母在把其这一基因特征遗传给其子女的同时，还会为其子女提供一种体现他们基因倾向性的教育方式。他们会给子女提供更多的训练空间能力的机会。这样家庭的孩子在参与空间活动上得到了更多的鼓励。

3. 社会文化因素与心理旋转能力

社会文化对人的影响呈现为由内到外的3个层次：一是包括知觉、思想过程、情感以及行为方式的潜在假设；二是反映判断取向的价值观；三是包

括服饰、语言、习俗等在内的可观察的外显特征。

4.3 实验指导语的外显性

实验指导语中可以外显地要求被试进行心理旋转操作以完成本实验任务。

大部分实验都没有明确告诉被试可以采用心理旋转完成任务，理由是显而易见的。例如，Just 和 Carpenter (1976) 的实验利用 Shepard 等人的范式，跟踪了被试的眼动轨迹，并表明反应时的线性增加并不是由于心理旋转，而是被试需要更多的眼动去比较两个图片的细节。所以，告知被试心理旋转会影响实验的效果。

而 Cooper (1975) 使用复合不规则多边形进行心理旋转，有一些实验的决定条件就是被试是否被明确要求对该图形形成并进行心理旋转。

当被试被明确要求对该图形形成并进行心理旋转，结果反应时也随着角度变换出现了线性相关，相对而言，线性相关的结果更加平滑。

相对于没有外显要求的实验，如果实验指导与中外显地要求被试进行心理旋转操作以完成本实验任务，它的结果中，图片和测量结果的线性关系更加明确。从另一个角度来说，它提供了一个新的可能性，即这个结果可能是因为实验的要求，被试因为实验的需要故意进行心理旋转，而不是因为他本身的行为习惯。不过把这个实验的数据和其他实验的数据放在一起看，可以发现，是否外显地要求被试进行心理旋转并不会对实验结果产生较大影响，故而可以进行外显的要求。

4.4 训练对心理旋转能力的影响

心理旋转能力能够通过训练得以提升。

就本实验的数据而言，被试的反应时存在显著的练习效应，说明被试的心理旋转能力能够通过训练得以提升。

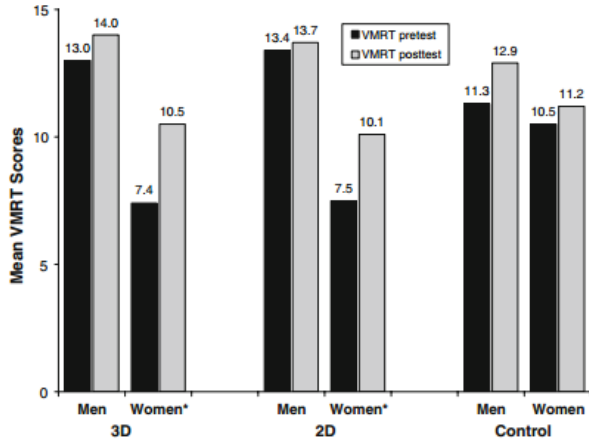
Cherney (2008) 的研究也表明，3D 和 2D 的电子游戏能够使得被试的心理旋转能力得以提升。

实验过程如下：

被试一共分为 3 组，分别为 3D 训练组（赛车游戏）、2D 训练组（俄罗斯方块游戏）以及控制组（纸笔智力游戏），其中 2D 的用 CRT 范式，3D 的用 VMRT 范式，并让每个人进行了 4 小时的连续（只

