

不同注意条件下的空间—数字反应编码联合效应*

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 考察在无线索、内源性线索与外源性线索时不同符号数字在注意与非注意条件下的空间—数字的反应编码联合效应(Spatial Numerical Association of Response Codes,简称 SNARC 效应)。采用 1 到 9 的中文与阿拉伯数字为材料,以判断数字奇偶为任务。实验结果表明:(1)无线索时注意条件下阿拉伯和中文数字都出现了 SNARC 效应,而非注意条件下则都没有出现,并且受影响的主要是较大的数字(8、9);(2)外源性线索和内源性线索时,我们得到一个逐渐递减的 SNARC 效应,受影响的也主要是较大的数字(8、9)。在内源性线索的注意条件阿拉伯和中文数都有 SNARC 效应,而在非注意条件只有阿拉伯数字有 SNARC 效应;在外源性线索的注意条件只有阿拉伯数字有 SNARC 效应,而在非注意条件阿拉伯和中文都没有 SNARC 效应,说明外源性注意的影响比内源性注意更大,中文数字所受的影响比阿拉伯数字更大。

关键词 注意,内源性注意,外源性注意,数字加工,数字 SNARC 效应。

分类号 B842

1 前言

对人类数字能力的研究一直是心理学研究中的热点问题,在以往的研究中,人们已经发现许多数字加工中特有的效应,SNARC 效应就是其中非常重要的一种。

Dehaene 等^[1]首先揭示了数字大小与两侧手反应速度的关系,并且把这种效应命名为空间—数字的反应编码联合(Spatial Numerical Association of Response Codes,简称 SNARC 效应)。在实验中,让被试按键对奇数和偶数加以区分,结果发现无论是奇数还是偶数,较小的数字总是左手反应得比右手快,而较大的数字却相反,右手反应得比左手快。Dehaene 认为这一效应源于人们对数字的表征是在一条从左至右表征的数字线上进行的,因此出现了左手反应与小数字和右手反应与大数字之间的刺激—反应相容性对应关系^[1]。

SNARC 效应被发现后,立即引起了广大研究者的浓厚兴趣,许多针对该效应的研究相继展开。

Bachtold 发现 SNARC 效应只在线性表征的数字上出现,在用钟表盘来表征的数字上就没有发现 SNARC 效应^[2]。Berch 发现在小学三年级儿童同样表现出 SNARC 效应^[3]。Fias 发现 SNARC 效应在阿拉伯数字上的强度大于英文数字,而且用听觉呈现的数字没有发现 SNARC 效应^[4]。这些研究虽然从不同角度发现了 SNARC 的许多特性,如线性表征,视觉表征等,但到底 SNARC 效应是如何形成的尚未得到明确的理论解释。最新的研究则发现,SNARC 效应与常见的一些空间效应(如 SIMON 效应)有着内在的差别,因此并不是简单的数字线上大小数的空间方位与左右手的对应关系所造成^[5]。SNARC 的成因已成为数字加工研究中的热点问题。

在 2003 年 6 月的《Nature Neuroscience》上, Fisher 等人^[6]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

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)和中国科学院心理研究所创新重点项目(0302037)。

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

作任何反应,数字的呈现还是会影响到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更快;而当数字是大数时(8,9),被试对右侧视野方块的反应速度更快^[6]。

小数加强左侧注意而大数加强右侧注意,这一发现与 SNARC 效应(小数左手反应快而大数右手反应快)之间存在的惊人相似性,促使我们思考 SNARC 效应与空间注意之间的关系。已经有一些研究表明,注意与数字加工之间存在内在联系。在脑成像研究中,许多的研究都发现后上顶叶皮层(posterior superior parietal lobule, PSPL)与数字加工有着密切关系,在数字比较^[7,8]、数字估计^[9]、两个数相减^[10]、感数^[11]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^[12~15]。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^[16]。而刘超等人^[17]曾采用无线索的注意研究范式^[18],发现注意对数字加工的另外两个重要效应(数字距离效应和数字符号效应)都有着不同影响。

SNARC 效应与空间注意之间究竟有什么样的联系?研究并解决这个问题不仅对揭示 SNARC 效应这个数字加工中的基本效应的成因有着重要意义,而且有助于理解注意对数字加工的影响机制,也将进一步拓展数字加工和注意的研究领域。本研究旨在考察 SNARC 效应与空间注意之间的联系,并提出以下假设:如果 SNARC 效应的成因确实与空间注意有关,那么直接控制注意条件(例如,是否被注意到,有无引起注意的线索等)必然会对 SNARC 效应产生显著影响。

2 实验一:无线索时不同注意条件下的数字奇偶判断

无线索时的视觉注意研究范式较少,我们选用了 Enns 和 DiLollo 的注意研究范式^[18]。在这个范式中,刺激随机在中央视野,外周偏左或偏右三个位置出现(比例分别为 50%,25%,25%)。由于刺激在三个位置上随机出现带来的不确定性,被试必须将注意资源分配到三个位置上,而中央位置(注视点)由于指导语要求和更多的呈现比率(50%)而得到更多的注意资源,为注意条件;两侧的位置(非注视点)相对中央位置得到较少的注意资源,为非注意

