

· 基础、实验与工效 ·

不同空间构型下邻近性对视觉工作记忆中相似性效应的影响*

王丽雪¹ 吕匡迪¹ 张倩¹ 师姝娅² 李寿欣^{**1}

(¹ 山东师范大学心理学院, 济南, 250014) (² 济南高新区第一实验学校, 济南, 250101)

摘 要 相似性对视觉工作记忆表征的促进被称为相似性效应。以相似项目间的距离和是否插入其他项目改变邻近性, 并操纵记忆项空间构型有序性, 探讨邻近性对相似性效应的影响。结果发现, 不同空间构型和邻近性条件下相似项目的记忆正确率高于非相似项目; 在空间构型有序下, 相似项目距离远时, 插入其他项目时的相似性效应值低于不插入, 而空间构型无序下未发现显著差异。这表明相似性促进视觉工作记忆表征, 空间构型在邻近性对相似性效应的影响中起重要作用。

关键词 视觉工作记忆 空间构型 相似性 邻近性

1 引言

视觉工作记忆 (visual working memory) 是对视觉信息进行短时存储和加工的容量有限的系统, 对学习、推理等复杂认知任务起关键作用。人类的视觉系统每时每刻都在接受海量信息, 由于视觉工作记忆系统资源的有限性, 这些信息有多少存储于视觉工作记忆中, 取决于人们选择什么样的内容并以何种组织方式 (如格式塔组织原则、空间构型) 进行编码 (Corbett, 2016; Jiang et al., 2000; Nassar et al., 2017; Orhan & Jacobs, 2013)。因此, 视觉信息的组织方式对个体的视觉工作记忆表征至关重要。

近些年, 客体与客体间的格式塔组织原则——相似性和邻近性如何影响视觉工作记忆表征受到研究者的关注。相似性是指两个或多个心理表征在某一特征维度上的心理临近度或接近性。采用变化察觉任务进行的研究发现, 在视觉工作记忆中相似客体 (如不同纯度的红 / 绿 / 蓝色色块) 的记忆成绩好

于不相似客体 (如红 / 绿 / 蓝色色块), 证明客体相似性促进视觉工作记忆表征 (Gao et al., 2016; Lin & Luck, 2009; Zhang et al., 2016), 这被称为相似性效应。此外, 客体之间不仅具有某一特征维度上的接近性, 也具有空间位置上的邻近性。邻近性是指客体与客体之间位置距离的邻近, 邻近客体之间的紧密性较强, 易被知觉为一组。研究者通过操纵客体间的空间距离探讨邻近性对视觉工作记忆表征的影响, 结果发现, 邻近客体的记忆成绩好于不邻近客体, 证明邻近性促进视觉工作记忆表征 (Woodman et al., 2003; Xu, 2006)。

目前, 相似性和邻近性如何共同影响视觉工作记忆的表征仍不清楚, 尤其是视觉工作记忆中的相似性效应是否以邻近性为前提。Peterson 和 Berryhill (2013) 研究发现, 当相似客体间空间位置邻近时, 客体相似性提高了视觉工作记忆成绩, 而当相似客体间的空间位置不邻近时相似性效应不明显,

* 本研究得到国家自然科学基金面上项目 (31871100, 31470973) 的资助。

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

DOI:10.16719/j.cnki.1671-6981.20210201

他们认为相似性效应以邻近性为必要前提；而另有研究发现，当相似项目间的空间距离增大时，客体相似性仍提高了视觉工作记忆成绩（Morey et al., 2015）。

上述研究不一致的原因可能有以下两方面：第一，邻近性的设置方式不同。Peterson 和 Berryhill（2013）通过是否在相似项目间插入其他项目操纵邻近性；而 Morey 等人（2015）通过改变相似项目间的距离操纵。前者相似项目间距离的变化和其他项目的插入均会阻碍相似性分组；而后者仅有相似项目间距离的变化阻碍相似性分组。两种方式对相似性效应的影响可能不同，研究者并未区分。第二，客体的空间构型不同。Peterson 和 Berryhill（2013）采用的彩色圆均匀分布在一个虚拟圆环上（见图 1a），记忆项的空间构型有序；而 Morey 等人（2015）采用的色块随机分布（见图 1b），记忆项的空间构型无序。记忆项空间构型有序时，项目间的关系信息明确，编码增强（Jiang et al., 2000; Xie & Zhang, 2017），此时当相似项目不邻近时，相似项目在记忆项中的空间构型发生变化，相似性关系信息模糊，邻近性可能会影响相似性效应。然而，记忆项空间构型无序时，项目间关系信息模糊，相似性关系突显，相似性效应可能不受限于邻近性。因此，空间构型的有序性可能会影响邻近性和相似性效应。由此可见，视觉工作记忆中相似性效应是否以邻近性为前提这一问题仍有待探讨。



