

内源性注意与外源性注意对数字加工的不同影响^{*}刘 超^{1 3} 买晓琴^{2 3} 傅小兰¹(¹中国科学院心理研究所认知心理学研究室, 北京 100101)(²中国科学院心理研究所心理健康重点实验室, 北京 100101) (³中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘 要 分别采用内源性注意和外源性注意实验范式, 材料为小数(1~4)和大数(6~9)的中文与阿拉伯数字, 任务为判断数字是否大于 5 考察在注意与非注意条件下不同大小数字加工的距离效应和符号效应。结果发现: (1)在内源性线索和外源性线索的注意条件下, 大小数都出现了距离效应; 但在非注意条件下, 内源性线索时的大小数都出现了距离效应, 而外源性线索时只有小数出现了距离效应, 大数的距离效应明显减弱或消失。 (2)在内源性线索和外源性线索的注意条件下, 大小数都没有出现符号效应; 但在非注意条件下, 大数没有出现符号效应, 而小数出现了符号效应(阿拉伯数字的绩效比中文数字差), 并且内源性线索时的符号效应强度小于外源性线索。

关键词 注意, 内源性注意, 外源性注意, 数字加工, 数字距离效应, 数字符号效应。

分类号 B842

1 前言

数字在我们的日常生活中发挥着重要的作用, 我们是如何加工数字的? 我们的数字加工能力受哪些因素的影响? 这些问题一直都是心理学研究的热点问题, 而目前最新的一个研究方向就是将空间注意与数字加工研究联系起来。

数字可以分为具体数量与抽象数量, 在具体数量研究中, 注意的作用已经有很多的研究, Trick 和 Pylyshyn 率先考察了注意在感数(subitizing)与计数(counting)加工中的作用, 并从视觉理论出发提出: 感数过程依靠前注意信息, 而计数过程依靠空间注意^[1](参见文献[2])。在抽象数量的研究中, 越来越多的证据也表明注意同样发挥着作用。在脑成像研究中, 许多的研究都发现后上顶叶皮层(posterior superior parietal lobe, PSPL)与数字加工有着密切关系, 在数字比较^[3 4]、数字估计^[5]、两个数相减^[6]、感数^[7]等加工过程中都有相应激活。而这一区域一直以来就被认为是空间注意激活的主要区域^[8~11]。在此基础上, 数字加工领域的权威 Dehaene 于 2003 年提出了一个数字加工脑机制理论, 在这个理论中首次将空间注意与数字加工联系起来, 认为对数字的表征需要空间注意的参与^[12]。然

而, 这一主要基于脑成像研究的理论还处于假设阶段, 缺乏直接的实验证据支持。

在 2003 年 6 月的《Nature Neuroscience》上, Fisher 等人报道了一个实验。在这个实验中, 数字先呈现在视野中央, 随后在视野左右两侧呈现一个无意义方块, 被试的任务是对无意义方块的出现作反应。实验结果表明, 尽管没有要求被试对数字作任何反应, 数字的呈现还是会影响随后被试对两侧视野的空间注意加工。当数字是小数时(1, 2), 被试对左侧视野方块的反应速度加快; 而当数字是大数时(8, 9), 被试对右侧视野方块的反应速度加快^[13]。这一结果说明数字加工会影响空间注意, 直接支持了数字加工与空间注意有内在联系的观点, 将数字加工的研究带入了一个新的发展阶段。

如果对数字的加工过程能直接影响之后的空间注意加工过程, 那么反过来, 直接控制注意条件(例如, 是否被注意到, 有无引起注意的线索等)是否也会对数字的加工本身产生影响, 进而反映在相应的数字加工效应上? 为了研究注意对数字加工的影响, 刘超等人^[2]曾采用无线索的注意研究范式^[14], 发现注意对大数和小数的数字距离效应和数字符号效应都有着不同影响: (1)在注意条件下大小数都出现了距离效应, 而在非注意条件下则只有小数出现

收稿日期: 2004-06-21

^{*} 国家自然科学基金项目(30270466), 中国科技部 973 项目(2002CB312103), 中国科学院心理研究所新重点项目(0302037)。

通讯作者: 傅小兰, E-mail: fuxl@psych.ac.cn 电话: 010-64850862

167

©1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

距离效应;⁽²⁾在注意条件下大小数都没有出现符号效应,而在非注意条件下则只有小数出现符号效应,中文数字绩效显著好于阿拉伯数字。这一结果一方面进一步支持了注意理论^[1],表明注意对抽象数字加工也有重要的影响。同时也从另一个角度进一步为数字加工与空间注意有内在联系的观点提供了强有力的直接证据。

在刘超等人^[3]的研究中,主要采用 Enns和 DiLollo^[4]的研究范式考察了无线索条件下不同注意条件对数字加工的影响。但这个实验范式有其自身的局限性:首先,刺激随机出现在中央和外周注视点,没有很好地区分注意的差异和中央视野与外周视野的差异;其次,实验中某些数字较高的错误率也是一个问题;最后,这个范式无法进一步区分不同类型的注意对数字加工的不同影响。视觉注意可以分为内源性注意(endogenous attention)与外源性注意(exogenous attention)。内源性注意主要指被试对目标出现地点的预期导致了注意的预分布,这种注意朝向是受意图所控制的,内源性线索引导的是自上而下的控制加工;而外源性注意主要指外周线索所引发的注意选择,独立于被试意图控制,主要取决于刺激特性,这种线索引导的是自下而上的自动化加工^[15~18]。显然,这两种注意在产生机制上和对认知加工的影响大小上都有着显著的差别。那么在数字加工中,到底是哪种注意会对数字加工产生更多的影响?是控制加工注意还是自动化加工注意?这是本研究关注的核心问题。

本研究分别采用 Posner经典的内源性注意与外源性注意的研究范式^[15,18],考察在不同的注意范式下注意条件的变化对数字加工效应的影响,进一步探讨不同注意类型对数字加工的影响。与刘超等人^[3]的研究一样,本研究主要以数字距离效应和数字符号效应作为考察对象。下面先对这两个效应作简要说明(更详细的说明参见文献[2])。

如果要求观察者对一个数字与另一个给定的数字之间的大小进行判断,或要求对两个任意数字之间的大小进行判断,通常会发现随着两个数字之间的距离减小,判断的难度会越来越大,这就是所谓的数字距离效应。这种效应不仅已经在一位数字^[19]、两位数字^[20~22]的比较任务研究中得到证实,而且也在线段长度^[13]、点阵数量^[24]、物体大小^[25]等的比较任务研究中被发现。因此,很多研究者都认为,具体数量或数字首先被转化为一种抽象的表征方式再进行比较^[19,26]。

