

不同干扰刺激对成人数量估计的影响^{*}

徐继红^{**1,2} 司继伟²

(¹山东师范大学心理学院, 济南, 250014)(²北京师范大学认知神经科学与学习研究所, 北京, 100875)

摘 要 研究采用自行设计的图形材料, 考察了不同干扰刺激(纯靶刺激; 干扰刺激与靶刺激数量相同; 干扰刺激是靶刺激数量的 2 倍)对成人完成数量估计任务的影响。30 名硕士生参加了本实验。行为数据和口头报告资料分析显示: 1) 反应时随数量估计任务难度的增加而不断增长; 2) 干扰刺激越多, 任务越复杂, 成人估计的误差率越高, 准确性越低; 3) 成人存在多重数字表征形式, 完成数量估计任务时主要采用线性表征, 但随着干扰刺激物的增加, 运用对数表征的趋势愈加明显。

关键词: 数量估计 估计策略 数量表征

1 引言

随着当代科技的进步与发展, 数学中的近似理论和合理推理拓展了人们的视野, 先进的计算工具日益改变着人们计算的方式和观念。自从 Carpenter 等人(1976, 1980)的研究表明学生缺乏基本的、必要的估计技能来适应实际需要后, 国外便出现了对估计的研究热潮。数量估计(numerical estimation, 简称估数)作为数学认知的重要组成部分, 在儿童和成人的日常生活和学习中普遍存在, 它与计算估计(computational estimation, 简称估算)、测量估计(measurement estimation, 简称估测)并称为数学估计中三种最重要的算术估计类型^[1,2]。早期研究者认为, 数量估计是一种形成数量判断的数学解题形式^[3]。具体地说, 数量估计是在没有足够时间数出物体的数量、或是要数的物体数量过大、或是对非静止的物体根本无法做出计数的情况下所做出的一种粗略估计。

随着人们对估计重视程度的增加, 数量估计的研究范围也在不断扩大。近年来研究者对数量估计的表征方式进行了相当深入的研究。Dehaene(1997)曾提出对数规则模型, 认为从婴儿到成人所有年龄段上的人都是依靠单一的对数规则进行表征^[4]。另一种累积模型则认为所有年龄段上的人都把数量表征为随数量的变化呈线性增加的数量^[5]。而 Sielger 和 Opfer(2003)在小学生对数字线中数字位置的估计研究中发现, 随着年龄的增加, 儿童的数量表征方式从对数表征向线性表征变化, 由此推测个体可能同时拥有多种数量表征形式。另外还发现随着待估计数量的增加, 儿童所给出的估计值也呈线性增加。而且这种趋势不只出现在数字线任务中, 在测量估计和数量估计中同样也存在, 并在纯粹数字估计的实验研究中也验证了这种假设^[6]。另外 Siegel 等人也曾于上世纪八十年代初对数量估计的发展做过研究, 发现随着年龄的增长, 人们对数量估计的准确性会明显提高^[7]。

数量估计的准确性主要受三个维度的影响: 物体的特性、时间和空间^[8,7]。Allik & Tuulmets(1991)认为在时间维度上, 刺激的呈现时间、掩蔽图形的异步呈现(SOA)都对数

量估计的准确性产生影响^[9]。数量估计既然是一种粗略的估计, 那么在给被试呈现估计任务时就必须考虑刺激呈现的时间问题, 既要确保被试在做反应时是直觉的、非经过深思熟虑或实际数出的, 又要避免因时间过短而胡乱猜测。有研究指出, 被试在进行数量估计时可能会在图片消失后出现一个视觉后像, 并可能利用这个视觉后像进行“心理计数”^[10]。为了避免出现此种情况, 实验者就应该要求被试在给定的有限时间内做出反应。在一项研究中, 研究者所提供的估计任务是 49 个实心点, 他所设定的限制时间为 2.24m, 且该实验与 Ginsburg(1991)的实验相同^[8]。在另一项研究中, 给被试分别呈现含有 1, 2, 3, 5, 7, 9, 11 个项目的图片, 其呈现时间均为 250ms^[11], 而罗跃嘉等人对感数的研究中, 刺激的呈现时间为 300ms^[12]。从以往的研究可以看出, 对于刺激的呈现时间, 不同的实验任务研究者采取的呈现时间不同, 但其目的都是为了保证被试对所给的数量作出更好的估计。