图 1 Peterson 和 Berryhill（2013）的研究材料（a）及 Morey 等人（2015）的研究材料（b）

本研究采用颜色变化觉察范式，以相似项目间距离和相似项目间是否插入其他项目改变邻近性，同时操纵记忆项空间构型的有序性，考察不同空间构型下邻近性如何影响相似性效应：实验 1，记忆项空间构型有序时，考察相似项目间的距离和插入其他项目对相似性效应的影响；实验 2，记忆项空间构型无序时，考察相似项目间的距离和插入其他项目是否影响相似性效应。研究假设，当记忆项的空间构型有序时，项目间的关系信息明确且编码较

强，相似项目间的距离增大和插入其他项目可能会削弱相似性分组，相似性效应减小；而记忆项空间构型无序时，项目间的关系信息模糊且编码较弱，相似性形成的分组突显，邻近性不影响相似性效应，相似项目的记忆成绩高于其他项目。

2 实验 1 记忆项的空间构型有序时，邻近性对视觉工作记忆中相似性效应的影响

2.1 方法

2.1.1 被试

采用 G*Power 3.1 软件，基于以往视觉工作记忆中邻近性和相似性效应的研究（Peterson & Berryhill, 2013）中相似性主效应的效应量，设置效应量 $f = .40$ (Cohen, 1988)，计算被试量为 9 人（Power = .80, $\alpha = .05$ ）；结合以往类似研究的被试量为 10~21 人（Morey et al., 2015; Peterson & Berryhill, 2013），本实验被试量为 20 人。实验 2 被试量的确定标准与此相同。

选取本科生 20 名（女 16 名，年龄 $18.95 \pm .95$ 岁）。其中，一名被试因对指导语理解有误而未完成实验，纳入分析的被试共 19 名。所有被试视力或矫正视力正常，无颜色视觉问题。被试先前未参加类似实验，实验结束后获得适量报酬。

2.1.2 实验材料与设备

记忆材料为在黑色背景上呈现的彩色圆（ $1.7^\circ \times 1.7^\circ$ ），共 8 种颜色：红（255, 0, 0）、品红（255, 0, 255）、橙（255, 165, 0）、黄（255, 255, 0）、绿（0, 128, 0）、青（0, 255, 255）、蓝（0, 0, 255）和紫（128, 0, 128）。记忆项呈现 6 个彩色圆，空间构型有序，即 6 个彩色圆内切于一个半径为 6.8° 的虚拟圆环。为了控制相似性以外的其他分组线索的影响，本实验记忆项在虚拟圆环上的分布设置三种范围： $0^\circ - 150^\circ$ 、 $0^\circ - 270^\circ$ 和 $0^\circ - 360^\circ$ 。检测项由 1 个彩色圆和 5 个白色圆环构成，见图 2。

采用 E-Prime 2.0 软件编制实验程序，在 1280×1024 分辨率、刷新率为 75Hz 的液晶显示器上呈现，被试眼睛与显示器相距约 57 cm。

2.1.3 实验设计

采用变化觉察任务，被试内设计，含 5 种实验条件：控制条件、相似项目距离近且不插入其他项目、相似项目距离近且插入其他项目、相似项目距离远且不插入其他项目、相似项目距离远且插入其他项目。控制条件指 6 个彩色圆的颜色互不相同。后 4

种条件均为相似条件,指6个彩色圆中有两个圆的颜色相同(相似项目)。相似项目距离近指两个颜色相同圆的中心距离为 6° ,相似项目距离远是指两个颜色相同圆的中心距离为 10.4° 。相似项目间不插入其他项目是指两个颜色相同的圆之间没有其他彩色圆,相似项目间插入其他项目是指两个颜色相同的圆之间有一个其它颜色的圆。记录反应正确率。

