

执行功能水平高与低的大学生心理旋转眼动实验

李美华¹, 白学军², 闫国利²

(1. 广东外语外贸大学 外国语学院及应用语言学研究中心 广州 510420 ;

2. 天津师范大学 心理与行为研究院 天津 300074)

摘 要 :该文采用执行功能测试 ,从 68 名大学生中选出 34 名(执行功能水平高、低各一半 ,文、理科各一半)参加心理旋转眼动实验 ,结果表明 :1) 执行功能水平高的大学生比执行功能水平低的大学生心理旋转能力强 ,并且达到了显著的差异 ,同样理科大学生比文科大学生心理旋转能力强 ,并且达到了显著的差异。2) 大学生心理旋转中的注视时间、注视次数、注视瞳孔直径总体情况是随着角度的增大而增加。

关键词 执行功能 心理旋转 空间认知

中图分类号 :B842

文献标识码 :A

文章编号 :1003 - 5184(2007)03 - 0055 - 06

1 实验目的

执行功能是指在完成复杂的认知任务时 ,对各种认知过程进行协调 ,保证认知系统以灵活、优化的方式实行特定目标的一般性控制机制^[1]。

空间认知能力是指人们对客体或空间图形(任意维度)在大脑中进行识别、编码、贮存、表征、分解与组合和抽象与概括的能力。心理旋转能力是其中主要因素之一^[2]。数学教育家和数学家在分析数学能力和几何学习能力时 ,提出了空间认知能力方面的因素 ,不过他们特别看重的是空间想象能力。有专家认为空间认知能力与很多领域(如数学、生物学、化学、物理、机械和航空等)的操作能力有很高的相关性^[3]。

根据前人的研究成果 ,似乎心理旋转能力跟学科学习有关系 ,那么在此就用实证的方法来检验大学生的不同执行功能发展水平是否与心理旋转能力也有关系。

2 方法

2.1 被试

被试来自天津大学、天津师范大学、天津中医学院 ,共 68 人 ,先进行工作记忆、抑制控制、认知灵活性测试 ,然后将工作记忆、抑制控制、认知灵活性各项测试成绩高于平均数的列为执行功能高水平者 ,低于平均数的列为执行功能低水平者 ,各 17 人 ,共

34 人参加了眼动实验 ,最后眼动实验有效数据人数为 28 人(执行功能水平高、低者各一半 ,文、理科学生也是各一半)。被试的裸眼视力或矫正视力均正常 ,平均年龄 21.25 岁。

2.2 实验材料

心理旋转的眼动实验材料是根据 Shepard 和 Metzler(1971)所设计的三维立体图形来设计的。有三种情况 ,他们分别是平面对、立体对、正像与镜像。第一种情况是相同的两个图形在纸面上相差一定的角度 ,经过旋转能够重合 ,称为平面对。第二种情况是相同的两个图形在垂直于纸面的面上相差一个角度 ,经过旋转也能够重合 ,称为立体对。第三种情况是两个图形成正像与镜像的关系 ,无论如何旋转也不能重合^[4-6]。根据上面的原则 ,设计出四种基本图形 :平面对、立体对、正像—镜像对 1(以下统称为 :镜像对 1)与正像—镜像对 2(以下统称为 :镜像对 2) ,分别以 0°、30°、60°、90°、120°、150°、180° 共 7 个角度旋转 ,共组成正式实验 28 对图形 ,另有三对图形作为练习。

2.3 实验设计

2(执行功能水平 :高、低)× 2(学科 :文科大学生、理科大学生)× 7(旋转角度 :共 7 个)三因素混合实验设计 ,因变量为注视时间、瞳孔直径、注视次数。

2.4 实验仪器

实验仪器为 EyeLinkII 型头盔式眼动仪工作台。该设备由两台 Pentium4 计算机组成,通过以太网连接。其中一台计算机呈现实验材料,另一台计算机记录眼动数据。实验材料由 19 英寸纯平显示器呈现,显示器的刷新率为 85Hz,分辨率为 1024 × 768 像素。被试与显示器中心的距离约为 0.8 米,眼睛正对显示器中心,眼动仪采样频率为 250Hz。材料呈现和数据记录均由眼动仪专用软件完成。