我们知道, 现实生活中人们对数量的估计往往不是只有单纯的目标物体, 而是同时会受到来自不同干扰物的影响, 但目前对数量估计的研究大多是采用纯目标刺激任务, 而对有干扰刺激的数量估计任务却极少考察。曾有研究者在考察感数和计数的脑机制时使用了干扰刺激, 并且发现干扰刺激的确对加工结果产生了影响^[12]。那么, 在对小数字范围以及存在干扰刺激的任务进行估计时, 刺激呈现多长时间才能使被试作出更合理的估计呢? 其估计的合理性是否因干扰刺激的增加而存在差异呢? 在估计的过程中, 他们又是采用了何种表征方式呢? 是否对数字的表征也因干扰刺激的增加而发生变化呢? 本研究正是基于以上疑问, 考察了不同干扰刺激条件(纯靶刺激; 干扰刺激与靶刺激数量相同; 干扰刺激是靶刺激数量的 2 倍)对成人数量估计的影响。

2 方法

2.1 被试

选取济南某高校研究生 32 名, 其中男生 15 人, 女生 17 人, 平均年龄为 26.17 ± 2.81 岁。被试全部是自愿参加本实验, 实验结束后由主试发给小礼物作为感谢。其中一名女被

^{*} 全国教育科学“十一五”规划教育部青年专项课题“青少年数学估计能力的发展特点及认知机制”(批准号 EBA030006)阶段性成果, 并得到“泰山学者”建设工程专项经费资助。

^{**} 通讯作者: 徐继红, 女。E-mail: gracexjh@sina.com

试因没有很好理解实验要求,结果没有被统计在内。另一名女被试因为估计的偏差太大,反应时过长,我们猜测其可能不是估计,而是出现了数数的情况,因此结果也被排除在外。这样本实验有效被试为 30 人。

2.2 实验材料

本实验所采用的刺激是白色长方形图片中面积相同的黑色小正方形和黑色圆形,正方形和圆形的单个面积大小按函数关系递减,即数量越多单个刺激的面积越小,但总面积保持不变。其中黑色小正方形为靶刺激,圆形为干扰刺激。靶刺激的数量随机选取 7—25 个中的 15 个数字:7,8,9,11,12,13,15,16,17,18,19,20,21,23,24,25。研究中刺激图片共分为三种情况:纯靶刺激;干扰刺激与靶刺激数量相同;干扰刺激是靶刺激数量的 2 倍。刺激在图片中的分布均为排列不规则的。每种情况分别呈现,刺激图片都是随机的。

2.3 实验设计

本实验采用被试内实验设计。自变量为刺激的呈现方式(纯靶刺激;干扰刺激与靶刺激数量相同;干扰刺激是靶刺激数量的 2 倍)以及靶刺激的数量。本研究的一个因变量为

被试的反应时。由于在实验中要求被试记下所估计的靶刺激数量,因此研究的另一个因变量为被试估计的方形数量。

2.4 实验程序

该实验采用 E-Prime 编程语言编写实验程序来控制材料的呈现及对被试反应的记录。整个实验任务由数台方正 P IV 型计算机呈现,集体测试。实验共分三部分,第一部分中的任务为纯靶刺激,二、三部分为有干扰刺激的情况。实验开始先给被试呈现指导语,针对每种情况让被试进行练习以便其了解整个实验过程并能熟练操作。正式实验,先呈现刺激图片,要求被试在觉得自己能估计出图片中方形的数量后尽快做按键反应,电脑将出现小“十”字提示被试将估计的数量写在事先发给的白纸上。完成后,由被试自己按鼠标键进入下一个测试(整个正式实验进程如图 1 所示)。实验共休息两次,一般一次不超过五分钟。在给被试呈现指导语时着重强调,被试既不能数出也不能胡乱猜测,只要觉得能够估计出方形的大致数量就尽快按键。要求被试安静的完成任务,记录被试的反应时和准确率。