相似条件下,检测阶段会检测记忆项中颜色相同或不同的圆,分别对应两种检测项类型:检测相似项目和检测非相似项目。采用“相似性效应值”表示相似性效应,相似性效应值=相似项目检测正确率-非相似项目检测正确率。

2.1.4 实验程序

首先,发音抑制任务,随机呈现3个数字1000 ms,被试以每秒约3个数字的速度不停出声复述,直至本试次结束;之后,出现注视点“+”300 ms;注视点消失后进入记忆阶段,记忆项呈现200 ms,要求被试尽可能记住6个圆的颜色;随后,进入保持阶段,呈现注视点“+”1000 ms;注视点消失后,呈现检测项,要求被试判断检测项与记忆项同一位置上圆的颜色是否相同(见图2)。

练习正确率达到75%时进入正式实验。正式实验时,每种条件各48个trial(共240个trial),混合随机呈现。一半试次中检测项曾出现在记忆项中;另一半试次中检测项颜色变化,为记忆项未呈现过的颜色。完成实验需约40min,每60个试次休息

3min。

2.2 结果

5种实验条件下被试的正确率见表1。单因素重复测量方差分析结果表明,不同实验条件下的正确率差异显著, $F(4, 72) = 9.06, p < .001, \eta_p^2 = .34$,事后检验显示,控制条件的正确率均显著低于4种相似条件, $ps < .01$ 。

相似条件下被试的正确率见图3b。对相似条件下的正确率进行2(相似项目间的距离:近,远) \times 2(相似项目间是否插入其它项目:不插入,插入) \times 2(检测项类型:检测相似项目,检测非相似项目)的三因素重复测量方差分析。结果表明,三者交互作用显著, $F(1, 18) = 4.56, p < .05, \eta_p^2 = .20$ 。简单效应分析表明,每种条件下检测相似项目的正确率均显著高于检测非相似项目, $ps < .05$ 。

相似条件下相似性效应值见图3a。对相似性效应值进行相似项目间的距离 \times 相似项目间是否插入其他项目的二因素重复测量方差分析。结果表明,相似项目间是否插入其他项目主效应显著, $F(1, 18) = 11.57, p = .003, \eta_p^2 = .39$,不插入其他项目的相似性效应值(.21 \pm .15)显著高于插入其他项目(.12 \pm .12);交互作用显著, $F(1, 18) = 4.53, p < .05, \eta_p^2 = .20$ 。简单效应分析显示,相似项目距离近时,不插入与插入其他项目的相似性效应值无显著差异, $p > .05$;相似项目距离远时,不插入其他项目的相似性效应值显著高于插入其他项目, $p = .001$ 。

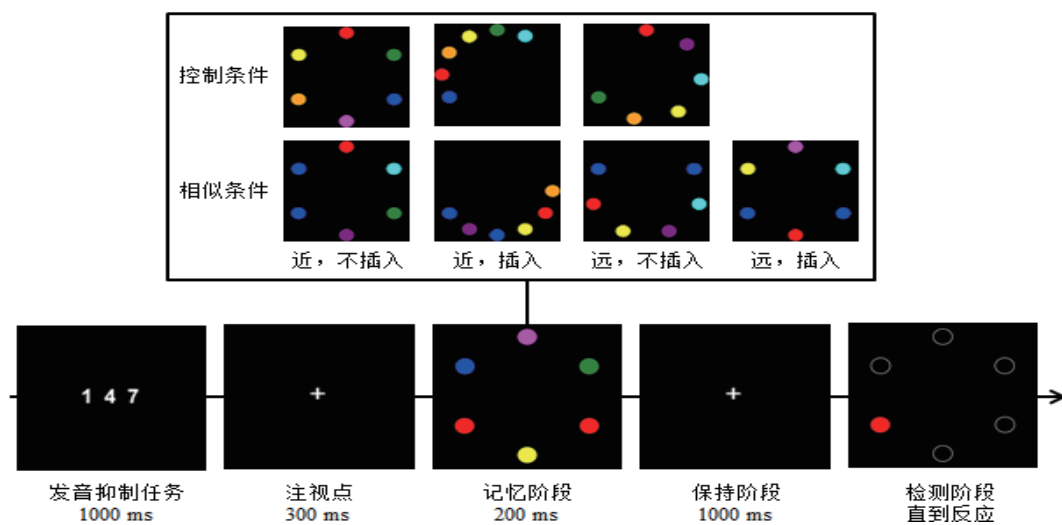


图2 实验1流程图(以“距离远且插入其他项目”为例)