2.5 实验程序

被试进入实验室后,坐在仪器前面 0.8 米的地方,戴好眼动仪头盔;对仪器进行校准;主试要求被试仔细阅读屏幕上的指导语,直到理解为止。

2.6 眼动指标

实验采用的眼动指标有:
注视时间:是指被试在某一兴趣区所有注视时间的总和。
瞳孔直径:是指被试注视图片某一区域时的瞳孔直径变化的平均大小。
注视次数:是指被试在某一兴趣区所有注视的次数。
此外,还有判断错误数。

3 结果

3.1 大学生对三维立体图的心理旋转眼动情况
执行功能水平高、低与文、理科大学学生对三维立体图形的注视时间、注视次数、瞳孔直径(机器值)的平均数与标准差见表 1。

表 1 大学生对三维立体图形的注视时间(ms)、注视次数、瞳孔直径的平均数与标准差

组别	n	注视时间		注视次数		瞳孔直径		判断错误数	
		\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s
高水平	14	8941.82	(6888.85)	34.37	(23.31)	5031.09	(5601.03)	1.21	(1.31)
低水平	14	12286.98	(8916.52)	42.88	(28.72)	3373.47	(1022.50)	3.36	(3.84)
文科	14	11372.35	(8252.65)	42.28	(28.32)	5088.86	(5578.50)	2.50	(3.90)
理科	14	9856.45	(7956.88)	34.96	(23.99)	3315.71	(1048.21)	2.07	(1.90)
总体	28	10614.40	(8136.36)	38.62	(26.48)	4202.28	(4108.00)	2.29	(3.02)

经多因素方差分析发现:1)在注视时间上,执行功能水平的主效应显著, $F = 38.00, p < 0.001$;执行功能水平高的大学生的注视时间显著短于执行功能水平低的大学生。在注视次数上,执行功能水平的主效应显著, $F = 22.85, p < 0.001$;执行功能水平高的大学生的注视次数显著少于执行功能水平低的大学生。在瞳孔直径上,同样执行功能水平主效应显著, $F = 33.15, p < 0.001$;执行功能水平高的大学生的瞳孔直径显著大于执行功能水平低的大学生。在判断错误数上,执行功能水平的主效应不显著, $F = 3.90, p > 0.05$ 。
2)在注视时间上,学科的主效应显著, $F = 8.52, p < 0.01$;文科大学生的注视时间显著长于理科大学生。在注视次数上,学科的主效应显著, $F =$

16.91, $p < 0.001$;文科大学生的注视次数显著多于理科大学生。在瞳孔直径上,学科的主效应不显著, $F = 3.04, p > 0.05$;同样在判断错误数上,学科的主效应不显著, $F = 0.16, p > 0.05$ 。
3)在注视时间、注视次数、瞳孔直径上,执行功能水平与学科的交互作用不显著, $F_{(注视时间)} = 1.53, p > 0.05; F_{(注视次数)} = 1.97, p > 0.05; F_{(瞳孔直径)} = 1.69, p > 0.05$;同样在判断错误数上,执行功能水平与学科的交互作用也不显著, $F = 1.73, p > 0.05$ 。
3.2 大学生在不同角度上的注视时间、注视次数及瞳孔直径的总体情况
不同旋转角度下的注视时间、注视次数、瞳孔直径平均数与标准差见表 2。

表 2 不同角度的注视时间(ms)、注视次数、瞳孔直径平均数与标准差

角 度	注视时间		注视次数		瞳孔直径	
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s
0°	7448.50	(5321.51)	29.19	(18.24)	3791.48	(2091.94)
30°	9392.75	(6479.37)	34.98	(22.59)	3750.75	(2308.82)
60°	9795.29	(6352.22)	36.30	(21.47)	4045.81	(3186.72)
90°	10184.68	(6968.98)	37.20	(22.21)	4123.35	(2888.39)
120°	11140.00	(7807.64)	39.98	(25.00)	4336.35	(4583.41)
150°	13242.61	(9967.12)	45.72	(31.57)	4604.30	(5533.37)
180°	13096.96	(11023.19)	46.98	(35.98)	4763.93	(6189.07)

