

线条朝向的空间构型对视觉工作记忆表征的影响*

周 梁 李彦佼 李润泽 辛晓雯 李寿欣

(山东师范大学心理学院, 济南 250358)

摘 要:采用行为实验和事件相关电位技术(ERP),通过整体检测的变化觉察范式,探讨线条朝向的空间构型对视觉工作记忆表征的影响及机制。行为结果发现,水平排列线条朝向的视觉工作记忆成绩高于杂乱排列;水平排列线条朝向有框时的视觉工作记忆成绩低于无框条件;ERP结果发现,无框条件下水平排列的线条朝向诱发的对侧延迟活动的波幅小于有框条件。以上结果说明,水平排列的空间构型能够促进线条朝向的视觉工作记忆表征,这一促进作用的潜在机制可能是水平排列的空间构型能够降低信息表征的负荷。

关键词:视觉工作记忆;空间构型;线条朝向;CDA

中图分类号:B842.5

文献标识码:A

文章编号:1003-5184(2019)05-0427-06

1 引言

视觉工作记忆(visual working memory)是指短暂存储并加工视觉信息的系统。视觉工作记忆的基本加工单元有整合的客体(Lee & Chun, 2001; Luck & Vogel, 1997)、项目的空间位置(Logie, 1995; Hec-ker & Mapperson, 1997)以及项目的特征(Olson & Jiang, 2002),大量研究发现,客体位置形成的空间关系会影响对客体自身的加工(Gmeindl, Nelson, Wiggin, & Reuter-Lorenz, 2011; Takahashi, Kawachi, & Gyoba, 2015; Yang, Fan, Wang, Fogelson, & Li, 2017),这表明项目可能不是独立地表征在工作记忆,而是彼此间相互影响的。因此,项目布局形成的整体空间构型对视觉工作记忆表征的影响值得进一步探讨。

项目的空间构型(spatial configuration)是指视觉工作记忆任务中所有项目的空间位置形成的一个整体。有研究发现,在记忆阵列呈现的早期,个体就能够捕获记忆阵列的空间构型(Chun & Jiang, 1998)。Jiang, Olson 和 Chun(2000)采用变化觉察范式,通过比较单项检测与整体检测条件下色块记忆的正确率,探讨视觉短时记忆中单个项目颜色的记忆是否独立于其他项目,结果发现,整体检测条件下的正确率高于单项检测条件。这表明视觉短时记忆以整体空间构型为基础,存储项目之间的关系信息。Prime, Dell'Acqua, Arguin, Gosselin 和 Jolicoeur(2011)通过比较三个非词字母在水平或杂乱排列下的正确率,探讨空间构型对非词字母视觉工作记

忆表征的影响,结果发现,在水平排列条件下,非词字母的正确率高于杂乱排列条件。这表明,相比于杂乱排列,水平排列的空间构型能够促进非词字母的视觉工作记忆表征。研究者认为,水平排列的非词字母“更像词”,能够进入专门词语加工通道,比杂乱排列的非词字母得到更好的表征。然而,也有研究者未发现空间构型对视觉工作记忆的影响。Alvarez 和 Oliva(2007)采用变化觉察范式,探讨圆点位置形成的整体布局(global layout)的空间规则性(spatial regularity)对视觉工作记忆表征的影响。研究者通过变化三个圆点的空间位置操纵空间规则性,三个圆点位置形成的整体布局越接近等边三角形,空间规则性越高。结果显示,在高、低空间规则性条件下圆点位置的工作记忆成绩无显著差异。研究者认为,尽管空间规则性得到了记忆的表征,但这并不影响对客体自身的记忆。

Prime 等(2011)与 Alvarez 和 Oliva(2007)的研究结果不一致的原因主要有两方面:一是实验材料排列意义性的变化不同,二是空间构型的难度变化不同。从实验材料排列的意义性来看,Prime 等(2011)采用非词字母,相比于杂乱排列,水平排列这样一种“像词”的排列方式会增加非词字母的意义性,显然,Alvarez 和 Oliva(2007)采用圆点的高低空间规则性在意义性上变化不大,均处于较低水平。从空间构型的难度来看,Prime 等(2011)操纵的水平/杂乱排列的空间构型会造成一维/二维空间的变化,且相比水平排列,杂乱排列会增加项目位置的高