表1 不同实验条件下被试完成变化觉察任务的正确率($M \pm SD$)

控制条件	相似条件			
	近, 不插入	近, 插入	远, 不插入	远, 插入
.69 \pm .08	.75 \pm .07	.77 \pm .06	.76 \pm .06	.74 \pm .07

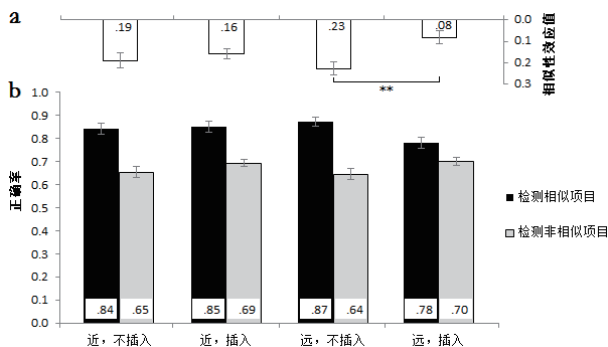


图3 不同相似条件下被试完成变化觉察任务的相似性效应值(a)和正确率(b)

注：“**”表示在.01水平上差异显著；竖线代表标准误

记忆项有 $0^{\circ}\sim 150^{\circ}$ 、 $0^{\circ}\sim 270^{\circ}$ 、 $0^{\circ}\sim 360^{\circ}$ 三种分布范围,为考察记忆项的分布范围对视觉工作记忆成绩的影响,以分布范围为自变量,单因素重复测量方差分析结果显示,记忆项的不同分布范围对记忆正确率没有影响, $F(2, 36) = 1.22$, $p > .05$ 。

2.3 讨论

实验1通过相似项目间的距离和是否插入其他项目变化相似项目的邻近性,考察记忆项的空间构型有序时,邻近性对视觉工作记忆中相似性效应的影响。结果显示,相似条件下的记忆正确率均高于控制条件,并且,不管是相似项目间距离增大,还是插入其他项目,在相似条件下检测相似项目的记忆正确率均高于检测非相似项目,说明在相似条件下均产生相似性效应,与以往研究一致(Gao et al., 2016; Lin & Luck, 2009; Zhang et al., 2016)。相似性效应值的结果显示,相似项目距离近时,相似项目间插入与不插入其他项目的相似性效应值无差异;而相似项目距离远时,插入其他项目时的相似性效应值低于不插入其他项目,这与Peterson和Berryhill(2013)的研究结果不完全一致。该研究发现,相似项目间插入非相似项目时相似性效应消失,但并未控制相似项目间距离的变化,无法说明相似性效应消失是由于相似项目间插入其他项目还是相似项目间的距离增大所致。

本实验表明,记忆项的空间构型有序时,仅当相似项目距离远时插入其他项目削弱相似性效应。那么,当记忆项空间构型无序时,项目间的关系信息模糊,邻近性是否仍会影响相似性效应?实验2对此问题进行考察。

3 实验2记忆项的空间构型无序时,邻近性对视觉工作记忆中相似性效应的影响

3.1 方法

3.1.1 被试

选取本科生20名(女16名,年龄 19.75 ± 1.02 岁),视力或矫正视力正常,无颜色视觉问题。被试先前未参加类似实验,实验结束后获得适量报酬。

3.1.2 实验材料和设备

记忆项的空间构型无序,6个圆($1.7^{\circ} \times 1.7^{\circ}$)在半径为 6.8° 的圆形空间上随机分布,任何两个圆之间的距离不小于 1.7° (见图4)。其他设置同实验1。

3.1.3 实验设计

采用变化觉察任务,被试内设计,共有5种实验条件:控制条件、相似项目距离近且不插入其他项目、相似项目距离近且插入其他项目、相似项目距离远且不插入其他项目、相似项目距离远且插入其他项目。其中,相似项目间插入其他项目是指两个颜色相同的圆构成的外切线范围内有一个完整的其它颜色的圆;相似项目间不插入其他项目是指两个颜色相同的圆构成的外切线范围内没有其他彩色圆,并且,非相似项目到相似项目外切线之间的垂直距离不小于 1.7° 。其他条件同实验1。