从表 2 可见 ,大学生对不同角度的注视时间总体情况是随着角度的增大而增加 ,到 180°时比 150°有点下降 ,注视次数总体情况是随着角度的增大而增加 ,注视瞳孔直径总体情况除了 0°比 30°稍大点 ,其它都是随着角度的增大而增大。

经多因素方差分析发现 :1)在注视时间上 ,角度的主效应显著 , $F = 4.43$, $p < 0.001$;在注视次数上 ,角度的主效应也显著 , $F = 4.39$, $p < 0.001$;但在瞳孔直径上 ,角度的主效应不显著 , $F = 0.41$, $p > 0.05$ 。

2)在注视时间、注视次数、瞳孔直径上 ,执行功能水平与角度之间的交互作用不显著 , $F_{(\text{注视时间})} = 0.93$, $p > 0.05$; $F_{(\text{注视次数})} = 1.01$, $p > 0.05$; $F_{(\text{瞳孔直径})} = 0.35$, $p > 0.05$ 。

3)在注视时间、注视次数、瞳孔直径上 ,学科与角度之间的交互作用不显著 , $F_{(\text{注视时间})} = 0.58$, $p > 0.05$; $F_{(\text{注视次数})} = 0.41$, $p > 0.05$; $F_{(\text{瞳孔直径})} = 0.30$,

$p > 0.05$ 。

3.3 大学生对左图、右图的注视时间、注视次数、注视瞳孔直径情况

大学生对左图、右图注视时间、注视次数、注视瞳孔直径平均数与标准差见表 3。

从表 3 可见 ,无论是执行功能水平高、低 ,还是文、理科对左图注视时间比对右图注视时间少 ,对左图注视次数比对右图注视次数少 ,对左图注视瞳孔直径比对右图注视瞳孔直径小。并且执行功能水平高的大学生无论是对左图注视时间、对右图注视时间、对左图注视次数、对右图注视次数 ,还是对左图注视瞳孔直径、对右图注视瞳孔直径都比执行功能水平低的大学生少。同样理科大学生无论是对左图注视时间、对右图注视时间、对左图注视次数、对右图注视次数 ,还是对左图注视瞳孔直径、对右图注视瞳孔直径都比文科大学生少。

表 3 大学生对左图、右图的注视时间(ms)、注视次数、瞳孔直径的平均数与标准差

组别	左时间	右时间	左次数	右次数	左瞳孔直径	右瞳孔直径
	$\bar{x}(s)$	$\bar{x}(s)$	$\bar{x}(s)$	$\bar{x}(s)$	$\bar{x}(s)$	$\bar{x}(s)$
高水平	3750.34 (3045.72)	5177.09 (4135.51)	15.02 (10.67)	19.27 (13.45)	1954.52 (668.52)	3076.57 (5214.61)
低水平	5572.55 (4594.61)	6652.95 (4993.07)	19.31 (13.42)	23.38 (16.39)	1664.10 (511.55)	1709.37 (519.72)
文科	4926.35 (3790.91)	6387.91 (4873.77)	18.96 (13.11)	23.15 (16.18)	1995.84 (638.52)	3093.02 (5208.76)
理科	4396.54 (4188.03)	5442.13 (4350.06)	15.37 (11.18)	19.50 (13.77)	1622.79 (522.89)	1692.92 (534.25)

经多因素方差分析发现 :1)左图注视时间的执行功能水平的主效应显著 , $F = 45.69$, $p < 0.001$;右图也同样显著 , $F = 22.52$, $p < 0.001$ 。左图注视次数的执行功能水平的主效应不显著 , $F = 3.73$, $p >$

0.05 ;右图同样不显著 , $F = 2.91$, $p > 0.05$ 。左图瞳孔直径的执行功能水平的主效应显著 , $F = 48.34$, $p < 0.001$;右图同样显著 , $F = 26.11$, $p < 0.001$ 。