不同的数字符号系统,尤其是以语音为基础的口头文字和以视觉图形为基础的阿拉伯数字,在加工过程中有着很大的区别^[4,27~30]。一般而言,各种口语方式的单词数字符号的绩效都比视觉形式的阿拉伯数字符号的绩效逊色^[4,31],这就是所谓的数字符号效应。这一效应说明对数字可能存在多种不同的表征方式,这些表征方式之间存在质的差异^[32,33]。

2 实验一 内源性线索时不同注意条件下的数字大小比较

2.1 被试

20名视力或矫正视力正常的在校本科大学生,8名男性,来自中国农业大学或中国林业大学。平均年龄 20.15岁。

2.2 材料和仪器

实验在保持日光灯照明的房间内进行,被试坐在距离计算机屏幕 47cm 处,实验材料为计算机屏幕上呈现的黑色圆盘上的白色数字,共 2组 16种(见图 17)。圆盘直径 6mm,距离 47cm 时的视角为 0.7度;白色数字直径 5mm 左右,距离 47cm 时视角 0.6度左右。两个内径 12mm (1.3度视角),外径 15mm (1.6度视角)的黑色圆环在距屏幕中心左右 3度视角处作为刺激出现位置范围。全部实验在奔腾 400兼容机上完成,显示器为飞利浦 17寸彩色显示器,刷新频率 100 Hz,分辨率 600×800 实验程序用 E-PRIME 1.1编制。在整个实验过程中,房间使用日光灯照明,保持日常照度。

2.3 设计

实验采用 2×2×2×4完全组内设计。4个自变量分别是:(1)注意水平:注意(线索与出现位置一致)、非注意(线索与出现位置不一致);(2)数字符号:中文数字与阿拉伯数字;(3)数字大小:小数(1~4)与大数(6~9);(4)数字距离(数字与 5的差值):1(数字 4和 6),2(数字 3和 7),3(数字 2和 8),4(数字 1和 9)。实验因变量为反应错误率和反应时。实验中的控制变量为反应手和刺激呈现位置。

2.4 程序

实验流程如图 1所示:A.首先在白色屏幕正中呈现一个视角为 0.4度的黑色十字注视点 300ms;B.然后是 300~400ms的间隔;C.在屏幕正中注视点处出现一个红色箭头(1.0×0.6度视角)200ms作为方向线索;D.600~700ms有十字的间隔;E.在两侧圆环中的一个(75%与线索提示一致侧,

25%与线索提示不一致侧;比率实验前已告诉被试)里随机呈现 16 个目标刺激中的 1 个刺激 300ms; F. 刺激消失后出现间隔, 等待被试做出反应。刺激目标一出现被试就可做出反应, 在被试反应后空屏 500ms 然后进入下一轮试验。被试被要求在整个实验过程中始终将注视点保持在中心的十字上。被试的任务是判断目标刺激中的数字比“5(五)”大还是小。实验分为两部分, 第一部分被试按“F”键对“比 5(五)大”做反应, 按“J”键对“比 5(五)小”做反应, 第二部分反过来, 两部分的先后顺序进行了组间平衡。

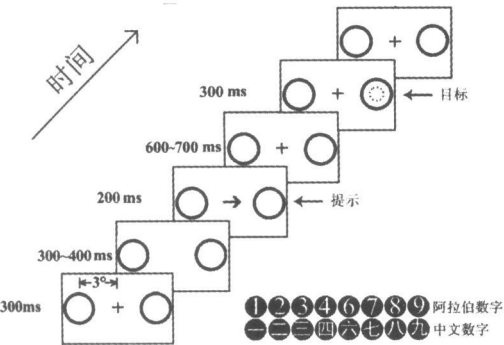


图 1 实验流程图

在正式实验过程中, 每个刺激出现 80 次(两侧各 40 次; 60 次出现在与线索提示一致侧, 20 次出现在与线索提示不一致侧), 16 个刺激共出现 1280 次。被试每完成 128 轮试验, 可以自己控制休息数分钟, 约需 70 分钟完成整个实验。

2.5 结果与讨论

2.5.1 总的反应错误率与反应时 先对数据进行极值剔除, 所有反应时小于 300ms 或大于 1200ms 的数据被删除^[4], 删除数据占全部数据的 1.62%。20 名被试的平均反应错误率和平均反应时数据如图 2 和图 3 所示。

对反应错误率进行 2×2×2×4 重复测量方差分析, 达到显著水平的主效应和交互作用如表 1 所示(参见图 2)。对正确反应的反应时进行 2×2×2×4 重复测量方差分析, 达到显著水平的主效应和交互作用如表 2 所示(参见图 3)。

表 1 各自变量在反应错误率上的主效应及其交互作用

变异来源	df	MS	F
注意	1	1001.81	13.07**
大小	1	426.12	6.56*
距离	3	1579.21	18.82***
大小×距离	3	136.72	3.29*

注: * $p < 0.05$ ** $p < 0.01$ *** $p < 0.001$

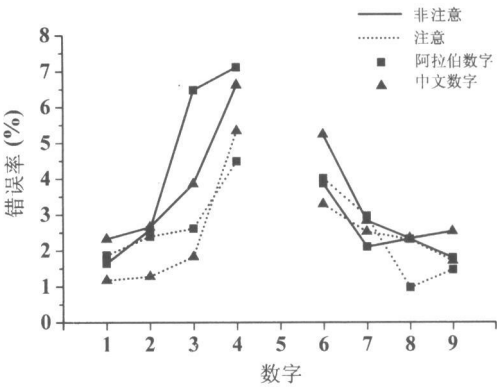


图 2 不同数字材料在不同注意条件下的平均反应错误率

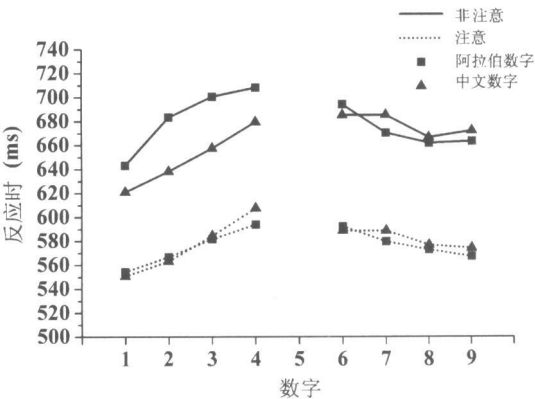


图 3 不同数字材料在不同注意条件下的平均反应时

表 2 各自变量在反应时上的主效应及其交互作用

变异来源	df	MS	F
注意	1	5542643.36	131.40***
符号	1	22611.15	9.58**
距离	3	176636.21	102.26***
注意×符号	1	55092.67	27.62***
符号×大小	1	71288.37	27.61***
大小×距离	3	36030.99	15.76***
注意×符号×大小	1	60135.66	44.78***
注意×大小×距离	3	4355.68	3.83*
符号×大小×距离	3	6908.91	6.26***

