

·心理学·

工作记忆的负荷影响心理旋转任务中的性别差异*

于庆宝¹ 鹿麒麟¹ 李健¹ 隋丹妮¹ 邱香² 王艳¹ 周莉¹ 唐一源^{1,3,△}

(1 大连理工大学 神经信息学研究所 辽宁 大连 116023; 2 中国科学院心理研究所 脑与认知科学国家重点实验室 北京 100101; 3 中国科学院心理研究所 心理健康重点实验室 北京 100101)

摘要 目的:探讨心理旋转任务中的性别差异是否受工作记忆的负荷的影响。方法:采用先后呈现提示刺激和目标刺激的范式,任务分为三种:1. 无效提示的数字旋转;2. 有效提示的数字旋转;3. 有效提示的 PM A 图形旋转。结果:重复测量的方差分析表明:对无效提示的数字旋转任务,男性和女性之间的反应时和正确率都无差异;对有效提示的数字旋转任务,男性和女性之间的正确率无差异,而反应时的差异边缘显著;对有效提示的 PM A 图形旋转任务,男性和女性之间的正确率无差异,而反应时有显著差异。结论:工作记忆的负荷可能会影响心理旋转任务中的性别差异。

关键词 心理旋转;性别差异;工作记忆的负荷

中图分类号:R 338;B 842 文献标识码:A 文章编号:1673-6273(2008)09-1717-04

Sex differences in mental rotation affected by working memory load*

YU Qing-bao¹, LU Qi-lin¹, LI Jian¹, SU IDan-ni¹, QIU Xiang², WANG Yan¹, ZHOU Li¹, TANG Yi-yuan^{1,3,△}

(1 Institute of Neuroinformatics, Dalian University of Technology, Dalian 116023, China;

2 State Key Laboratory of Brain and Cognitive Science, Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

3 Key Laboratory of Mental Health, the Chinese Academy of Science, Beijing 100101, China)

ABSTRACT Objective: To explore whether the sex differences in mental rotation were affected by working memory load. **Methods:** Successive presentation paradigms were used. There were three tasks: 1. number rotation with useless cue; 2. number rotation with cue; 3. PM A figure rotation with cue. **Results:** A analysis of variance of repeated measures indicated that: for the task of number rotation with useless cue, neither accuracy nor response time had significant differences between sexes; for the task of number rotation with cue, the accuracy had no significant difference between sexes while the response time had marginal significant difference between sexes; for the task of PM A figure rotation, the accuracy had no significant difference between sexes while the response time had significant difference between sexes. **Conclusion:** The working memory load could affect sex differences in mental rotation.

Key words: Mental rotation; Sex differences; Working memory load

Chinese Library Classification: R 338, B 842 **Document code:** A

Article ID : 1673-6273(2008)09-1717-04

前言

心理旋转是空间认知能力的一个重要方面,首先是由 Shepard 和 Metzler 在 1971 年提出^[1],它的主要表现是被试的反应时间随着旋转角度的增加而增长。其后的研究发现,在心理旋转任务中男性的表现往往好于女性^[2,3],但是不同的实验材料会造成不同程度的性别差异,增大任务难度也会造成更明显的性别差异^[4]。近年来人们利用各种方法来研究这种性别差异,有人认为环境和生理因素是性别差异的重要原因^[5],有人认为不同的神经机制才是导致性别差异的直接原因^[6]。但是这些观点都不能解释为什么性别差异跟刺激材料和任务难度有关这一问题。

在心理旋转任务中,给被试呈现目标刺激的同时,被试需要对目标的心理表象进行旋转,因此心理旋转过程离不开工作

记忆^[7]。而视觉工作记忆包含存储空间信息的空间子系统和存储客体颜色、形状等特征的客体子系统^[8]。最近 Hyun 和 Luck 对双重任务(工作记忆和心理旋转的混合任务)和单一任务(只做工作记忆任务或只做心理旋转任务)做对比发现:心理旋转与客体工作记忆之间的冲突非常明显,而空间工作记忆与心理旋转之间的冲突并不明显,因此,在心理旋转任务中,目标的表象存储在客体工作记忆系统中^[7]。由此可见,工作记忆会影响心理旋转任务的执行。那么心理旋转任务中的性别差异是否跟工作记忆的负荷有关呢?据我们所知,至今还没有人研究过这一问题。