* 基金项目:国家自然科学基金(31470973, 31871100)。

通讯作者:李寿欣, E-mail: shouxinli@sdu.edu.cn。

低关系,从而增加空间构型的难度,而 Alvarez 和 Oliva(2007)采用的三个圆点空间位置始终位于二维空间,空间构型的难度变化不大。因此,空间构型对视觉工作记忆表征的影响出现不同的效应,是因为材料排列的意义性不同还是空间构型的难度不同?目前难以确定。

基于此,该研究拟采用线条朝向这一无意义材料,探讨空间构型对视觉工作记忆表征的影响机制,共设计两个实验。实验 1 采用线条朝向,控制实验材料排列的意义性,探讨水平与杂乱排列的空间构型对视觉工作记忆表征的影响。由于水平排列比杂乱排列形成的空间构型的复杂度低,因此,假设 1 是,与杂乱排列相比,水平排列的线条朝向得到更好的工作记忆表征。实验 2 采用事件相关脑电位(event-related potential, ERP)技术,以反映视觉工作记忆存储信息负载的对侧延迟活动(contralateral delay activity, CDA)为指标(Vogel, McCollough, & Machizawa, 2005),为控制视角变化,采用水平排列的线条朝向,并对线条朝向加框,探讨空间构型影响视觉工作记忆表征的机制。由于线条朝向加框会削弱其空间构型(Delvenne & Bruyer, 2006),因此,假设 2 是,与有框的线条朝向相比,无框的线条朝向更容易得到表征,诱发的 CDA 波幅更低。

2 实验 1 线条朝向的水平排列促进视觉工作记忆的表征

2.1 方法

2.1.1 被试

24 名在校大学生(男生 6 名),年龄 18~23 岁,均为右利手,之前没有参加类似实验,视力或矫正视力正常,无色盲色弱。实验结束后给予报酬。

2.1.2 实验材料及仪器

数字序列由 4 个阿拉伯数字随机组成,彼此不重复,颜色为黑色(RGB 值为 0,0,0),大小为 $1.68^{\circ} \times 0.6^{\circ}$ 。记忆项是大小为 $1.2^{\circ} \times 0.2^{\circ}$ 、不同朝向的黑色线条,朝向共有六种: 0° 、 30° 、 60° 、 90° 、 120° 、 150° 。所有实验材料呈现在屏幕中央的浅灰色矩形区域中(大小为 $8^{\circ} \times 8^{\circ}$, RGB 值为 128,128,128)。

使用 19 英寸彩色显示器呈现刺激,屏幕分辨率为 1024×768 ,刷新频率为 60Hz。采用 E-prime2.0 编制实验程序。

2.1.3 实验设计与程序

采用 $2(\text{记忆项目数量: } 3, 4) \times 2(\text{空间构型方式: 水平排列, 杂乱排列})$ 的被试内设计。因变量为记忆项目的正确率。空间构型方式中的水平排列是指记忆项目等间距地呈现在同一行中: 当记忆项目数量为 3 时,以相同的概率随机呈现在 3×3 虚拟矩

阵的上、中或下行; 当记忆项目数量为 4 时,以相同的概率随机呈现在 4×4 虚拟矩阵的上、中上、中下或下行。空间构型中的杂乱排列是指记忆项目在虚拟矩阵的每一行、每一列仅呈现一个项目,项目在矩阵中各位置出现的概率相等。

被试坐在安静、光线柔和的实验室中,视距为 60cm。实验采用基于整体检测的变化觉察范式,同时进行抑制言语编码任务(Lin & Luck, 2009)。单一试次流程图见图 1。为抑制言语编码,每个试次开始时,屏幕中央呈现数字序列 500ms,要求被试不停的出声复述该数字序列,直至当前试次结束。数字序列消失后,呈现注视点“+”500ms,然后呈现记忆项 350ms,同一试次中记忆项中的朝向各不相同,接着再次呈现注视点“+”900ms,最后呈现检测项。要求被试尽量准确地判断检测项与记忆项相比是否发生了变化,按键反应后检测项消失。变化按“1”键,不变按“0”键,反应键在被试间平衡。在 50% 的试次中,检测项与记忆项完全相同,另外 50% 的试次中,检测项中有且仅有一个线条朝向与记忆项相比发生改变,变化后的线条朝向与当前试次记忆项中其他线条朝向均不相同,且与变化前的旋转角度相差最大。