2)左图注视时间的学科的主效应不显著 , $F =$

3.86 , $p = 0.05$;但右图显著 , $F = 9.25$, $p < 0.01$ 。左图注视次数的学科的主效应不显著 , $F = 3.57$, $p > 0.05$;右图同样不显著 , $F = 2.43$, $p > 0.05$ 。左图瞳孔直径的学科的主效应显著 , $F = 79.76$, $p < 0.001$;右图同样显著 , $F = 27.38$, $p < 0.001$ 。

3)左图注视时间的执行功能水平与学科之间的交互作用显著 , $F = 11.32$, $p < 0.01$;右图不显著 , $F = 2.74$, $p > 0.05$ 。左图注视次数的执行功能水平与学科之间的交互作用不显著 , $F = 2.48$, $p > 0.05$;右

图也不显著 , $F = 0.69$, $p > 0.05$;左图瞳孔直径的执行功能水平与学科之间的交互作用显著 , $F = 40.40$, $p < 0.001$;右图也显著 , $F = 26.99$, $p < 0.001$ 。

3.4 大学生在不同图形对上的注视时间、注视次数及瞳孔直径的总体情况

执行功能水平高、低与文、理科大学生在不同图形对上的注视时间、注视次数、瞳孔直径平均数与标准差见表 4。

表 4 大学生在不同图形对上的注视时间(ms) 注视次数、瞳孔直径的平均数与标准差

图对	高水平			低水平		
	时间	次数	瞳孔直径	时间	次数	瞳孔直径
	$\bar{x}(s)$	$\bar{x}(s)$	$\bar{x}(s)$	$\bar{x}(s)$	$\bar{x}(s)$	$\bar{x}(s)$
平面	7234.29	25.57	4263.89	6759.14	24.00	3077.92
	(4699.74)	(19.81)	(3144.72)	(2807.98)	(9.43)	(767.35)
立体	5151.43	21.64	3910.19	6515.14	24.43	3058.31
	(1691.03)	(6.56)	(2135.31)	(4078.89)	(12.94)	(980.19)
镜像 1	11748.29	46.14	5017.44	14791.14	53.64	3409.64
	(5687.51)	(22.04)	(4824.32)	(8442.44)	(31.21)	(1114.58)
镜像 2	9682.29	37.86	3660.64	11836.00	42.14	3442.63
	(6090.65)	(22.96)	(1086.49)	(5604.62)	(19.40)	(1136.370)
图对	文 科			理 科		
	时间	次数	瞳孔直径	时间	次数	瞳孔直径
	$\bar{x}(s)$	$\bar{x}(s)$	$\bar{x}(s)$	$\bar{x}(s)$	$\bar{x}(s)$	$\bar{x}(s)$
平面	8871.14	33.71	4388.19	5122.19	18.86	2953.63
	(4300.33)	(18.24)	(3075.76)	(2008.37)	(6.41)	(816.71)
立体	6318.00	25.07	3994.45	5348.57	21.00	2074.05
	(3419.88)	(11.60)	(2080.06)	(2880.39)	(8.43)	(1011.84)
镜像 1	15338.00	57.29	5032.09	11201.43	42.50	3394.98
	(6305.20)	(25.11)	(4808.97)	(7722.62)	(27.24)	(1157.15)
镜像 2	1136.43	42.14	3753.47	10154.86	37.86	3349.79
	(5837.26)	(20.88)	(982.48)	(6012.10)	(21.63)	(1202.10)

从表 4 可见 ,在平面对中 ,执行功能水平高的大学生在注视时间、注视次数、瞳孔直径上都比执行功能水平低的大学生多 ;在立体对、镜像对 1、镜像对 2 中 ,执行功能水平高的大学生在注视时间、注视次数上都比执行功能水平低的大学生少 ,但在注视瞳孔直径上比执行功能水平低的大学生大。在所有图形对中 ,文科大学生在注视时间、注视次数、瞳孔直径上都比理科大学生多。