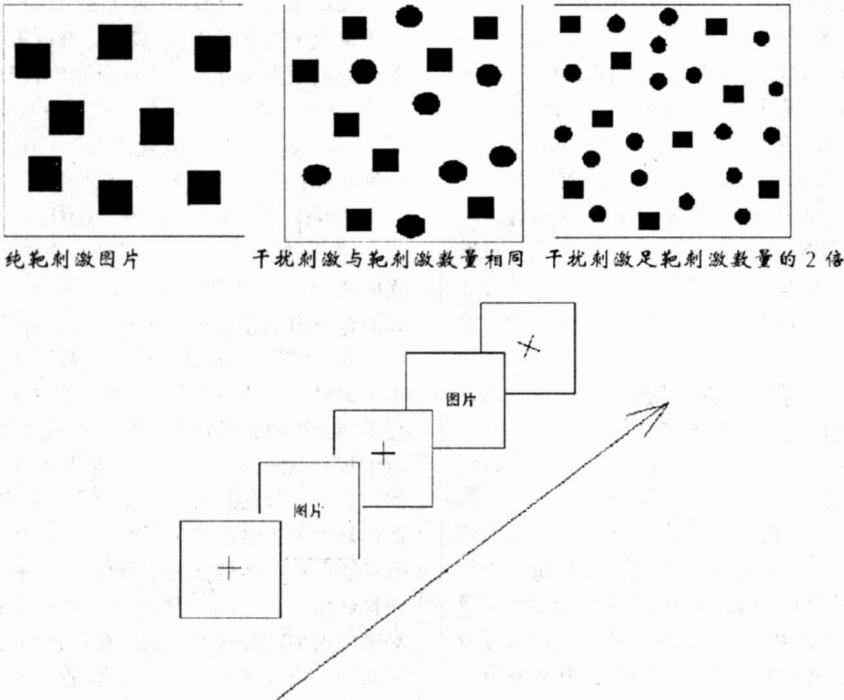


图 1 本研究正式实验的进程示意

2.5 数据处理

实验结果采用 SPSS10.0 及 Excel 2003 进行统计分析。

3 结果与分析

3.1 反应时分析

表 1 三种任务下的反应时 (n=30)

任务类型	M(ms)	SD(ms)
纯靶刺激	1078.88	645.17
干扰刺激与靶刺激数量相同	1205.73	810.74
干扰刺激是靶刺激数量的 2 倍	1318.89	892.85
总反应时	1201.17	740.32

表 2 不同条件下被试反应时的差异比较(配对 T 检验)

	纯靶刺激 (n=30)	干扰刺激与靶刺激数量相同 (n=30)
干扰刺激与靶刺激数量相同	-1.482	
干扰刺激是靶刺激数量的 2 倍	-2.293	-1.576

注: $p < 0.05$ 。

表1列出了三种条件对应的平均反应时和标准差。从表中可以看出,被试在整个实验中的总平均反应时为1201.17ms;当条件为“干扰刺激是靶刺激数量的2倍”时,反应时最长(1318.89ms);其次是“干扰刺激与靶刺激数量相同”(1205.73ms);而反应时最短的是“纯靶刺激”(1078.88ms)。这说明在本实验中反应时随数量估计任务难度(纯靶刺激;干扰刺激与靶刺激数量相同;干扰刺激是靶刺激数量的2倍)的增加而不断增长。Greenhouse-Geisser重复测量的结果显示,三种条件下的反应时存在显著差异($F=3.692, p<0.05$)。对三种条件两两做配对 T 检验(见表2),结果显示第一与第二种条件以及第二与第三种条件之间不存在统计学上的显著差异($p>0.05$),但第一与第三种条件却存在显著差异($p<0.05$)。我们猜测可能是由于实验干扰刺激的数量依次增加,被试在估计时存在一个心理上的“缓冲”,因此邻近两种条件之间不存在显著差异,而第一与第三种条件之间却表现出了显著的差异性。

