

How to Develop a New Index to Measure the Difficulty Degree of Mental Paper-Folding

Wei Sun, Chengzhi Feng*

Department of Psychology, Soochow University, Suzhou Jiangsu
Email: *psysunwei5412615@126.com

Received: Mar. 1st, 2016; accepted: Mar. 17th, 2016; published: Mar. 22nd, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

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



Open Access

Abstract

There is strong evidence linking spatial ability to academic achievement, and some researchers suggested that spatial ability is an independent component of intelligence. However a test of spatial ability paper-folding has seen relatively little study. In research we use a computational model to explore a new index to measure the degree of paper-folding test's difficulty. We use Row and Column's Distance to measure the difficulty of paper-folding test. In this study, we selected 14 subjects to finish a series of mental paper-folding tests, then compared the results of two different difficulty classifications tasks, finally we found when using Row and Column's Distance as a measurement, we can reduce the difficulty levels of paper-folding test, and this index can effectively distinguish different difficulty levels. Therefore, the Row and Column's Distance is an effectiveness index to distinguish the difficulty of paper-folding test and this index is better than the previous one. In future studies, we can use this index to filter stimulate of the mental paper-folding test and standardize this kind of task.

Keywords

Visual Spatial Ability, Mental Paper-Folding Test, Row and Column's Distance

心理折纸任务的难度衡量标准的建立

孙 伟, 冯成志*

苏州大学心理学系, 江苏 苏州

*通讯作者。

Email: *psysunwei5412615@126.com

收稿日期: 2016年3月1日; 录用日期: 2016年3月17日; 发布日期: 2016年3月22日

摘要

视觉空间能力能够较好的预测学业能力水平, 甚至有的研究者提出, 视觉空间能力是智力的一项独立的组成成分。而心理折纸任务作为衡量视觉空间能力的一种重要指标, 在以往关于视觉空间能力的研究中却较少被使用。本研究旨在通过探求一种新的难度衡量指标——行列距离, 用以衡量心理折纸任务的难易程度, 从而筛选出有效的刺激材料, 对心理折纸任务范式进行标准化。在本研究中, 选取14名被试完成一系列心理折纸任务, 并将折纸任务按照新旧两种难度衡量指标划分归类, 最后比较在每一种分类中, 个体的反应成绩的差异结果以及两种分类指标与反应成绩之间的相关关系。结果发现, 采用行列距离作为衡量折纸任务难度的指标时, 首先可以有效地减少心理折纸任务难度的划分层级。其次, 被试在该指标所划分出的不同难度等级的心理折纸任务中的反应成绩差异显著。因此, 本研究所采用的行列距离指标可以作为衡量心理折纸任务难度的重要指标, 从而应用于心理折纸任务的刺激筛选与标准化以及其他应用研究中。

关键词

视觉空间能力, 心理折纸任务, 行列距离

1. 引言

视觉空间认知能力是人类智能结构的重要组成部分。对视觉空间能力及其认知加工性质的研究不仅对理解人类空间认知行为具有重要的理论意义, 而且还具有重要的应用价值。传统上, 研究者通过心理旋转与折纸任务来衡量个体的空间能力。而以往的研究大都侧重于对心理旋转任务的研究, 并且对于心理旋转的表征、认知机制、影响因素、人口学因素上的差异以及其与其他认知功能之间的关系都得到了大量的研究论证(Alivisatos & Petrides, 1997; Amick, Schendan, & Ganis, 2006; Band & Kok, 2000; Geiser, Lehmann, & Eid, 2008; Glascher, 2009)。然而心理折纸任务作为一种衡量视觉空间能力的方法, 却很少得到研究(Ekstrom et al., 1976)。