含最低限度的休息时间）或者分隔练习（中间含较长休息时间）。

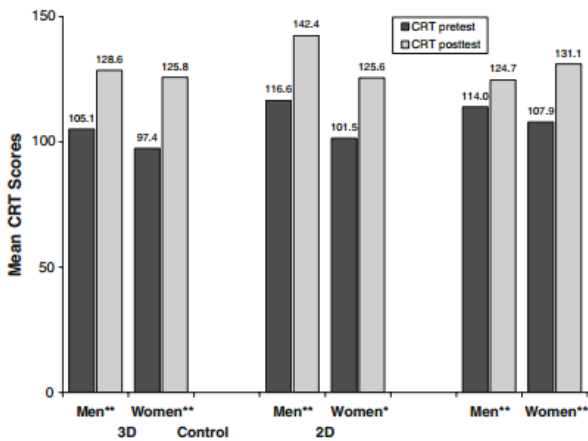
实验结果发现，电脑游戏可以显著地提高心理旋转的绩效，且女性的提高显著高于男性。除此之外，进行连续练习的被试绩效提高得更快。



Note: * $p < .05$

Fig. 2 Mean VMRT test scores by gender and training condition.

图 4-2 Cherney 三种情况下的实验结果



Note: ** $p < .001$; * $p < .01$

Fig. 3 Mean CRT test scores by gender and training condition.

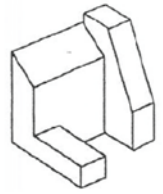
图 4-3 Cherney 三种情况下的实验结果

4.5 错觉中的不能图形的心理旋转

前人有研究表明，错觉中的不可能图形也可以进行心理旋转。例如 Itiele 和 Chandra (1997)。



不可能图形



可能图形

图 4-4 不可能图形与可能图形

4.5.1 实验一

将可能图形和不可能图形混合，让被试进行心理旋转的测验。

从数据中，我们可以看出来，就反应时而言，不可能图形的反应时长于可能图形，就错误率而言，不可能图形的错误率反而低于可能图形。

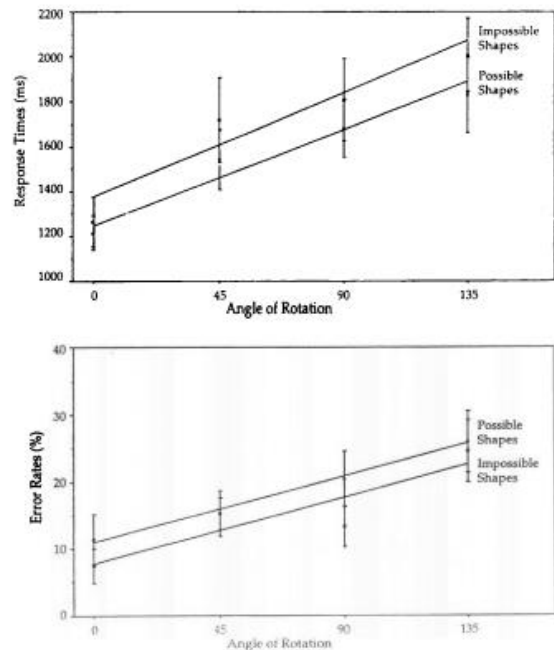


Figure 2. Mean response times (top) and error rates (bottom) as a function of angular rotation. The stimuli of the possible and impossible shapes were intermixed and presented in a single testing session.