对于不同靶刺激数量对应的反应时在三种条件下的分布情况见图2。从图中可以看到靶刺激的数量越大被试的反应时越长,这反映了随着要估计的实际数量的增加被试的反应时也在不断延长,且三种实验条件都呈现出明显地上升趋势。从图2中我们也可以清楚地看到表1反映出来的趋势,即随着干扰刺激数量的增加,反应时变得越来越长。这也说明,在靶刺激数量相同的情况下,干扰刺激的数量对被试的反应时间产生了明显影响。

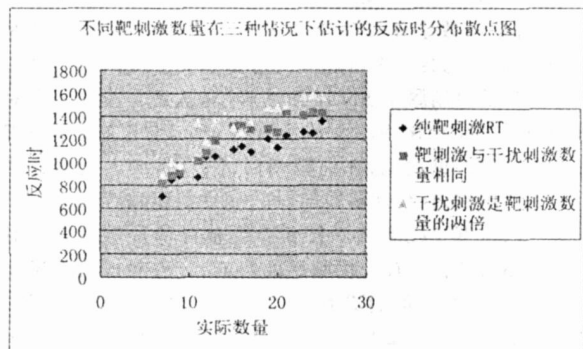


图2 不同靶刺激数量在三种条件下估计的反应时分布散点图

3.2 估计的合理性分析

根据已有研究^[6,13],我们将被试的估计值与实际值相比较,使用绝对百分比误差(percent absolute error)来反映估计的合理性变化:

结果发现,所有被试的平均绝对百分比误差为18.54%,“纯靶刺激”情况下的绝对百分比误差为17.56%,”干扰刺激与靶刺激数量相同”的情况为18.43%,”干扰刺激是靶刺激数量的2倍”百分比误差为19.65%。可见,刺激任务越复杂误差率越高,被试估计的准确性越低。从单个被试的估计情况来看,绝大多数被试的绝对百分比误差在20%以内,误差比最小的只有5%,而最大竟达到了51%。

根据Clayton(1992)提出的合理性估计的新标准^[14],我们按照 $\pm 20\%$ 的标准将被试的估计值分为:合理估计(估计值在实际值的 $\pm 20\%$ 的范围之内)、低估(估计值低于该范围下限)和高估(估计值高于该范围上限)三类。结果显示,三

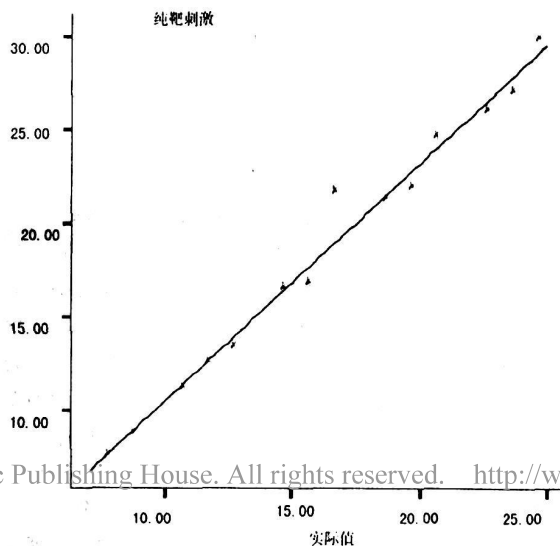
种任务的估计值大多都在合理估计的范围之内,所占比例分别为69.41%、66.24%、67.34%,高估比例分别为24.51%、27.69%、20.59%,而低估所占的百分比分别只有6%、6.03%和12%。其中从靶刺激的数量来看,只在“干扰刺激与靶刺激数量相同”的任务中刺激数量为21个时出现了高估(59.20%)高于合理估计(33.91%)现象,而其他数量均在合理估计的范围之内。从被试对数量的估计情况看,在“纯靶刺激”任务中仅有10%的被试偏向高估;而在“干扰刺激与靶刺激数量相同”的任务中,则有3%的被试高估次数超过了合理估计次数,高估次数最高达78次,有3%的被试偏向于低估,次数为65次。但在“干扰刺激是靶刺激的两倍”任务中,却有10%的被试偏向高估,另有6.3%的被试偏向低估。

