

# 注意转换功能对数量表征的影响

田 萌 张宛筑\*

(贵州医科大学医学人文学院, 贵阳 550025)

**摘 要:**为考察注意转换功能对数量加工与表征过程的影响,采用实验法探究有无转换条件下被试在非符号及符号数量表征任务中的行为表现差异。结果发现:(1)在转换及非转换条件下,被试在两种数量表征任务中均出现距离效应,数量间距离越近,被试完成比较的反应时越长、正确率越低。(2)在转换条件下,被试在符号数量表征任务不同距离下的反应时差异更大。结果表明:相比非符号数量表征,注意转换功能对符号数量表征影响更大,注意转换能够增强符号数量加工中的距离效应。这一发现为深入理解注意转换功能与数量表征之间的关系提供了新的实证证据。

**关键词:**转换功能;近似数量系统;符号数量表征;执行功能;距离效应

**中图分类号:**B842.5

**文献标志码:**A

**文章编号:**1003-5184(2026)04-0322-08

## 1 前言

想象一下,你是否有过这样的经历:在超市结账时,快速选择一条相对较短的队伍排队;快发工资时,算一算扣税后自己能拿到多少钱……人们的生活离不开“数”,无论是粗略估计还是精确计算,都依赖个体对数字、数量信息的加工和表征。数量表征(magnitude representation)是指个体对数字、数量相关刺激信息进行解释、表达和操作的认知过程(陈英和,2015),它包括两种体系——近似数量系统(approximate number system, ANS)是一种先天的、跨越感觉通道、发展阶段和物种的非符号数量表征,它不依赖精确的符号计数知识,可以理解为对数量信息的直觉(Dehaene et al., 1999; Halberda et al., 2008);与之对应,符号数量表征(symbolic number representation)则是需要后天习得的、人类独有的数量表征系统,它依赖于文化和教育,从而精确加工数字、数词等形式的刺激信息。人类必须借助这两种数量表征之间的联结和相互作用,才能发展出更高级的数学能力,在现实生活中自如流畅地运用数字。

在实验情景中,研究者通常采用非符号点阵比较任务和数字比较任务范式来分别测量这两种数量表征表现。点阵比较任务会同时呈现两个阵列的点集,要求被试判断哪个阵列的点数更多(Halberda et al., 2008)。而在数字比较任务中,被试需要比较两个数字的大小关系,或是比较数字1~9中的某个数字与标准数字5之间的数量大小(Jordan et al., 2022; Krajcsi & Szűcs, 2022),这种任务中会出现大小效应(size effect),随着两个数字的增大,被试完

成比较的反应时延长、正确率降低,例如,相对于比较“1”和“5”,比较“9”和“5”的反应时更长(Dehaene et al., 1999)。点阵比较任务比其他非符号数量加工任务信度更高且能更好反映ANS敏锐度,而数字比较任务则被证明能够更好体现符号信息的数量特点(Dana et al., 2015; Krajcsi et al., 2016),故此研究亦使用这两种常用范式。已有研究表明,在符号和非符号数量表征任务中均会出现距离效应(distance effect),两数量之间距离越近,被试完成比较的反应时越长、正确率越低(Moyer & Landauer, 1967)。距离效应能够反映出数量比较能力的大小,该效应越强,数量加工和表征精确性越差(Krajcsi et al., 2016),因此研究以数量表征任务中的反应时和正确率作为主要因变量指标,以此衡量距离效应,并用它来进一步衡量被试数量表征水平(Ingilis & Gilmore, 2014)。

Miyake等人(2000)采用主成分分析法,将负责注意控制的中央执行系统分离出3种独立的成分:抑制(inhibition)、转换(shifting)和刷新(updating),注意转换功能是执行功能的核心成分之一,它是指个体根据不同规则要求,在两个或两个以上任务、操作或心理定势之间来回切换认知资源,将注意投入在新目标上的能力(Miyake et al., 2000)。转换功能一般通过被试在重复任务(如任务A-任务A)及转换任务(如任务A-任务B)中的反应时和正确率差异衡量。与重复任务相比,被试在转换任务中反应时更长、正确率更低(Arechavala et al., 2021; Benini et al., 2022),这种由于任务转换而导致的反应

\* 通信作者:张宛筑, E-mail: 269396139@qq.com。

时延长或正确率亏损被定义为转换代价 (switch cost),它是转换功能的直接衡量指标,转换代价越大,转换功能越差 (Schneider & Chun, 2021)。任务转换范式的材料可以是判断数字大小奇偶、图形形状、字母元辅音、单词词性、情绪图片效价、面孔图片性别等 (Muhmenthaler & Meier, 2021; Schuch et al., 2018; Wang & Egner, 2022)。