图 4-5 Itiele 实验一结果

4.5.2 实验二

仅呈现不可能图形，让被试进行心理旋转的测验。

从数据中，我们可以看出来，就反应时而言，不可能图形的反应时短于可能图形，就错误率而

言，不可能图形的错误率低于可能图形。

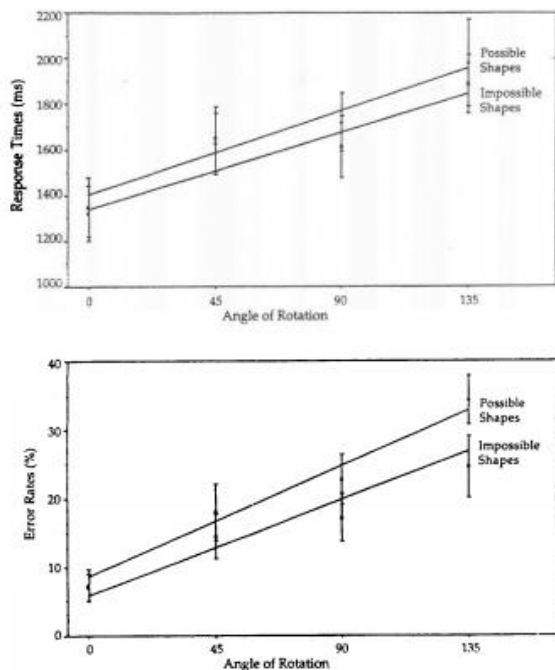


Figure 3. Mean response times (top) and error rates (bottom) as a function of angular rotation. The stimuli of the possible and impossible shapes were separated and presented in different testing sessions.

图 4-6 Itiele 实验二结果

产生实验一的结果的原因可能是被试产生了一种旋转的策略，可以应用于可能图形和不可能图形，故做实验二，将不可能图形进行剥离，单独进行检验。

对可能图形，被试可以进行整体编码或部分编码，而对不可能图形，不能进行整体编码。结果证明，可能图形与不可能图形随角度变化的斜率是相同的。说明被试偏好部分编码，不可能图形的心理旋转的机制和可能图形的心理旋转的机制相同。

5 结论

1. 无论是平面对还是立体对，被试的反时及其发展趋势相同。
2. 两对图形的方位差越大，信息加工的时间越长。
3. 方位差每增加 $80^\circ \sim 90^\circ$ ，反应时就增加 1 秒。
4. 旋转方式以及性别对心理旋转无显著影响。
5. 练习效应显著，随着试次增多，被试的反应时显著下降。

参考文献

- [1] Cherney, I. D. (2008). Mom, let me play more computer games: they improve my mental rotation skills. *Sex Roles*, 59(11-12), 776-786.
- [2] R, I. E., Ivey, C., & Rogus, C. (1997). Visual mental rotation of possible and impossible objects.. *Psychonomic Bulletin & Review*, 4(2), 242-7.
- [3] Shepard R N, Metzler J. Mental rotation of three-dimensional objects[J]. 1971.
- [4] Shepard R N, Judd S A. Perceptual illusion of rotation of three-dimensional objects[J]. *Science*, 1976, 191(4230): 952-954.
- [5] Checklist-Revised H P. From Scholarpedia This article has not yet been published; it may contain inaccuracies, unapproved changes, or be unfinished. Jump to: navigation, search[J].
- [6] 董一胜. (2016). 认知心理学实验手册.
- [7] 杨治良. 实验心理学[M]. 浙江教育出版社, 1998.
- [8] 郭苹, & 吴北平. (2009). 心理旋转能力的影响因素探讨. *科技情报开发与经济*, 18(31), 152-153.
- [9] 王鹏, 游旭群, 刘永芳, & 西安. (2005). 心理旋转研究的新进展. *心理科学*(5), 1164-1166.

