

拓扑不变性质在运动诱发视盲现象中的作用*

左真涛^{1, 2)} 罗欢^{1)**} 周可^{1)**}

(¹⁾ 脑与认知科学国家重点实验室, 中国科学院生物物理研究所, 北京 100101; (²⁾ 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要 知觉物体的定义是认知科学领域富有争议的中心问题之一。本研究通过运动诱发视盲(MIB)现象的研究发现: a. 两个图形当它们是连通的, 或位于同一个洞中, 或是具有相同的洞的个数, 更倾向于整体共同消失或重现; b. 前景图形和背景图形的拓扑性质差异, 较之非拓扑性质差异, 显著地削弱 MIB 现象; c. 相对于其他各种几何性质的变化, 拓扑性质的变化能更快地被知觉到返回意识状态。这些结果揭示了拓扑性质定义的知觉物体是 MIB 过程操作的基本单元, 提示了拓扑性质改变产生新知觉物体的表征可能是意识下的过程, 进一步支持了知觉物体的拓扑学定义。

关键词 知觉物体, 运动诱发视盲(MIB), 拓扑性质

学科分类号 B842.1

DOI: 10.3724/SP.J.1206.2012.00368

“什么是知觉物体”以及“如何科学准确地定义知觉物体”是当前认知科学领域中富有争议的中心问题之一^[1-8], 但经过长达数十年的研究, 研究者仍然无法精确地描述什么是知觉物体^[9]。知觉物体的概念最早源自于格式塔的传统, 就像其他的格式塔式的概念一样, 虽然具有深刻合理的内涵, 却是一种直觉的概念, 而不是科学形式的描述^[1, 5]。因此, 基于物体的理论解释常常带有循环论的色彩, 缺乏理论分析和预测的力量。这样的弱点使得基于物体的理论常常面临基于空间理论的质疑, 且不能给各种现象以统一的、系统的解释。这种概念上的含混不清是基于知觉物体的理论常常处于现代研究主流之外的主要原因。

我们提出知觉物体的拓扑学定义^[8-9]认为, 知觉物体的核心内涵, 即在形状变换中保持不变的整体不变性质, 可以定义为大范围拓扑不变性质, 包括连通性、内外关系和洞的个数。此定义的一个直接而基本的推论是, 图形拓扑性质的改变, 例如一个实心的圆盘变成空心的圆环, 将被视觉系统知觉为新的知觉物体的产生。周(Zhou)等^[9]通过多物体跟踪(MOT)实验范式发现, 图形拓扑性质的改变的确导致跟踪成绩的显著下降。这表明, 拓扑性质的改变的确被知觉成新的知觉物体的产生, 从而干扰

了知觉物体表征的连续性。这一研究结果说明, 拓扑性质的抽提是形成知觉物体表征的起点^[8-9]。

本研究采用一种被广泛关注的视错觉现象——运动诱发视盲现象(motion induced blindness, MIB)来研究意识下的知觉物体表征。MIB 是指当静止或缓慢运动的图形(前景图形)叠加在一个持续运动的背景图形上, 在观察者持续注意背景图形时, 物理上一直呈现的前景图形会在知觉上交替地消失和重现^[10]。已有的研究表明, MIB 的产生不需要任何特定的预期, 也不受主观目的调控, 相反, 即使当你试图去主动注意前景图形时, 它仍然会从你的意识里退出^[11]。近年来 MIB 成为一种新的研究无意识知觉加工的实验范式。相对于传统的研究无意识知觉的实验范式, MIB 有其独特的优势。经典的无意识知觉研究范式^[12-14], 如双眼竞争、视觉掩蔽、注意瞬脱等, 往往对目标刺激的呈现条件有严格要求, 如低对比度、低亮度、特定的时间间隔

* 国家科技部资助项目(2012CB825500)。

** 通讯联系人。Tel: 010-64888565

罗欢。E-mail: hluo@bcslab.ibp.ac.cn

周可。E-mail: kzhou@bcslab.ibp.ac.cn

收稿日期: 2012-07-16, 接受日期: 2012-08-28

等, 因此, 在这些范式中所发现的重要研究结论很难直接推广到正常视觉呈现条件或者现实场景中.

而关于 MIB 的研究则发现, 前景图形越显著 (pop-out) 反而越容易产生运动诱发视盲^[10, 15]. 因此, 运动诱发视盲现象提供了一种在正常视觉呈现条件下研究无意识知觉加工过程的实验方法.

在本研究中, 我们首先通过 MIB 范式进一步验证知觉物体的拓扑学定义. 如果该定义具有普适性, 就应在 MIB 中也能得到验证. 同时, 我们也将系统地考察前景图形与背景图形的形状差异对运动诱发视盲现象的影响. 并将利用 MIB 范式考察意识下的拓扑性质改变是否能被更快地知觉到.