关于心理折纸任务的研究, 最早始于 Shepard 和 Feng 的研究。Shepard 和 Feng (1972)发明了一种心理折纸任务, 在这个任务中, 被试需要依据刺激图形的表象将一个二维的图案折叠成三维的立体图形。他们基于折叠次数以及每次折叠涉及的方块数区分出了十类不同的折纸任务, 如图 1 中所示的为 I 型折纸问题。他们认为即使是只需要折叠两个表面的时候或者所折叠的表面是规则的的正方形时, 心理折纸任务都要比一般的心理旋转任务需要更多的空间信息。因此我们假设, 心理折纸任务超过了人们的空间工作记忆能力, 从而迫使个体在进行该任务时每次只折叠(旋转)一个表面。

但是直到目前为止, 对于该类任务还尚未形成标准化测试, 因此对于该类型任务的难度的衡量标准也并没有一个统一精确的划分。在以往研究中, 采用折叠完成时, 将每一次折叠所涉及方格数的总和作为衡量该类型任务难度的标准(Shepard & Feng, 1972; Roberts & Bell, 2003)。但是当采用完成折叠任务所涉及方格总数作为衡量折纸任务难度的标准时, 由于不同个体在完成同一折纸任务时其心理操作方式的不同以及箭头指向性的不同, 都可能造成被试在完成折叠任务之前即可做出判断反应。特别的, 在该类

实验任务中, 被试在进行判断反应时, 其反应结果受箭头指向性的影响也较大。此外, 我们发现单纯以涉及方格总数作为衡量该实验任务难度的标准时, 实验难度的层级划分较多且被试在几个不同的难度等级中的反应时与正确率并未表现出显著差异。

因此, 我们有必要发展出一套精确的标准用以衡量折纸任务的难度, 从而对该任务进行标准化。最终达到可以采用少量刺激便能精确地完成对视觉空间能力的测量, 使该任务范式成为一种具体可行而又经济实用的测量方法。

本研究的目的是发展出一套新的而且精确稳定的标准, 用以衡量折纸任务的难度。本实验采用了 Shepard 等人设计的折纸任务范式, 并且对该任务中的所有刺激都进行了标准化处理(Shepard & Metzler, 1988)。在本研究所选用的折纸任务中(如图 1 所示), 被试需要判断两个箭头所指向的目标边(又称为关键边)经过折叠后是否能够对齐——即两条边能够重叠。在本研究中我们引入行列距离(Dis)作为衡量折纸任务难度的新的指标。对于行列距离做我们做如下定义: 将刺激图形至于平面直角坐标系中(如图 2 所示), 在该平面直角坐标系中, 所谓行距(rowdis)是指刺激图形中, 两个箭头分别指向的方格, 其在坐标系中的水平轴上的相距的方格数, 如图 2 中刺激的行距为 2。同样地, 所谓列距(coldis)则指的是刺激图形中, 两个箭头分别指向的方格其在坐标系中的纵轴方向上的相距的方格数, 因此图 2 中所示刺激的列距为 1。然后分别以行距(rowdis)与列距(coldis)为自变量, 以行列距离(Dis)为因变量, 对行列距离进行多重线性回归, 从而拟合出行列距离。因此, 以行列距离作为衡量该任务难度的标准时, 该衡量指标不会受到被试折叠方式的影响。

2. 建立衡量心理折纸任务难度的新指标

2.1. 方法

2.1.1. 被试

选取大学生被试 14 名(男生 4 人), 年龄在 19~25 岁之间, 平均年龄 20.29 岁, 视力或矫正视力正常, 色觉正常。所有被试均未参加过类似实验, 实验后给予报酬。

2.1.2. 仪器与材料

实验在微暗的单间隔音实验室里进行, 刺激呈现在 17 英寸 CRT 显示器上(分辨率为 1024×768 , 刷新频率为 120 Hz, 屏幕背景为灰色。程序采用 Psychtoolbox 编程与运行。刺激是大小为 $17 \text{ cm} \times 14 \text{ cm}$ 。如图 1 中的刺激, 被试所看到的刺激物是六个相连的正方形, 按照这些正方形相互连接的边线, 进行折叠, 可以将刺激图形折叠成一个立方体。在所呈现的刺激图形中, 分别用两个箭头标明两目标边线。