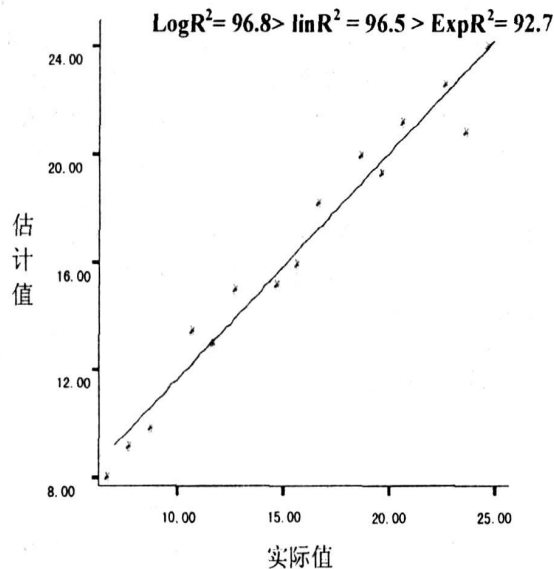
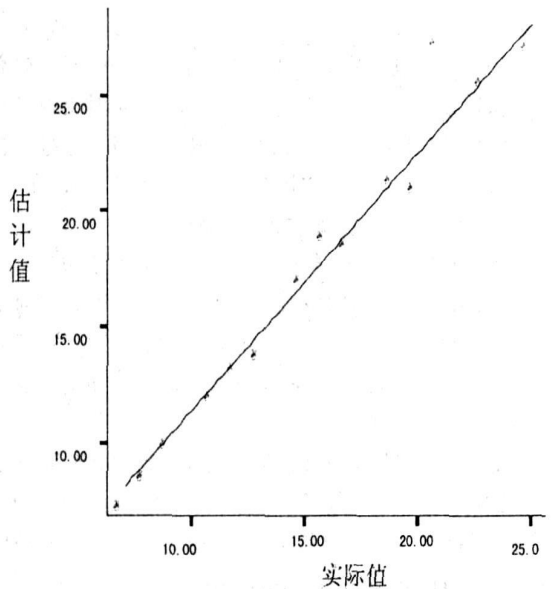
3.3 数量表征的分析

我们使用回归模型对估计值随实际值的变化趋势做了分析,通过比较线性、对数、指数三条回归线找出成人对7~25个物体估计时的最佳拟合模型,结果如图3所示。从图中可以看出,在纯靶刺激任务中,线性函数($R^2=0.986$)比指数函数($R^2=0.959$)和对数函数($R^2=0.956$)更能表示被试的估计趋势;配对 T 检验的结果也显示,线性函数分别与其他两种函数存在显著差异, $t(14)=-3.23, p<0.01$ 及 $t(14)=-3.35, p<0.01$,而对数函数与指数函数之间没有显著差异, $t(14)=-0.101, p>0.05$ 。在干扰刺激与靶刺激数量相同的任务中,被试的估计值的最佳拟合也是线性函数($R^2_{lin}=0.954, R^2_{Log}=0.944, R^2_{Exp}=0.937$),但在统计学上线性函数和对数函数之间的差异却并不显著,显著性水平只有0.07($t(14)=-1.96, p>0.05$)。当干扰刺激是靶刺激的两倍时,线性函数值与对数函数值基本相同($R^2_{lin}=0.965, R^2_{Log}=0.968$),两者在统计学上没有显著差异($t(14)=-0.196, p>0.05$),都大于指数函数值($R^2_{Exp}=0.927$)。

4 讨论

结果的分析中已经说明了被试在本实验中数量估计的反应时、估计的合理性及表征方式。我们知道,刺激呈现的时间长短会影响到被试的估计,为了保证被试能够做出合理的估计,而不是数出刺激的数量,就必须设定适当的刺激呈





注: Lin=linear, Log=logarithmic, Exp=exponent.