研究者认为,执行功能中的转换成分主要通过注意来影响数量加工过程,能否自如地进行注意转换,对数量加工能力的发展至关重要 (罗琳琳,周晓林, 2004)。注意转换能够影响数量加工的自动激活程度 (Pansky & Algom, 2002);当任务从加法换成减法时,儿童计算正确率降低,且注意转换功能较差的儿童表现更差 (Yeniad et al., 2013; Kahl et al., 2021)。另有研究表明,任务转换可以抑制数字-空间联合反应编码效应 (spatial-numerical association of response codes effect, 简称 SNARC 效应) 的出现 (Ginsburg & Gevers, 2015; van Dijck & Fias, 2011; 王强强等, 2018), SNARC 效应由 Dehaene 等人首次提出,是指个体在数量加工时会自动产生与外在空间的连接,表现为被试左手对小数字反应更快、右手对大数字反应更快 (Dehaene et al., 1999),该效应是数量表征中颇具代表性的现象,转换对 SNARC 效应的抑制反映了其与符号数量加工之间的密切关系。究其原因,任务转换过程需要个体进行任务重构,并对新任务要求的相关信息 (如任务目标、反应规则等) 进行重新加载,这种重构过程需要消耗大量认知资源,因此在后续的数量加工任务中,个体无法再利用有限的认知资源去调节数量空间表征的变化过程,导致行为表现变差及 SNARC 效应消失 (蔡勇刚, 2016; Dijck et al., 2009)。

综合前人研究,注意转换功能对数量表征影响的实验研究主要存在以下两点不足:首先,过往研究集中于注意转换与精确符号数字加工过程的关系,关于注意转换和非符号数量表征关系的研究不足。同样作为执行功能的成分之一,已有研究者发现,认知抑制与非符号数量表征可能存在重叠的脑区以及共同的认知成分 (牛玉柏等, 2018),抑制情境能够在一定程度上削弱数学焦虑儿童在非符号数量表征任务中的表现,且这种调节作用的出现也是由于认知资源的消耗 (官冬晓等, 2020)。上文已经提到,条件转换引起的认知资源消耗会抑制符号数量表征中 SNARC 效应的出现,但这种消耗是否同样会对非符号数量加工过程产生作用? 故此研究实验 1 拟探究注意转换对非符号数量表征的影响,并提出假

设一:被试在非符号数量表征任务中会出现距离效应,且转换条件会导致被试在表征任务中的反应时延长、正确率降低。此外,在任务转换导致认知资源损耗这一内部机制的阐述中,以往研究仅关注注意转换对 SNARC 效应的影响,但该效应和基本的符号数量加工在作用机制、影响因素、测量范式等方面均存在差异,研究结果不宜笼统概括或迁移。基于此,实验 2 拟针对具体的符号数量表征过程,以期考察转换功能对符号数量表征的具体影响。根据过往研究,注意转换会产生认知资源消耗,而资源消耗可能会削弱数量加工表现,且个体数量表征精确性又可以通过距离效应的强弱体现,因此提出假设二:被试在符号数量表征任务中会出现距离效应及大小效应,注意转换会削弱符号数量表征表现,具体体现为转换条件下被试在符号数量表征任务中距离效应增强。

## 2 实验 1 注意转换对非符号数量表征的影响

### 2.1 方法

#### 2.1.1 被试

使用 G \* Power 3.1 对样本量进行估计,保证中等效应量 ( $f=0.3$ ,  $\alpha=0.05$ ,  $1-\beta=0.8$ ), 计算样本量至少需要 24 名被试 (Faul et al., 2007), 研究共招募 30 名被试 (女生 19 人), 所有被试均有效, 平均年龄为  $19.67 \pm 0.99$  岁。完成实验后给予一定报酬。

#### 2.1.2 实验设计

2(转换条件:转换、非转换)  $\times$  2(数量距离:远距离、近距离)混合实验设计,其中数量距离为被试内变量,转换条件为被试间变量,每组各有 15 名被试 (其中转换条件组女生 10 人,男生 5 人;非转换组女生 9 人,男生 6 人),因变量为被试非符号数量表征任务的反应时及正确率,并以此衡量距离效应。

#### 2.1.3 实验材料及程序

通过 E-Prime 3.0 编制程序和收集数据,实验采用个体施测,使用联想笔记本电脑,液晶显示屏 14 英寸,分辨率为  $2240 \times 1400$ ,刷新率为 60 Hz。实验分为两个部分,分别为内部转换任务及非符号数量表征任务。内部转换任务刺激呈现背景为白色,实验材料为黑色三角形及长方形,均呈现在屏幕中央,指导语为 Arial 字体 24 号。具体流程如下:首先,屏幕中央呈现 1500 ms 的注视点“+”,然后随机呈现刺激,刺激一直呈现,直到被试做出反应才消失,试次之间的间隔为 200 ms。被试的任务是:当刺激呈现时,又快又准地在心里默数三角形和长方形的数量,并按空格键表示对这两类刺激的数量计

数完成,在每个 block 结束之后,向实验人员报告在该 block 中两种图形各自出现的数量。正式实验共 80 个试次,大约需要 10~15 分钟,分为 6 个 block,每个 block 包括 10~15 个试次,在每个 block 内,重复试次和转换试次数近似相同(邵梦灵,2022)。被试先进行练习,熟悉实验要求后方可进入正式实验。此研究转换代价的计算方法是转换试次的平均反应时与重复试次的平均反应时之差。