经多因素方差分析发现 :在平面对中 ,注视时间、注视次数、瞳孔直径的执行功能水平的主效应都不显著(若主效应或交互作用不显著的话 ,具体情况

不列出来 ,以下同)。注视时间的学科的主效应显著 , $F = 8.62$, $p < 0.01$;注视次数的学科的主效应显著 , $F = 8.52$, $p < 0.01$;但瞳孔直径的学科的主效应不显著 , $F = 3.04$, $p > 0.05$ 。在立体对、镜像对 1、镜像对 2 中 ,注视时间、注视次数、瞳孔直径的执行功能水平的主效应都不显著 ,注视时间、注视次数、注视瞳孔直径的学科的主效应也都不显著。

在四种图对中 ,注视时间、注视次数、瞳孔直径的执行功能水平与学科之间的交互作用都不显著。

4 讨论

4.1 关于大学生对三维立体图的心理旋转眼动情况

心理旋转是空间认知能力之一,即是人们进行空间定向活动的重要操作。实验结果得出,执行功能水平高的大学生无论是注视时间,还是注视次数、判断错误数都比执行功能水平低的大学生少,但执行功能水平高的大学生的注视瞳孔直径比执行功能水平低的大学生大。

经多因素方差分析,注视时间和注视次数、瞳孔直径的执行功能水平的主效应显著。这证明执行功能水平高比执行功能水平低的大学生心理旋转能力强,同样说明执行功能水平与心理旋转能力有较大关系。但是,心理旋转能力强的大学生心理负荷较心理旋转能力弱的大学生大,这可能由于执行功能水平高的大学生在“速度—准确性权衡”的条件下,心理负荷比执行功能水平低的大学生大的原因^[7,8]。

在文科、理科大学生之间,注视时间、注视次数、瞳孔直径、判断错误数都是文科大学生比理科大学生多。经多因素方差分析,注视时间和注视次数、瞳孔直径的学科的主效应显著。这表明理科大学生心理旋转能力比文科大学生强,证明学科训练与心理旋转能力有密切关系。虽说以前没有心理旋转能力与学科学习有关系的直接研究,但 Wrigley(1958)的研究发现,几何能力与代数能力相比,前者与空间认知能力测验的成绩有比较相关^[3]。

4.2 关于大学生对不同角度注视时间、次数及瞳孔直径总体情况

大学生对不同角度注视时间总体情况是随着角度的增大而增加,到 180°时比 150°有点下降;注视次数总体情况是随着角度的增大而增加;注视瞳孔直径总体情况除了 0°比 30°稍大点,其它都是随着角度的增大而增大。并且在所有的角度上,无论是注视时间,还是注视次数,执行功能水平高的大学生都比执行功能水平低的大学生少,只是注视瞳孔直径比执行功能水平低的大学生大。还有,在注视时间上,除了 150°角之外,其它角度都是理科大学生比文科大学生少;在注视次数与注视瞳孔直径上都是理科大学生比文科大学生少。这跟 Shepard、Metzler、Coope(1971)、Carpenter & Just(1978)以及国内的吴冰等人的实验结果基本一致^[9]。此外,尽管参加这次实验的理科被试来自一般师范院校,而参加这次实验的文科被试 78% 来自重点大学,实验结果充分

说明心理旋转能力与学科训练有较大关系。

4.3 关于大学生对左图、右图注视时间、注视次数、注视瞳孔直径情况

无论是执行功能水平高与低,还是文、理科生,都是对右图注视总时间长、注视总次数多、注视总瞳孔直径大。这说明这项眼动实验的注视模式是左右模式,但以偏右模式为主。同时说明被试大部分精力放在将右图与左图进行比较、决定阶段。从注视模式可以得出这次实验在心理旋转过程的两个主要阶段,即搜索与比较、决定阶段^[10,11]。

4.4 关于大学生在不同图形对上注视时间、次数及瞳孔直径总体情况

在平面对中,执行功能水平高的大学生在注视时间、注视次数、注视瞳孔直径上都比执行功能水平低的大学生高,但在立体对、镜像对 1、镜像对 2 中,执行功能水平高的大学生在注视时间、注视次数上都比执行功能水平低的大学生低,但在注视瞳孔直径上比执行功能水平低的大学生高。从实验结果看,执行功能水平高的大学生在实验材料容易时就放松警觉,结果成绩还不如执行功能水平低的大学生,然而在实验材料难度增大时就提高警觉了,反而规律性增强,而执行功能水平低的大学生正好相反。这种有趣的实验结果可能说明执行功能水平高的大学生在任务难度增大时,反而容易激活并充分利用注意资源,从而提高效率。同样,从不同学科的大学生来看,在所有图形对中,文科大学生在注视时间、注视次数、瞳孔直径上都比理科大学生多。这还是说明进行相关学科训练有助于心理旋转能力的加强。