心理旋转研究中常用的实验范式有三种^[9]:1. 同时给被试呈现标准刺激和目标刺激,要求被试判断二者是同一图形还是互为镜像;2. 按顺序先后给被试呈现标准刺激和目标刺激,要求被试判断后者是前者本身还是前者的镜像;3. 按顺序先后给

* 基金项目:国家自然科学基金(60472017,30670699),国家 863 项目(2006AA02Z431)

作者简介:于庆宝(1980-),男,博士研究生,主要研究方向:心理表象的神经机制

△通讯作者:唐一源, E-mail: yy2100@126.com

(收稿日期:2008-02-23 接受日期:2008-03-20)

被试呈现标准刺激、箭头提示和目标刺激,其中箭头提示的作用是告诉被试目标的旋转方向和角度,要求被试判断出现的目标刺激是标准刺激本身还是其镜像。在第二种范式中,呈现标准刺激之后,目标刺激出现之前,被试需要在工作记忆中负荷标准刺激的表象,而本研究的目的正是探讨工作记忆的负荷是否会影响心理旋转中的性别差异,所以该范式比较适合本研究。因此我们采用第二种范式,先给被试呈现提示性刺激,后呈现目标刺激,选用了四个数字和前人研究中用到的四个 PM A (Primary Mental Abilities) 图形作为刺激材料来进行研究^[10]。

1 材料和方法

1.1 被试

22 名健康的女性(平均年龄 22.2 岁)和 22 名健康的男性(平均年龄 22.6 岁)自愿参加了本研究。他们都是大连理工大学在读的本科生或研究生,都为右利手,视力正常或矫正后正常。

1.2 材料和程序

本实验分为两部分,其中一部分为数字旋转任务,用到的刺激材料为 4 5 6 7 四个数字,旋转角度按顺时针方向分为 60°, 120°, 180°, 240°, 300°。任务按有效提示和无效提示分为两种,每种任务下每个数字及其镜像在每个旋转角度出现两次,因此每种任务有 80 组刺激,整个实验 160 组刺激随机出现,大约持续 13 分钟。对于无效提示的任务(图 1),屏幕中间先出现 "+" 号,它的呈现时间在 500 ms 到 1500 ms 之间随机,然后出现一个带有弧线的竖线作为提示,它的呈现时间为 800 ms,之后是 800 ms 的白屏,最后是目标刺激,即相对于竖直方向旋转一个角度的数字或数字的镜像。该数字或镜像为 4 5 6 7 中的任意一个。此时要求被试在平面内旋转该刺激并在 6 s 之内判断其是数字还是镜像,如果是数字则按鼠标左键,如果是数字的镜像则按鼠标右键。被试按键之后或目标刺激呈现 6 s 之后自动进入下一组刺激。对于有效提示的任务(图 2),与无效提示任务不同的是先出现一个上方带有弧线的竖立的数字,此时要求被试记住该数字。其后出现的目标刺激是旋转后的该数字或其镜像。同样要求被试判断目标刺激是数字还是镜像,如果是数字则按鼠标左键,如果是数字的镜像则按鼠标右键。

示一种任务,旋转角度与数字旋转任务一样分为五种,每个图形及其镜像在每个角度出现 2 次,整个实验共 80 组刺激,随机出现,约持续 13 分钟。任务过程与有效提示数字旋转任务唯一不同的是带有弧线的提示呈现 2500 ms(因为被试不熟悉这些图形,所以延长了它的呈现时间)。要求被试判断在之后出现的目标是之前提示中出现的图形还是图形的镜像,如果是图形本身则按鼠标左键,如果是镜像则按鼠标右键。