1 前景图形的基于拓扑性质的知觉组织对 MIB 的影响

Bonneh 等^[10-11]的实验发现, 当前景图形被共线性或者连通性等知觉组织因素组织起来时, 它们则更倾向于作为一个组织后的整体而共同消失, 这提示知觉物体可能是 MIB 现象的基本操作单元. 因此, 在本实验中, 我们将系统地研究各种拓扑不变性质(如连通性、内外关系和洞的个数等)在 MIB 现象中的作用, 考察基于拓扑不变性质定义的知觉组织因素是否会影响前景图形的共同消失时间, 具体包括三个实验: a. 被一条不规则曲线连通起来的两个点相对于不连通情况是否具有更长的共同消失时间? b. 包括在同一区域的 2 个点相对于包括在不同区域的情况是否具有更长的共同消失时间? c. 包含相同的洞的个数的 2 个图形相对于具有不同的洞的个数的 2 个图形是否具有更长的消失时间?

1.1 连通性实验(实验一)

1.1.1 方法.

11 名大学生(其中 5 名男生 6 名女生, 1 名左利手, 10 名右利手)参加了实验一, 年龄在 19~26 岁之间, 所有的被试视力正常或者矫正后正常.

所有刺激呈现在 20 吋 CRT 显示器(ViewSonic p225f), 由计算机控制(Intel(R) core(TM) 2 CPU 6300 @ 1.86 GHz). 屏幕的刷新率为 100 Hz, 分辨率为 1024 × 768. 实验程序由基于 Matlab 的 Psychtoolbox^[16-17]生成和控制.

一个白色的圆点(直径为 0.43°)放置在屏幕中央作为注视点. 背景图形由 100 个蓝色(CIE 1931, $x = 0.133$, $y = 0.071$, $Y = 0.26$)圆点(直径为 0.47°)排列形成 10 × 10 的阵列(视角为 8° × 8°). 背景图形绕着注

视点以 250°/s 的角速度逆时针方向旋转(图 1 a), 视距为 64 cm.

两个黄色(CIE 1931, $x=0.511$, $y=0.405$, $Y=63.6$)圆点(直径为 0.78°)置于注视点上方 4.54°, 两点之间的距离为 4.52°(图 1 a). 本实验是单因素的组内实验设计, 包含两个实验条件. 在一半的试次里, 两个圆点被一条黄色的无规则曲线连通(连通条件), 在剩下的一半试次里, 两个圆点之间不连通(不连通条件)(图 1 b). 实验开始时要求被试盯住屏幕中央的注视点, 做好准备后按反应键开始实验, 屏幕中的背景图形绕着注视点旋转, 在屏幕的左上方出现前景图形(两个圆点被连通, 或者不被连通). 被试需要在整个实验过程中盯住注视点, 同时注意左上方的前景图形, 当检测到两个圆点都消失时, 就尽快按下手中的反应键, 直到任何一个圆点重新出现时, 再松开手中的反应键, 整个试次持续 30 s.

整个实验由 1 个练习区组和 2 个正式实验区组构成, 练习区组包括 2 个长度为 40 s 的练习试次, 分别对应两个条件, 每个正式实验区组由 60 个长度为 30 s 的正式实验试次组成.

1.1.2 结果与讨论. 图 2a 显示了连通性实验中两个圆点共同消失时间占总时间的比例. 配对 t 检验的结果表明当两个圆点被一条不规则的曲线连通时, 两个圆点同时消失的时间显著长于不被连通时 (15.85% vs. 13.44%, $t(10) = 2.954$, $P = 0.014$).

1.2 内外关系实验(实验二)

1.2.1 方法.

10 名大学生(其中 5 名男生 5 名女生, 1 名左利手, 9 名右利手)参加了实验二, 年龄在 19~26 岁之间, 所有的被试视力正常或者矫正后正常.

除刺激图形外, 本实验的实验流程和连通性实验一样. 两个黄色圆点(直径为 0.78°)置于注视点上方 4.54°, 两点之间的距离为 4.52°(图 1c). 本实验是单因素的组内实验设计, 包含三个实验条件: 在 1/3 的试次里, 两个圆点被包围在一条黄色的不规则封闭曲线内(全包围条件), 在另外 1/3 的试次里, 一个圆点被包围在无规则曲线内, 而另一个圆点则呈现在无规则曲线外(半包围条件), 在剩下的 1/3 试次里, 没有封闭曲线, 只有两个圆点呈现在屏幕上(基线条件)(图 1d). 实验任务要求被试检测到任何一个圆点消失时, 尽快按下相应的反应键(每一个圆点分别对应一个反应键), 直到这个圆点重新出现时, 再松开反应键.