实验共 4 个组块,每个组块包括 10 个练习试次与 48 个正式实验试次,4 个组块的顺序进行了被试间平衡。每做完一个组块休息 5 分钟,整个实验大约 30 分钟。

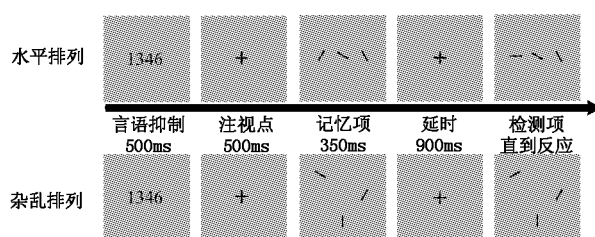


图 1 实验 1 项目数量为 3 时水平与杂乱排列条件下单一试次的流程图

2.2 实验结果与分析

使用 SPSS17.0 分析数据。不同实验条件下变化觉察任务正确率的平均数和标准差见表 1。

表 1 不同记忆项目数量及空间构型方式条件下的正确率 ($M \pm SD$)

空间构型方式	记忆项目数量为 3	记忆项目数量为 4
水平排列	0.92 ± 0.07	0.86 ± 0.07
杂乱排列	0.88 ± 0.06	0.84 ± 0.08

对正确率进行 2×2 的两因素重复测量方差分析,结果显示,记忆项目数量的主效应显著, $F(1, 23) = 13.31, p = 0.001, \eta_p^2 = 0.37$, 识记 3 个项目时的正

准确率(0.90 ± 0.07)高于4个(0.85 ± 0.07);空间构型方式的主效应显著, $F(1,23) = 33.88, p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.60$,水平排列条件下的准确率(0.89 ± 0.07)高于杂乱排列条件(0.86 ± 0.07);项目数量与空间构型方式之间的交互作用不显著($p > 0.05$)。

2.3 讨论

实验1的结果显示,不管记忆项目的数量是3还是4,水平排列条件下的记忆正确率均高于杂乱排列,这与Prime等(2011)采用非词字母材料的研究结果一致,而与Alvarez和Oliva(2007)采用圆点材料的研究结果不一致。实验1采用不同朝向的线条,这与Alvarez和Oliva(2007)采用的圆点材料接近,意义性均比较低,但结果发现,水平排列的记忆正确率高于杂乱排列,而Alvarez和Oliva(2007)则发现圆点排列的空间规则性并不影响记忆的正确率。这说明材料排列的意义性并不是Prime等(2011)、Alvarez和Oliva(2007)两项研究结果不一致的原因。因此,两项研究不一致的原因可能是空间构型的难度不同。

该研究采用线条朝向作为记忆材料,不能用Prime等(2011)“专门的词汇加工通道”来解释,那么,线条朝向水平排列的空间构型促进视觉工作记忆表征的机制是什么?实验2采用ERP技术,通过在水平排列的线条朝向外周加方框以削弱其空间构型(Delvenne & Bruyer,2006),对此加以探讨。

3 实验2 线条朝向水平排列的空间构型促进视觉工作记忆表征的ERP研究

3.1 方法

3.1.1 被试

19名在校大学生(男生6名),年龄20~27岁,均为右利手,视力或矫正视力正常,无色盲色弱,无脑部损伤或神经病性疾病史。实验开始前与被试签订知情同意书,实验结束后给予报酬。

3.1.2 实验材料及仪器

记忆项是大小为 $1^\circ \times 0.2^\circ$ 的黑色线条,线条的朝向同实验1,有框条件下在每一个记忆项外围添加一个大小为 $1.2^\circ \times 1.2^\circ$ 的黑色方框。记忆项呈现在左右两个对称的浅灰色矩形区域中(大小为 $4^\circ \times 4^\circ$,RGB值为128,128,128),其中心与注视点距离为 3° 。