条件。

2.1 被试

20 名视力或矫正视力正常的在校本科大学生,男女各半,来自中国农业大学或中国林业大学。平均年龄 19.45 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 1)。圆盘直径 6mm,距离 47cm 时的视角为 0.7°;白色数字直径 5mm 左右,距离 47cm 时视角 0.6°左右。全部实验在奔腾 400 兼容机上完成,显示器为飞利浦 17 英寸彩色显示器,刷新频率 100 Hz,分辨率 600×800,屏幕为纯白色,亮度值 100,对比度值 50(均为显示器参数),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(注视点,即 0°视角位置)与非注意(注视点左或右 3°视角位置);(2)数字符号:中文数字与阿拉伯数字;(3)数字大小:1(1 和 2),2(3 和 4),3(6 和 7),4(8 和 9);(4)反应手:左手(按 F 键)、右手(按 J 键)。实验因变量为反应时。实验中的控制变量为数字奇偶性与左右反应手的对应关系。

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°的红色十字注视点 300ms; B. 然后是 300ms 的空屏; C. 随机在屏幕正中注视点、注视点偏左 3°视角处和注视点偏右 3°视角处这三个位置中的某一处随机呈现 16 个目标刺激中的 1 个刺激 30ms; D. 刺激消失后出现空屏,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。被试要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是奇数还是偶数。实验分为两部分,第一部分被试按“F”键对奇数做反应,按“J”键对偶数做反应,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,每个刺激各出现 120 次(左、中、右三个位置分别出现 30、60、30 次),16 个刺激共出现 1920 次。被试每完成 168 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。

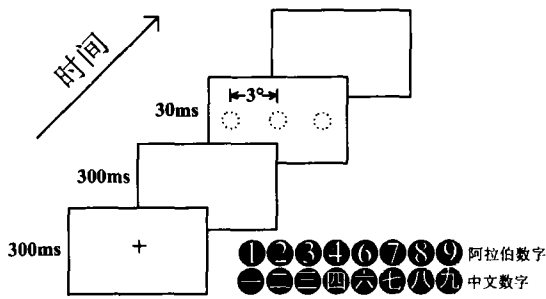


图 1 实验流程图

2.5 结果

2.5.1 总的反应错误率与反应时 首先剔除极值, 所有反应时小于 300ms 或大于 1200ms 的数据被删除^[8], 删除数据占全部数据的 4.00%。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 1 所示(参见图 3)。

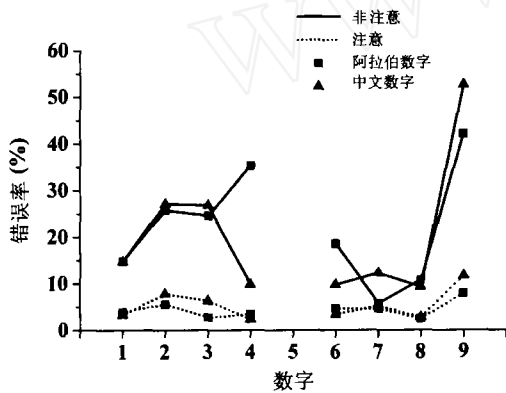


图 2 不同数字材料在不同注意条件下的平均反应错误率

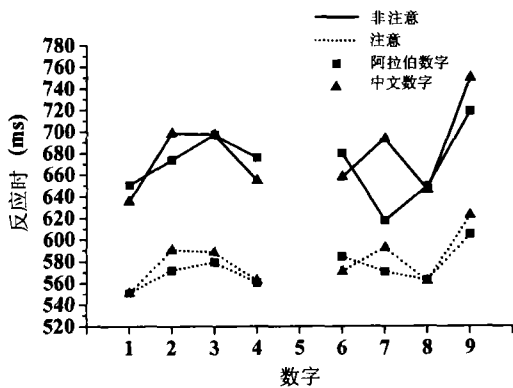


图 3 不同数字材料在不同注意条件下的平均反应时

表 1 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
反应手	1	116319.99	15.30**
注意	1	2713763.21	274.74***
符号	1	23839.87	16.17***
大小	3	34662.02	12.05***
反应手 × 大小	3	7609.40	5.23**
注意 × 大小	3	8408.77	6.41***
符号 × 大小	3	5208.98	3.85*
注意 × 符号 × 大小	3	5598.64	7.41***

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

2.5.2 数字 SNARC 效应 SNARC 效应的考察采用 Dehaene 等人^[1]的方法, 对不同注意条件下的不同符号数字的反应数据进行 4(数字大小)×2(反应手)ANOVA 分析后, 对数字大小与反应手的交互作用显著性与线性拟合显著性进行考察, 交互作用显著说明大数和小数在左右手反应时有差异, 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 SNARC 效应, 我们以数字大小为横坐标, 右手减去左手的反应时之差为纵坐标作图。如果出现 SNARC 效应, 即对于小数来说左手的反应更快, 左手反应时小, 右手反应时大, 那么右手减去左手的反应时之差接近零或为较大的正数; 而对于大数来说右手的反应更快, 右手反应时小, 左手反应时大, 那么右手减去左手的反应时之差为较大的负数^[1]。