图3 三种情况的最佳拟合方程

现时间。从反应时的分析中可以看到,随着估计数量及干扰刺激的增加,被试的反应时间也在不断增长,且三种任务下的反应时存在显著差异。罗跃嘉等人曾在研究中指出,靶刺激数量相同的情况下,随着分心物的增加反应时越长^[12]。由于本实验中刺激的呈现时间是由被试自己控制,因此个体在进行估计操作时必然存在一个速度与准确性的权衡问题,当任务相对较难时,估计的速度与准确性就很难达到平衡。因此,在保证反应时间一致的情况下,估计的合理性就会相对受到影响。但总的来看,三种任务下的平均反应时都在1000ms左右,而且从被试的估计值来看,估计数量大都在合理估计范围之内,这就说明被试在估计7到25个刺激的范围时能够在大约1000ms的时间内做出比较合理的估计。

对于估计的合理性,有研究指出随着年龄的增加,估计的合理性会逐渐提高,且二年级和三年级的绝对百分比误差要显著小于幼儿园的儿童^[5]。也就是说,成人的估计合理性

会更高,绝对百分比误差相对更小。在本实验中,所有被试在三种任务下的平均绝对百分比误差为18.54%,随着干扰刺激的增加,绝对百分比误差相对提高。但总的来说,成人的绝对百分比误差相对较小。本研究中有个别被试的百分比误差竟达到了51%。进一步分析发现,该被试在有干扰任务情况下出现了高估现象,这就造成了其在整个实验中的百分误差偏高。访谈结果表明该被试完全理解实验要求,他本人也指出没有胡乱猜测,其访谈记录显示他主要是根据图形分布的范围大小和密度进行估计的。在实验中还有几个被试也存在不同程度的高估现象,我们认为可能是被试受图形分布大小和密度的影响较大,因为已有研究指出密度的增加可能会给成人造成数量增加的错觉^[16],而他们在估计时正是产生了这种想法,单纯地认为密度越大数量越多,故出现高估现象。实际上我们实验图形的总面积是不变的,每个图形的面积随数量的增加而减小,这样即使是数量很少的图形也会感觉分布比较密集。这样做的就是为了避免被试产生密度越大数量越多的错觉。

Sielger 和 Opfer (2003)的研究已经指出,在 NP1000 (number-to-position)任务中,六年级儿童和成人所给估计值的中数符合线性函数,而不是对数或指数函数^[5]。在 PN1000 (position-to-number)任务中,对于六年级学生来说,线性函数解释了变异的97%,而成人达到了100%。曾有研究指出,当在估计不熟悉的数量范围时,成人和大一点的儿童都会倾向于使用直觉的、普遍使用的对数表征^[6]。这可能是由于人们对所有的数字类型都不能自动使用数量的线性表征,而是当数字任务复杂或是数量范围把握不好的时候,即使是成人也会优先考虑使用对数表征。而本研究中所使用的任务很明显属于PN任务范畴,也就是个体需要由对物体的图形表征转化为心理数字线表征。因此这就不难理解为什么本实验也发现,在纯靶刺激任务中,成人的估计值更符合线性函数,且线性函数与对数和指数函数存在显著差异。这可能是由于在本实验任务中要估计的数量范围相对较小(7-25),且若没有干扰刺激的影响,任务对成人来说就相对比较简单,所以他们更倾向于使用对数量的线性表征。但随着干扰刺激的数量与靶刺激相同,虽然线性函数值大于对数函数值,但两者在统计学上却没有显著差异($p > 0.05$)。这说明干扰刺激的出现影响了被试对数量的估计,他们开始使用直觉的对数表征,但在这个时候由于难度并不是太大,因此该任务表现出的表征方式仍然是线性表征。当干扰刺激的数量达到靶刺激数量的两倍时,线性函数与对数函数之间就没有显著差异,但对数值略高于线性函数值($R_{Log}^2 = 0.968 > R_{ln}^2 = 0.965$)。即随着任务难度的增加,成人被试会首先考虑对数表征,而且在估计过程中很有可能使用多种表征形式以得出更为合理的估计值。有研究也已证实个体拥有多种数量表征,并且随着年龄和经验的增加,通常会选择更为恰当的表征方式^[5]。本研究的上述结果也为这一理论观点提供了更多证据。

5 参考文献

1. Opfer J E, Sielger P. A case and techniques for estimation. Estimation experiences in elementary school mathematics — essential, not extra! Arithmetic Teacher, 1979, 26 (6): 46—51