实验由 1 个练习区组和 3 个正式实验区组构成, 练习区组包括 3 个长度为 40 s 的练习试次, 其中每种条件都有一个练习试次, 每个正式实验区组由 60 个长度为 30 s 的正式实验试次组成。

被试需要先完成练习试次, 在熟练掌握反应方法后, 开始正式实验, 如果没有掌握方法, 则再进行一次练习试次。实验开始由被试自己按键控制, 每个试次完成后, 由被试自己掌握休息时间。

1.2.2 结果与讨论。 图 2b 显示了内外关系实验中两个圆点同时消失的时间占总时间的比例。当两个圆点都被包围在封闭曲线内时或者只有两个圆点时, 两个圆点同时消失的时间显著长于一个圆点在封闭曲线内一个圆点在封闭曲线外(17.29% *vs.* 11.83%, $t(9) = 3.284$, $P = 0.009$, 和 15.83% *vs.* 11.83%, $t(9) = 2.916$, $P = 0.017$), 但是两个圆点同时被包围在曲线内与只有两圆点相比, 两个圆点同时消失的时间没有显著差异(17.29% *vs.* 15.83%, $t(9)=0.980$, $P = 0.353$)。

1.3 洞的个数实验(实验三)

1.3.1 方法。

12 名大学生(其中 6 名男生 6 名女生, 1 名左利手, 11 名右利手)参加了实验三, 年龄在 22~32 岁之间。所有被试视力正常或者矫正后正常。

如图 1e 所示, 前景图形包含两个绿色图形(CIE 1931, $x = 0.287$, $y = 0.521$, $Y = 2.25$), 呈现在注视点的左方 3.79° 上方 3.79° , 两个图形间距为 1.89° (图 1e)。本实验是单因素的组内实验设计, 包含 5 个实验条件。大范围首先的拓扑性质知觉理论认为图形知觉有一个功能层次, 其划分类似于克莱因纲领对几何学的按不变性的分类, 由空间相邻关系决定的拓扑性质知觉较之其他局部几何性质的知觉, 发生在视觉过程初期; 拓扑性质为最基本层次各个层次的几何(射影、仿射、欧氏几何)不变性质是图形知觉的基本单元^[9]。在本研究中, 我们系统地考察了基于各种几何不变性质的组织因素对 MIB 的影响。基线条件下的刺激图形为两个相同

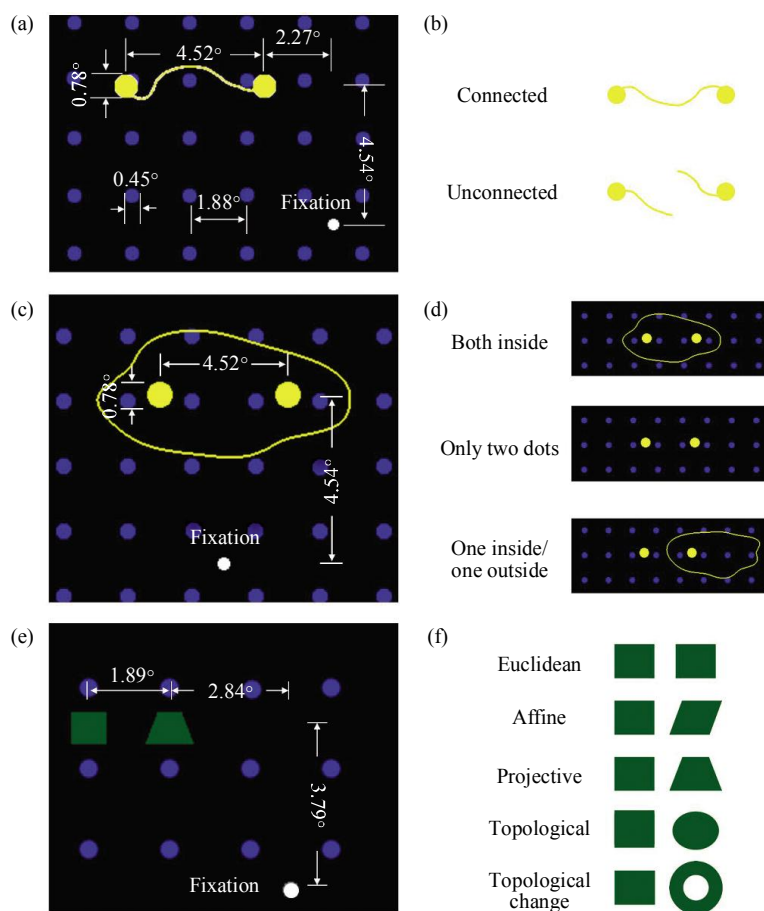


Fig. 1 Exp. 1~3 design and stimuli

(a) Schematic representation of the Exp. 1. (b) Two conditions (Connected *vs.* Unconnected) in Exp. 1. (c) Schematic representation of the Exp. 2. (d) Three conditions of Exp. 2. (e) Schematic representation of the Exp. 3. (f) Five conditions of Exp. 3. Subjects are asked to fix at the fixation point (white dots) and press the key to report perceived co-disappearance of two foreground figures.