附表

附表 1 所有被试在相同对条件下对不同角度深度旋转下的平均反应时

旋转角度	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180
1	1076	1254	1454	1674	1878	2297	2503	2465	2791	2708
2	774	1184	1486	1757	1772	2014	1904	1805	1952	1892
3	1008	1344	2272	2313	2765	2678	3016	3096	2909	3115
4	1203	1919	2428	2958	3172	3253	3348	3740	3418	3675
5	1496	2048	2730	3154	3881	4323	4342	4300	4898	4472
6	1192	1645	2068	2233	3533	3913	3358	3511	4541	3693
7	1174	1900	2722	2636	3300	4085	3460	3487	4157	3953
8	1180	1492	1788	2201	2644	2587	2270	2121	2275	2855
9	886	1304	1431	1507	2264	2444	1784	1571	2136	2095
10	929	1142	1513	1884	1929	2643	1876	2296	2407	2130
11	1077	1366	2121	2392	3008	3410	2950	3099	3244	3256
12	1371	2010	2655	2860	3680	3852	4265	4194	4664	4582
13	1342	1875	2193	2001	2577	3330	2266	2502	2413	2429
14	1149	1404	2220	2399	2774	3537	3134	3718	4362	3706
15	1490	2335	3125	3307	5015	3695	3413	4584	3820	4385
16	1061	1650	2859	3492	3146	2617	2801	2847	2747	2739
17	1074	1407	2110	2617	3425	4004	4253	4646	6024	4890
18	1197	1528	2429	2712	3276	3602	3240	3606	3990	4026
19	1281	1645	1912	1973	2505	2329	2259	2496	2585	2422
20	1337	1676	2522	3037	3220	3719	3339	3493	3402	3688
21	1151	1365	1773	2134	2238	1797	2292	2264	1792	1789
22	1181	1501	1740	1495	2593	2762	2464	2539	2486	2409
23	1023	1253	1674	1796	2315	2880	2537	3154	2531	2966
24	1337	1788	2356	2989	3754	3881	3536	4043	4110	3890
25	1023	1473	1945	2384	2566	3026	2662	3383	3129	2950
26	992	1608	1672	2283	3388	2698	2654	2648	2976	3050
27	972	1042	1425	1352	1793	1757	1835	1751	1820	1783
28	1063	1449	1974	2507	3017	3276	3153	3143	4084	3652
29	1337	1870	3021	2760	4312	3777	4197	5029	4728	4154
30	1417	1850	2958	3608	4225	4540	4701	4937	5895	5022
31	1230	1585	2120	2743	2976	3195	3581	4054	3707	3291
32	850	1098	1751	1662	1909	2038	2074	2075	2632	2508
33	1205	1816	2264	2554	3249	3028	3387	3700	4125	4385
34	1111	1472	2431	2884	3455	3046	3016	4021	4271	3508
35	876	1113	1650	1829	2633	2833	2630	2844	3318	2921
36	1566	1606	2884	2946	3562	4178	3043	4488	4499	3924
37	993	1487	2500	2391	2852	3216	2733	2975	3730	3262
38	1175	1405	2073	2051	2388	2336	2685	2942	2354	2608
39	1261	1637	2134	2415	2844	3073	3676	3338	3606	3415
40	1226	1541	2048	2260	2490	2293	2409	2447	3171	2823
41	1027	1430	2312	2590	3201	3191	3171	3140	4029	3364
42	984	1170	1650	1872	2323	2520	2922	2935	2395	2612

三维客体旋转实验报告

43	1046	1324	2355	2533	2625	2928	3171	3078	3396	3132
44	1367	1547	1913	1927	2985	3512	2692	3193	2278	2835
45	1098	1480	2038	2176	2984	3052	2754	3655	3443	3215
46	1019	1494	2296	2291	3188	3329	2748	3841	3912	3273
47	1339	2081	2206	2663	2972	3156	3081	3820	4353	4095
48	924	1307	1770	1893	2789	2852	2623	2825	3200	2639
49	1162	1623	1917	2241	2795	2713	2877	3144	3651	3385
50	1211	1671	2318	2582	3707	4746	3822	4373	5070	5020
51	1368	1597	1837	2376	3169	4187	3470	3675	4401	3310
52	1157	1410	1490	1583	1910	2226	1931	1955	1998	1739
总计	1154	1543	2126	2363	2942	3123	2967	3250	3458	3262