3.1.4 实验程序

记忆项和检测项的空间构型均无序,其他程序同实验1,流程见图4。

3.2 结果

5种实验条件下被试的正确率见表2。单因素重复测量方差分析结果显示,不同实验条件下的正确率差异显著, $F(4, 76) = 11.74$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .38$,事后检验显示,控制条件的正确率均显著低于4种相似条件, $ps < .001$ 。

相似条件下被试的正确率见图5b。对相似条件下的正确率进行 2 (相似项目间的距离) $\times 2$ (相似项目间是否插入其他项目) $\times 2$ (检测项目类型)的三因素重复测量方差分析,结果表明,检测项目类型的主效应显著, $F(1, 19) = 71.09$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .79$,检测相似项目的正确率($.86 \pm .10$)显著高于检测非相似项目($.68 \pm .11$)。其余效应均不显著($ps > .05$)。

相似条件下的相似性效应值见图5a。对相似性效应值进行相似项目间的距离 \times 相似项目间是否插

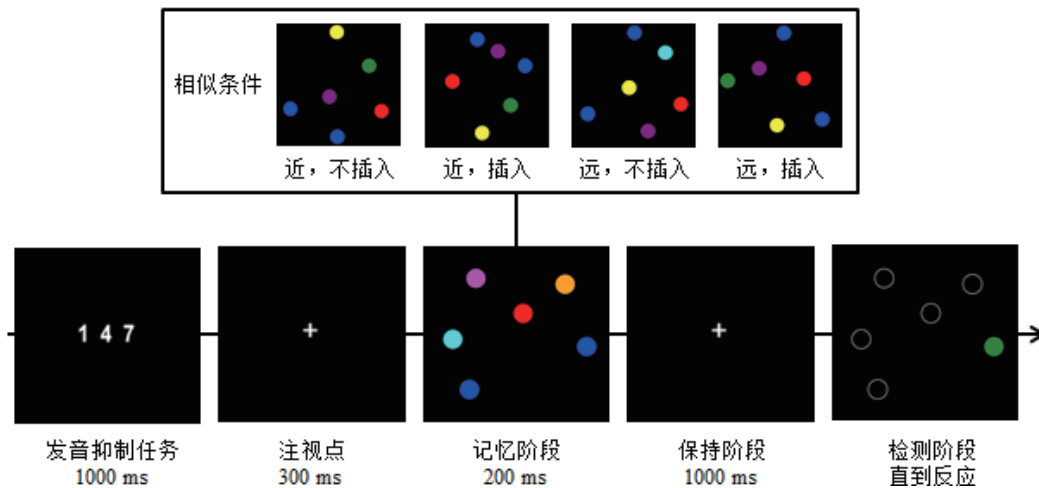


图4 实验2流程图(以“距离远且不插入其它项目”为例)

表2 不同实验条件下被试完成变化觉察任务的正确率($M \pm SD$)

控制条件	相似条件			
	近, 不插入	近, 插入	远, 不插入	远, 插入
.69 ± .07	.77 ± .08	.78 ± .09	.75 ± .06	.78 ± .08

入其它项目的二因素重复测量方差分析,结果表明,各效应均不显著, $ps > .05$ 。

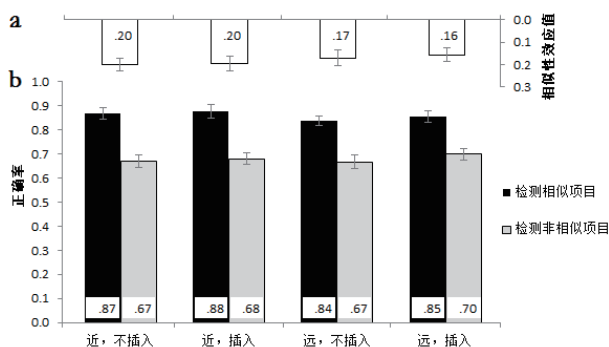


图5 不同相似条件下被试完成变化觉察任务的相似性效应值(a)和正确率(b)

3.3 讨论

实验2考察了当记忆项的空间构型无序时,邻近性对视觉工作记忆相似性效应的影响,结果显示,相似条件下的记忆正确率均高于控制条件,而且,不管是相似项目间插入其他项目,还是相似项目间距离增大,相似条件下检测相似项目的正确率均高于检测非相似项目,这与以往使用空间构型无序的实验材料进行的研究一致(Morey et al., 2015)。相似性效应值的分析结果发现,记忆项的空间构型无序时不管相似项目间距离远与近,相似性效应值没有差异,相似项目间是否插入其他项目对相似性效应值也没有影响。