2.1.3. 程序

被试坐在离屏幕约 57 cm 的位置。首先, 在屏幕中央呈现注视点“+”。100 ms 后, 呈现刺激物, 如图 1 中的刺激, 在该折纸任务中, 被试看到六个相连的正方形, 被试需要对该图形形成一个视觉表象, 并对该视觉表象进行心理操作, 使其沿着边线折叠成一个立方体。在呈现的每个刺激图形中都有两条边用箭头标注, 被试需要判断在将该图形折叠成为立方体的过程中(并不需要折叠完成后进行判断), 该两条边能否对齐(即重叠在一起)。在对图形进行心理旋转的加工过程中, 必须将阴影面作为底面, 即阴影面在折叠的过程中保持位置不变。如果两条目标边线对齐, 则需要按“Z”键反应。如果两条边线不对齐, 则需要按“/”键反应。被试需要“即快又准”地对呈现的刺激做出反应。

折纸任务并不像心理旋转任务, 该任务需要经过一系列的心理旋转。如图 3 所示的任务中, 该任务需要经过三次心理折叠。第一步将 A、B、C 三个面折起, 第二步则需要将 B、C 两面向内折叠, 第三步将 C 面向下折叠, 此时便可判断带有箭头的两个面(阴影面与 C 面)中两条目标边是否对齐。研究发现,

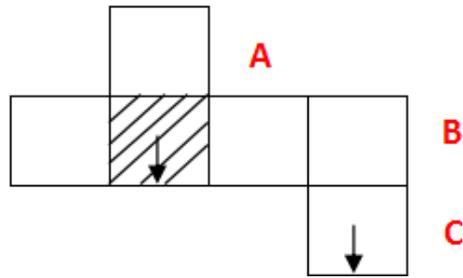


Figure 1. Stimulation of Type I
图 1. I 型刺激

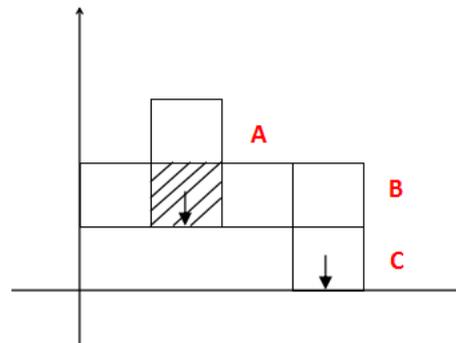


Figure 2. Stimulation of Type I
图 2. I 型刺激

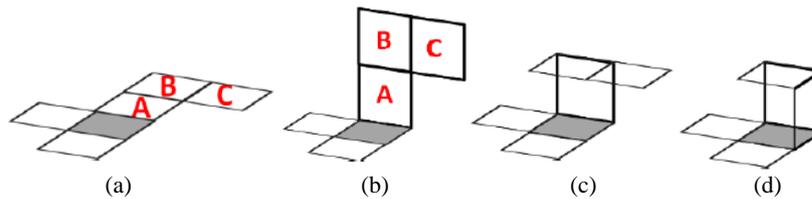


Figure 3. Schematic diagram of folding steps
图 3. 折叠步骤示意图

被试的反应时并不受心理折叠的次数的影响, 而是受每一次折叠所涉及的方块的个数的影响。在这个例子中, 第一步的折叠涉及到 3 个面, 第二步与第三步分别涉及到 2 个和 1 个面, 因此完成这个任务总共涉及到 $3 + 2 + 1 = 6$ 个面。反应时所反映的是心理折叠涉及到 6 个表面时的时间。有研究者发现, 在完成这个任务过程中, 心理折叠操作涉及的方格数量的不同便造成了任务难度的不同。因此通过控制涉及方格的数量, 我们可以控制任务的难度 (Shepard & Feng, 1972; Roberts & Bell, 2003)。