仪器同实验1。采用E-prime2.0编制实验程序。

3.1.3 实验设计和程序

采用单因素两水平(无框,有框)的被试内设计,记录分析变化觉察任务的正确率与脑电活动(Electroencephalogram, EEG)。

采用CDA研究范式(Allon, Balaban, & Luria, 2014)与基于整体检测的变化觉察任务。被试坐在灯光柔和的隔音电磁屏蔽室内,视距为70cm。实验流程见图2,每个试次开始时,屏幕中央呈现一个黑色注视点“+”500ms,之后注视点上方出现指向左侧或右侧的箭头200ms。箭头消失后呈现300~400ms的随机间隔,之后在中央注视点两侧各呈现一组线条朝向350ms,要求被试记住箭头所指一侧的线条朝向,并在提取阶段检测该侧的线条朝向。其他程序同实验1。

实验共4个组块,有框、无框条件各有2个组块,每个组块包括10个练习试次与48个正式实验试次,4个组块的顺序进行了被试间平衡。每做完一个组块休息5分钟,整个实验大约30分钟。

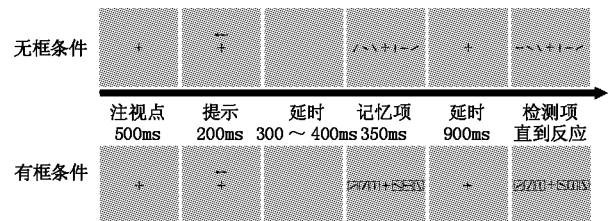


图2 实验2不同项目布局方式条件下单一试次流程图

3.1.4 EEG记录及数据处理

采用NeuroScan公司生产的64导脑电记录和分析系统,按照国际10-20扩展电极系统记录EEG。通过SynAmps2放大EEG和EOG信号。以左侧乳突作为参考,接地点位于AFz。分别以两眼外侧1cm处和左眼眶上下记录水平眼电(HEOG)和垂直眼电(VEOG),实验过程中确保电极与头皮间的电阻小于10kΩ。离线分析时,以双侧乳突的平均作为参考,带通滤波为0.05~100Hz,A/D采样频率为1000Hz。只对反应正确的试次进行数据分析,截取记忆阵列出现前200ms到呈现后1250ms的EEG,以刺激出现前200ms的平均波幅为基线进行校正,叠加前去除眼电伪迹,眨眼伪迹使用回归程序进行校正。基线校正后,振幅在 $\pm 100\mu V$ 之外的试次被剔除,4名被试(2名男生)由于拒斥率大于25%,在随后的数据分析中被排除。参照以往研究(Gao, Xu, Chen, Yin, Shen, & Shui, 2011; McCollough, Machizawa, & Vogel, 2007),在分析脑电成分CDA时选取了8对代表性电极(CP5/CP6, TP7/

TP8, P3/P4, P7/P8, PO3/PO4, PO5/PO6, PO7/PO8 和 O1/O2), CDA 波幅的计算方法是记忆半视野对侧半球电极的平均波幅减去同侧半球电极的平均波幅。与前人研究相似 (McCollough et al., 2007), 实验 2 发现在记忆项呈现后约 200ms 时, CDA 成分开始出现, 所以选取记忆阵列呈现后 300 ~ 900ms 作为分析时段。

3.2 实验结果与分析

3.2.1 行为结果

对线条朝向有框、无框条件下的正确率进行单因素重复测量的方差分析, 结果显示, 实验条件的主效应显著, $F(1, 14) = 40.97, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.75$, 线条朝向有框条件下正确率 (0.77 ± 0.10) 低于无框条件 (0.88 ± 0.07)。

3.2.2 ERP 结果

对两种条件下选取的 8 对电极点的 CDA 总平均波幅进行单因素重复测量方差分析, 结果表明, 实验条件的主效应显著, $F(1, 14) = 5.57, p < 0.05, \eta_p^2 = 0.29$, 有框条件下的 CDA 波幅 (-2.18 ± 2.01) μV 大于无框条件 (-1.14 ± 2.37) μV 。15 名被试有框、无框条件下 8 对电极点的 CDA 平均波幅见图 3。8 对电极点 CDA 平均幅值的数据统计结果见图 4。

