

连续闪现抑制下对洞的无意识知觉*

陈亚琪^{1, 2)} 周天罡^{1)**} 陈霖¹⁾

(¹⁾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 大量收敛一致的实验证据表明, 图形的大范围性质可以由拓扑性质来描述, 并且其检测发生在视觉过程的最早期, 这些证据几乎全部来自对意识上知觉的研究, 而拓扑性质的意识下加工机制尚有待发掘. 意识下知觉是人的感官系统客观上接受刺激呈现但主观上没有察觉的知觉, 其机制和应用长期以来一直是知觉研究的热点. 本文采用了一种双眼竞争的变式——连续闪现抑制, 将待检测的刺激图形掩蔽, 使之处于意识下状态, 考察意识下知觉中拓扑性质的加工. “洞的个数”作为一种拓扑性质是本文的研究对象. 通过量度被抑制图形从发生变化到被知觉的被抑制时间, 或者被试对被抑制的变化图形的正确检测率, 我们发现, 相比于不变或者各种非拓扑性质变化, 意识下知觉中的拓扑性质(洞的个数)的变化会使图形更快、更容易被检测到. 本研究揭示了拓扑性质(洞的个数)在意识下知觉中的优先性, 将拓扑知觉理论从意识上知觉领域拓展到了意识下知觉领域, 为拓扑性质加工的早期性提供了有力的证据; 另一方面, 本研究也提示了拓扑性质经由皮层下视通路加工处理的可能性.

关键词 拓扑性质, 洞, 意识下知觉, 双眼竞争, 连续闪现抑制

学科分类号 B842.1

DOI: 10.3724/SP.J.1206.2013.00463

“大范围首先(global first)”理论^[1-2]认为视觉认知是先整体后局部的, 而且发生在视知觉过程最早期的大范围整体性质可以用拓扑性质来准确科学地定义, 以拓扑不变性为最基本层次的各个层次的几何不变性质(射影不变性、仿射不变性、欧氏不变性)是视知觉的基本单元. 该理论得到了大量的实验证据^[3-4], 被成功地推广到很多不同的认知层次^[5], 并形成了独特的对认知基本单元的定义^[6]. 以上这些证据都是基于意识上的视觉输入, 而拓扑性质的意识下加工机制尚有待发掘.

意识下知觉也称无意识知觉, 长期以来引起了许多研究者的兴趣. 研究者认为相对于意识上过程, 意识下过程能够处理的信息可能在性质上更加简单、过程上更加早期、同时也更加基本和重要. 研究表明, 一些高级认知信息(面孔、语义、情绪等)也能对其产生影响^[7-8]. 拓扑性质是否能够在意识下得到充分地加工处理是一个非常令人感兴趣的问题.

“大范围首先”理论认为拓扑性质知觉是过程上更早期, 也更加基本和重要的知觉, 然而从认知

的计算理论出发, 拓扑性质是计算复杂度最高的几何性质, 其加工处理是困难而复杂的高级认知过程. 拓扑性质的这种“早期”和“高级”的矛盾, 在神经生理学上也有类似反映. 之前的脑成像研究^[3-4, 6]发现, 前颞叶在拓扑不变性知觉中起着重要作用, 前颞叶是视觉腹侧通路的末梢, 是视觉物体认知通路的终点. 这对“大范围首先”的拓扑知觉理论带来了很大的挑战: 为什么视知觉上的“首先”会发生在视觉通路的终点呢? 另一方面, 大量研究者对意识下知觉的神经机制展开了研究^[9]. 对于无意识刺激的信息如何得到加工处理的问题, 可能的解释有: 被抑制信息在经典视通路的传递只是被削弱并未被完全阻断^[10]; 被抑制信息从皮层下通路得到传递处理^[11]; 从 M 通路加工处理^[12-13]等等.

* 国家重点基础研究发展计划(973)(2012CB825500), 国家自然科学基金(91132302), 中国科学院战略性先导科技专项(XDB02010001, XDB02050001)资助项目.

** 通讯联系人.

Tel: 010-64888565, E-mail: tgzhou@bcslab.ibp.ac.cn

收稿日期: 2014-02-10, 接受日期: 2014-04-22

结合此前的证据, 我们把大范围首先的神经机制与皮层下通路联系起来. 猜测意识下知觉和拓扑性质可能都通过皮层下视通路得到了处理加工.