整个实验共包括 10 个练习测试和 4 个区组, 每个区组包括 79 次正式测试, 共 316 个试次。整个实验用时大约 30 分钟。

3. 结果

所有数据用 SPSS 18.0 进行分析。所有被试在折纸任务中, 其反应的正确率均在 85% 以上(其中一个被试反应的正确为 61.26%, 将其实验数据剔除)。

3.1. 心理旋过程涉及方格数量对折纸任务成绩的影响

首先对反应时的数据进行描述性统计分析, 结果发现(见表 1): 当被试完成判断任务时, 随着所涉及

的(方格)数量的增加, 其反应时也随之变长。如图 4 所示。

对反应时数据进行单因素方差分析, 结果表明: 不同任务难度(即完成折纸任务进行判断时, 所涉及的方格数量)主效应显著, $F_{(0,8)} = 119.58$, $p < 0.001$ 。当完成折纸任务并进行判断时, 所需要涉及的方格数量大于 6 个时, 被试进行正确判断的反应时要显著长于涉及方格数量小于 6 个的情况。进一步简单效应检验表明: 当完成折纸任务进行判断时, 心理旋转过程所需要涉及的方格数小于 6 个时, 所需要的反应时之间的差异并不显著。当心理操作过程需要涉及的方格数大于等于 6 个时, 被试完成判断所需要的反应时之间的差异显著。当涉及到 6 个、7 个与 8 个时, 被试完成判断所需要的反应时亦不显著。但是当涉及到 6 个方格时, 被试的反应时几乎与所有的情况下(1、2、3、4、5、8、9)的反应时都表现出显著的差异。如表 2 所所示: 当涉及到大于 5 个方格时, 被试完成判断所需要的反应时逐渐变长, 且差异显著。当完成任务所需要涉及的方格数为 9 个时, 此时被试的反应时与所有难度下的反应时都表现出了显著的差异。此时, 被试完成判断所需要的反应时最长。因此在一定难度范围之内, 完成折纸任务的反应时并无显著差异。超出一定难度范围时——即完成判断涉及的方格数大于 5 个时, 随着任务难度的增加, 被试反应时逐渐增加。

对正确率单因素方差分析, 也得到相同的结果, 其结果如图 5 所示。

Table 1. Results of different surface's RT
表 1. 方格数对反应时的影响情况

涉及方格数	平均数	标准差
1	1.54	0.71
2	1.96	1.50
3	2.14	2.05
4	2.74	2.52
5	2.40	1.99
6	3.90	2.99
7	4.35	3.70
8	5.10	3.48
9	7.40	4.28

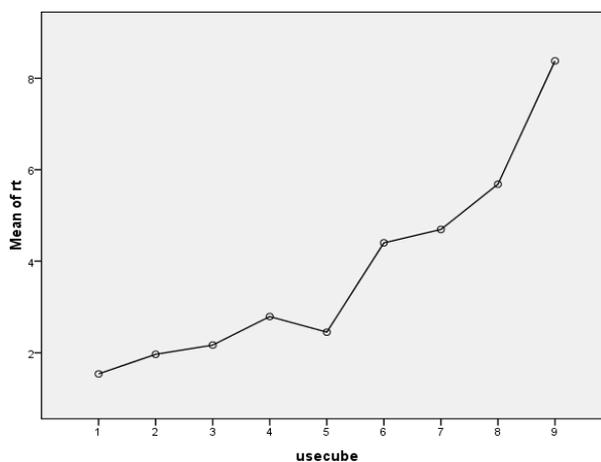


Figure 4. Variation of different surface's RT
图 4. 不同情况下的反应时情况

3.2. 行列距离对折纸任务的影响

首先, 我们应用线性回归, 先通过所定义的行距和列距, 以及被试的反应时, 对行列距(Dis1)进行拟合: $Dis1 = 0.530 \times rowdis + 0.889 \times coldis + 1.597$ 。然后将各个不同的刺激图形中拟合出的行列距按照四舍五入区分为 2~7 六个不同的行列距等级。因此最终行列距离(Dis)为 2、3、4、5、6 以及 7 六个等级。按照该六个不同的难度系数(即行列距离, Dis)下被试的反应时进行分析(见表 2): 表 2 行列距离(Dis)对反应时的影响情况(Results of Different Dis's RT)