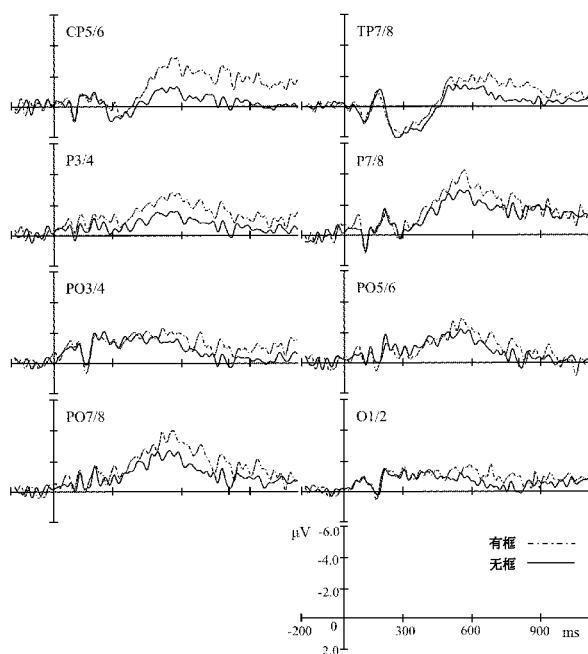


图3 有/无框条件下8对电极点的CDA的波形图

3.3 讨论

已有研究表明, 根据任务要求, 视觉特征可以被独立的编码和存储, 且跨维度间不受干扰 (Wang, Cao, Theeuwes, Olivers, & Wang, 2017)。实验 2 的行

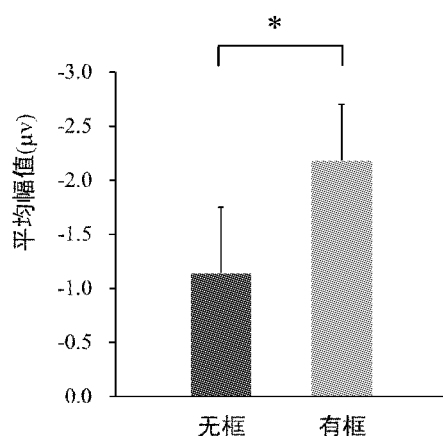


图4 记忆项呈现后 300 ~ 900ms 有/无框条件下 8 对电极点 CDA 的平均幅值

注: * 表示在 0.05 水平上显著; 误差棒代表一个标准误差。数据显示, 线条朝向有框条件下的正确率低于无框条件, 这与 Delvenne 和 Bruyer (2006) 的研究结果一致, 对线条加框可能破坏了项目的整体空间构型, 说明项目的整体空间构型被削弱后不利于视觉工作记忆表征。ERP 数据显示, 有框条件下的 CDA 平均波幅大于无框条件, 说明当项目加框削弱项目的整体空间构型后, 会诱发脑电皮层的变化。

4 总讨论

该研究以线条朝向为实验材料, 采用行为实验和 ERP 技术探讨空间构型对视觉工作记忆表征的影响及其机制。实验 1 将空间构型分为水平排列和杂乱排列, 结果发现, 水平排列线条朝向的视觉工作记忆成绩高于杂乱排列, 这与 Prime 等人 (2011) 的研究结果一致。然而, Prime 等人 (2011) 实验中采用的是非词字母, 水平、杂乱的排列方式可能会造成实验材料排列意义性的差异。与字母材料明显不同的是, 实验 1 中线条朝向不管是水平排列还是杂乱排列, 其意义性均较低, 这排除了材料排列意义性在项目空间构型影响视觉工作记忆表征中的作用, 支持水平排列这一空间构型对视觉工作记忆表征起促进作用, 原因可能有两方面。一方面, 记忆项目水平排列的空间构型能够提供线性参照。空间构型的一个作用是为记忆项目提供参照点 (Jiang et al., 2000), 线条朝向水平排列时, 空间构型为项目提供简明的线性参照, 记忆项目能够得到更精确的表征; 而线条朝向杂乱排列时, 空间构型为项目提供的参照地图不规律, 不利于项目的精确表征。另一方面, 记忆项目水平排列的空间构型能够降低空间构型复杂度。线条朝向排列杂乱时, 线条朝向构成的空间

关系包括项目的高低、大小和左右,空间构型的复杂性较高,不利于视觉工作记忆的表征;而线条朝向以水平方式排列时,线条朝向构成的空间关系只包括项目的左右和大小,项目的高低关系被简化,记忆项目之间的空间关系更加简约,空间构型的复杂性较低,从而有利于记忆项目的表征。