非符号数量表征任务实验背景为深灰色,图片选自 Halberda 等人编制的 Panamath 近似数量系统精确性测查工具(<http://panamath.org>)(Halberda et al., 2008),实验刺激为相互分离的两组蓝色和黄色点阵,其中包括四个比率(1:2、2:3、6:7、7:8),为便于比较,将 1:2、2:3 划分为远距离(如 12 个 & 24 个),将 6:7、7:8 划分为近距离(如 12 个 & 14 个)。为平衡实验顺序,一半试次黄色点多,一半试次蓝色

点多;一半试次为远距离,一半试次为近距离。具体流程如下:首先,屏幕中央呈现 1000 ms 的注视点“+”,随后呈现 2000 ms 的点阵图片刺激,要求被试按“F”、“J”键判断刺激图片中是黄点更多还是蓝点更多,尽量既快又准地做出反应,若 2000 ms 内未做出反应,则自动进入下一试次,试次间隔时长为 300 ms。被试先进行 8 个试次的练习,熟悉任务要求后方可进入正式实验,正式实验共 120 个试次,大约需要 12~15 分钟。根据前人研究,内部转换任务能够有效引发被试的转换代价(邵梦灵,2022),因此在整个实验流程中,转换组被试先完成内部转换任务再完成非符号数量表征任务,以此作为转换条件的前置设置,并观察被试在经历转换后,在后续表征任务中的距离效应,非转换组则相反,先完成非符号数量表征任务再完成内部转换任务。两任务实验流程如图 1。

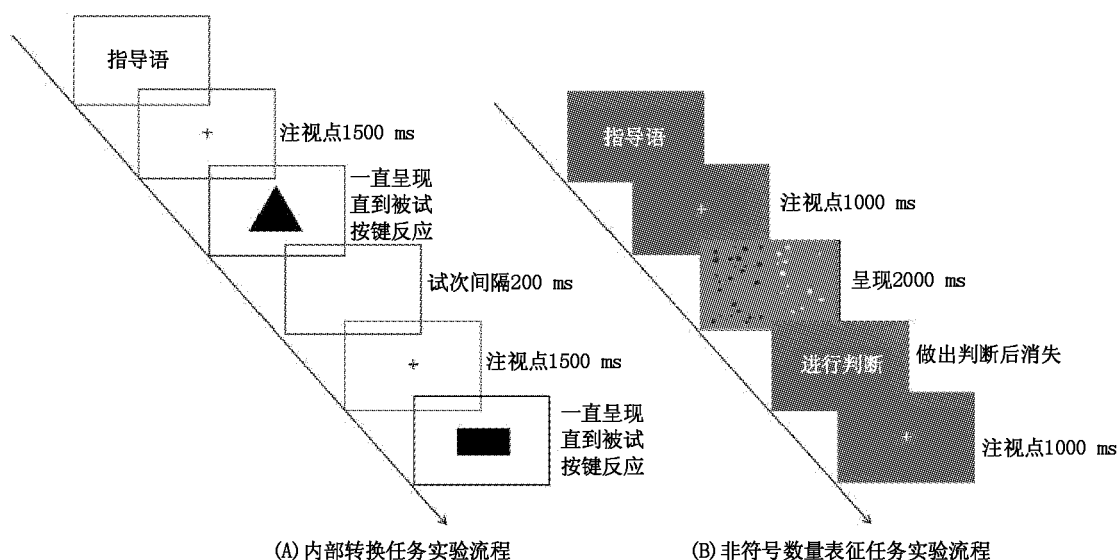


图 1 实验一两项任务流程

#### 2.1.4 数据分析

删除练习数据及每个条件下三个标准差以外的异常值,采用配对样本  $t$  检验分析转换组被试在内部转换任务中重复试次和转换试次下的平均反应时差异;采用两因素重复测量方差分析非符号数量表征任务中的平均反应时和正确率差异。

#### 2.2 结果

##### 2.2.1 转换条件设置的有效性检验

剔除练习数据及反应时在 3 个标准差以外的数据,对转换组被试在内部转换任务中重复试次和转换试次下的反应时进行配对样本  $t$  检验,结果发现,被试在转换试次下的反应时显著长于重复试次,  $t(14) = 5.24, p < 0.001, \text{Cohen's } d = 0.79$ ,这一结果

表明内部转换任务能够成功引发被试的转换代价,即转换条件设置有效。

##### 2.2.2 非符号数量表征任务表现

剔除练习数据及反应时在 3 个标准差以外的数据,对被试在非符号数量表征任务中的反应时和正确率(见表 1)进行 2(转换条件:转换、非转换)  $\times$  2(数量距离:远距离、近距离)的重复测量方差分析,结果显示,在反应时上,数量距离的主效应显著,  $F(1, 28) = 41.17, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.60$ ,被试在近距离下的平均反应时(608.49 ms)显著长于远距离(510.13 ms),出现距离效应,转换条件的主效应及二者交互作用均不显著( $p > 0.05$ )。在正确率上,数量距离的主效应显著,  $F(1, 28) = 326.00, p <$

0.001,  $\eta_p^2 = 0.92$ , 被试在近距离下的平均正确率 (68.94%) 显著低于远距离 (92.67%), 出现距离效应, 转换条件的主效应及二者交互作用均不显著 ( $p > 0.05$ )。