- 2 Sowder, J. Estimation and related topics. In: D. A. Grouws. (Ed.). Handbook of research in mathematics teaching and learning. NY: Macmillan, 1992; 371—389
- 3 Newman, R. S. Children's numerical estimation: Flexibility in the use of counting. Journal of Educational Psychology, 1984, 76(1): 55—64
- 4 Dehaene, S. The number sense: How the mind creates mathematics. New York: Oxford University Press, 1997
- 5 Siegler, R. S., & Opfer, J. The development of numerical estimation: Evidence for multiple representations of numerical quantity. Psychological Science, 2003, 14(3): 237—243
- 6 Booth, J. L. & Siegler, R. S. Developmental and Individual Differences in Pure Numerical Estimation. Developmental Psychology, 2006, 41(6): 189—201
- 7 Siegler, A. W., Goldsmith, L. T., & Madson, C. R. Skill in estimation problems of extent and numerosity. Journal for Research in Mathematics Education, 1982, 13(3): 211—232
- 8 蔡方之, 黄淑丽, 颜乃欣. 图形排列方式对数量估计的影响. 见台湾心理学会第43届年会会议论文集, 国立政治大学, 2004; 9
- 9 Allik, J. & Tuulmets, T. The perception of visual numerosity. In: C. D. John. (Ed.). Vision and visual dysfunction. Boca Raton: CRC Press, 1991, 125—142
- 10 Krachun, C. Numerical Competence in Non-Human Primates: A Review of Indicators. Carleton University Cognitive Science Technical Report, 2002
- 11 Fenner, G. H. Children's understanding of number is similar to adults' and rats'. Numerical estimation by 5-, 6-, and 7-year-olds. Cognition, 2001, 78(3): B27—40
- 12 罗跃嘉, 南云, 李红. ERP 研究反映感数与计数的不同脑机制. 心理学报, 2004, 36(4): 434—441
- 13 Siegler, R. S., & Booth, J. L. Development of Numerical Estimation in Young Children. Child Development, 2004, 75(2): 428—444
- 14 Clayton, J. G. Estimation in Schools. Master thesis. London: University of London, Institute of Education, 1992
- 15 Markovits & Hershkowitz, Relative and Absolute Thinking in Visual Estimation Processes. Educational Studies in Mathematics, 1997, 32(1): 29—47
- 16 Durgin, F. H. Texture density adaptation and the perceived numerosity and distribution of texture. Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance, 1995, 21(1): 149—169

The Effect of Different Distractors on Adults' Numerical Estimation

Xu Jihong^{1,2}, Si Jiwei¹

(¹ Department of Psychology, Shandong Normal University, Ji'nan, 250014)

(² Institute of Cognitive Neuroscience and Learning, Beijing Normal University, Beijing, 100875)

Abstract This paper examined how different distractors (target stimulus, distractors as many as targets, and distractors twice as many as targets) influence adults' numerical estimation. 30 graduate students participated in this experiment. The behavioral data and verbal reports showed that 1) The reaction time became longer as the difficulty of numerical estimation tasks increased; 2) The more complex the distractors and tasks became, the higher the error rates and the lower the accuracy in adults' estimation; 3) Adults possessed multiple numerical representations. In numerical estimation tasks, they often relied on linear representations. But as the distractors increased, they tended to rely on logarithmic representations.

Key words: numerical estimation, strategies of estimation, numerical representation

(上接第 209 页)

A Study on the Mental Factors of College Students' BBS-using Behavior

Cui Lijuan, Liu Lin

(Department of Psychology, East China Normal University, Shanghai, 200062)

Abstract The research developed the research model based on theoretical analysis. With a self-edited questionnaire and the participation of 137 college students, the research yielded data to validate the model. The result showed that 1. The intention of using BBS and BBS-using self-efficacy had significant direct effect on the using behavior; 2. BBS-using attitude had significant effects on the intention; 3. Perceived usefulness and positive feeling had significant direct effects on the attitude. Perceived harmfulness had significant negative effects on attitude; 4. Internet self-efficacy had significant direct effects on BBS-using self-efficacy. Internet self-efficacy had no significant direct effect on attitude; 5. Perceived controllability had no direct effect on BBS-using behavior and intention.

Key words: BBS, college student, mental factor