实验1与Alvarez和Oliva(2007)采用圆点材料的研究结果不一致,主要原因可能在于前面所提的空间构型的难度变化。需要指出的是,在二维空间上空间构型规则性的变化是否影响视觉工作记忆表征,这一问题仍值得进一步探讨。在实验2中,在水平排列的记忆项外周添加方框后,视觉工作记忆成绩下降,这说明水平排列的空间构型被削弱后,损害了视觉工作记忆的表征,原因可能有以下两方面:一方面,对水平排列线条朝向加框后,项目之间通过连通性产生联系的几率降低,不利于视觉工作记忆的表征(Woodman, Vecera, & Luck, 2003);另一方面,对线条朝向加框后,项目之间不易形成“组块”,只能在单个项目水平上进行表征,表征效率降低。CDA波幅不仅能反映视觉工作记忆中记忆客体的数量(Vogel & Machizawa, 2004; Vogel et al., 2005),而且能够反映视觉工作记忆的信息负荷(Luria, Sessa, Gotler, Jolicœur, & Dell'Acqua, 2010; Luria & Vogel, 2011; Zhang, Li, Wang, & Che, 2016)。Luria等(2010)采用SPCN成分(sustained posterior contralateral negativity, 相当于CDA),以色块作为简单刺激,以黑色不规则多边形作为复杂刺激,探讨刺激的复杂度对视觉短时记忆的影响,结果发现,识记2个不规则多边形诱发的SPCN波幅显著高于2个不同颜色的方块,且识记2个色块诱发的SPCN波幅随记忆数量增加而增大,而识记2个不规则多边形诱发的SPCN波幅不再随记忆数量增加而变化。这表明,在短时记忆中,相比于简单客体,同等数量的复杂客体的保持需要神经系统更多的投入。Zhang等(2016)采用CDA成分,探讨相似性对不同朝向箭头的视觉工作记忆的影响,结果发现,识记2个不相似箭头朝向诱发的CDA波幅高于识记2个相似箭头朝向。研究者认为,与相似客体相比,不相似的客体的信息负荷更大,相似性促进视觉工作记忆表征的潜在机制在于相似性能够降低信息负荷。上述研究均表明,CDA波幅反映了视觉工作记忆中信息加工的负荷。在实验2中,记忆项的数量没有变化,通过给线条朝向加框,削弱记忆项目的空间构型,结果

发现与识记无框的线条朝向相比,识记有框的线条朝向诱发的CDA波幅更高。这一结果与前人的研究结果一致(Luria et al., 2010; Zhang et al., 2016)。这表明,相比于识记无框的线条朝向,记忆有框的线条朝向时负荷更大,也就是说,水平排列的空间构型促进项目的视觉工作记忆表征可能是通过降低信息负荷实现的,而线条朝向加框后整体空间构型被削弱,增加了信息加工的负荷。研究结果支持记忆项目不是独立地表征在工作记忆之中,而是被整体表征的观点。

5 结论

相比于杂乱排列,水平排列的空间构型能够促进线条朝向的视觉工作记忆表征,这一促进作用的潜在机制可能是水平排列的空间构型能够降低信息加工的负荷。

参考文献

- Allon, A. S., Balaban, H., & Luria, R. (2014). How low can you go? Changing the resolution of novel complex objects in visual working memory according to task demands. *Frontiers in Psychology*, 5(2), 265–275.
- Alvarez, G., & Oliva, A. (2007). The role of global layout in visual short-term memory. *Visual Cognition*, 15(1), 70–73.
- Chun, M. M., & Jiang, Y. (1998). Contextual cueing: Implicit learning and memory of visual context guides spatial attention. *Cognitive Psychology*, 36(1), 28–71.
- Delvenne, J., & Bruyer, R. (2006). A configural effect in visual short-term memory for features from different parts of an object. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 59(9), 1567–1582.
- Gao, Z., Xu, X., Chen, Z., Yin, J., Shen, M., & Shui, R. (2011). Contralateral delay activity tracks object identity information in visual short-term memory. *Brain Research*, 1406(12), 30–42.
- Gmeindl, L., Nelson, J. K., Wiggin, T., & Reuter-Lorenz, P. A. (2011). Configural representations in spatial working memory: Modulation by perceptual segregation and voluntary attention. *Attention Perception & Psychophysics*, 73(7), 2130–2142.
- Hecker, R., & Mapperson, B. (1997). Dissociation of visual and spatial processing in working memory. *Neuropsychologia*, 35(5), 599–603.
- Jiang, Y., Olson, I. R., & Chun, M. M. (2000). Organization of visual short-term memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 26(3), 683–702.