表 1 被试完成非符号数量表征任务的平均反应时及正确率 ( $M \pm SD$ ) ( $n = 30$ )

|          | 转换组                 |                     | 非转换组                |                     |
|----------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|          | 近距离                 | 远距离                 | 近距离                 | 远距离                 |
| 反应时 (ms) | 615.80 $\pm$ 178.71 | 524.86 $\pm$ 148.94 | 601.19 $\pm$ 272.26 | 495.40 $\pm$ 208.26 |
| 正确率 (%)  | 69.67 $\pm$ 13.79   | 92.56 $\pm$ 13.87   | 68.22 $\pm$ 6.80    | 92.78 $\pm$ 5.90    |

2.3 讨论

上述结果表明,无论在何种实验条件下,非符号数量表征任务中都会出现稳定的距离效应,两数量之间距离越近,被试反应时越长、正确率越低,这一结果符合假设一。但转换条件主效应不显著,说明注意转换并未对个体非符号数量表征过程造成显著影响,究其原因,非符号数量表征更多是一种对数量信息的先天直觉,这一过程受认知资源消耗的影响较小。官冬晓等人(2020)曾在研究中发现,认知抑制能够削弱数学焦虑儿童的非符号数量表征表现,此研究结果也反映出,相比认知抑制而言,注意转换功能对非符号数量表征的影响较小。

至此,研究拟探讨的全部问题仍尚未明确,既然注意转换并未显著影响个体非符号数量表征表现,那么转换对于符号数量表征的作用又是如何?符号数量表征中除了经典的距离效应外亦会出现大小效应(Dehaene et al., 1999),注意转换是否会对这两种效应造成影响?为解释上述问题,在实验二中考察注意转换对符号数量表征的影响。

3 实验 2 注意转换对符号数量表征的影响

3.1 方法

3.1.1 被试

使用 G \* Power 3.1 对样本量进行估计,保证中等效应量 ( $f = 0.3, \alpha = 0.05, 1 - \beta = 0.8$ ),计算样本量至少需要 18 名被试(Faul et al., 2007),研究共招募 24 名被试(女生 15 人),所有被试均有效且未参加过实验一,平均年龄为 20.38  $\pm$  1.38 岁。完成实验后给予一定报酬。

3.1.2 实验设计

2(转换条件:转换、非转换)  $\times$  2(数字大小:大、小)  $\times$  2(数字距离:远、近)混合实验设计,其中数字大小和数字距离为被试内变量,转换条件为被试间变量,每组各有 12 名被试(其中转换条件组女生 7 人,男生 5 人;非转换组女生 8 人,男生 4 人),因变量为被试符号数量表征任务的反应时及正确率,并以此衡量距离效应和大小效应。

3.1.3 实验材料及程序

通过 E - Prime 3.0 编制程序和收集数据,采用

个体施测。实验分为两个部分,分别为数字大小奇偶转换任务及符号数量表征任务。数字大小奇偶转换任务刺激呈现背景为白色,实验材料为黑色和绿色的数字 1 ~ 9(不包含 5),均呈现在屏幕中央。数字为 Times New Roman 54 号,指导语为 Arial 字体 24 号。具体流程如下:首先,屏幕中央呈现 1500 ms 的注视点“+”,随后屏幕中间呈现黑色或绿色的数字,呈现时间 2000 ms,当数字是黑色时,进行大小判断,大于 5 按“F”键,小于 5 按“J”键反应;当数字是绿色时,进行奇偶判断,奇数按“F”键,偶数按“J”键反应,按键在被试间进行平衡。该任务要求被试尽量又快又准地做出反应,若超过 2000 ms 未做出反应则自动跳转到下一试次,试次间隔 300 ms。此研究转换代价的计算方法是转换试次的平均反应时与非转换试次的平均反应时之差。

符号数量表征任务刺激为黑色一号微雅软黑字体呈现的阿拉伯数字,屏幕背景为白色,被试需要从同时呈现的两个数中选择较大的一个进行按键反应,所用数量组合参考滕静(2015)的研究,刺激数量在 5 ~ 28 之间,共 20 对,两数字比例有四种,近似为 0.5、0.6、0.7 和 0.8。为便于比较,在数字大小上,将 5 ~ 10、7 ~ 14 划分为小数字,将 12 ~ 24、14 ~ 28 划分为大数字;在数字距离上,将四种数字比例中的 0.5 和 0.6 划分为远距离(如 5 个 & 10 个),将 0.7 和 0.8 划分为近距离(如 5 个 & 7 个),分别取两者平均数作为其测量指标(滕静,2015;官冬晓等,2020)。为平衡试验顺序,一半试次中大数字在左边,另一半则相反;一半试次为近距离,一半为远距离。具体流程:先呈现 1000 ms 的注视点“+”,随后呈现 2000 ms 数字对,被试进行按键反应,试次间隔 300 ms。两项任务均要求被试先进行 8 个试次的练习,熟悉任务要求后方可进入正式实验,正式实验两项任务共 144 个试次,总共需要 15 ~ 20 分钟。在整个实验流程中,转换组被试先完成数字大小奇偶转换任务再完成符号数量表征任务,非转换组则相反,先完成符号数量表征任务再完成数字大小奇偶转换任务,设置理由同实验一。两任务实验流程如图 2。