对反应时数据进行单因素方差分析, 结果发现行列距主效应显著, $F_{(0.5)} = 193.68, p < 0.001$ 。进一步简单效应检验, 发现六种不同的行列距两两之间差异均显著, 从行列距为 2 的情况逐步到行列距为 7 的情况, 被试的反应时逐步增加且差异显著(如图 6 所示)。

3.3. 涉及方格数量、行列距离以及反应时三者之间的相关

表 3 列出了涉及方格数量、行列距离以及反应时之间的平均数、标准差以及各变量之间的相关系数。相关分析结果表明: 反应时与涉及方格数量以及行列距离之间都呈现显著正相关, 其相关系数分别为 0.42, 0.45。涉及方格数量与行列距离之间呈显著正相关, 其相关系数为 0.61 (见表 3)。

4. 讨论

目前为止, 对于视觉空间能力的各方面都进行了广泛而深入的研究, 如个体在解决空间问题的反应

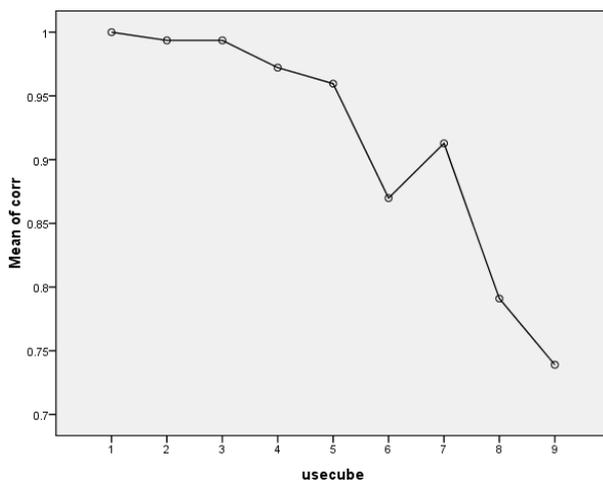


Figure 5. Variation of different surface's ER
图 5. 不同方格数的正确率情况

Table 2. Results of different Dis's RT
表 2. 行列距离(Dis)对反应时的影响情况

Dis	平均数	标准差
2	1.79	1.64
3	2.96	2.17
4	3.76	2.88
5	4.75	3.49
6	6.77	4.89
7	7.31	3.86

Table 3. The result of correlation coefficient
表 3. 各变量相关系数

	M	SD.	rt	usecube	Dis
rt	3.55	3.20	1		
usecube	5.50	1.92	0.42**	1	
Dis	3.67	1.33	0.45**	0.61**	1