注: * $p < 0.05$ ** $p < 0.01$ *** $p < 0.001$

2.5.2 数字距离效应 对数字距离效应的考察参考 Koechlin 等人^[3]的方法, 对不同注意条件下的反应数据进行 2(数字大小)×4(数字距离)ANOVA 分析后, 着重对数字距离的主效应显著性和线性拟合显著性进行考察, 距离主效应显著说明不同距离的数字存在差异, 线性拟合显著说明这种差异是线性变化的。为了更直观地表示出数字距离效应, 我们以数字距离为横坐标, 反应时或错误率为纵坐标作图, 如果出现数字距离效应, 则反应时和错误率随数字距离增加而减少。

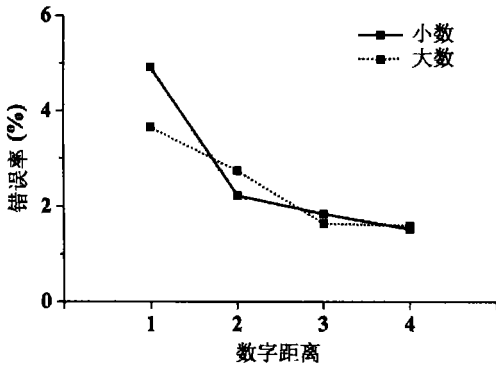


图4 注意条件下的数字距离效应(错误率)

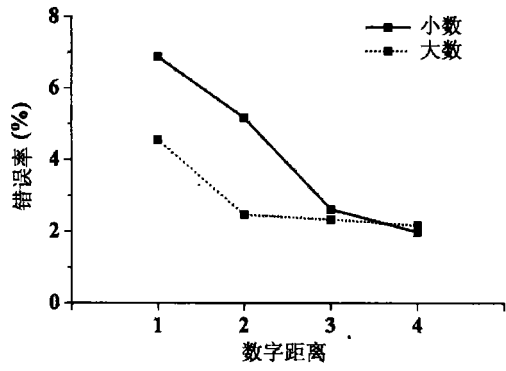


图5 非注意条件下的数字距离效应(错误率)

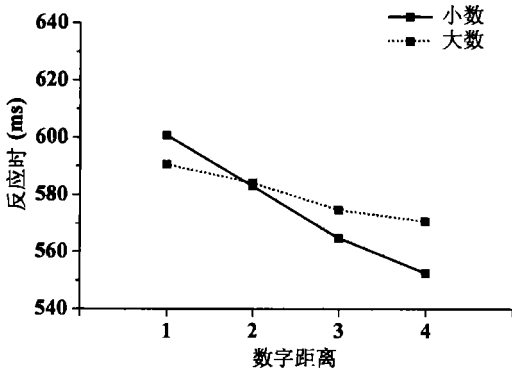


图6 注意条件下的数字距离效应(反应时)

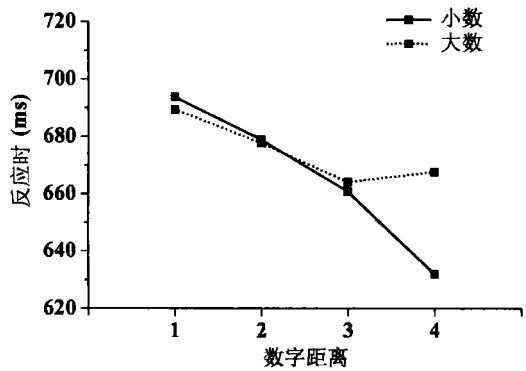


图7 非注意条件下的数字距离效应(反应时)

2.5.2.1 错误率 在注意条件下, 小数距离主效应显著: $F(3, 57) = 12.77, p < 0.001, MSE = 15.16$ 线性拟合主效应显著 $F(1, 19) = 14.47, p < 0.001, MSE = 30.91$ 错误率随数字距离增加而递减(图4)。大数距离主效应显著: $F(3, 57) = 9.26, p < 0.001, MSE = 8.38$ 线性拟合主效应显著 $F(1, 19) = 15.49, p < 0.001, MSE = 13.69$ 错误率随数字距离增加而递减(图4)。

在非注意条件下, 小数距离主效应显著: $F(3, 57) = 9.24, p < 0.001, MSE = 44.78$ 线性拟合主效应显著 $F(1, 19) = 19.58, p < 0.001, MSE = 60.69$ 错误率随数字距离增加而递减(图5)。大数距离主效应显著: $F(3, 57) = 4.24, p < 0.01, MSE = 23.80$ 线性拟合主效应显著 $F(1, 19) = 7.99, p < 0.01, MSE = 26.67$ 错误率随数字距离增加而递减(图5)。

2.5.2.2 反应时 在注意条件下, 小数距离主效应显著: $F(3, 57) = 100.26, p < 0.001, MSE = 353.78$ 线性拟合主效应显著 $F(1, 19) = 199.86, p < 0.001, MSE = 528.73$ 反应时随数字距离增加而递减(图6)。大数距离主效应显著: $F(3, 57) = 11.12, p < 0.001, MSE = 579.81$ 线性拟合主

效应显著 $F(1, 19) = 26.01, p < 0.001, MSE = 728.86$ 反应时随数字距离增加而递减(图6)。

在非注意条件下, 小数距离主效应显著: $F(3, 57) = 74.25, p < 0.001, MSE = 762.75$ 线性拟合主效应显著 $F(1, 19) = 222.05, p < 0.001, MSE = 746.40$ 反应时随数字距离增加而递减(图7)。大数距离主效应显著: $F(3, 57) = 7.09, p < 0.001, MSE = 1459.55$ 线性拟合主效应显著 $F(1, 19) = 11.75, p < 0.01, MSE = 2128.55$ 反应时随数字距离增加而递减(图7)。

实验结果表明: 无论是错误率还是反应时, 无论是在注意条件下还是在非注意条件下, 大数(6~9)与小数(1~4)都出现了非常明显的数字距离效应(图4图5图6图7)。

2.5.3 数字符号效应 对数字符号效应的考察也参考 Koechlin 等人的方法, 对不同注意条件下的反应数据进行 $2(\text{数字大小}) \times 2(\text{数字符号})$ ANOVA 分析后, 着重对数字大小与数字符号的交互作用的显著性进行考察, 交互作用显著说明不同大小和符号的数字存在差异。为了更直观地表示出数字符号效应, 我们以数字大小为横坐标, 反应时或错误率为纵坐标作图, 如果出现数字符号效应, 则不同符号的