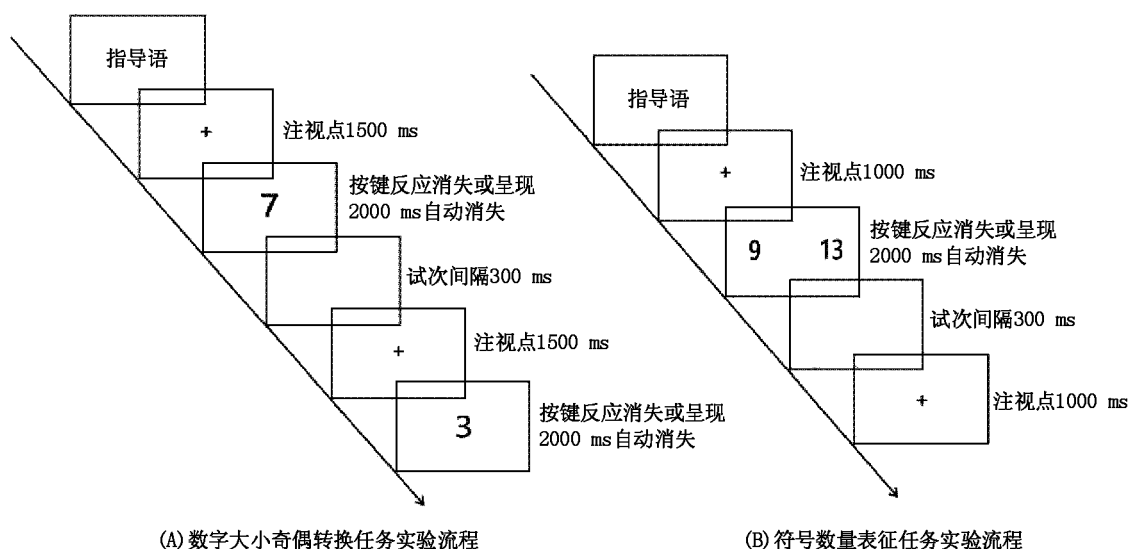


图2 实验二两项任务流程

### 3.1.4 数据分析

删除练习数据及每个条件下正负三个标准差以外的异常值,采用配对样本  $t$  检验分析转换组被试在数字大小奇偶转换任务中重复试次和转换试次下的平均反应时差异;采用两因素重复测量方差分析符号数量表征任务中的平均反应时和正确率差异。

## 3.2 结果

### 3.2.1 转换条件设置的有效性检验

剔除练习数据及反应时在3个标准差以外的数据,对转换组被试在数字大小奇偶转换任务中重复试次和转换试次下的反应时进行配对样本  $t$  检验,结果发现,被试在转换试次下的反应时显著长于重复试次,  $t(11) = 2.16, p = 0.05, \text{Cohen's } d = 0.64$ ,这一结果表明数字大小奇偶转换任务能够成功引发被试的转换代价,即转换条件设置有效。

### 3.2.2 符号数量表征任务表现

剔除练习数据及反应时在3个标准差以外的数据,对被试在符号数量表征任务中的反应时(见表2)分别进行  $2(\text{转换条件:转换、非转换}) \times 2(\text{数字大小:大、小})$  和  $2(\text{转换条件:转换、非转换}) \times 2(\text{数字距离:远、近})$  的重复测量方差分析,结果显示,数字大小的主效应显著,  $F(1, 22) = 31.84, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.59$ ,被试在大数字下的平均反应时(549.79 ms)显著长于小数字(511.57 ms),出现大小效应,转换条件的主效应及二者交互作用均不显著( $p > 0.05$ )。数字距离的主效应显著,  $F(1, 22) = 93.59, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.81$ ,被试在近距离下的平均反应时(555.36 ms)显著长于远距离(508.90 ms),出现距离效应,转换条件主效应不显著( $p > 0.05$ ),转换条件和数字距离的交互作用边

缘显著,  $F(1, 22) = 3.90, p = 0.06, \eta_p^2 = 0.15$ 。进一步简单效应分析结果(如图3)表明,转换条件和非转换条件下距离的不同均能显著影响被试完成符号数量表征任务的反应时,  $F_{\text{转换}}(1, 22) = 67.86, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.76, F_{\text{非转换}}(1, 22) = 29.63, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.57$ ,但在转换条件下,数字距离所导致的反应时差异大于非转换条件,即在转换条件下,近距离与远距离下反应时的差值(55.95 ms)显著长于非转换条件下的差值(36.97 ms)。后续  $2(\text{转换条件:转换、非转换}) \times 2(\text{数字大小:大、小}) \times 2(\text{数字距离:远、近})$  的重复测量方差分析结果显示,数字大小和数字距离各自的主效应显著,  $F_{\text{大小}}(1, 22) = 33.52, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.60, F_{\text{距离}}(1, 22) = 58.87, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.73$ ,其余主效应及交互作用均不显著。