实验程序由 E-prime 编制而成,运行在 DELL 品牌电脑上。刺激是以图片的形式呈现,背景为白色,刺激为黑色。



图 3 实验中用到的四个 PM A 图形示意图

Fig.3 PM A figures used in present study

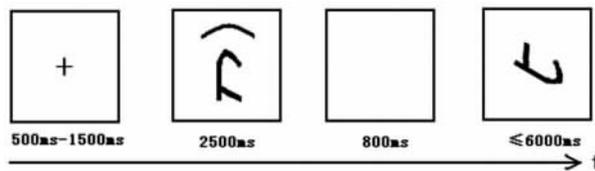


图 4 PM A 图形旋转任务过程示意图

Fig.4 Schematic diagram of PM A figure rotation

1.3 过程

对每个被试进行单独测试,要求被试不能转动头部,测试过程中记录正确率和反应时。为了消除顺序效应,被试被随机分为两组,每组中男性和女性人数相同。其中一组被试先做数字旋转的实验,后做 PM A 图形刺激实验,另一组与之相反。在做每一部分实验之前,每个被试都要做相应任务 16 组刺激的练习。

1.4 数据分析

对每个被试的数据只保留了正确反应的刺激来计算平均反应时。为方便分析,把同一角度正像和镜像刺激的反应时平均在一起。用 SPSS 软件分别对三种任务下(无效提示的数字旋转任务,有效提示的数字旋转任务,PM A 图形旋转任务)的正确率和反应时进行了 5(旋转角度) × 2(性别)的重复测量方差分析,旋转角度作为组内因素,性别作为组间因素。

2 结果

表 1 无效提示的数字旋转任务中各旋转角度下的平均正确率和反应时(单位 ms)

Table 1 Mean ACC and RT (ms) of number rotation with useless cue				
Rotation angle	Female		Male	
(顺时针)	正确率	反应时	正确率	反应时
(Clockwise)	ACC	RT	ACC	RT
60°	0.97± 0.05	1134.53± 251.74	0.97± 0.05	999.14± 203.43
120°	0.90± 0.12	1177.42± 255.85	0.93± 0.09	1114.55± 289.15
180°	0.86± 0.11	1497.72± 365.99	0.85± 0.11	1362.61± 423.80
240°	0.92± 0.08	1194.37± 240.70	0.93± 0.09	1113.05± 316.71
300°	0.99± 0.03	1109.42± 239.17	0.97± 0.05	991.15± 188.62

无效提示数字旋转任务的平均正确率和反应时见表 1。5

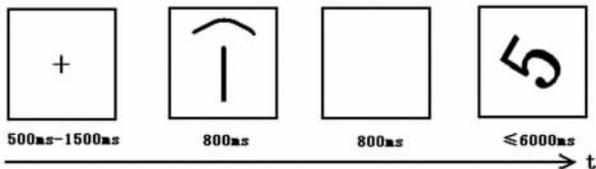


图 1 无效提示的数字旋转任务过程示意图

Fig.1 Schematic diagram of number rotation with useless cue

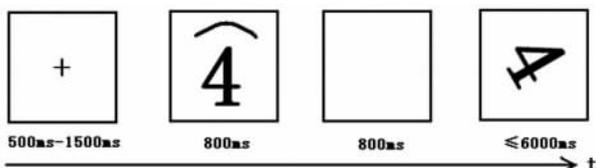


图 2 有效提示的数字旋转任务过程示意图

Fig.2 Schematic diagram of number rotation with effective cue

另一部分为 PM A 图形旋转任务,刺激材料选用了前人研究中用到的 4 个 PM A 图形(图 3)^[10]。该部分实验只有有效提

(旋转角度) × 2 性别) 的重复测量方差分析表明, 对于正确率而言, 旋转角度的主效应极其显著, $F(4, 168) = 23.567, p < 0.001$; 性别的主效应不显著, $F(1, 42) = 0.040, p = 0.842$; 旋转角度 × 性别的交互作用不显著, $F(4, 168) = 0.883, p = 0.475$ 。对于反应时而言, 旋转角度的主效应极其显著, $F(4, 168) = 30.685, p < 0.001$; 性别的主效应不显著, $F(1, 42) = 2.271, p = 0.139$; 旋转角度 × 性别的交互作用不显著, $F(4, 168) = 0.355, p = 0.840$ 。

表 2 有效提示的数字旋转任务中各旋转角度下的平均正确率和反应时 单位 m s)