4 总讨论

本研究考察了记忆项的空间构型有序性,相似

项目间的距离变化和是否插入其他项目对相似性效应的影响。研究发现,不论记忆项的空间构型是否有序,均出现相似性效应;而且,在记忆项空间构型有序的条件下,增加相似项目间的距离和在相似项目间插入其他项目时会削弱相似性效应,而在记忆项空间构型无序的条件下,上述因素不影响相似性效应。

4.1 材料颜色相似性促进视觉工作记忆的加工

本研究发现,不管记忆项的空间构型是否有序,相似项目的记忆效果均优于其他项目,说明相似性效应具有一定的普遍性,相似性促进视觉工作记忆表征的主要原因是:第一,相似性有利于知觉分组。相似性有助于个体将相似项目知觉为一组,分组项目以组块的形式优先编码并存储在视觉工作记忆中,使得相似项目的记忆效果增强,提高记忆任务成绩(Gao et al., 2016; Peterson & Berryhill, 2013)。第二,相似项目更快捕获注意。Morey等人(2015)采用颜色变化觉察任务的同时记录眼动,结果发现,记忆项呈现期间,个体更早地注意相似项目;且注意资源有限时,相似项目能优先获得注意资源,加工更充分,记忆成绩更高。第三,相似性有助于减少加工负荷。Zhang等人(2016)采用ERP技术进行的研究发现,相似条件下的CDA(对侧差异波)波幅低于不相似条件,证明视觉工作记忆对相似项目的表征比其他项目更容易,相似项目的记忆负荷更小。由于视觉工作记忆容量依赖于记忆负荷以及客体数量,相似项目记忆负荷的降低会节省保持项目

所需的资源,从而促进视觉工作记忆的特征。

4.2 材料邻近性对相似性效应的影响:空间构型的调节作用

本研究以相似项目间的距离和相似项目间是否插入其他项目来改变邻近性。结果发现,在材料空间构型有序的条件下,增加相似项目间的距离,并在相似项目间插入其他项目会削弱相似性效应,而在材料空间构型无序的条件下,上述两种方式不影响相似性效应。为进一步检验空间构型在邻近性对相似性效应的影响中的作用,对实验1和实验2合并后的相似性效应值进行空间构型 \times 相似项目间的距离 \times 相似项目间是否插入其它项目的重复测量方差分析,结果发现,空间构型与相似项目间是否插入其他项目交互作用显著, $F(1,37)=4.24, p<.05, \eta_p^2=.10$ 。简单效应分析显示,当空间构型有序时,不插入其他项目的相似性效应值($.21 \pm .15$)显著高于插入其他项目($.12 \pm .12$), $p<.01$;当空间构型无序时,不插入其他项目的相似性效应值($.18 \pm .14$)与插入其他项目的相似性效应值($.18 \pm .14$)无显著差异, $p>.05$ 。由此看出,记忆项空间构型有序时,相似项目间插入其他项目会削弱相似性效应,而记忆项空间构型无序时插入其他项目不影响相似性效应。这说明,空间构型的有序性调节了在相似项目间插入其他项目导致的邻近性变化对相似性效应的影响。

当记忆项空间构型有序时,记忆材料具有清晰的空间构型信息,项目间关系明确(Jiang et al., 2000; Xie & Zhang, 2017),相似项目间的距离增加并插入其他项目改变了相似项目的邻近性,使相似项目在材料中的结构关系发生变化:相似项目的知觉分组在一定程度上被破坏,两个相似项目本身的紧密性降低,不易以组块的形式编码并存储在视觉工作记忆中,相似项目不邻近削弱了相似性效应。反之,当相似项目邻近时,相似项目由于具有相同的颜色特征而容易形成组块,会更快捕获注意,减少记忆负荷,促进视觉工作记忆表征。

然而,当材料的空间构型无序时,记忆项随机散乱分布,空间构型信息的编码减少,项目间位置关系信息的加工减弱(Xie & Zhang, 2017),尽管相似项目间的距离发生变化,或在相似项目间插入其他项目,改变了相似项目的邻近性,但是,由于材料中记忆项的空间构型无序,项目间的空间构型信息较少,项目间位置关系信息不明确,个体对相