表2 被试完成符号数量表征任务的平均反应时( $M \pm SD, ms$ ) ( $n = 24$ )

|     | 转换组                 | 非转换组               |
|-----|---------------------|--------------------|
| 大数字 | 575.36 $\pm$ 110.11 | 524.23 $\pm$ 76.42 |
| 小数字 | 535.73 $\pm$ 77.85  | 487.40 $\pm$ 74.88 |
| 远距离 | 526.74 $\pm$ 83.69  | 491.06 $\pm$ 76.52 |
| 近距离 | 582.69 $\pm$ 97.92  | 528.03 $\pm$ 81.56 |

## 3.3 讨论

在衡量符号数量表征表现的数字比较任务中,出现了显著的大小效应和距离效应,即被试在大数字和近距离下的反应时显著长于小数字和远距离的现象,且转换条件与数字距离的交互作用显著,这说明在不同的转换条件下,数字距离远近对被试在符号数量表征任务中反应时的影响有所不同,在转换条件下,不同距离导致的反应时差异更大。实验二

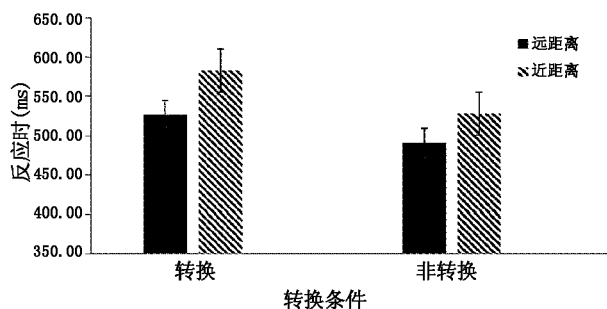


图3 转换条件和数字距离在符号数量表征任务反应时的交互作用  
(注:误差线表示标准误差 SE)

得到的结果符合假设二,证明注意转换会增强符号数量表征中的距离效应,这是在前人研究基础上的新发现。值得说明的是,由于研究中符号数量表征任务较为简单,出现一定天花板效应,因此未将正确率指标纳入结果分析。

#### 4 总讨论

研究通过两项实验探究注意转换功能对数量表征的影响,结果发现,与非符号数量表征相比,转换条件对符号数量表征影响更大,注意转换增强了符号数量表征中的距离效应。

首先,在两实验不同的转换任务中,均观察到被试在转换试次下反应时显著长于重复试次的现象,即出现了明显的转换代价,这和过往研究得到的结果一致(Arechavala et al., 2021; Benini et al., 2022; Schneider & Chun, 2021)。无论是内部转换任务还是数字大小奇偶转换任务,被试都需要根据不同的任务目标(如不同形状的图形)或反应规则(如不同颜色的数字)进行认知重构,这一注意转换过程会消耗有限的认知资源,与重复试次相比,转换试次耗费的认知资源更多,因此被试反应时显著延长(朱星星, 2021)。这一结果也说明实验中转换条件的设置是有效的,先进行转换任务会在一定程度上占用被试的认知资源。

此外,无论在何种条件下,被试在非符号及符号数量表征任务中均出现距离效应,数量间距离越近,被试完成比较的反应时越长、正确率越低。距离效应的出现是因为在心理数字线上,比起相距较远的两数量,空间距离相近的数量之间表征分布重叠区域更大,因此更难分辨二者差异(Halberda et al., 2008)。研究结果表明,无论是在非符号还是符号数量表征过程中,距离效应均稳定存在。

进一步说,注意转换能够增强符号数量加工中的距离效应,在转换条件下,数量距离导致的反应时差异大于非转换条件。转换范式中的转换试次比起

重复试次需要消耗更多认知资源,直观表现为实验中的转换代价,在搭配符号数量表征任务而采用的数字大小奇偶转换任务中,被试需要记住两套反应标准,在转换条件下,不仅要先在随机且不可预测的刺激出现后根据刺激颜色确定采用何种反应标准,还要根据正确的反应标准进一步对数字进行分类反应,因此相比重复试次,转换给整个加工过程带来的认知负载更高。根据知觉负荷理论及资源有限理论,当前任务为高知觉负荷时,需要消耗大部分认知资源,剩余资源不足以激活以进行进一步加工(Schneider & Chun, 2021)。从心理数字线的角度理解,当两个数量距离较近时,由于其表征重叠部分增加,在进行比较和区分二者差异时难度更大,因此这种情况下本来就需要更多的认知资源来进行分辨(Georgiou & Zhang, 2023; Gilmore et al., 2017),而转换条件的存在又在一定程度上占用和消耗了个体有限的资源,两种情况叠加导致被试整体反应时更长,远近距离下反应时的差值也更大,表现出更强的距离效应。距离效应是衡量个体数量表征敏锐度的重要指标,它能够反映数量比较过程的精确性,甚至可以在一定程度上预测个体数量表征能力的强弱(Krajcsi et al., 2022; Libertus et al., 2011),距离效应越强,数量加工和表征精确性越差。综合以上结果可以看到,注意转换能通过增强距离效应进而影响更高层次的符号数量表征和加工过程,这是在前人研究结果上的新发现。

另外,符号数量表征任务中也出现了大小效应,被试面对大数字的反应时显著长于小数字(Dehaene et al., 1999),但未发现大小效应与其他变量的二阶及三阶交互作用,这表明,在转换条件下,比起数字大小,此研究被试群体对数字距离的变化更为敏感,即注意转换功能对符号数量表征中距离效应的影响更大。这也体现出,与大小效应相比,距离效应能更好反映个体数量加工和表征过程的特点和精确性。