在注意条件下, 阿拉伯数字的数字大小与反应手的交互作用显著, $F(3, 57) = 8.02, p < 0.001, MSE = 536.49$; 数字大小与反应手的线性拟合交互作用也显著, $F(1, 19) = 11.09, p < 0.01, MSE = 882.02$ 。中文数字的数字大小与反应手的交互作用显著, $F(3, 57) = 3.88, p < 0.05, MSE = 787.15$; 同时数字大小与反应手的线性拟合交互作用也显著, $F(1, 19) = 8.52, p < 0.01, MSE = 1017.39$ 。说明中文和阿拉伯数字在注意条件下都表现出非常明显的 SNARC 效应(图 4)。

而在非注意条件下, 阿拉伯数字的数字大小与反应手的交互作用不显著, $F(3, 54) = 0.96, p = 0.41, MSE = 1342.36$; 数字大小与反应手的线性拟合交互作用也不显著 $F(1, 18) = 0.71, p = 0.41, MSE = 1412.90$ 。中文数字的数字大小与反应手的交互作用不显著, $F(3, 57) = 1.26, p = 0.29, MSE = 1371.85$; 数字大小与反应手的线性拟合交互作用也不显著, $F(1, 19) = 2.20, p =$

0.15, $MSE = 1937.74$ 。这说明中文和阿拉伯数字在非注意条件下都没有表现出明显的 SNARC 效应(图 5)。

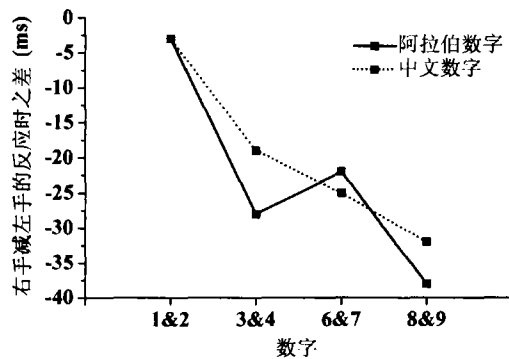


图 4 注意条件下的数字 SNARC 效应

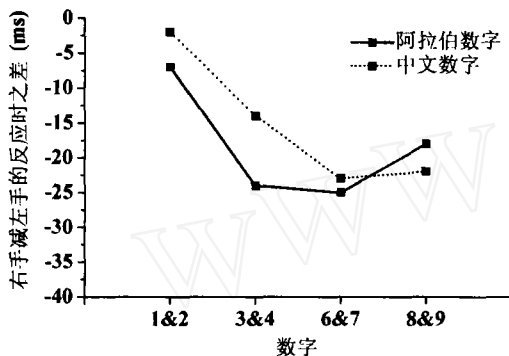


图 5 非注意条件下的数字 SNARC 效应

如图 5 所示, SNARC 效应在非注意条件下的减弱主要表现在大数字 8 和 9 上。在注意条件下, 8 和 9 的右手减去左手的反应时之差的绝对值远大于 6 和 7 的差值, 具体而言, 对中文数字: 六与七差 25ms, 八与九差 32ms; 对阿拉伯数字: 6 与 7 差 22ms, 8 与 9 差 38ms。而在非注意条件下, 8 和 9 的右手减去左手的反应时之差的绝对值则小于或等于 6 和 7 的差值, 具体而言, 对中文数字: 六与七差 23ms, 八与九差 22ms; 对阿拉伯数字: 6 与 7 差 25ms, 8 与 9 差 18ms。

2.6 小结

实验结果表明, 注意水平对 SNARC 效应有显著影响: 在注意条件下, 中文数字和阿拉伯数字都出现了非常明显的 SNARC 效应(图 4); 而在非注意条件下, 阿拉伯数字和中文数字的 SNARC 效应都没有达到显著水平, 而且对 SNARC 效应产生的影响主要表现在大数 8 和 9 上(图 5)。

在本实验中, 我们主要采用 Enns 和 DiLollo 的研究范式考察了无线索条件下不同注意水平对数字

加工的影响^[18], 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与否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), 这两种注意在产生机制上和影响大小上都有着显著的差别。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^[19~22]。在本研究中, 到底是哪种注意会对数字 SNARC 效应产生更多的影响? 对这个问题的回答有助于我们更好地理解注意在数字 SNARC 效应中的作用机制。因此, 我们在下面两个实验中采用 Posner 经典的内源性注意与外源性注意的研究范式^[19,22], 进一步考察在不同类型的注意范式下注意水平的变化对数字加工效应的影响。