注: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ 。

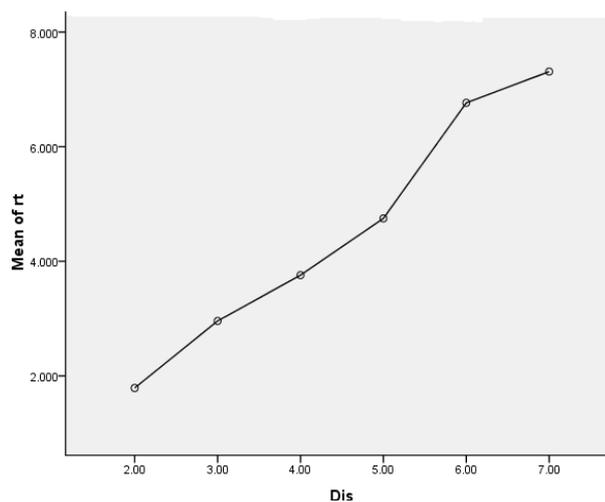


Figure 6. Variation of different Dis's RT
图 6. 不同行列距条件下反应时情况

时间、表征内容和方式、使用策略以及视觉空间材料本身的结构特征等(Just & Carpenter, 1985)。事实上,视觉空间能力是围绕着视觉空间表象进行的,表象的研究也始终伴随着视觉空间能力的研究。如今表象的研究已是认知心理学、人工智能、认知神经科学等多个学科重要的研究领域。许多学者把视觉空间表象视为空间智能的核心,认为表象是通向意识心理内容一条活跃的知觉途径,它的非推理性与知觉特性在创造性思维中有着重要作用。有的研究也已经证明空间能力与学业能力之间的相关性——空间能力能够较好的预测学业能力。已有研究发现,空间能力是智力的一项独立的组成成分(Shea, Lubinski, & Benbow, 2001; Wai, Lubinski, & Benbow, 2009)。

如前所述,与心理旋转任务相比,折纸任务被研究的较少。心理折纸任务是一种衡量视觉空间能力的复杂方法。该任务包含一系列协调的心理旋转操作,因此也常常被用作一种衡量心理操作能力的方法。心理折纸任务是一种复杂视觉转换任务。对视觉刺激的心理旋转能力是空间能力的一部分,而空间能力又被认为是一般智力因素的组成部分(Lohman, 2012)。心理旋转任务既包含了从二维的心理表征模式转换为三维的心理表征模式的心理转换能力,也包括了从三维的心理表征模式到二维的心理表征模式转换的心理能力。要完成一个心理折叠任务,每一步都需要对一个或多个方格进行一次简单的心理旋转。因此,从二维到三维需要一系列的心理旋转与转换能力的协调操作(Milivojevic, 2003)。心理旋转任务与心理折纸任务都是测量操纵心理表征能力的两种任务(Lequerica et al., 2000)。

在该研究中我们选取的折纸任务中,被试对刺激物产生表象则需要一种新的表象能力——面。面是由一些闭合的曲线组成的形状各异的图形,在这一任务中,每一个小方块都是一个单独的面。传统上,对衡量该任务难度的标准采用的是方格数,即折叠完成时,每一步所涉及方格数的总个数作为衡量该类

型任务难度的标准(Shepard & Feng, 1972; Roberts & Bell, 2003)。但是在这个任务中, 大多数边的位置和方向都与该任务无关, 只有两条关键边(即用箭头标注的边)会对任务造成影响。因此箭头的指向会影响该任务的成绩。故而仅仅使用方格数作为其难度的衡量标准是不够的, 而且也不够精确。因此我们假设能够建立一种新的且比较精确统一的衡量标准来衡量该任务的难度。我们发现, 当箭头分别出现在两个相同的刺激形状中的两个相同的方格中时, 但当箭头所指向的关键边不同时(即箭头的方向不同)时, 我们所定义的行距与列距也相应的发生变化。

行列距、方格数与反应时之间均呈现正相关。通过对所定义的行列距离、方格数与反应时的相关程度以及分别对不同行列距离、不同方格数条件下, 该类型折纸任务反应时的情况进行分析。我们发现行列距离、方格数这两个变量与反应时之间均呈现显著的正相关, 相关系数分别为 0.45, 0.42, 而且行列距离与方格数两个变量之间也呈现出了显著的正相关 0.61。