的实心矩形；欧氏性质差异条件的刺激图形为一个实心矩形和一个实心平行四边形；仿射性质差异条件的刺激图形为一个实心矩形和一个实心梯形；射影性质差异条件的刺激图形为一个实心矩形和一个实心椭圆；拓扑性质差异条件的刺激图形为一个实心矩形和一个空心圆环(图 1f)，它们的面积相同，光通量相互匹配。实验任务要求被试检测到两个图形都消失时按下手中的反应键，直到其中任何一个图形再次出现，立即松开反应键。

实验由 1 个练习区组和 3 个正式实验区组构成，练习区组包括 5 个长度为 20 s 的练习试次，每种条件出现一次，每个正式实验区组包括 60 个长度为 30 s 的正式实验试次。

1.3.2 结果与讨论. 图 2c 显示了发生 MIB 时，洞的个数实验中两个前景图形共同消失的时间占总时

间的比例。配对 *t* 检验显示拓扑性质差异条件的两个前景图形共同消失的时间(9.7%，SE = 2.6)显著短于基线条件的图形对(16.0%，SE=3.1， $t(11)=5.664$ ， $P = 0.0001$)、欧氏性质差异条件(17.0%，SE = 3.5， $t(11) = 4.949$ ， $P = 0.0004$)、仿射性质差异条件(14.6%，SE = 3.1， $t(11) = 4.840$ ， $P = 0.001$)和射影性质差异条件的图形对(13.6%，SE = 3.2， $t(11) = 4.197$ ， $P = 0.001$)。

1.4 讨论

知觉组织因素会将两个前景图形组织在一起形成一个整体，因而使它们趋向于共同消失。实验一~三的结果表明基于大范围的拓扑不变性质定义的知觉组织因素，即连通性(实验一)、内外关系(实验二)和洞的个数(实验三)，会使得两个前景图形具有更长的共同消失时间。

2 前景图形与背景图形之间的拓扑性质差异对 MIB 的影响

以往的研究发现，前景图形与背景图形形状因素的相对关系对 MIB 的产生有重要作用，但结论尚不统一^[10, 15, 18-19]。在本实验中，基于大范围首先的拓扑性质知觉理论，我们将系统地考察前景和背景图形在各个几何层次上的差异是否对 MIB 有影响。本部分包括两个实验：**a.** 实验四采用的相同的背景图形，系统调控前景图形和背景图形之间的从欧式到拓扑的几何功能层次差异，考察 MIB 受几何层次差异影响的程度；**b.** 以往的研究发现，视觉系统对带洞图形的检测要比不带洞图形的检测更敏感，体现出带洞图形的特异性^[20]，实验五进一步考察实验四所发现的结果是否由带洞图形的特异性引起，研究这种效应是否与带洞图形出现在前景还是背景有关。

2.1 前景图形与背景图形的形状差异实验(实验四)

2.1.1 方法.

12 名大学生(其中 6 名男生 6 名女生，均为右利手)参加了实验四，年龄在 22~32 岁之间，所有被试视力正常或者矫正后正常。

一个红色(CIE 1931, $x=0.622$, $y=0.342$, $Y=14.5$)圆点($0.43^\circ \times 0.43^\circ$)呈现在屏幕的中央作为注视点，64 个蓝色(CIE 1931, $x=0.133$, $y=0.071$, $Y=0.26$)的矩阵放置成一个 8×8 的阵列($9.6^\circ \times 9.6^\circ$)形成背景图形，背景图形绕着注视点以 $250^\circ/s$ 的角速度逆时针方向旋转。前景图形呈现在注视点的左侧 3.79° 上方 3.79° ，两个图形间距为 1.89° 。本实验是

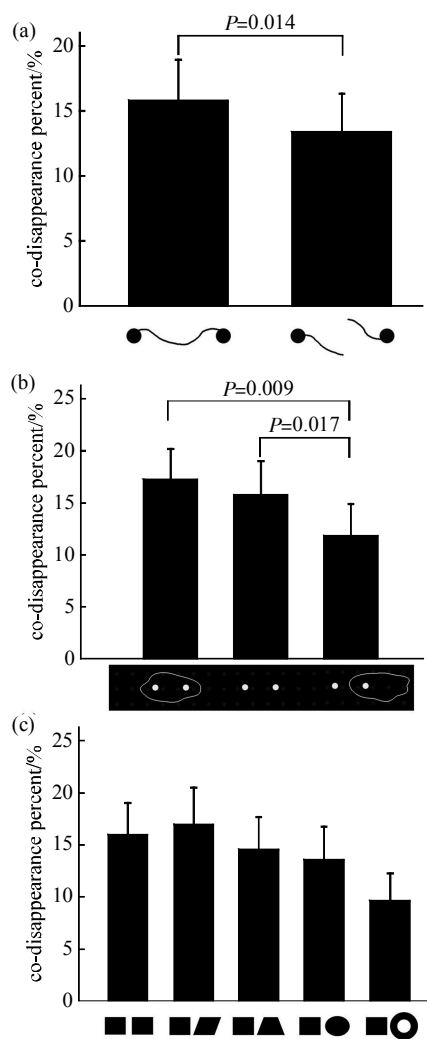


Fig. 2 Exp. 1~3 results

(a) Percentage of reported foreground figure co-disappearances time in Exp. 1. (b) In Exp. 2, and (c) in Exp.3. Error bars represent ± 1 SEM across subjects.