似项目间距离的变化和是否插入其他项目不敏感,相似项目的表征依然具有分组优势,工作记忆效果较好。因此,当材料的空间构型无序时,尽管相似项目的邻近性发生变化,仍能观察到同等程度的相似性效应。

分层理论(hierarchical models; Brady & Alvarez, 2011, 2015; Morey, 2011)认为,当视觉信息呈现时,人们可以同时多个水平上对记忆项目进行表征,在单个项目水平上基于离散的项目进行表征,在整体水平上基于整体的项目空间构型信息进行表征,在分组水平上基于项目之间的关系信息进行表征,如由项目间颜色相似性形成的分组信息。空间构型信息在视觉加工中是一种基本的组织方式,人们能够快速对呈现的视觉信息形成基于整体的项目空间构型(Chun & Jiang, 1998)。当空间构型改变或复杂度增大时,个体较难形成明确的空间构型,从而损害项目间关系信息的表征(Howe, 1980; Jiang et al., 2000),与记忆项空间构型无序相比,空间构型有序是一种简单的空间构型,材料的空间构型有序性在视觉工作记忆表征中起重要作用。本研究证明,以往研究在邻近性如何影响相似性效应这一问题上存在的争议,主要是没有考虑到材料空间构型的作用,本研究为上述争议提供了合理的解释。

支持分层理论的研究者(Brady & Alvarez, 2011, 2015)认为,视觉工作记忆模型中的插槽模型(Luck & Vogel, 1997)和资源灵活分配模型(Bays & Husain, 2008)是在单个项目水平上基于离散项目对个体的工作记忆容量进行评估的,这可能会高估记忆容量。在评估工作记忆容量时应考虑离散项目、整体空间构型以及分组的作用。本研究在整体水平和分组水平上操纵记忆项目的空间构型有序性、邻近性与相似性,考察不同空间构型下邻近性对视觉工作记忆相似性效应的影响,发现空间构型有序性在邻近性对相似性效应的影响中起重要作用,支持分层理论。

5 结论

不论材料空间构型是否有序,相似性均促进视觉工作记忆的加工。当材料空间构型有序时,相似项目间距离增大且插入其他项目时会削弱相似性效应;而当材料空间构型无序时,相似项目的邻近性不影响相似性效应。

参考文献

- Bays, P. M., & Husain, M. (2008). Dynamic shifts of limited working memory resources in human vision. *Science*, 321(5890), 851–854.
- Brady, T. F., & Alvarez, G. A. (2011). Hierarchical encoding in visual working memory: Ensemble statistics bias memory for individual items. *Psychological Science*, 22(3), 384–392.
- Brady, T. F., & Alvarez, G. A. (2015). Contextual effects in visual working memory reveal hierarchically structured memory representations. *Journal of Vision*, 15(15), 6–24.
- Chun, M. M., & Jiang, Y. H. (1998). Contextual cueing: Implicit learning and memory of visual context guides spatial attention. *Cognitive Psychology*, 36(1), 28–71.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Hillsdale, NJ: Lawrence Earlbaum Associates.
- Corbett, J. E. (2016). The whole warps the sum of its parts: Gestalt-defined-group mean size biases memory for individual objects. *Psychological Science*, 28(1), 12–22.
- Gao, Z. F., Gao, Q. Y., Tang, N., Shui, R. D., & Shen, M. W. (2016). Organization principles in visual working memory: Evidence from sequential stimulus display. *Cognition*, 146, 277–288.
- Howe, E. S. (1980). Effects of partial symmetry, exposure time, and backward masking on judged goodness and reproduction of visual patterns. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32(1), 27–55.
- Jiang, Y. H., 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.
- Lin, P. H., & Luck, S. J. (2009). The influence of similarity on visual working memory representations. *Visual Cognition*, 17(3), 356–372.
- Luck, S. J., & Vogel, E. K. (1997). The capacity of visual working memory for features and conjunctions. *Nature*, 390(6657), 279–281.
- Morey, C. C., Cong, Y. Q., Zheng, Y. X., Price, M., & Morey, R. D. (2015). The color-sharing bonus: Roles of perceptual organization and attentive processes in visual working memory. *Archives of Scientific Psychology*, 3(1), 18–29.
- Morey, R. D. (2011). A Bayesian hierarchical model for the measurement of working memory capacity. *Journal of Mathematical Psychology*, 55(1), 8–24.
- Nassar, M. R., Helmers, J. C., & Frank, M. J. (2018). Chunking as a rational strategy for lossy data compression in visual working memory. *Psychological Review*, 125(4), 486–511.
- Nie, Q. Y., Müller, H. J., & Conci, M. (2017). Hierarchical organization in visual working memory: From global ensemble to individual object structure. *Cognition*, 159, 85–96.
- Orhan, A. E., & Jacobs, R. A. (2013). A probabilistic clustering theory of the organization of visual short-term memory. *Psychological Review*, 120(2), 297–328.
- Peterson, D. J., & Berryhill, M. E. (2013). The Gestalt principle of similarity benefits visual working memory. *Psychonomic Bulletin and Review*, 20(6), 1282–1289.
- Woodman, G. F., Vecera, S. P., & Luck, S. J. (2003). Perceptual organization influences visual working memory. *Psychonomic Bulletin and Review*, 10(1), 80–87.
- Xie, W. Z., & Zhang, W. W. (2017). Discrete item-based and continuous configural representations in visual short-term memory. *Visual Cognition*, 25(1–3), 21–33.
- Xu, Y. D. (2006). Understanding the object benefit in visual short-term memory: The roles of feature proximity and connectedness. *Perception and Psychophysics*, 68(5), 815–828.
- Zhang, Q., Li, S. X., Wang, X. S., & Che, X. W. (2016). The effects of direction similarity in visual working memory: Behavioural and event-related potential studies. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 69(9), 1812–1830.