数字在大数和小数上的差异是不同的。

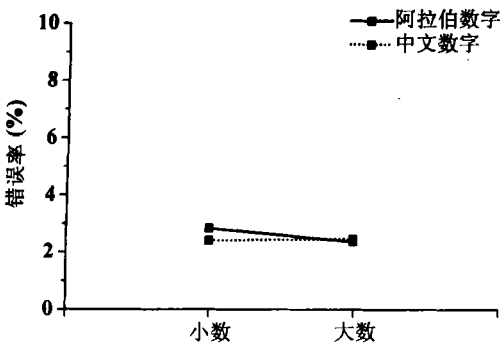


图8 注意条件下的数字符号效应(错误率)

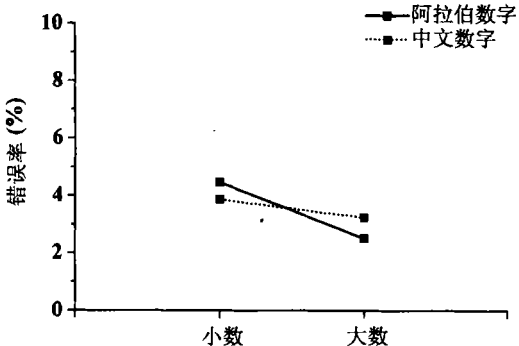


图9 非注意条件下的数字符号效应(错误率)

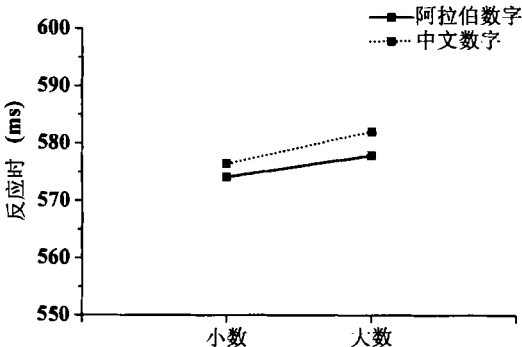


图10 注意条件下的数字符号效应(反应时)

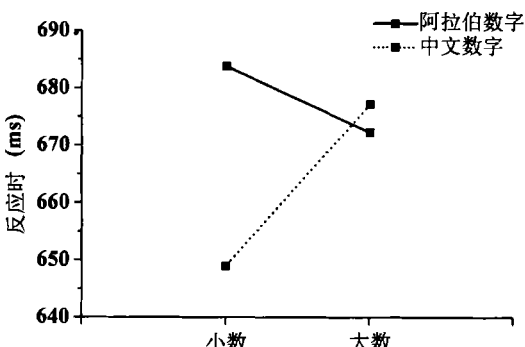


图11 非注意条件下的数字符号效应(反应时)

2.5.3.1 错误率 在注意条件下,符号主效应不显著, $F(1, 19) = 0.43$ $p = 0.51$ $MSE = 9.96$ 大小主效应不显著 $F(1, 19) = 0.64$ $p = 0.43$ $MSE = 11.73$ 大小与符号的交互作用不显著, $F(1, 19) = 1.54$ $p = 0.22$ $MSE = 7.36$ 说明大数和小数的中文和阿拉伯数字没有差异(图8)。

在非注意条件下,符号主效应不显著, $F(1, 19) = 0.01$ $p = 0.91$ $MSE = 51.21$;大小主效应显著 $F(1, 19) = 5.62$ $p < 0.05$ $MSE = 46.67$;大小与符号的交互作用不显著, $F(1, 19) = 2.29$ $p = 0.14$ $MSE = 29.73$ 说明大数和小数的中文和阿拉伯数字没有差异(图9)。

2.5.3.2 反应时 在注意条件下,符号主效应不显著, $F(1, 19) = 2.34$ $p = 0.14$ $MSE = 709.37$ 大小主效应不显著 $F(1, 19) = 2.32$ $p = 0.14$ $MSE = 1532.30$ 大小与符号的交互作用不显著, $F(1, 19) = 0.25$ $p = 0.61$ $MSE = 553.06$ 说明大数和小数的中文和阿拉伯数字没有差异(图10)。

在非注意条件下,符号主效应显著, $F(1, 19) = 23.93$ $p < 0.001$ $MSE = 1492.51$;大小主效应显著 $F(1, 19) = 4.50$ $p < 0.05$ $MSE =$

2499.48 大小与符号的交互作用显著, $F(1, 19) = 50.58$ $p < 0.001$ $MSE = 1246.90$ 进一步分析表明,小数的符号主效应显著, $F(1, 19) = 63.38$ $p < 0.001$ $MSE = 1528.38$ 阿拉伯数字反应时(683.76ms)高于中文数字(648.96ms);大数符号主效应不显著, $F(1, 19) = 1.59$ $p = 0.22$ $MSE = 1211.03$ 阿拉伯数字反应时(672.29ms)与中文数字(677.2ms)没有差异(图11)。

综上所述,无论是错误率还是反应时数据都表明,注意对大数与小数上的数字符号效应有不同影响:在注意条件下,无论大数还是小数,在阿拉伯数字和中文数字上都没有显著差异(图8图9);而在非注意条件下,错误率数据上阿拉伯数字和中文数字仍然没有显著差别,但反应时数据上小数则出现了显著的符号效应,中文在反应时和错误率上都显著低于阿拉伯数字(图10图11)。

3 实验二 外源性线索时不同注意条件下的数字大小比较

3.1 被试

20名视力或矫正视力正常的在校本科大学生,其中9名男性,来自中国农业大学或中国林业大学。

平均年龄 19.70岁。

3.2 材料和仪器

同实验一。

3.3 设计

采用外源性提示控制注意水平 (详见实验程序), 其它同实验一。

3.4 程序

实验流程如图 12所示: A. 首先在白色屏幕正中呈现一个视角为 0.4 度的黑色十字注视点 300ms; B. 然后是 300~400ms 的间隔; C. 屏幕两侧的圆环有一个变红 200ms 作为位置线索; D. 100~150ms 有十字注视点的间隔; E. 在两侧圆环中的一个 (75%与线索提示一致侧, 25%与线索提示不一致侧; 比率实验前已告诉被试) 里随机呈现 16 个目标刺激中的 1 个刺激 300ms; F. 刺激消失后出现间隔, 等待被试做出反应。刺激目标一出现被试就可做出反应, 在被试反应后空屏 500ms, 然后进入下一轮试验。被试被要求在整个实验过程中始终将注视点保持在中心的十字上。被试的任务是判断目标刺激中的数字比“5(五)”大还是小。实验分为两部分, 第一部分被试按“F”键对“比 5(五)大”做反应, 按“J”键对“比 5(五)小”做反应, 第二部分反过来, 两部分的先后顺序进行了组间平衡。

在正式实验过程中, 每个刺激出现 80 次 (两侧各 40 次; 60 次出现在与线索提示一致侧, 20 次出现在与线索提示不一致侧), 16 个刺激共出现 1280 次。被试每完成 128 轮试验, 可以自己控制休息数分钟, 约需 70 分钟完成整个实验。