单因素的组内实验设计, 包含 5 个实验条件: 基线条件下的前景图形是一对相同的实心矩形; 欧氏性质差异条件的前景图形为一对相同的实心平行四边形; 仿射性质差异条件的前景图形是一对相同的实心梯形; 射影性质差异条件的前景图形是一对相同的实心椭圆; 拓扑性质差异条件是一对相同的空心圆环. 各种条件下的前景图形面积一样, 光通量相互匹配. 实验任务要求当被试检测到两个前景图形都消失时, 立即按下手中的反应键, 直到任何一个前景图形再次出现, 再松开反应键. 其他实验条件与连通性实验一致.

实验由 1 个练习区组和 3 个正式实验区组构成, 练习区组包括 5 个长度为 20 s 的练习试次, 每种条件出现一次, 每个正式实验区组包括 60 个长度为 30 s 的实验试次.

2.1.2 结果. 图 3a 显示了前景图形与背景相似性实验中前景图形消失的时间占总时间的比例. 配对 t 检验的结果发现, 前景图形与背景图形具有拓扑性质差异条件时前景图形消失的时间最短(15.73%, $SE = 3.0$), 显著地短于基线条件(23.99%, $SE=2.7$, $t(11)=7.482$, $P=0.00001$)、欧氏性质差异条件(22.50%, $SE=2.9$, $t(11)=6.209$, $P = 0.00006$)、仿射性质差异条件(21.60%, $SE=2.9$, $t(11) = 4.336$, $P = 0.001$)和射影性质差异条件(19.89%, $SE = 2.8$, $t(11) = 4.789$, $P = 0.001$).

2.2 带洞图形特异性实验(实验五)

2.2.1 方法.

12 名大学生(其中 5 名男生 7 名女生, 1 名左利手, 11 名右利手)参加了实验五, 年龄在 22~32 岁之间, 所有被试视力正常或者矫正后正常.

一个红色的圆点(直径为 $0.43^\circ \times 0.43^\circ$)在屏幕中央作为注视点. 背景图形由 64 个蓝色(CIE 1931, $x = 0.143$, $y = 0.066$, $Y = 6.17$)的图形单元排列形成 8×8 的阵列(视角为 $9.6^\circ \times 9.6^\circ$). 背景图形绕着注视点以 300 deg/s 逆时针旋转. 实验的视距为 64 cm. 两个相同的黄色(CIE 1931, $x = 0.511$, $y = 0.405$, $Y = 63.6$)图形位于注视点上方 4.54° , 左侧和右侧 4.54° 作为前景图形. 本实验是一个形状差异(2 水平) \times 背景图形带洞(2 水平)的双因素组内实验设计: 形状差异因素包括拓扑性质差异和非拓扑性质差异两个水平; 背景图形带洞因素包括背景图形不带洞(实心方块)和背景图形带洞(空心方环)两个水平. 实验任务要求被试检测到前景图形消失马上按下相应的反应键, 直到这个图形再次出现立即松开反应键.

实验由 1 个练习区组和 2 个正式实验区组构成, 练习区组包括 4 个长度为 40 s 的练习试次, 每个正式实验区组包括 60 个长度为 30 s 的实验试次.

2.2.2 结果. 图 3b 显示了带洞特异性实验中任何一个前景图形消失的时间占总时间的比例. 重复测量方差分析的结果表明, 背景图形带洞的主效应(37.4% vs. 37.0%, $F(1, 11) = 0.062$, $P = 0.807$)和背景图形带洞与形状差异之间的交互作用(37.2% vs. 37.1%, $F(1, 11) = 0.016$, $P = 0.9$)都不显著, 而形状差异的主效应显著(40.1% vs. 34.3%, $F(1, 11) = 29.861$, $P = 0.0002$), 说明前景图形和背景图形之间是否存在拓扑性质差异, 对 MIB 有显著影响, 而究竟是前景图形还是背景图形包含洞则对 MIB 没有影响, 即在 MIB 中不存在带洞图形的特异性.