3 实验二: 内源性线索时不同注意条件下的数字奇偶判断

3.1 被试

20 名视力或矫正视力正常的在校本科大学生, 13 名男性, 来自中国农业大学或中国林业大学。平均年龄 20.16 岁。

3.2 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 6)。圆盘直径 6mm, 距离 47cm 时的视角为 0.7°; 白色数字直径 5mm 左右, 距离 47cm 时视角 0.6°左右。两个内径 12mm(1.3°视角), 外径 15mm(1.6°视角)的黑色圆环在距屏幕中心左右 3°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 英寸彩色显示器, 刷新频率 100 Hz, 分辨率 600×800, 屏幕为纯白色, 亮度值 100, 对比度值 50(均为显示器参数), 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。

3.3 设计

实验采用 $2 \times 2 \times 2 \times 4$ 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:1(1和2),2(3和4),3(6和7),4(8和9);(4)反应手:左手(按F键)、右手(按J键)。实验因变量为反应时。实验中的控制变量为数字奇偶性与左右反应手的对应关系,以及数字呈现位置。

3.4 程序

实验流程如图6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作为方向线索提示;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是奇数还是偶数。实验分为两部分,第一部分被试按“F”键对奇数做反应,按“J”键对偶数做反应,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。

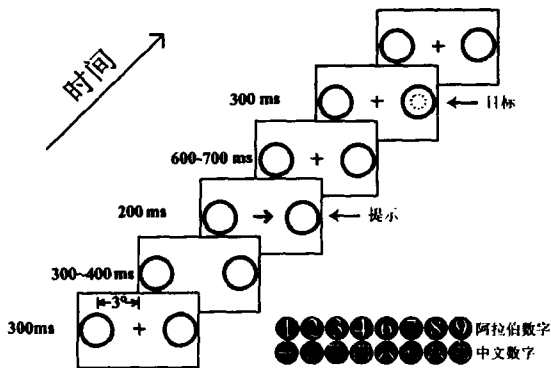


图6 实验流程图

3.5 结果

3.5.1 总的反应错误率与反应时

首先剔除极值,所有反应时小于300ms或大于1200ms的数据被删除^[8],删除数据占全部数据的1.34%。20名被试的平均反应错误率和平均反应时数据如图7和图8所示。

对正确反应的反应时进行 $2 \times 2 \times 2 \times 4$ 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8)。

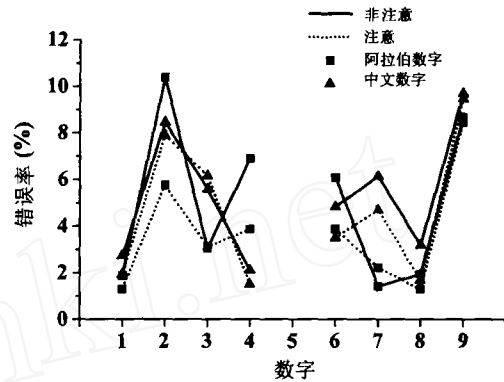


图7 不同数字材料在不同注意条件下的平均反应错误率

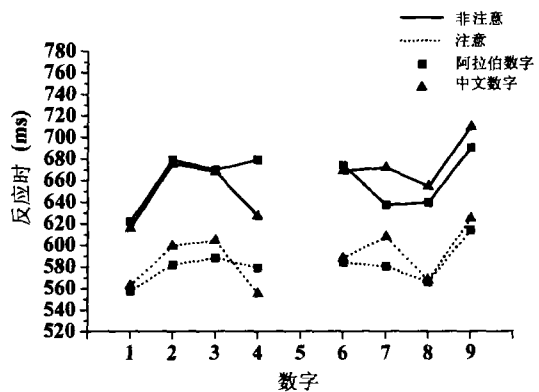


图8 不同数字材料在不同注意条件下的平均反应时

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
反应手	1	81971.41	7.17*
注意	1	3757439.44	105.57***
大小	3	52997.18	22.12***
反应手 × 大小	3	17739.41	9.62***
符号 × 大小	3	28942.69	18.28***
注意 × 符号 × 大小	3	9143.50	6.21**