在非符号数量表征任务中,并未发现转换条件主效应以及其与数量距离的显著交互作用。过往研究较少涉及这二者的具体关系,张丽等人(2018)以发展性计算障碍儿童为被试,发现在转换条件下,其非符号数量加工能力与正常儿童无显著差异,仅表现为符号加工缺陷。虽然此研究被试并非计算障碍群体,但结合前人研究,得到此类似结果可以说明,相比符号数量表征而言,注意转换功能对非符号数量表征的影响较小。

总体而言,此研究根据两种数量表征系统的不同特征,选择组合适宜的任务转换范式,系统探究注意转换功能对符号和非符号数量表征的具体影响,

为深入理解注意转换功能与数量表征之间的关系提供了新的实证证据,进一步丰富了数量加工与表征应用层面的研究。尽管如此,研究仍存在一定局限,首先,研究对个体智力因素、数学水平及领域一般认知能力的控制尚有不足,未来研究可以通过增加预测或问卷调查等方式,对这些潜在影响因素进行测量和控制,从而更精准地探究注意转换功能对数量表征的纯粹影响。此外,由于注意转换与数量表征过程在实验范式的结合上存在一定困难,因此实验中并未能成功将转换情境完全融入数量表征任务中,后续研究可进一步优化实验范式,使转换任务与数量表征任务更加紧密结合,例如尝试在数量表征任务中直接引入需要频繁转换注意的情境。最后,已有研究提到,两种数量表征系统均会随着年龄增长呈现一定动态变化,且注意转换功能对数量表征过程的影响也会随年龄增长发生变化(黄英歌,2021;李相南,张丽,2018),因此未来研究可以拓展被试群体及年龄范围,并结合 ERP、眼动等技术,进一步明确注意转换对不同数量表征系统影响的内部机制,从而更深刻地理解个体数量认知表现差异的原因。

## 5 结论

在非符号和符号两种数量表征系统中,注意转换功能对符号数量表征的影响更大,注意转换能够增强符号数量加工中的距离效应。

## 参考文献

- 蔡勇刚. (2016). 不同数量信息与认知控制条件下数学困难儿童 SNARC 效应研究 (博士学位论文). 华东师范大学, 上海.
- 陈英和. (2015). 儿童数量表征与数概念的发展特点及机制. *心理发展与教育*, 31(1), 21–28.
- 官冬晓, 艾继如, 黄碧娟, 崔爽, 司继伟. (2020). 数学焦虑影响儿童的数量表征: 认知抑制的调节作用. *心理发展与教育*, 36(1), 10–18.
- 黄英歌. (2021). 小学儿童与成人的算术能力与执行功能的关系研究 (硕士学位论文). 浙江大学.
- 李相南, 张丽. (2018). 基于 fNIRS 的符号和非符号数量加工的脑机制研究. *西南大学学报 (自然科学版)*, 40(12), 126–132.
- 罗琳琳, 周晓林. (2004). 执行功能与数量加工: 回顾与展望. *心理科学进展*, 12(5), 714–722.
- 牛玉柏, 张丽芬, 肖帅, 曹贤才. (2018). 小学生近似数量系统敏锐度的发展趋势及其与数学能力的关系: 抑制控制的中介作用. *心理科学*, 41(2), 344–350.
- 邵梦灵. (2022). 高特质考试焦虑大学生注意控制特点及其静息态脑功能基础研究 (博士学位论文). 天津师范大学.
- 腾静. (2015). 儿童非符号数量表征与数学学业成绩的关系 (硕士学位论文). 华东师范大学, 上海.
- 王强强, 石文典, 叶晶. (2018). 任务转换对 SNARC 效应的抑制. *应用心理学*, 24(3), 271–279.
- 张丽, 蒋慧, 赵立. (2018). 发展性计算障碍儿童的数量转换缺陷. *心理科学*, 41(2), 337–343.
- 朱星星. (2021). 执行功能与小学中高年级学生数学学习的关系 (硕士学位论文). 陕西师范大学.
- Arechavala, R. J., Rochart, R., Kloner, R. A., Liu, A. Q., Wu, D. A., Hung, S. M., & Arakaki, X. (2021). Task switching reveals abnormal brain – heart electrophysiological signatures in cognitively healthy individuals with abnormal CSF amyloid/tau, a pilot study. *International Journal of Psychophysiology*, 170, 102–111.
- Benini, E., Koch, I., Mayr, S., Frings, C., & Philipp, A. M. (2022). Contextual features of the cue enter episodic bindings in task switching. *Journal of Cognition*, 5(1), 29.
- Dana, C., Par, B., & Ellen, P. (2015). How to estimate how well people estimate: Evaluating measures of individual differences in the approximate number system. *Attention, Perception & Psychophysics*, 77(8), 2781–802.
- Dehaene, S., Spelke, E., Pinel, P., Stanescu, R., & Tsivkin, S. (1999). Sources of mathematical thinking: Behavioral and brain – imaging evidence. *Science*, 284(5416), 970–974.
- Dijk, J. P. V., Wim Gevers, M., & Fias, W. (2009). Numbers are associated with different types of spatial information depending on the task. *Cognition*, 113(2), 248–253.
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A., & Buchner, A. (2007). G \* Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, 39(2), 175–191.
- Georgiou, G., & Zhang, L. (2023). Do performance – based measures and behavioral ratings of executive functioning complement each other in predicting reading and mathematics in chinese? *Behavioral Sciences*, 13(10), 823.
- Gilmore, C., Attridge, N., Clayton, S., Cragg, L., Johnson, S., Marlow, N., & Inglis, M. (2017). Individual differences in inhibitory control, not non – verbal number acuity, correlate with mathematics achievement. *PLoS ONE*, 8(6), e67374.
- Ginsburg, V., & Gevers, W. (2015). Spatial coding of ordinal information in short – and long – term memory. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9, 1–10.
- Halberda, J., Mazocco, M. M., & Feigenson, L. (2008). Individual differences in non – verbal number acuity correlate with maths achievement. *Nature*, 455, 665–669.
- Inglis, M., & Gilmore, C. (2014). Indexing the approximate number system. *Acta Psychologica*, 145, 147–155.
- Jordan, N. C., Devlin, B. L., & Botello, M. (2022). Core foundations of early mathematics: Refining the number sense framework. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 46, 101181.
- Kahl, T., Grob, A., Segerer, R., & Möhring, W. (2021). Execu-