3.5 结果与讨论

3.5.1 总的反应错误率与反应时 先对数据进行

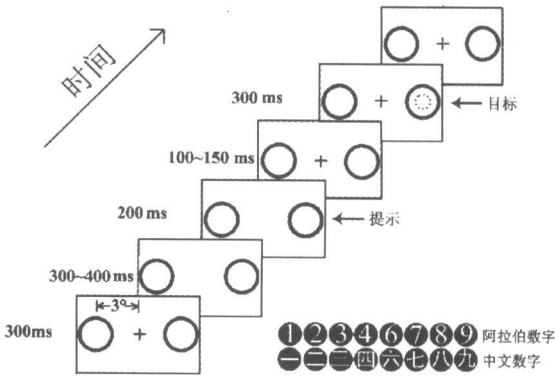


图 12 实验流程图

极值剔除, 所有反应时小于 300ms 或大于 1200ms 的数据被删除^[4], 删除数据占全部数据的 2.67%。20 名被试的平均反应错误率和平均反应时数据如图 13 和图 14 所示。

对反应错误率进行 2×2×2×4 重复测量方差分析, 达到显著水平的主效应和交互作用如表 3 所示 (参见图 13)。对正确反应的反应时进行 2×2×2×4 重复测量方差分析, 达到显著水平的主效应和交互作用如表 4 所示 (参见图 14)。

表 3 各自变量在反应错误率上的主效应及其交互作用

变异来源	df	MS	F
注意	1	4050.15	12.99**
大小	1	1171.32	11.94**
距离	3	2691.78	24.67***
注意 × 符号	1	633.06	9.61**
大小 × 距离	3	1123.64	6.74***
注意 × 符号 × 大小	1	1349.17	7.03*
注意 × 符号 × 距离	3	378.69	2.90*

注: * $p < 0.05$ ** $p < 0.01$ *** $p < 0.001$

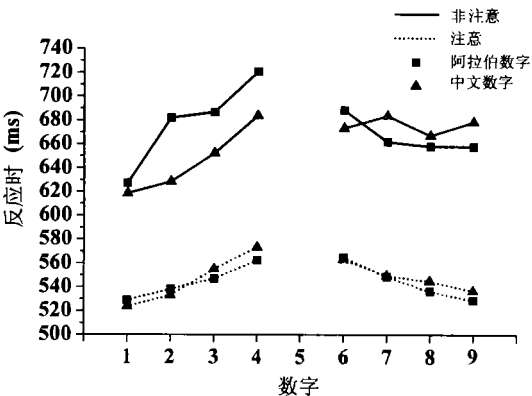
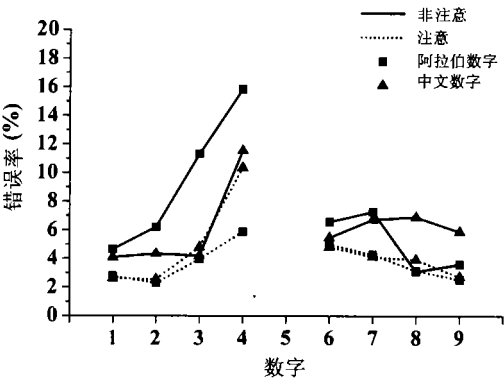


表 4 各自变量在反应时上的主效应及其交互作用

变异来源	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>
注意	1	9045580.62	392.75***
符号	1	22426.71	6.14*
距离	3	193959.63	62.30***
注意 × 符号	1	41038.03	12.02**
符号 × 大小	1	67012.68	20.15***
大小 × 距离	3	39950.23	18.92***
注意 × 符号 × 大小	1	49863.17	23.95***
注意 × 符号 × 距离	3	6544.69	2.87*
注意 × 大小 × 距离	3	23622.83	12.82***
符号 × 大小 × 距离	3	7575.86	3.22*
注意 × 符号 × 大小 × 距离	3	4977.45	3.03*

注: * $p < 0.05$ ** $p < 0.01$ *** $p < 0.001$

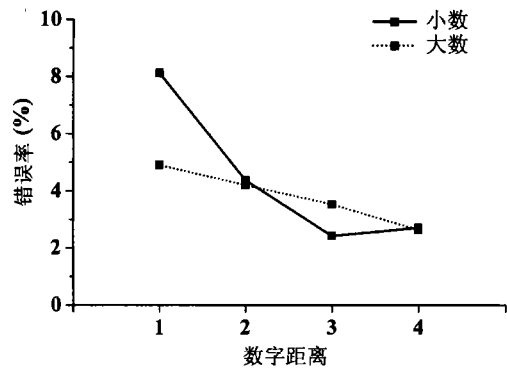


图 15 注意条件下的数字距离效应(错误率)

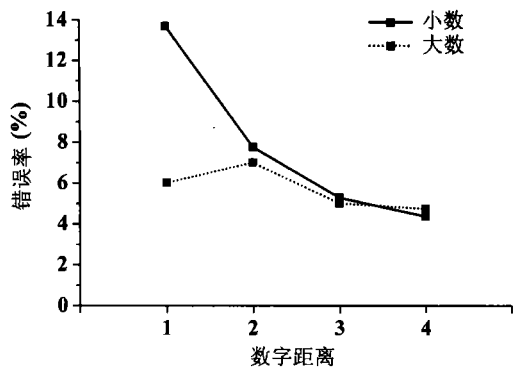


图 16 非注意条件下的数字距离效应(错误率)

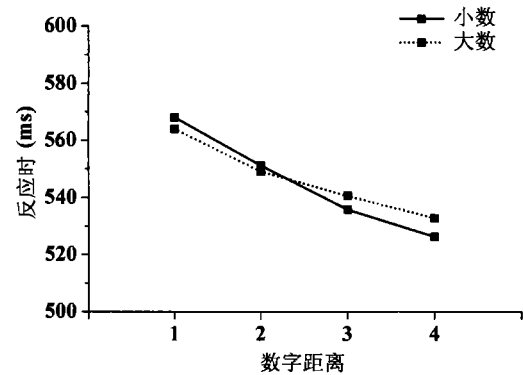


图 17 注意条件下的数字距离效应(反应时)

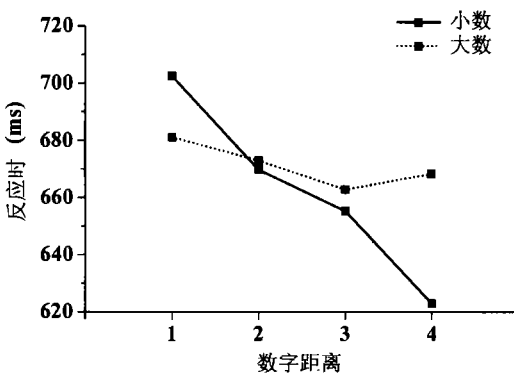


图 18 非注意条件下的数字距离效应(反应时)