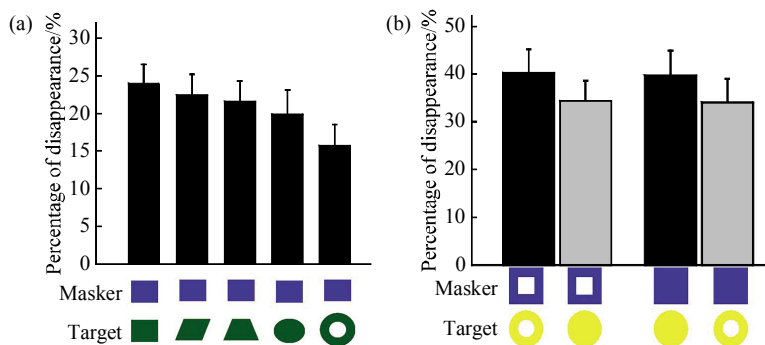


Fig. 3 Exp. 4~5 results

(a) The percentage of reported foreground figure disappearances time in Exp. 4. (b) In Exp. 5. Error bars represent ± 1 SEM across subjects. ■: Topological identical; □: Topological different.

2.3 讨论

实验四的研究发现, 当背景图形与前景图形具有相同的拓扑性质时, 前景图形具有更长的消失时间, 例如当背景图形为矩形时, 具有拓扑性质差异的前景图形(圆环)具有更短的消失时间, 而没有拓扑性质差异的前景图形(矩形、平行四边形、梯形、椭圆等)则具有相对更长的消失时间. 实验五进一步研究了实验四的结果是否由前景图形中是否包含洞的特异性引起, 结果发现, 前景图形消失时间的长短只与前景图形与背景图形的拓扑性质的差异有关, 而与洞出现在前景图形还是背景图形无关.

3 无意识状态下的新物体知觉

实验一~五验证了知觉物体的拓扑学定义在 MIB 中的表现和影响, 但另一个重要的科学问题是知觉物体的表征是否依赖于主观意识知觉的参与? 在本实验中, 我们将利用 MIB 范式把前景图形压制在意识下, 进而调控该被抑制的图形在各个几何不变层次的变化, 来系统考察拓扑性质变化产生的新物体是否具有快速突破抑制, 使被压制的前景图形重新回到意识水平的优势.

3.1 无意识状态下改变前景图形实验(实验六)

3.1.1 方法.

9 名大学生(其中 4 名男生 5 名女生, 1 名左利手, 8 名右利手)分别参加了实验六, 年龄在 22~32 岁之间, 所有被试视力正常或者矫正后正常.

一个红色(CIE 1931, $x=0.622, y=0.342, Y=14.5$)圆点($0.43^\circ \times 0.43^\circ$)呈现在屏幕中央作为注视点, 100 个蓝色(CIE 1931, $x = 0.133, y = 0.071, Y = 0.26$)的矩阵放置成一个 10×10 的阵列($8^\circ \times 8^\circ$)形成背景图形. 背景图形绕着注视点以 250deg/s 的角速度逆时针方向旋转. 本实验是一个消失后延迟时间(2 个水平) \times 形状变化(5 个水平)的双因素组内实验设计: 消失后延迟时间因素包括前景图形消失后延迟 400 ms 和 800 ms(两个水平)后发生形状变化, 形状变化因素包括变化成实心矩形(基线条件)、实心平行四边形(欧氏性质差异条件)、实心梯形(仿射性质差异条件)、实心椭圆(射影性质差异条件)或者空心圆环(拓扑性质差异条件) 5 个水平. 实验任务要求被试盯住屏幕中央的注视点, 按键开始实验, 试次开始时首先一个实心矩形呈现在注视点左侧 3.79° 上方 3.79° 的位置作为前景图形, 背景图形绕着注视点旋转, 当被试知觉到实心矩形消失时按下手中的反应键, 当前景图形消失的时间超过

400 ms 或者 800 ms 时, 前景图形由实心矩形立即变化成新图形, 当受试知觉到前景图形再次出现时立即松开手中的反应键, 200 ms 后整个试次结束(图 4a). 如果矩形消失时间小于 400 ms 或者 800 ms 前景图形将不发生变化. 为了防止被试对前景图形变化的预测, 在本实验中, 设置了两个消失后延迟时间. 在数据分析时, 这两个水平被组合在一起分析.

实验由 1 个练习区组和 6 个正式实验区组构成, 练习区组包括 10 个练习试次, 每种条件出现 2 次, 每个正式实验区组由包括 60 个正式实验试次组成.