- Lee, D., & Chun, M. M. (2001). What are the units of visual short-term memory, objects or spatial locations? *Perception and Psychophysics*, 63(2), 253–257.
- Lin, P., H., & Luck, S. J. (2009). The influence of similarity on visual working memory representations. *Visual Cognition*, 17(3), 356–372.
- Logie, R. H. (1995). *Visuo-spatial working memory*. Hove, UK: Lawrence Erlbaum.
- Luck, S. J., & Vogel, E. K. (1997). The capacity of working memory for features and conjunctions. *Nature*, 390(6657), 279–281.
- Luria, R., Sessa, P., Gotler, A., Jolicœur, P., & Dell'Acqua, R. (2010). Visual short-term memory capacity for simple and complex objects. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 22(3), 496–512.
- Luria, R., & Vogel, E. K. (2011). Shape and color conjunction stimuli are represented as bound objects in visual working memory. *Neuropsychologia*, 49(6), 1632–1639.
- McCollough, A. W., Machizawa, M. G., & Vogel, E. K. (2007). Electrophysiological measures of maintaining representations in visual working memory. *Cortex*, 43(1), 77–94.
- Olson, I. R., & Jiang, Y. (2002). Is visual short-term memory object based? Rejection of the “strong-object” hypothesis. *Perception & Psychophysics*, 64(7), 1055–1067.
- Prime, D., Dell'Acqua, R., Arguin, M., Gosselin, F., & Jolicœur, P. (2011). Spatial layout of letters in nonwords affects visual short-term memory load: Evidence from human electrophysiology. *Psychophysiology*, 48(3), 430–436.
- Takahashi, J., Kawachi, Y., & Gyoba, J. (2015). Visual short-term memory is modulated by visual preference for spatial configuration between objects. *Gestalt Theory*, 37(2), 141–160.
- Vogel, E. K., McCollough, A. W., & Machizawa, M. G. (2005). Neural measures reveal individual differences in controlling access to working memory. *Nature*, 438(7067), 500–503.
- Vogel, E. K., & Machizawa, M. G. (2004). Neural activity predicts individual differences in visual working memory capacity. *Nature*, 428(6984), 748–751.
- Wang, B., Cao, X., Theeuwes, J., Olivers, C. N., & Wang, Z. (2017). Separate capacities for storing different features in visual working memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 43(2), 226–236.
- Woodman, G. F., Vecera, S. P., & Luck, S. J. (2003). Perceptual organization influences visual working memory. *Psychonomic Bulletin & Review*, 10(1), 80–87.
- Yang, P., Fan, C., Wang, M., Fogelson, N., & Li, L. (2017). The effects of changes in object location on object identity detection: A simultaneous EEG-fMRI study. *NeuroImage*, 157, 351–363.
- Zhang, Q., Li, S., Wang, X., & Che, X. (2016). The effects of direction similarity in visual working memory: Behavioural and event-related potential studies. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 69(9), 1812–1830.

Spatial Configuration of Line Orientations Affects Visual Working Memory Representation

Zhou Liang Li Yanjiao Li Runze Xin Xiaowen Li Shouxin
(School of Psychology in Shandong Normal University, Jinan 250358)

Abstract: The current study investigated how the spatial configuration of line orientations influences visual working memory representation. The change detection paradigm was used, in conjunction with behavioral and event-related potential (ERP) analysis. Behavioral results showed that, the accuracy for detecting the horizontal line orientations was higher than that for detecting the scrambled line orientations; and the accuracy for detecting the horizontal line orientations declined after adding a frame around each line. Adding frames also increased the amplitude of contralateral delay activity (CDA), as revealed by the ERP results. Taken together, these findings suggest that the spatial configuration of horizontal line orientations facilitates the representation in visual working memory. The underlying mechanism of this facilitation is that the spatial configuration of horizontal line orientations can reduce the memory load of information representation in visual working memory.

Key words: visual working memory; spatial configuration; line orientations; CDA