在非注意条件下, 小数距离主效应显著: $F(3, 57) = 11.64, p < 0.001, MSE = 106.70$; 线性拟合主效应显著 $F(1, 19) = 13.68, p < 0.001, MSE = 23.43$; 错误率随数字距离增加而递减(图 16)。大数距离主效应不显著: $F(3, 57) = 1.44, p = 0.24, MSE = 53.19$; 线性拟合主效应边缘显著 $F(1, 19) = 3.69, p = 0.07, MSE = 38.29$; 错误率不随数字距离增加而递减(图 16)。

3.5.2.2 反应时 在注意条件下, 小数距离主效应显著: $F(3, 57) = 47.29, p < 0.001, MSE = 567.05$; 线性拟合主效应显著 $F(1, 19) = 68.99$

3.5.2 数字距离效应 对数字距离效应的考察方法同实验一。

3.5.2.1 错误率 在注意条件下, 小数距离主效应显著: $F(3, 57) = 18.64, p < 0.001, MSE = 27.81$; 线性拟合主效应显著 $F(1, 19) = 27.67, p < 0.001, MSE = 46.24$; 错误率随数字距离增加而递减(图 15)。大数距离主效应显著: $F(3, 57) = 5.37, p < 0.01, MSE = 13.08$; 线性拟合主效应显著 $F(1, 19) = 14.79, p < 0.001, MSE = 14.18$; 错误率随数字距离增加而递减(图 15)。

$p < 0.001, MSE = 1149.58$; 反应时随数字距离增加而递减(图 17)。大数距离主效应显著: $F(3, 57) = 19.86, p < 0.001, MSE = 719.23$; 线性拟合主效应显著 $F(1, 19) = 40.50, p < 0.001, MSE = 1029.63$; 反应时随数字距离增加而递减(图 17)。

在非注意条件下, 小数距离主效应显著: $F(3, 57) = 40.94, p < 0.001, MSE = 2128.86$; 线性拟合主效应显著 $F(1, 19) = 83.89, p < 0.001, MSE = 3054.98$; 反应时随数字距离增加而递减(图 18)。大数距离主效应显著: $F(3, 57) = 4.24$

$p < 0.01$, $MSE = 1130.35$ 线性拟合主效应显著 $F(1, 19) = 8.38$ $p < 0.01$, $MSE = 1119.09$ 反应时随数字距离增加而递减(图 18)。然而, 对大数作进一步分析发现, 只有阿拉伯数字距离主效应显著, 并且线性拟合显著, $F(3, 57) = 4.46$ $p < 0.01$, $MSE = 1934.75$, $F(1, 19) = 7.75$ $p < 0.05$, $MSE = 2368.05$ 中文数字距离主效应和线性拟合都不显著 $F(3, 57) = 1.60$ $p = 0.19$, $MSE = 1232.97$, $F(1, 19) = 0.003$ $p = 0.95$, $MSE = 653.21$ 。这说明距离效应在大数上并不明显, 只在

阿拉伯大数上显示出来。

实验结果表明: 无论是错误率还是反应时, 在注意条件下, 大数(6~9)与小数(1~4)都出现了非常明显的数字距离效应(图 15, 图 17); 而在非注意条件下, 只有小数出现了明显的数字距离效应(图 16, 图 18)。大数的距离效应并不明显, 大数中只有阿拉伯数字在反应时数据上仍然表现出距离效应。

3.5.3 数字符号效应 对数字符号效应的考察方法同实验一。

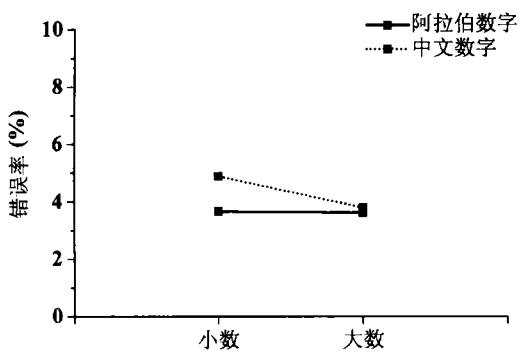


图 19 注意条件下的数字符号效应(错误率)

3.5.3.1 错误率 在注意条件下, 符号主效应显著, $F(1, 19) = 5.70$ $p < 0.05$, $MSE = 13.95$, 大小主效应不显著 $F(1, 19) = 2.44$ $p = 0.13$, $MSE = 20.98$, 大小与符号的交互作用显著, $F(1, 19) = 4.57$ $p < 0.05$, $MSE = 9.68$ 。进一步分析表明, 小数的符号主效应显著, $F(1, 19) = 9.21$ $p < 0.01$, $MSE = 13.16$ 中文数字错误率(3.66%)高于阿拉伯数字(4.89%); 大数符号主效应不显著, $F(1, 19) = 0.24$ $p = 0.62$, $MSE = 10.47$ 阿拉伯数字错误率(3.62%)与中文数字(3.80%)没有差异(图 19)。

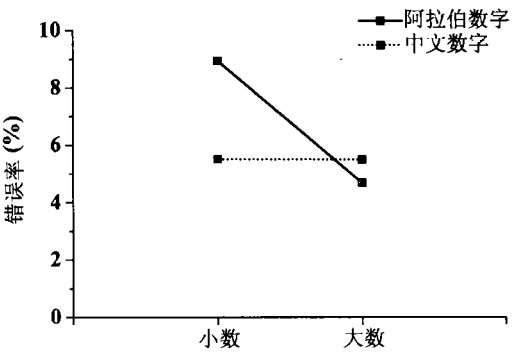


图 20 非注意条件下的数字符号效应(错误率)

在非注意条件下, 符号主效应显著, $F(1, 19) = 7.74$ $p < 0.05$, $MSE = 34.88$, 大小主效应显著 $F(1, 19) = 7.19$ $p < 0.05$, $MSE = 101.40$, 大小与符号的交互作用边缘显著, $F(1, 19) = 4.20$ $p = 0.05$, $MSE = 172.00$ 。进一步分析表明, 小数的符号主效应显著, $F(1, 19) = 6.54$ $p < 0.05$, $MSE = 143.60$ 阿拉伯数字错误率(8.94%)高于中文数字(5.51%); 大数符号主效应不显著, $F(1, 19) = 0.86$ $p = 0.36$, $MSE = 63.28$ 阿拉伯数字错误率(4.68%)与中文数字(5.50%)没有差异(图 20)。