Table 2 Mean ACC and RT(m s) of number rotation with cue

Rotation angle (顺时针) (Clockwise)	Female		Male	
	正确率 ACC	反应时 RT	正确率 ACC	反应时 RT
60°	0.98± 0.03	991.55± 209.58	0.97± 0.04	860.64± 123.44
120°	0.92± 0.10	1131.75± 258.21	0.94± 0.07	1055.23± 199.81
180°	0.86± 0.13	1443.71± 338.75	0.89± 0.12	1389.62± 454.95
240°	0.96± 0.06	1201.84± 235.92	0.93± 0.07	1027.15± 250.27
300°	0.99± 0.03	999.11± 230.41	0.98± 0.04	888.08± 182.23

有效提示数字旋转任务的平均正确率和反应时见表 2。5 (旋转角度) × 2 性别) 的重复测量方差分析表明, 对于正确率而言, 旋转角度的主效应极其显著, $F(4, 168) = 16.676, p < 0.001$; 性别的主效应不显著, $F(1, 42) = 0.020, p = 0.887$; 旋转角度 × 性别的交互作用不显著, $F(4, 168) = 1.860, p = 0.120$ 。对于反应时而言, 旋转角度的主效应极其显著, $F(4, 168) = 51.423, p < 0.001$; 性别的主效应边缘显著, $F(1, 42) = 3.090, p = 0.086$; 旋转角度 × 性别的交互作用不显著, $F(4, 168) = 0.734, p = 0.570$ 。

表 3 PM A 图形旋转任务在各旋转角度下的平均正确率和反应时 (单位 m s)

Table 3 Mean ACC and RT(m s) of PM A figure rotation

Rotation angle (顺时针) (Clockwise)	Female		Male	
	正确率 ACC	反应时 RT	正确率 ACC	反应时 RT
60°	0.92± 0.08	1339.23± 291.28	0.93± 0.06	1209.28± 277.84
120°	0.93± 0.07	1523.85± 326.38	0.92± 0.10	1321.57± 246.29
180°	0.89± 0.10	1532.66± 286.20	0.92± 0.09	1361.67± 189.59
240°	0.89± 0.10	1441.16± 219.75	0.91± 0.12	1271.16± 231.43
300°	0.89± 0.12	1414.84± 280.47	0.94± 0.09	1247.39± 274.90

PM A 图形旋转任务的平均正确率和反应时见表 3。5 (旋转角度) × 2 性别) 的重复测量方差分析表明, 对于正确率而言, 旋转角度的主效应不显著, $F(4, 168) = 1.131, p = 0.344$; 性别的主效应不显著, $F(1, 42) = 0.963, p = 0.332$; 旋转角度 × 性别的交互作用不显著, $F(4, 168) = 0.842, p = 0.500$ 。对于反应时而言, 旋转角度的主效应极其显著, $F(4, 168) = 5.264, p = 0.001$; 性别的主效应显著, $F(1, 42) = 8.258, p = 0.006$; 旋转角度 × 性别的交互作用不显著, $F(4, 168) = 0.178, p = 0.950$ 。

3 讨论

由表 1 和表 2 及重复测量的方差分析结果可以看出, 在数字旋转任务中五个角度下的正确率和反应时大体上关于 180° 的刺激对称, 在 180° 的情况下反应时最长, 正确率最低, 这说明被试就近选择了旋转方向 (顺时针或逆时针)。因此正确率在随着旋转角度的增加而降低, 反应时在随着旋转角度的增加而增长, 这与前人的结果一致^[11], 说明被试很好的执行了心理旋转任务。无效提示任务的反应时要长于有效提示任务的反应时, 这可能是因为在无效提示任务中需要对目标刺激进行辨识, 因为被试预先不知道将要出现哪个数字或其镜像; 而在有效提示任务中, 被试已经根据提示知道将要出现的是哪个数字或其镜像, 所以不需要进行辨识 (图 5)。由表 3 及重复测量的方差分析可以看出, 在 PM A 图形旋转任务中正确率并没有很好的随着旋转角度的增加而降低, 这可能是因为被试不太熟悉 PM A 图形。但是反应时在随着旋转角度的增加而增长, 因此被试也执行了心理旋转任务。