The Influence of Proximity and Spatial Configuration on the Similarity Effect in Visual Working Memory

Wang Lixue¹, Lv Kuangdi¹, Zhang Qian¹, Shi Shuya², Li Shouxin¹

(¹School of Psychology, Shandong Normal University, Jinan, 250014)

(²Jinan High-Tech No.1 Experimental School, Jinan, 250101)

Abstract Visual working memory (VWM) performance can benefit from the Gestalt principles of similarity and proximity in the change-detection task. A fundamental issue in this field is how similarity together with proximity influences the VWM representations. One view postulated that the positive effect of similarity on VWM performance was constrained by proximity, such that similarity was effective only when the similar items were near each other in an ordered spatial configuration of memorized items. The other assumed that such effect of similarity could occur regardless of proximity of similar items in a random spatial configuration of memorized items. However, the order of spatial configuration, as a basic organization rule, was not controlled in previous studies of the effect of similarity and proximity in VWM. Such similarity effect might be influenced by the order of spatial configuration for memorized items. Therefore, a crucial test of such fundamental issue is how proximity and the order of spatial configuration influence the similarity effect.

We examined how proximity influenced the similarity effect in VWM with the orderliness of spatial configuration of memorized items using a change detection task. Proximity of similar items was manipulated by the distance and the inserted other item between similar items. The proximal condition was the decreased distance between similar items without inserting other item. The non-proximity conditions were the decreased distance between similar items with inserting other item, as well as the increased distance between similar items with or without inserting other item. Furthermore, the present study employed ordered and random spatial configurations of memorized items in Experiments 1 and 2, respectively. In Experiment 1, it investigated whether proximity influenced the similarity effect when spatial configuration was in order. Participants were asked to remember 6 colored circles that were located on an imaginary circle (i.e., ordered spatial configuration). In Experiment 2, it aimed to investigate whether proximity influenced the similarity effect when spatial configuration was random. Participants were required to remember 6 colored circles that were presented at random locations around the center of the screen (i.e., random spatial configuration). The hypotheses were that the increased distance and the inserted other item between similar items could impair the similarity effect when spatial configuration of memorized items was in order, and that such proximity could not influence the similarity effect when spatial configuration was random, given the salient cue of similarity in the random spatial configuration.

The results showed that the accuracies of similar items were higher than those of dissimilar items in both ordered and random spatial configurations, regardless of proximity of similar items. Furthermore, inserting other item between similar items attenuated the similarity effect when the similar items were far from each other for the ordered spatial configuration, but not for the random spatial configuration. These results suggested that similarity could facilitate VWM performance regardless of the order of spatial configuration for memorized items. Such similarity effect on VWM performance was constrained by proximity only when the spatial configuration of memorized items was in order.

Key words visual working memory, spatial configuration, similarity, proximity