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

3.5.2 数字 SNARC 效应

对数字 SNARC 效应的考察同实验一。

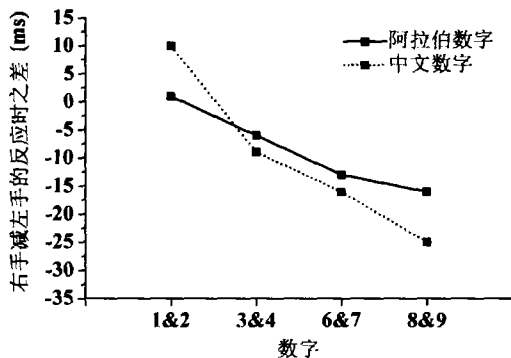


图9 注意条件下的数字 SNARC 效应

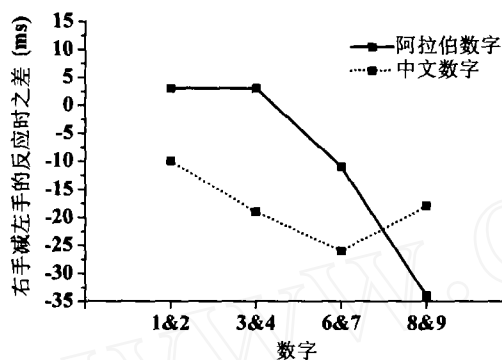


图10 非注意条件下的数字 SNARC 效应

在注意条件下,阿拉伯数字的数字大小与反应手的交互作用边缘显著, $F(3, 57) = 2.36, p = 0.08, MSE = 472.16$; 数字大小与反应手的线性拟合交互作用也显著, $F(1, 19) = 4.86, p < 0.05, MSE = 666.59$ 。中文数字的数字大小与反应手的交互作用显著, $F(3, 57) = 14.30, p < 0.001, MSE = 301.64$; 数字大小与反应手的线性拟合交互作用也显著 $F(1, 19) = 32.94, p < 0.001, MSE = 369.87$ 。说明中文和阿拉伯数字在注意条件下都表现出了非常明显的 SNARC 效应(图 9)。

而在非注意条件下,阿拉伯数字的数字大小与反应手的交互作用显著, $F(3, 57) = 5.64, p < 0.01, MSE = 1126.47$; 数字大小与反应手的线性拟合交互作用也显著 $F(1, 19) = 12.73, p < 0.01, MSE = 1293.67$ 。中文数字的数字大小与反应手的交互作用不显著, $F(3, 57) = 0.51, p = 0.67, MSE = 1678.60$; 数字大小与反应手的线性拟合交互作用也不显著 $F(1, 19) = 0.95, p = 0.34, MSE = 978.55$ 。说明只有阿拉伯数字在非注意条件下表现出了明显的 SNARC 效应,中文数字则没有 SNARC 效应(图 10)。

如图 10 所示,中文数字 SNARC 效应在非注意条件下的减弱主要表现在大数字八和九上。在注意条件下,八和九的右手减去左手的反应时之差的绝对值远大于六和七的差值:六与七差 16ms,八与九差 25ms;而在非注意条件下,八和九的右手减去左手的反应时之差的绝对值则小于六和七的差值:六与七差 26ms,八与九差 18ms。

3.6 小结

实验二的结果表明,注意水平对 SNARC 效应有显著影响:在注意条件下,中文数字和阿拉伯数字都出现了非常明显的 SNARC 效应(图 9);而在非注意条件下,只有阿拉伯数字 SNARC 效应达到显著,中文则没有,而且对中文 SNARC 效应产生的影响主要表现在大数八和九上(图 10)。

4 实验三:外源性线索时不同注意条件下的数字奇偶判断

4.1 被试

20 名视力或矫正视力正常的在校本科大学生,9 名男性,来自中国农业大学或中国林业大学。平均年龄 20.68 岁。

4.2 材料和仪器

同实验二。

4.3 设计

采用外源性提示控制注意水平(详见实验程序),其它同实验二。

4.4 程序

实验流程如图 11 所示:A. 首先在白色屏幕正中呈现一个视角为 0.4° 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 作为位置线索提示; 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是奇数还是偶数。实验分为两部分,第一部分被试按“F”键对奇数做反应,按“J”键对偶数做反应,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。

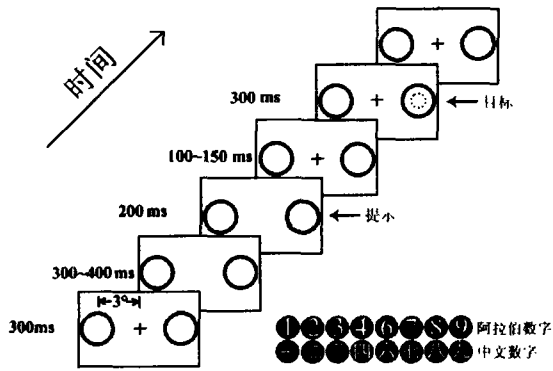


图11 实验流程图

4.5 结果

4.5.1 总的反应错误率与反应时 首先剔除极值,所有反应时小于300ms或大于1200ms的数据被删除^[8],删除数据占全部数据的2.15%。20名被试的平均反应错误率和平均反应时数据如图12和图13所示。

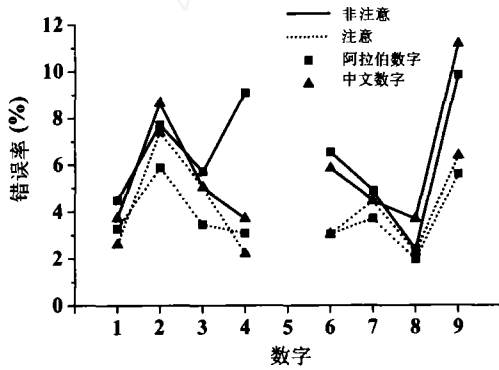


图12 不同数字材料在不同注意条件下的平均反应错误率

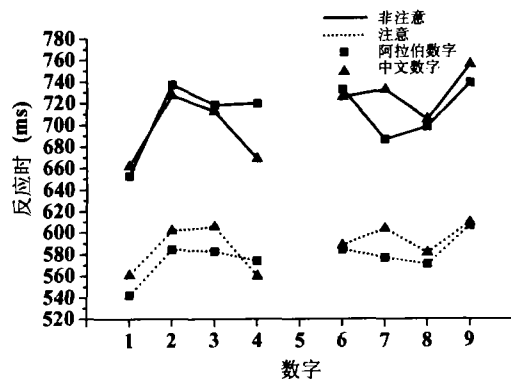


图13 不同数字材料在不同注意条件下的平均反应时

对正确反应的反应时进行 $2 \times 2 \times 2 \times 4$ 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)。