5 结论

5.1 执行功能水平高的大学生比水平低的大学生心理旋转能力强,但水平高的大学生的心理负荷较水平低的大学生大;理科大学生比文科大学生心理旋转能力强。

5.2 大学生心理旋转中的注视时间、注视次数、注视瞳孔直径总体情况是随着角度的增大而增加。

5.3 无论是执行功能水平高与低,还是文、理科生都是对右图注视总时间长、注视总次数多、注视总瞳孔直径大。这说明这次眼动实验的注视模式是左右模式,但以偏右模式为主。

5.4 在实验材料容易的条件下,执行功能水平高的大大学生心理旋转能力不如执行功能水平低的大大学

生 ,但是在实验材料难的情况下 ,执行功能水平高的大学生心理旋转能力比执行功能水平低的大学生强。同时 ,无论实验材料难或易 ,都是理科大学生心理旋转能力比文科大学生心理旋转能力强。

参考文献

1 周晓林. 执行控制 :一个具有广阔理论前程和应用前景的研究领域. 心理科学进展 2004 ,12(5) 641 – 642.
2 周详 ,曾晖. 现代认知心理学关于空间能力和心理旋转的研究. 心理科学 ,1995 ,18(6) 363 – 365.
3 王鹏 ,游旭群 ,刘永芳. 心理旋转研究的进展. 心理科学 , 2005 28(5) :1164 – 1166.
4 Carpenter P A ,Just M A. Eye fixations during mental rotation , In :Senders J W ,Fisher D F ,Monty R ,Eds. Eye movements and the higher psychology functions. Lawrence Erlbaum Associates ,

Inc. , 1978. 115 – 132.
5 Shepard R N ,Metzler J. Mental rotation of three – dimensional objects. Science ,1971 ,171(3972) :701 – 703.
6 Shepard S ,Metzler D. Mental rotation :Effects of dimensionality of objects and type of task. Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance ,1988 ,14(1) 3 – 11.
7 杨卓华. 反应速度与准确率权衡程序下的心理旋转加工机制研究. 华南师范大学硕士论文 2004.5.
8 蔡华俭 ,李鹃. 信号检测论范式下的心理旋转研究. 心理科学 2002 25(4) 479 – 480.
9 吴冰 ,孙复川. 旋转汉字识别的眼动特性. 心理学报 , 1999 31(1) :7 – 14.
10 闫国利. 眼动分析法在心理学中的应用. 修订版. 天津 : 天津教育出版社 2004.
11 杨海波 ,段海军. MP3 播放器外观设计效果的眼动评估. 心理与行为研究 2005 3(3) :199 – 204.

The Eye – movement Experiment of Mental Rotation for the High or Low Level of Executive Function of the College Students

Li Meihua¹ ,Bai Xuejun² ,Yan Guoli²

(1. GuangDong university of Foreign Studies National key Research Center for Linguistic & Applied Linguistics ,Guangzhou 510420 ;
2. Academy of Psychology and Behavior ,Tianjin Normal University ,Tianjin 300074)

Abstract 34 college students were screened out from 68 college students who were given six tests of executive function , half of them were the high level of executive function , half of them were the low level of executive function. Hereinto half of them were who majored in social science , half of them were who majored in social science. They all took part in the experiment of mental rotation. The results showed : 1) it was better for the high level of executive function of the college students than for the low level of executive function of the college students on the ability of mental rotation , and it reached outstanding level between them. Meanwhile it was better for the college students who majored in natural science than the college students who majored in social science on the ability of mental rotation , and it also reached outstanding level between them. 2) It increased basically with angle increseant about gazing time、gazing times、gazing pupil ' s diameter in the mental rotation of the college students.

Key words executive function ;mental rotation ;spatial perceive