3.1.2 结果. 图 4b 显示了前景图形(矩形)消失 400 ms 或者 800 ms 发生形状改变之后, 前景图形重新进入意识状态的时间. 基线条件下(前景图形保持不变), 前景图形消失时间最长达到 1 512 ms, 显著地长于欧氏性质变化条件(971 ms, $SE = 183, t(8) = 4.973, P = 0.001$)、仿射性质变化条件(833 ms, $SE = 168, t(8) = 5.612, P = 0.0006$)、射影性质变化条件(796 ms, $SE = 148, t(8) = 5.967, P = 0.0003$)和拓扑性变化条件(561 ms, $SE = 76, t(8) = 5.379, P = 0.0007$). 拓扑性质变化的条件下前景图形的消失时间最短, 显著短于其他各种非拓扑性质图形变

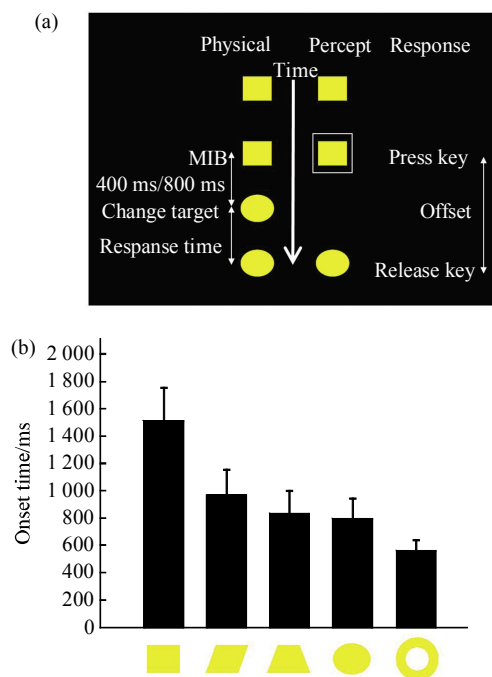


Fig. 4 The stimuli and results of Exp. 6

(a) Depiction of the stimuli and procedure used in Exp. 6. (b) The percentage of the reported foreground disappearance time in Exp. 6. Error bars represent ± 1 SEM across subjects.

化时间, 包括射影性质变化($t(8)=3.133$, $P=0.014$)、仿射性质变化($t(8) = 2.894$, $P = 0.020$)和欧氏性质变化($t(8) = 3.597$, $P = 0.007$). 其他条件间差异不显著.

3.2 讨论

实验六的结果发现, 当在 MIB 中处于意识下的图形发生拓扑性质改变时, 前景图形突破抑制重新回到意识上的时间相比于其他几何功能层次的变换条件最短. 这一结果表明, 拓扑性质的变换相当于新物体的形成, 使得处于意识下的前景图形突破抑制, 快速地重新回到意识水平上.

4 结 论

本研究采用 MIB 范式, 通过 6 个实验来系统研究和验证拓扑性质定义的知觉物体是 MIB 过程操作的基本单元. 实验一~三系统调节两个前景图形之间的知觉组织关系, 包括连通性、内外关系和洞的个数等拓扑性质, 发现当两个前景图形被连通, 或者是被一条封闭的曲线包围, 或者是具有相同的洞的个数时, 它们更倾向于被组织成一个知觉整体共同消失, 进一步支持了知觉物体的拓扑学定义. 实验四~五则研究了前景图形和背景图形的几何性质差异对 MIB 的影响, 结果发现, 前景图形和背景图形的拓扑性质差异, 较之非拓扑性质差异, 显著地削弱 MIB 现象, 即缩短了前景图形的消失时间. 尽管具体的机制仍需进一步的实验去探讨, 但该结果说明了 MIB 现象受到前景图形和背景图形之间的拓扑性质差异的影响. 实验六通过改变在 MIB 范式中被压制在意识下的前景图形来研究什么样的性质变化会使被压制的前景图形最快地突破抑制回到意识上, 结果发现相对于其他各种几何性质的变化, 拓扑性质的变化能更快地被知觉到返回意识状态. 这些结果揭示了拓扑性质定义的知觉物体是 MIB 过程操作的基本单元, 提示拓扑性质改变产生新知觉物体的表征可能是意识下的过程, 进一步支持了知觉物体的拓扑学定义.

最近, Mitroff 和 Scholl^[11]的研究也发现, 处于意识下的前景图形连通性的改变, 能使前景图形同时回到意识状态的几率增加, 而连通性也是拓扑不变性质的一种. 这些一致的实验结果使我们推测, 处于意识下的刺激图形至少被加工到了视觉系统能分辨出拓扑性质的水平, 说明拓扑性质可以在意识下状态进行加工, 也表明视知觉系统对新物体的产生非常敏感, 在加工上具有优先性. 最近关于早期

婴儿的新知觉物体检测能力的实验研究^[21]也表明, 最早一个半月大的婴儿就能检测到拓扑性质变化产生的新物体, 而且这种能力非常稳定, 不随年龄的增加而发展. 相反, 对局部性质变化的检测能力则随着年龄的增加而持续发展, 最少要到 4 个月以后才能达到和拓扑性质变化检测相当的水平. 因此, 该研究从发展的角度表明拓扑性质变化所形成的新物体检测能力具有发育上的优先性. 在进化过程中, 对大多数动物而言, 新出现的物体可能代表着掠食者的出现, 具有危险信息, 需要进行优先加工, 因此, 意识下的新物体知觉也具有进化的意义, 与生存息息相关.