本研究的目的是探讨心理旋转任务中的性别差异是否受工作记忆负荷的影响。在数字旋转任务中, 有效提示的任务与无效提示的任务相比, 心理旋转之前在工作记忆中负荷了标准刺激的表象 (图 5)。根据重复测量方差分析的结果, 对于无效提示的任务, 正确率和反应时在男女之间都没有差异。对于有效提示的任务, 反应时在男女之间的差异达到了边缘显著的水平。这可能是因为工作记忆与心理旋转之间的冲突在女性中更加剧烈, 造成女性在有效提示任务中的反应时长于男性并达到边缘显著的水平, 同时因为被试对刺激材料太熟悉, 工作记忆的负荷强度不够, 所以男女之间的差异还没有达到显著水平。PM A 图形旋转任务的结果证实了我们的假设。根据表 3 和重复测量方差分析的结果, 当用被试不熟悉的 PM A 图形做刺激材料时, 女性的反应时显著长于男性的反应时, 但正确率并没有显著差异, 这说明女性并没有靠牺牲反应时来提高正确率。

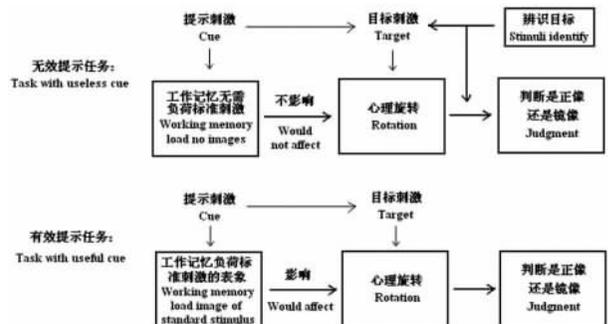


图 5 无效提示任务和有效提示任务执行示意图。有效提示任务中, 在执行心理旋转任务之前工作记忆已经负荷有标准刺激的表象, 这种工作记忆的负荷会影响心理旋转任务, 对女性影响更大。而无效提示任务中, 目标出现后被试还需要一个“辨识”的过程, 因为预先不知会出现哪个数字或镜像; 而有效提示任务中被试已经根据提示知道出现的是哪个数字或镜像, 因此不再需要“辨识”这一过程, 所以无效提示任务的反应时反而长于有效提示任务的反应时。

Fig 5 Schematic diagrams of task with cue and useless cue. In the task with cue, the representation of standard stimulus was maintained in working memory before mental rotation, and this working memory load would affect mental rotation for each subject and especially for women. In the task with useless cue, the subjects had to "identify" it when the target appeared because they didn't know which number or its mirror would appear in prior. For the task with cue, there will be no "identification" process, because the subjects had known which number or its mirror would appear as the target based on the cue. So the RTs of task with useless cue were longer than the task with cue.

Hyun 和 Luck 近期研究表明,心理旋转任务与客体工作记忆任务之间会互相影响^[7]。根据本研究的结果,当工作记忆的负荷达到一定强度时,女性在心理旋转任务中的反应时会显著长于男性的反应时,这说明女性在执行心理旋转任务时更容易受到工作记忆负荷的影响。前人脑成像的研究结果支持我们的观点,如 Jordan^[8]和 Butler^[12]的功能磁共振成像研究表明,在心理旋转任务中女性在前额叶有更强的激活,而这一脑区与工作记忆有关^[8],因此,这可能正是因为女性在女性中,心理旋转任务与工作记忆的负荷之间有更强烈的冲突才导致额叶激活比男性强。根据以上结果,心理旋转任务中的性别差异可能会受工作记忆负荷的影响,这可能也是性别差异跟刺激材料有关的原因之一。

本研究只是用不熟悉的刺激材料来增加了工作记忆负荷的强度,并没有在数量上增加工作记忆的负荷^[8],比如在今后的研究中,我们可以在提示刺激中同时呈现 2 个以上的数字或 PMA 图形,看性别差异的显著水平是否会随数量的增加而提高。另外,本研究并没有发现正确率在性别之间的差异,以后的研究也可以考虑这一问题。本研究的实验中没有用到旋转零度的刺激,而 Jansen-Osmann^[4]的研究表明,旋转零度的刺激也存在性别差异,因此以后可以探讨工作记忆的负荷是否也会影响旋转零度下的性别差异。