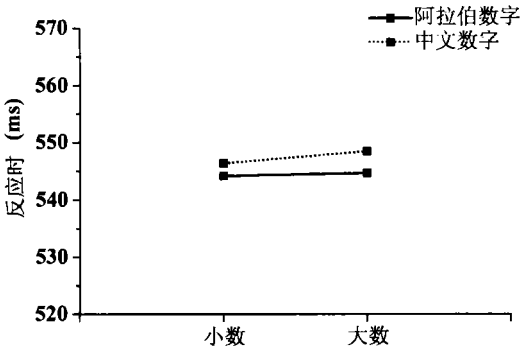


图 21 注意条件下的数字符号效应(反应时)

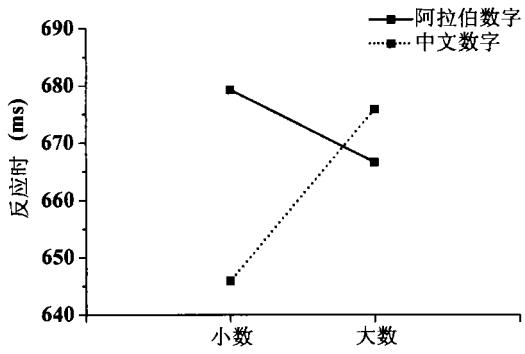


图 22 非注意条件下的数字符号效应(反应时)

3.5.3.2 反应时 在注意条件下, 符号主效应不显著, $F(1, 19) = 1.42, p = 0.24, MSE = 998.83$ 大小主效应不显著 $F(1, 19) = 0.14, p = 0.70, MSE = 1831.47$ 大小与符号的交互作用不显著, $F(1, 19) = 0.16, p = 0.69, MSE = 681.03$ 说明大数和小数的中文和阿拉伯数字没有差异(图 21)。

在非注意条件下, 符号主效应显著, $F(1, 19) = 7.70, p < 0.01, MSE = 3032.12$ 大小主效应边缘显著 $F(1, 19) = 4.19, p = 0.05, MSE = 2862.11$ 大小与符号的交互作用显著, $F(1, 19) = 32.29, p < 0.001, MSE = 2237.04$ 进一步分析表明, 小数的符号主效应显著, $F(1, 19) = 29.86, p < 0.001, MSE = 2975.90$ 阿拉伯数字反应时(679.29ms)高于中文数字(645.70ms); 大数符号主效应不显著, $F(1, 19) = 2.93, p = 0.10, MSE = 2293.26$ 阿拉伯数字反应时(666.70ms)和中文数字(675.87ms)没有差异(图 22)。

综上所述, 无论是错误率还是反应时数据都表明, 注意对大数与小数上的数符号效应应有不同影响: 在注意条件下, 只有错误率数据上小数出现符号效应, 阿拉伯数字错误率小于中文数字(图 19 图 21); 而在非注意条件下, 大数上阿拉伯数字和中文数字仍然没有显著差别, 但小数则出现了显著的符号效应, 中文在反应时和错误率上都显著低于阿拉伯数字(图 20 图 22)。

4 总讨论

4.1 内源性注意与外源性注意对距离效应的影响

从实验结果中我们发现, 内源性注意与外源性注意对数字加工的距离效应有着不同的影响。在内源性线索条件下, 无论是错误率还是反应时, 注意条件与非注意条件下大小数都出现了明显的距离效应(图 4 图 5 图 6 图 7), 说明内源性注意对距离效应几乎没有影响。而在外源性线索条件下, 无论是错误率还是反应时, 注意条件下大数(6~9)与小数(1~4)都出现了非常明显的数字距离效应(图 15 图 17); 而在非注意条件下, 只有小数出现了明显的数字距离效应, 大数的距离效应明显消失或减弱(图 16 图 18)。说明外源性注意对距离效应产生了影响, 并且这种影响主要发生在大数上, 这与刘超等人在从无线索条件下得到的结果非常一致。实验结果表明, 内源性注意对数字距离效应的影响非常小, 注意对数字距离效应的影响主要来自外源性注意。

4.2 内源性注意与外源性注意对符号效应的影响

从实验结果中我们发现, 内源性注意与外源性注意对数字加工的符号效应有着相同的影响趋势, 内源性注意影响稍弱于外源性注意。在内源性线索的注意条件下, 无论大数还是小数, 在阿拉伯数字和中文数字间都没有显著差异(图 8 图 9); 而在非注意条件下, 错误率数据上阿拉伯数字和中文数字仍然没有显著差别, 但反应时数据上小数则出现了显著的符号效应, 中文在反应时和错误率上都显著低于阿拉伯数字(图 10 图 11)。说明内源性注意对符号效应影响较弱, 只体现在反应时数据上。而在外源性线索的注意条件下, 反应时数据没有出现符号效应, 只有错误率数据上小数出现符号效应, 阿拉伯数字错误率小于中文数字(图 19 图 21); 而在非注意条件下, 大数上阿拉伯数字和中文数字仍然没有显著差别, 但小数则出现了显著的符号效应, 中文在反应时和错误率上都显著低于阿拉伯数字(图 20 图 22)。说明外源性注意对符号效应影响较强, 错误率和反应时数据都出现符号效应。这一结果也与刘超等人在从无线索条件下得到的结果比较一致。综上所述, 内源性注意对数符号效应的影响相对较弱, 注意对数符号效应的影响相对更多地来自外源性注意。

内源性注意中的线索主要引导的是自上而下的控制加工; 而外源性注意中的线索主要引导的是自下而上的自动化加工, 从距离效应和符号效应的结果来看, 都是外源性注意比内源性注意产生了更大的影响, 从这个结果中我们可以得出结论, 对数字加工产生影响的注意主要是一种自下而上的自动化加工注意而不是一种控制加工注意。

本研究重复验证了刘超等人研究中得到的实验结果, 弥补了后者研究中的不足。更重要的是本研究进一步分析了不同注意类型对数字加工的影响, 为已有的与注意相关的数字加工理论提供了直接的证据。在今后的研究中, 我们将试图采用抽象数字研究中的其他实验范式和效应来进一步检验和讨论注意在数字加工中的具体影响, 同时, 也考虑采用脑成像的方法具体研究这一影响发生的脑区。

参 考 文 献

1 Trick LM, Pylyshyn ZW. Why Are Small and Large Numbers Enumerated Differently? A Limited Capacity Preattentive Stage in Vision. *Psychological Review*, 1994, 101(1): 80~102

2 Liu C, Fu X L. The influence of attention on the effects of number magnitude in number comparison task. *Acta Psychologica Sinica*