参 考 文 献

- [1] Kahneman D, Henik A. Perceptual organization and attention// Kubovy M, Ponmerantz J R. *Perceptual Organization*. Hillsdale NJ: Erlbaum, 1981: 181-211
- [2] Duncan J. Selective attention and the organization of visual information. *J Exp Psychol Gen*, 1984, **113**(4): 501-517
- [3] Pylyshyn Z W, Storm R W. Tracking multiple independent targets: evidence for a parallel tracking mechanism. *Spat Vis*, 1988, **3**(3): 179-197
- [4] Spelke E S. Principles of object perception. *Cognitive Science*, 1990, **14**(1): 29-56
- [5] Scholl B J. Objects and attention: the state of the art. *Cognition*, 2001, **80**(1-2): 1-46
- [6] Feldman J. What is a visual object?. *Trends in Cognitive Sciences*, 2003, **7**(6): 252-256
- [7] Humphreys G W, Riddoch M J. How to define an object: evidence from the effects of action on perception and attention. *Mind & Language*, 2007, **22**(5): 534-547
- [8] Zhou K, Luo H, Zhou T, *et al*. Topological change disturbs object continuity in attentive tracking. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2010, **107**(50): 21920-21924
- [9] Chen L. The topological approach to perceptual organization. *Visual Cognition*, 2005, **12**(4): 553-637
- [10] Bonnef Y S, Cooperman A, Sagi D. Motion-induced blindness in normal observers. *Nature*, 2001, **411**(6839): 798-801
- [11] Mitroff S R, Scholl B J. Forming and updating object representations without awareness: evidence from motion-induced blindness. *Vision Research*, 2005, **45**(8): 961-967
- [12] Mack A, Rock I. *Inattentional Blindness*. MA: MIT Press, 1998
- [13] Shapiro K L, Raymond J E, Arnell K M. The attentional blink. *Trends in Cognitive Sciences*, 1997, **1**(8): 291-296
- [14] Blake R, Logothetis N K. Visual competition. *Nat Rev Neurosci*, 2002, **3**(1): 13-21
- [15] Hsu L C, Yeh S L, Kramer P. Linking motion-induced blindness to perceptual filling-in. *Vision Research*, 2004, **44**(24): 2857-2866
- [16] Brainard D H. The psychophysics toolbox. *Spatial Vision*, 1997, **10**(4): 433-436

- [17] Pelli D G. The VideoToolbox software for visual psychophysics: Transforming numbers into movies. *Spatial Vision*, 1997, **10**(4): 437-442
- [18] Graf E W, Adams W J, Lages M. Modulating motion-induced blindness with depth ordering and surface completion. *Vision Research*, 2002, **42**(25): 2731-2735
- [19] Hsu L C, Yeh S L, Kramer P. A common mechanism for perceptual filling-in and motion-induced blindness. *Vision Research*, 2006, **46**(12): 1973-1981
- [20] Zhang J, Zhu W, Ding X, *et al.* Different masking effects on "hole" and "no-hole" figures. *J Vision*, 2009, **9**(9)
- [21] Chien S H L, Lin Y L, Qian W, *et al.* With or without a hole: Young infants' sensitivity for topological versus geometric property. *Perception*, 2012, **41**(3): 305-318

The Role of Topological Invariants in Motion-induced Blindness*

ZUO Zhen-Tao^{1,2}, LUO Huan^{1**}, ZHOU Ke^{1**}

¹Key Laboratory of Brain and Cognitive Sciences, Institute of Biophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

²University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract The definition of perceptual objects is one of the most central but still controversial questions in cognitive science. By using the motion-induced blindness (MIB) paradigm, we found that: a. when two targets were connected, enclosed, or contained the same number of holes, they intended to be grouped together and co-disappeared; b. the targets and background figures with different topological properties significantly weakened MIB effects; c. once observers lost awareness of the targets, the topological changes of the target compared with the non-topological changes, lead it return to awareness much quickly. These results revealed an important role of the topological invariants in the MIB, and provided further support for the topological definition of perceptual objects. Furthermore, current study suggested that the representation of the perceptual new object could be processed in the absence of visual awareness.

Key words perceptual object, motion-induced blindness, topological properties

DOI: 10.3724/SP.J.1206.2012.00368

*This work was supported by a grant from The Ministry of Science and Technology of China (2012CB825500).

**Corresponding author. Tel: 86-10-64888565

LUO Huan. E-mail: hluo@bcslab.ibp.ac.cn

ZHOU Ke. E-mail: kzhou@bcslab.ibp.ac.cn

Received: July 16, 2012 Accepted: August 28, 2012