总之,本研究表明,工作记忆的负荷会影响心理旋转任务中的性别差异,它可能也是心理旋转任务中性别差异的原因之一。

参考文献 References)

[1] Shepard RN, Metzler J.M. Mental rotation of three-dimensional objects [J]. Science, 1971, 171(972) :701-3
 [2] Peters M. Sex differences and the factor of time in solving Vandenberg and Kuse mental rotation problems [J]. Brain and Cognition, 2005, 57

(2) :176-184

[3] Peters M, Laeng B, Latham K, et al. A redrawn Vandenberg and Kuse mental rotations test: different versions and factors that affect performance [J]. Brain and Cognition, 1995, 28(1) :39-58
 [4] Jansen-Osmann P, Heilmann S. Suitable stimuli to obtain (no) gender differences in the speed of cognitive processes involved in mental rotation [J]. Brain and Cognition, 2007, 64(3) :217-227
 [5] Casey M B, Nuttall R L, Pezaris E. Evidence in support of a model that predicts how biological and environmental factors interact to influence spatial skills [J]. Developmental Psychology, 1999, 35(5) :1237-1247
 [6] Jordan K, Wustenberg T, Heinze H J, et al. Women and men exhibit different cortical activation patterns during mental rotation tasks [J]. Neuropsychologia, 2002, 40(13) :2397-2408
 [7] Hyun JS, Luck SJ. Visual working memory as the substrate for mental rotation [J]. Psychonomic Bulletin & Review, 2007, 14(1) :154-158
 [8] Luo Liang, Lin Chong-de, Liu Zhao-min, et al. Effects of memory load of brain activation in object working memory task [J]. Acta Psychologica Sinica, 2006, 38(6) :805-814 (In Chinese)
 [9] Cohen D, Kubovy M. Mental rotation, mental representation, and flat slopes [J]. Cognitive Psychology, 1993, 25(3) :351-382
 [10] Desrocher M E, Smith M L, Taylor M J. Stimulus and sex differences in performance of mental rotation: evidence from event-related potentials [J]. Brain and Cognition, 1995, 28(1) :14-38
 [11] Thayer ZC, Johnson BW. Cerebral processes during visuo-motor imagery of hands [J]. Psychophysiology, 2006, 43(4) :401-412
 [12] Butler T, Imperato-McGinley J, Pan H, et al. Sex differences in mental rotation: top-down versus bottom-up processing [J]. NeuroImage, 2006, 32(1) :445-456

(上接第 1714 页)

参考文献 References)

[1] Chen Xu-yan. Clinical action and EEG changes of sixty patients of Tourette's syndrome [J]. Applied medical technique magazine, 2005, 5(12) :1309 (In Chinese)
 [2] Huo Su, Li Qin-rui. Studing on hereditary character of EEG of 388 children with Gilles de la Tourette's syndrome [J]. Hu-nan Medicine University Paper, 2002, 27(3) :273-274 (In Chinese)
 [3] Cohen D J, Leckman JF. Developmental psychopathology and neurobiology of Tourette's syndrome [J]. Am Acad Child Adolesc Psychiatry,

1994, 33(1) :2

[4] Comings DE, Comings BG. A controlled study of Tourette syndrome, Attention-deficit disorder, Learning disorder, and school problems [J]. Am Hum Genet, 1987, 41(5) :701
 [5] Wu Y ing, Chen Y ing-cai, Zhan Shi-qing, Jiang Hai-hong. Related Research of EEG and the Brain Damage of Premature Infants [J]. Progress In Modern Biomedicine, 2006, 8(10) :129-131 (In Chinese)
 [6] Wu Y ing, Cao Li-Hua, Zhang Shi-qing, et al. Application of Polysomnography in the Monitoring of Neonates' EEG [J]. Progress In Modern Biomedicine, 2006, 8(9) :100-101 (In Chinese)