- 2004 36(3): 307 ~ 314
(刘超, 傅小兰. 不同注意条件下的数字加工差异. 心理学报, 2004 36(3): 307~314)
- 3 Pesenti M, Thioux M, Seron X, et al. Neuroanatomical substrates of Arabic number processing: numerical comparison and simple addition: A PET study. *Journal of Cognitive Neuroscience* 2000 12(3): 461 ~ 479
- 4 Pinel P, Dehaene S, Riviere D, et al. Modulation of parietal activation by semantic distance in a number comparison task. *Neuroimage* 2001 14(5): 1013 ~ 1026
- 5 Dehaene S, Dehaene-Lambertz G, Cohen L. Abstract representations of numbers in the animal and human brain. *Trends in Neuroscience* 1998 21(8): 355 ~ 361
- 6 Lemaire P. Is number processing an interesting window on human cognition? *Cahiers De Psychologie Cognitive - Current Psychology of Cognition* 1995 14(6): 738 ~ 741
- 7 Piazza M, Mechelli A, Buttenworth B, et al. Are subitizing and counting implemented as separate or functionally overlapping processes? *Neuroimage* 2002 15(2): 435 ~ 446
- 8 Corbetta M, Kincade JM, Ollinger JM, et al. Voluntary orienting is dissociated from target detection in human posterior parietal cortex. *Nature Neuroscience* 2000 3(3): 292 ~ 297
- 9 Culham JC and Kanwisher NG. Neuroimaging of cognitive functions in human parietal cortex. *Current Opinion in Neurobiology* 2001 11(2): 157 ~ 163
- 10 Simon O, Mangin JF, Cohen L, et al. Topographical layout of hand-eye calculation and language related areas in the human parietal lobe. *Neuron* 2002 33(3): 475 ~ 487
- 11 Wojciulik E, Kanwisher N. The generality of parietal involvement in visual attention. *Neuron* 1999 23(4): 747 ~ 764
- 12 Dehaene S, Piazza M, Pinel P, et al. Three parietal circuits for number processing. *Cognitive Neuropsychology* 2003 20(3~6): 487 ~ 506
- 13 Fischer MH, Castel AD, Dodd MD, et al. Perceiving numbers causes spatial shifts of attention. *Nature Neuroscience* 2003 6(6): 555 ~ 556
- 14 Ems JT, DiLollo V. Object substitution: A new form of masking in unattended visual locations. *Psychological Science* 1997 8(2): 135 ~ 139
- 15 Theeuwes J. Exogenous and Endogenous Control of Attention: the Effect of Visual Onsets and Offsets. *Perception & Psychophysics* 1991 49(1): 83 ~ 90
- 16 Spence CJ, Driver J. Covert Spatial Orienting in Audition: Exogenous and Endogenous Mechanisms. *Journal of Experimental Psychology - Human Perception and Performance* 1994 20(3): 555 ~ 574
- 17 Rosen AC, Rao SM, Caffara B, et al. Neural basis of endogenous and exogenous spatial orienting: A functional MRI study. *Journal of Cognitive Neuroscience* 1999 11(2): 135 ~ 152
- 18 Posner MI. Orienting of Attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 1980 32(FEB): 3 ~ 25
- 19 Moyer RS, Landauer TK. Time Required for Judgements of Numerical Inequality. *Nature* 1967 215(5109): 1519
- 20 Dehaene S. The Psychophysics of Numerical Comparison: A Reexamination of Apparently Incompatible Data. *Perception & Psychophysics* 1989 45(6): 557 ~ 566
- 21 Dehaene S, Dupoux E, Mehler J. Is Numerical Comparison Digital? Analogical and Symbolic Effects in 2-Digit Number Comparison. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 1990 16(3): 626 ~ 641
- 22 Link S. Modeling Inageless Thought the Relative Judgment Theory of Numerical Comparisons. *J. Math. Psychol.* 1990 34(1): 2 ~ 41
- 23 Johnson DM. Confidence and speed in the two category judgment. *Archives of Psychology* 1939 241: 1 ~ 52
- 24 Buckley PB, Gillman CB. Comparisons of Digits and Dot Patterns. 1974 103(6): 1131 ~ 1136
- 25 Moyer RS. Comparing Objects in Memory: Evidence Suggesting an Internal Psychophysics. *Percept Psychophys.* 1973 13(2): 180 ~ 184
- 26 Gallistel CR, Gelman R. Preverbal and Verbal Counting and Computation. *Cognition* 1992 44(1~2): 43 ~ 74
- 27 Jonides J, Glaitman H. Conceptual Category Effect in Visual Search: As Letter or as Digit. *Perception & Psychophysics* 1972 12(6): 457 ~ 460
- 28 Allison T, McCarthy G, Nobre A, et al. Human Extrastriate Visual Cortex and the Perception of Faces, Words, Numbers, and Colors. *Cerebral Cortex* 1994 4(5): 544 ~ 554
- 29 Cohen L, Dehaene S. Number processing in pure alexia: The effect of hemispheric asymmetries and task demands. *Neurocase* 1995 1(2): 121 ~ 137
- 30 Buttenworth B, Grana A, Piazza M, et al. Language and the origins of number skills: Karyotypic differences in Turner's syndrome. *Brain Language* 1999 69(3): 486 ~ 488
- 31 Koechlin E, Naccache L, Block E, et al. Primed numbers: Exploring the modularity of numerical representation with masked and unmasked semantic priming. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 1999 25(6): 1882 ~ 1905
- 32 Dehaene S, Mehler J. Cross Linguistic Regularities in the Frequency of Number Words. *Cognition* 1992 43(1): 1 ~ 29
- 33 Yan Y, Luo YJ. Cognitive Neuroscience Research Status Quo of Number Processing. *Advances in Psychological Science* 2003 11(3): 289 ~ 295
(南云, 罗跃嘉, 数字加工的认知神经基础. 心理科学进展, 2003 11(3): 289 ~ 295)

THE INFLUENCE OF ENDOGENOUS AND EXOGENOUS
ATTENTION ON NUMBER PROCESSING

Liu Chao^{1, 2}, Mai Xiaoqin^{1, 2}, Fu Xiaolan¹

(¹ *Institute of Psychology, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China*)

(² *Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China*)

Abstract

In the present study, two different experimental paradigms (with the endogenous cue and with the exogenous cue) were used to investigate the distance effect and the notation effect of numbers processing in attended and unattended condition. The stimuli were small numbers (1 ~4) and large numbers (6 ~9) in Chinese and Arabic. Subjects' task was to decide whether the presented number was larger or smaller than 5. The results showed that 1) the distance effect of both of small numbers and large numbers was not affected by the endogenous attention, but the distance effect of large numbers weakened or disappeared in unattended condition with exogenous cue; 2) the notation effect of small numbers appeared in unattended condition with both endogenous cue and exogenous cue, the subjects' performance on Arabic numbers was not as good as that of Chinese numbers. Moreover, the influence of exogenous cue was larger than that of endogenous cue.

Key words attention, endogenous attention, exogenous attention, number processing, number distance effect, number notation effect.