当采用涉及方格数作为衡量折纸任务难度标准时, 对折纸任务难度的分类情况较多, 且多数分类是无效分类。在以被试完成折叠任务并作出正确判断时其心理操作过程所涉及方格数作为衡量心理折纸任务的难度的标准时, 首先我们发现, 该类型的折纸任务会被分为 9 种情况。其次, 当方格数为 1~5 这 5 种情况时, 被试的反应时与正确率情况均未呈现出显著的差异, 只有当涉及方格数超过 5 时, 被试的反应时才随着方格数的增加而显著增加。因为在这五种情况下, 两个箭头相距较近, 被试在执行心理旋转或折叠操作时, 能够较快的做出判断反应, 故而该五种分类之间并无显著的难度差异。因此以方格数为折纸任务难度的判断标准时, 划分标准不但显得冗余复杂, 而且前五种划分标准并不能却区分出折纸任务的难度, 因此, 该五种划分标准是无效的。

使用行列距离作为心理折纸任务的难度的划分标准时, 不仅能够减少难度的分类, 而且能够有效的对心理折纸任务的难度进行划分。在该研究中, 我们提供了一种新的标准, 即行列距离。首先通过对行距与列距进行定义, 其次将二者通过线性回归拟合一个变量——行列距离。通过对行列距离与被试在折纸任务中的成绩之间的关系进行分析, 我们发现不仅行列距离的主效应显著: $F_{(0.5)} = 193.68, p < 0.001$ 。而且通过简单效应检验分析发现六种不同的行列距两两之间差异均显著。也就是说, 用不同的行列距离能够精确的划分出每种不同难度的折纸任务。不仅将划分标准从 9 种减少为 6 种, 而且 6 种不同的情况折纸任务成绩之间差异显著。即行列距离不仅能有效地区分不同的难度层级, 而且还减少了该任务类型的难度层级。这样以来, 在以后关于心理折纸任务的研究中, 我们不仅可以减少刺激材料的使用量, 而且还能对该任务进行更为精确细致的研究。

但是在该研究中, 实验选取的被试都是在校大学生, 该被试群体的教育水平以及智力水平都比较高。由于心理折纸任务是测量视觉空间能力的一种重要任务, 而视觉空间任务又被认为是流体智力的一种独立的组成成分(Shea, Lubinski, & Benbow, 2001; Wai, Lubinski, & Benbow, 2009)。故而采用大学生群体作为该实验任务的被试群体时, 其任务操作成绩会普遍偏高, 在相对简单的实验任务中个体会有效的完成任务, 取得较好的成绩。因此比较简单的任务难度之间的反应成绩可能并不显著。当采用心理操作所涉及的方格数作为衡量心理折纸任务难度的标准时, 其在 1~5 五种难度标准下的反应成绩之间差异不显著。究其原因, 可能是按照该指标所划分出的这五种难度中, 其总体难度都相对较低, 对于智力水平较高的大学生群体, 其在该难度水平下可以很好地完成任务, 从而造成该研究的外部效度不够理想。因此在这五种难度中, 智力水平较高的大学生的反应成绩并不显著, 但是其他的被试群体, 如青少年儿童等, 其可能在这五种难度下的反应成绩会出现显著差异。因此在以后的研究中, 还应当考虑在采用不同的指标区分出的不同难度的心理折纸任务中, 不同的被试群体的反应成绩的情况, 从而评定两种衡量指标的优劣。

5. 结论

本研究发现：行列距离能够作为衡量折纸任务难度的标准，而且其比传统上的划分标准——即心理操作所涉及的方格数——更为精确统一，且该不会随着被试心理折叠方式而变化。也就是说，使用行列距离作为心理折纸任务的难度的划分标准时，不仅能够减少难度的分类，而且能够有效的对心理折纸任务的难度进行划分。故我们可以采用行列距离作为衡量折纸任务难度的标准，对折纸任务的刺激图形进行筛选以及将该任务范式标准化。但是由于受该研究所采用的被试群体的群体特征所限，该研究结果的外部效度尚不理想，其区分出的不同难度的心理折纸任务可能并不适用于其他被试群体。

参考文献 (References)