表3 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
反应手	1	126828.58	6.33*
注意	1	9749696.60	188.36***
符号	1	28477.55	13.75**
大小	3	65761.58	11.01***
注意 × 符号	1	12404.48	4.85*
符号 × 大小	3	23928.78	10.18***
注意 × 符号 × 大小	3	13386.06	5.78**

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

4.5.2 数字 SNARC 效应 对数字 SNARC 效应的考察方法同实验一。

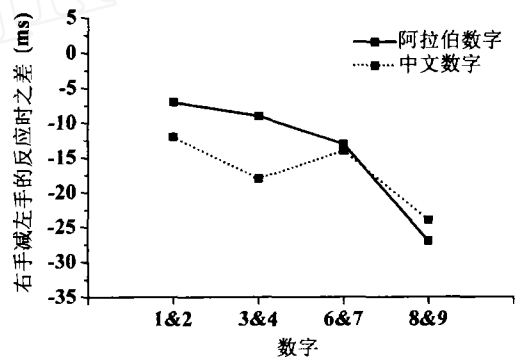


图14 注意条件下的数字 SNARC 效应

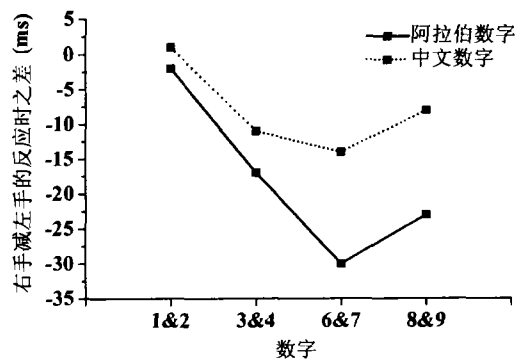


图15 非注意条件下的数字 SNARC 效应

在注意条件下,阿拉伯数字的数字大小与反应手的交互作用显著, $F(3, 57) = 2.84, p < 0.05$, $MSE = 532.31$;数字大小与反应手的线性拟合交互作用也显著 $F(1, 19) = 4.78, p < 0.05, MSE = 790.74$ 。中文数字的数字大小与反应手的交互作用

不显著, $F(3, 57) = 0.86$, $p = 0.46$, $MSE = 737.99$; 数字大小与反应手的线性拟合交互作用也不显著 $F(1, 19) = 0.97$, $p = 0.33$, $MSE = 1134.20$ 。说明只有阿拉伯数字在注意条件下表现出了非常明显的 SNARC 效应, 而中文则没有(图 14)。

而在非注意条件下, 阿拉伯数字的数字大小与反应手的交互作用不显著, $F(3, 57) = 1.95$, $p = 0.13$, $MSE = 1391.19$; 数字大小与反应手的线性拟合交互作用也不显著 $F(1, 19) = 2.41$, $p = 0.14$, $MSE = 2254.21$ 。中文数字的数字大小与反应手的交互作用不显著, $F(3, 57) = 0.48$, $p = 0.69$, $MSE = 1721.65$; 数字大小与反应手的线性拟合交互作用也不显著 $F(1, 19) = 0.31$, $p = 0.57$, $MSE = 2178.68$ 。说明中文和阿拉伯数字在非注意条件下都没有表现出明显的 SNARC 效应(图 15)。

如图 15 所示, SNARC 效应在非注意条件下的减弱主要表现在大数字 8 和 9 上。在注意条件下, 8 和 9 的右手减去左手的反应时之差的绝对值大于 6 和 7 的差值, 具体而言, 对中文数字: 六与七差 14ms, 八与九差 24ms; 对阿拉伯数字: 6 与 7 差 13ms, 8 与 9 差 27ms。而在非注意条件下, 8 和 9 的右手减去左手的反应时之差的绝对值则小于 6 和 7 的差值, 具体而言, 对中文数字: 六与七差 14ms, 八与九差 8ms; 对阿拉伯数字: 6 与 7 差 30ms, 8 与 9 差 23ms。

4.6 小结

实验三的结果表明, 注意水平对 SNARC 效应有显著影响: 在注意条件下, 只有阿拉伯数字出现了非常明显的 SNARC 效应, 中文则没有(图 14); 而在非注意条件下, 阿拉伯数字和中文数字的 SNARC 效应都没有达到显著水平, 而且对 SNARC 效应产生的影响主要表现在大数 8 和 9 上(图 15)。