附表 2 所有被试在相同对条件下对不同角度平面旋转下的平均反应时

旋转角度	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180
1	1177	1473	1679	2016	2529	2862	3037	3436	3102	2640
2	760	921	1167	1259	1221	1388	1485	1576	1139	1243
3	957	1187	1639	2044	2537	2878	2950	3160	3375	2432
4	1303	1473	2083	2726	3037	3150	3317	3986	4427	3955
5	1298	2173	3069	3726	4635	4800	5900	5884	4827	5687
6	1114	1380	2343	2497	3387	3263	3781	5054	4280	4514
7	1176	1503	2123	2801	3871	4031	4706	4669	3707	3731
8	1072	1328	1875	1913	2594	2228	2414	1979	1973	2256
9	949	1201	1530	1724	2461	2409	2610	1609	2031	2552
10	885	1162	1672	1750	2355	2223	2447	2898	2381	2405
11	1115	1615	2002	2636	2709	3520	3744	3889	4032	4657
12	1405	1652	1947	2958	3463	4168	4354	5143	4901	4301
13	1210	1473	2108	2158	2464	2277	2582	2073	2563	1805
14	1097	1364	1939	1898	2828	3282	3333	2885	3406	2841
15	1476	1881	3590	4053	3855	4057	3823	4160	3967	4321
16	1347	1274	2007	2001	3287	2547	2856	2175	2129	2398
17	1184	1682	2202	2693	3673	3560	4450	4704	5221	4376
18	1110	1245	2010	2229	2677	3166	2971	3644	3380	3433
19	1181	1699	1844	2073	2394	2543	2622	2508	2809	2380
20	1384	1672	2382	2847	3955	3956	3770	4151	3761	3677
21	1140	1316	1833	1843	1807	2055	2277	2006	1998	2125
22	1291	1365	2162	2293	2249	1974	2540	2383	2500	3028
23	935	1336	1950	2317	2947	3258	3614	3129	3530	3412
24	1327	1747	2635	3568	3831	4893	4241	5265	3441	4683
25	1093	1484	1727	2206	2805	3135	2774	3657	3670	3418
26	918	1128	1807	1512	1993	2138	1658	1923	1947	1659
27	948	1110	1328	1202	1489	1561	1445	1786	1397	1512
28	1040	1358	1893	2314	3219	3548	4089	4242	4239	4551
29	1245	1419	2409	2504	3789	4321	4619	4919	4852	4504
30	1410	1690	2267	3552	3145	3838	4309	4454	5070	5288
31	1296	1899	2392	2916	3542	4224	3395	2898	3581	3538

三维客体旋转实验报告

32	880	1132	1527	1729	2389	2048	2281	2435	2437	2434
33	1224	1300	1945	2229	3439	3381	4101	4247	4406	4828
34	1072	1272	2071	2661	3514	3865	4083	4004	4020	4481
35	822	1189	1521	1768	2267	2587	2841	2861	3046	2966
36	1416	1853	2204	3050	3620	4071	4275	4380	4452	4435
37	974	1353	1687	2315	2911	3393	3072	3690	3783	3254
38	1164	1147	1730	1976	1999	2312	2389	2666	2385	1991
39	1275	1476	2016	2935	3148	3351	3161	3186	3588	3798
40	1087	1532	1564	1826	2272	2527	2530	2223	2616	2974
41	1042	1210	1437	1583	1749	1871	2163	2351	1678	1892
42	955	1179	1686	2182	1986	2682	2786	2872	2639	2609
43	1082	1236	1996	1946	2895	2715	2993	2906	2420	2490
44	1253	1570	1870	2583	3570	3149	3687	3609	3672	4268
45	1005	1604	1950	2545	2877	3415	3280	3937	3772	3535
46	1080	1285	2306	2995	3098	3332	4222	4466	3560	4661
47	1645	1733	2283	2408	2658	3100	3794	4130	4240	3942
48	913	1163	1397	1915	2224	2497	3008	2485	2789	3230
49	1197	1545	2189	3180	3357	3705	4150	4566	4498	4600
50	1217	1688	1900	2483	3045	4205	4022	4812	4017	4954
51	1269	1322	1798	2161	2863	4176	4474	4619	4776	4695
52	1183	1249	1381	1497	1562	1887	2077	2251	1931	1856
总计	1146	1428	1963	2350	2850	3106	3298	3441	3353	3408