- tive functions and visual – spatial skills predict mathematical achievement; Asymmetrical associations across age. *Psychological Research*, 85(1), 36 – 46.
- Krajcsi, A. , Lengyel, G. , & Kojouharova, P. (2016). The source of the symbolic numerical distance and size effects. *Frontiers in Psychology*, 7, 1795.
- Krajcsi, A. , & Szűcs Tamás. (2022). Symbolic number comparison and number priming do not rely on the same mechanism. *Psychonomic Bulletin & Review*, 29(5), 1969 – 1977.
- Libertus, M. E. , Feigenson, L. , & Halberda, J. (2011). Pre-school acuity of the approximate number system correlates with school math ability. *Developmental Science*, 14(6), 1292 – 1300.
- Miyake, A. , Friedman, N. P. , Emerson, M. J. , Witzki, A. H. , Howerter, A. , & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive function and their contribution to complex “Frontal Lobe” tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41(1), 49 – 100.
- Moyer, R. S. , & Landauer, T. K. (1967). Time required for judgments of numerical inequality. *Nature*, 215(5190), 1519 – 1520.
- Muhmenthaler, M. C. , & Meier, B. (2021). Different impact of task switching and response – category conflict on subsequent memory. *Psychological Research*, 85(2), 679 – 696.
- Pansky, A. , & Algom, D. (2002). Comparative judgment of numerosity and numerical magnitude: Attention preempts automaticity. *Journal of experimental psychology. Learning, Memory, and Cognition*, 28(2), 259 – 274.
- Schneider, D. W. , & Chun, H. (2021). Partitioning switch costs when investigating task switching in relation to media multitasking. *Psychonomic Bulletin and Review*, 28(3), 910 – 917.
- Schuch, S. , Sommer, A. , & Lukas, S. (2018). Action control in task switching: Do action effects modulate N2 repetition costs in task switching? *Psychological Research*, 82(1), 146 – 156.
- van Dijck, J. – P. , & Fias, W. (2011). A working memory account for spatial numerical associations. *Cognition*, 119(1), 114 – 119.
- Wang, Y. C. , & Egner, T. (2022). Switching task sets creates event boundaries in memory. *Cognition*, 221, 104992.
- Yeniad, N. , Malda, M. , Mesman, J. , Ijzendoorn, M. H. , & Pieper, S. (2013). Shifting ability predicts math and reading performance in children: A meta – analytical study. *Learning and Individual Differences*, 23, 1 – 9.

## The Effect of the Attentional Shifting Function on Magnitude Representation

Tian Meng Zhang Wanzhu

( College of Medical Humanities, Guizhou Medical University, Guiyang 550025 )

**Abstract:** To investigate the differential impacts of attentional shifting function on symbolic ( Arabic numerals ) and non – symbolic ( dot arrays ) numerical processing and representation, this study employed an experimental approach to explore differences in participants’ behavioral performance in numerical representation tasks ( namely non – symbolic dot array comparison task and symbolic numerical comparison task ) under attentional shifting and non – shifting conditions. Results showed that: First, regardless of shifting conditions, participants exhibited a distance effect in both numerical representation tasks, where smaller numerical distances between two quantities led to longer reaction times and lower accuracy rates. Second, under shifting conditions, reaction time differences across varying distances were more pronounced in symbolic numerical representation tasks. These findings indicate that attentional shifting exerts a greater influence on symbolic numerical representation compared to non – symbolic representation and amplifies the distance effect during symbolic numerical processing. The differential modulation of distance effects suggests that shifting demands tax the precision of symbolic number representations more substantially than their non – symbolic counterparts. This discovery provides new empirical evidence for understanding the relationship between attentional shifting and numerical representation and mathematical cognition.

**Key words:** shifting function; Approximate Number System ( ANS ); symbolic numerical representation; executive function; distance effect