5 总讨论

上述三个实验表明, 注意水平对 SNARC 效应有显著影响, 而且其影响主要表现在较大的数字(8、9)上。实验一中, 无线索时注意条件下中文和阿拉伯数字都出现了明显的 SNARC 效应(图 4), 而非注意条件下中文和阿拉伯数字的 SNARC 效应都受影响, 主要表现在大数上(图 5), 这说明注意在 SNARC 效应的产生过程中确实起着重要作用, 并且可能是一种从左至右的线性过程, 当注意过程受

到影响时, 在右侧的大数端比左侧的小数端引起了更大的变化。在实验二、三中, 在外源性线索条件下和内源性线索条件下, 我们得到一个逐渐递减的 SNARC 效应。在内源性线索的注意条件, 阿拉伯和中文都有 SNARC 效应, 在内源性线索的非注意条件, 只有阿拉伯数有 SNARC 效应; 在外源性线索的注意条件, 只有阿拉伯数有 SNARC 效应, 在外源性线索的非注意条件, 阿拉伯和中文都没有 SNARC 效应。

这种 SNARC 效应的递减是否是由注意水平递减造成的呢? 我们认为这里逐渐递减的 SNARC 效应, 不能完全理解为注意水平的递减, 还有不同数字符号上的原因。两种线索下的注意条件到非注意条件毫无疑问都存在注意水平的递减。但在内源性线索的非注意条件和外源性线索的注意条件之间是否存在注意水平的递减关系则无法确定。比如这两个条件下都只有阿拉伯数字有 SNARC 效应, 是否说明两个条件下注意水平相当呢? 我们认为不是这样, 因为两种条件下尽管都只有阿拉伯数字有 SNARC 效应, 中文数字在这两个条件下都没有 SNARC 效应, 但中文数字 SNARC 效应受的影响是截然不同的, 在内源性非注意条件下, 中文数字 SNARC 效应的影响主要表现在大数(8, 9)上(图 10), 这点与其他非注意条件对 SNARC 效应的影响非常一致(图 5、图 15), 而在外源性注意条件对中文 SNARC 效应的影响则明显不是这样, 大数(8, 9)并没有受大的影响(图 14), 这说明内源性线索的非注意条件和外源性线索的注意条件对 SNARC 效应的影响是不同的, 尽管对阿拉伯数字的影响两种条件比较一致, 但从它们对中文数字的影响上我们可以看出两者在成因上有差别, 内源性非注意条件和其他非注意条件有类似的影响机制, 而外源性注意条件的影响则更可能是中文数字作为词本身的 SNARC 效应更弱, 更易受到影响引起的^[1]。

同样的问题还出现在内源性线索与外源性线索在注意条件的对比中, 两者的差异同样主要表现在中文数字上, 中文数字在前者出现了 SNARC 效应, 但在后者没有出现。但我们认为这个结果并不能说明外源性注意对产生 SNARC 效应不重要, 内源性注意更重要一些。原因是已经有研究发现, 和阿拉伯数字相比, 数词的 SNARC 效应的稳定性和强度要差很多^[1], 我们的研究也发现了这一点, 在内源性非注意条件下, 阿拉伯数字还有 SNARC 效应, 中文数字却已经没有了(图 10), 可见中文数字的

SNARC 效应本身就不稳定。因此,作为数词的中文数字并不是用来衡量 SNARC 效应强度的合格标准,要考察效应的强度,以阿拉伯数字作为标准更为可靠。两个因素对一个效应的影响谁更大一些,除了直接考察两个因素存在条件下效应的强弱外,还可以通过看两个因素各自缺乏时,谁对效应的影响更大来判断,缺乏时对效应影响更大的因素更重要,影响应该更大。从我们的实验结果可以看出,在缺乏内源性注意(内源性线索非注意条件)时,SNARC 效应在阿拉伯数字上还保存(图 10),而在缺乏外源性注意(外源性线索非注意条件)时,SNARC 效应在阿拉伯数字上都消失了(图 15),这清楚地表明外源性注意的缺乏对 SNARC 效应有更强的影响,说明外源性线索的影响比内源性线索更大。

如上所述,在两种线索条件下 SNARC 效应都是随着注意的强度减弱而逐渐减弱,同时外源性线索的影响要比内源性注意更大,中文数字受的影响比阿拉伯数字更大。更加重要的是,非注意条件对 SNARC 效应的影响同样主要表现在大数字上,无论是内源性线索的非注意条还是外源性线索的非注意条件都是这样。由于内源性线索引导的是自上而下的控制加工;而外源性线索引导的是自下而上的自动化加工。这一结果说明注意对 SNARC 效应的影响更多的表现在外源性注意上,是一种自下而上的自动化加工注意。