- Alivisatos, B., & Petrides, M. (1997). Functional Activation of the Human Brain during Mental Rotation. *Neuropsychologia*, 35, 111-118. [http://dx.doi.org/10.1016/s0028-3932\(96\)00083-8](http://dx.doi.org/10.1016/s0028-3932(96)00083-8)
- Amick, M. M., Schendan, H. E., Ganis, G., & Cronin-Golomb, A. (2006). Frontostriatal Circuits Are Necessary for visuo-motor Transformation: Mental Rotation in Parkinson's Disease. *Neuropsychologia*, 44, 339-349. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2005.06.002>
- Band, G. P., & Kok, A. (2000). Age Effects on Response Monitoring in a Mental-Rotation Task. *Biological Psychology*, 51, 201-221. [http://dx.doi.org/10.1016/s0301-0511\(99\)00038-1](http://dx.doi.org/10.1016/s0301-0511(99)00038-1)
- Ekstrom, R. B., French, J. W., Harman, H. H., & Derman, D. (1976). *Manual for Kit of Factor-Referenced Cognitive Tests*. Princeton, NJ: Educational Testing Services.
- Geiser, C., Lehmann, W., & Eid, M. (2008). A Note on Sex Differences in Mental Rotation in Different Age Groups. *Intelligence*, 36, 556-563. <http://dx.doi.org/10.1016/j.intell.2007.12.003>
- Glascher, J. (2009). Visualization of Group Inference Data in Functional Neuroimaging. *Neuroinformatics*, 7, 73-82. <http://dx.doi.org/10.1007/s12021-008-9042-x>
- Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1992). A Capacity Theory of Comprehension: Individual Differences in Working Memory. *Psychological Review*, 99, 122-149. <http://dx.doi.org/10.1037/0033-295X.99.1.122>
- Lequerica, A., Rapport, L., Axelrod, B. N., Telmet, K., & Whitman, R. D. (2000). Subjective and Objective Assessment Methods of Mental Imagery Control: Construct Validation of Self-Report Measures. *Clinical Neuropsychologist*, 14, 242-242.
- Lohman, D. F. (2012). Complex Information Processing and Intelligence. *Robert J. Sternberg, págs.* 285-340.
- Milivojevic, B., Johnson, B. W., Hamm, J. P., & Corballis, M. C. (2003). Non-Identical Neural Mechanisms for Two Types of Mental Transformation: Event-Related Potentials during Mental Rotation and Mental Paper Folding. *Neuropsychologia*, 41, 1345-1356. [http://dx.doi.org/10.1016/S0028-3932\(03\)00060-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0028-3932(03)00060-5)
- Roberts, J. E., & Bell, M. A. (2003). Two- and Three-Dimensional Mental Rotation Tasks Lead to Different Parietal Lateral-ity for Men and Women. *International Journal of Psychophysiology*, 50, 235-246. [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-8760\(03\)00195-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-8760(03)00195-8)
- Shea, D. L., Lubinski, D., & Benbow, C. P. (2001). Importance of Assessing Spatial Ability in Intellectually Talented Young Adolescents: A 20-Year Longitudinal Study. *Journal of Educational Psychology*, 93, 604-614. <http://dx.doi.org/10.1037/0022-0663.93.3.604>
- Shepard, R. N., & Feng, C. (1972). A Chronometric Study of Mental Paper Folding. *Cognitive Psychology*, 3, 228-243. [http://dx.doi.org/10.1016/0010-0285\(72\)90005-9](http://dx.doi.org/10.1016/0010-0285(72)90005-9)
- Shepard, S., & Metzler, J. (1988). Mental Rotation: Effects of Dimensionality of Objects and Type of Task. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 14, 3-11.
- Wai, J., Lubinski, D., & Benbow, C. (2009). Spatial Ability for STEM Domains: Aligning over 50 Years of Cumulative Psychological Knowledge Solidifies Its Importance. *Journal of Educational Psychology*, 101, 817-835. <http://dx.doi.org/10.1037/a0016127>