综上所述,本研究发现,注意在 SNARC 效应中的确发挥着重要作用,无论在无线索,内源性线索还是外源性线索时,在非注意条件下 SNARC 效应都受影响因而减弱或消失,而且这种影响主要表现在较大的数字(8,9)上,因此可能是一种从左至右的线性过程。同时外源性注意的影响要比内源性注意更大,中文数字受的影响比阿拉伯数字更大。说明对 SNARC 效应产生影响的是一种自下而上的自动化加工注意。因此,SNARC 效应的成因与一种从左至右的自动化空间注意有着内在联系。这一结果为最终从注意的角度理解 SNARC 效应这个数字加工中的基本效应提供了直接证据,也为我们进一步理解注意与数字加工之间的关系提供了更多可能。在以后的研究中,我们将试图采用其他注意研究范式考察这种空间注意的具体影响,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 Dehaene S, Bossini S, Giraux P. The Mental Representation of Parity and Number Magnitude. *Journal of Experimental Psychology—General*, 1993, 122(3): 371 ~ 396
- 2 Bachtold D, Baumuller M, Brugger P. Stimulus—response compatibility in representational space. *Neuropsychologia*, 1998, 36(8): 731 ~ 735
- 3 Berch D B, Foley E J, Hill R J, et al. Extracting parity and magnitude from Arabic numerals: Developmental changes in number processing and mental representation. *Journal of Experimental Child Psychology*, 1999, 74(4): 286 ~ 308
- 4 Fias W. Two routes for the processing of verbal numbers: evidence from the SNARC effect. *Psychological Research—Psychologische Forschung*, 2001, 65(4): 250 ~ 259
- 5 Mapelli D, Rusconi E, Umiltà C. The SNARC effect: an instance of the Simon effect? *Cognition*, 2003, 88(3): B1 ~ B10
- 6 Fischer M H, Castel A D, Dodd M D, et al. Perceiving numbers causes spatial shifts of attention. *Nature Neuroscience*, 2003, 6(6): 555 ~ 556
- 7 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
- 8 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
- 9 Dehaene S, Dehaene—Lambertz G, Cohen L. Abstract representations of numbers in the animal and human brain. *Trends in Neurosciences*, 1998, 21(8): 355 ~ 361
- 10 Lemaire P. Is number processing an interesting window on human cognition? *Cahiers De Psychologie Cognitive—Current Psychology of Cognition*, 1995, 14(6): 738 ~ 741
- 11 Piazza M, Mechelli A, Butterworth B, et al. Are subitizing and counting implemented as separate or functionally overlapping processes? *Neuroimage*, 2002, 15(2): 435 ~ 446
- 12 Corbetta M, Kincade J M, Ollinger J M, et al. Voluntary orienting is dissociated from target detection in human posterior parietal cortex. *Nature Neuroscience*, 2000, 3(3): 292 ~ 297
- 13 Culham J C, Kanwisher N G. Neuroimaging of cognitive functions in human parietal cortex. *Current Opinion in Neurobiology*, 2001, 11(2): 157 ~ 163
- 14 Simon O, Mangin J F, 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
- 15 Wojciulik E, Kanwisher N. The generality of parietal involvement in visual attention. *Neuron*, 1999, 23(4): 747 ~ 764
- 16 Dehaene S, Piazza M, Pinel P, et al. Three parietal circuits for number processing. *Cognitive Neuropsychology*, 2003, 20(3—6): 487 ~ 506
- 17 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)

- 18 Enns J T, DiLollo V. Object substitution: A new form of masking in unattended visual locations. *Psychological Science*, 1997, 8(2): 135 ~ 139
- 19 Theeuwes J. Exogenous and Endogenous Control of Attention — the Effect of Visual Onsets and Offsets. *Perception & Psychophysics*, 1991, 49(1): 83 ~ 90
- 20 Spence C J, Driver J. Covert Spatial Orienting in Audition — Exogenous and Endogenous Mechanisms. *Journal of Experimental Psychology — Human Perception and Performance*, 1994, 20(3): 555 ~ 574
- 21 Rosen A C, Rao S M, Caffarra P, et al. Neural basis of endogenous and exogenous spatial orienting: A functional MRI study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 1999, 11(2): 135 ~ 152
- 22 Posner M I. Orienting of Attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 1980, 32(2): 3 ~ 25

THE SPATIAL NUMERICAL ASSOCIATION OF RESPONSE CODES EFFECT OF NUMBER PROCESSING IN DIFFERENT ATTENTION CONDITIONS

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

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

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

Abstract

In the present study, three different attention experimental paradigms (without cue, with the endogenous cue, and with the exogenous cue) were used to investigate the SNARC (Spatial Numerical Association of Response Codes) effect of numbers in different notations in attended or unattended conditions. The stimuli were Chinese numbers and Arabic numbers in magnitudes from 1 to 9. Subjects' task was to decide whether the number was odd or even. The results showed that: a) The SNARC effect appeared in the attended condition without any cue, but it did not appear in the unattended condition. Moreover, the influence of unattended condition on number SNARC effect was mainly found in the larger numbers (8, 9); and b) the same results were also found in the conditions with the endogenous cue or with the exogenous cue, and moreover, the exogenous cue had more influence than endogenous cue and Chinese numbers were more influenced than Arabic numbers.

Key words attention, endogenous attention, exogenous attention, number processing, SNARC effect.