实现无意识知觉的方法很多, 有很多方法或范式, 都可以让正常情况下可见的刺激对于被试不可见. 在几种常见的范式中双眼竞争这种方法是比较有优势的^[14]. 当呈现给双眼的是不同的图像刺激时, 知觉会在不同的图像中切换, 而不是两眼刺激的叠加, 这种现象称为双眼竞争. 呈现给双眼的恒定物理刺激带来主观上不同的知觉. 本文将应用一种双眼竞争的变式, 称为连续闪现抑制(continuous flash suppression, CFS)^[15]. CFS 是给被试一只眼睛呈现快速切换的不同掩蔽图形(以 10 Hz 左右的频率切换掩蔽效果最强), 另一只眼睛呈现目标图形, 这样掩蔽图形能在较长的时间内将目标图形完全掩蔽, 因此相对于传统的双眼竞争, 其在研究意识下视觉中更为方便^[16]. CFS 范式出现后因其强大的掩蔽能力得到许多意识下视觉研究的关注, 前面提到的很多重要的意识下知觉研究都是利用该范式.

1 实验方法

1.1 实验对象

本研究中被试均为自愿并有偿参加实验的在读大学生或研究生, 年龄 19~26(21.6±1.9) 岁, 具正常视力或矫正正常视力, 无色盲弱视等眼部疾病. 其中部分被试曾有心理学实验经历. 所有实验中的原始被试数共 101 人次, 得到有效数据的被试数为 89 人次(被试删除标准见实验结果部分). 各实验中有效被试数量分别为: 实验 1.1, 12 名被试(6 男 6 女); 实验 1.2, 14 名被试(9 男 5 女); 实验 1.3, 14 名被试(9 男 5 女); 实验 2.1, 16 名被试(6 男 10 女); 实验 2.2, 16 名被试(7 男 9 女); 实验 2.3, 17 名被试(9 男 8 女).

1.2 实验环境与设备

所有实验在一间安静无光照的行为实验室内进行. 实验刺激由 Adobe Photoshop 7.0, MATLAB 6.5 及其心理学工具包 Psychtoolbox 2 等软件绘制或生成, 数据的记录采集同样采用 MATLAB. 一台 22 英寸的彩色 CRT 显示器(ViewSonic P220f)用于呈现视觉刺激, 其分辨率固定为 1024×768, 垂直扫描刷新频率 100 Hz. 被试通过一组立体镜观察显示器屏幕上的视觉刺激, 立体镜由 4 块前表面反射的平面镜组成, 每块平面镜的反射率大于 92%, 屏幕上左右两侧的视觉刺激通过两次平面镜反射之

后投射到被试左右两眼的对应视野. 被试将下巴置于头部固定托架上以防止头动, 刺激从显示屏幕到被试眼睛的总光路长度 70 cm.

1.3 实验刺激

实验 1: 为了更好地对照局部性质, 采用了图中的 S 形与 O 形刺激对, 这对图形在非拓扑局部性质上做了完美的控制^[4], 例如具有等同的对比度与光通量、相近的轮廓总长度、都是由曲线构成, 空间频率成分也非常接近, 但是在拓扑性质上, 一个有洞一个没有洞, 拓扑性质不同. 因此, 这对局部性质非常相似的图形很适合研究意识下知觉中的大范围拓扑性质. 实验 1.1 的前导图形为 S 形, 后续图形为 S 形或 O 形; 实验 1.2 的前导图形为 O 形, 其他与实验 1.1 相同; 实验 1.3 中, 以实心圆为起始图形, 后续图形可能为实心圆、S 形或者 O 形, 且三种图形的光通量基本相等.

实验 2: 使用的被抑制图形是一套在实心圆上开有大小不等的洞或者弧形缺口的图形, 带洞图形和缺口图形除了拓扑性质以外尽量做到相似. 实验 2.1 有四种被抑制图形刺激对, 即从 1 个洞(或弧)到 2 个洞(或弧), 2 个洞(或弧)到 3 个洞(或弧), 各种被抑制图形的灰度相同且光通量相等. 实验 2.2 考察了 1 个、2 个、3 个洞(或弧)的增减变化, 被抑制图形没有控制光通量而是控制洞或弧的大小形状相同. 实验 2.3 中洞(或弧)的个数变化有两对刺激是 1 个, 一对刺激是 2 个, 被抑制图形基本为实验 2.1 中 6 种图形加上一个实心圆形, 同时为了避免主观边框的影响稍微扩大了缺口. 所有图形灰度相同, 光通量相同.

1.4 实验流程

实验 1: 显示器屏幕背景为灰色(RGB 128), 被抑制图形为深灰色, 灰度值根据每名被试的具体情况而定, 呈现给同一被试的不同图形的灰度相同. 掩蔽图形为 9.47°×12.72°的彩色马赛克, 由 20×30 个小色块组成. 实验开始前, 先以屏幕上的黑棒为线索调整平面镜使被试左右眼图像重合. 每个试次中, 先给被试两眼视野中央均呈现前导刺激图形, 1 500 ms 后其中一侧的前导图形被马赛克彩块图形取代, 马赛克图形以 10 Hz 的频率切换, 300 ms 后另一侧的前导图形瞬间变化为后续图形(如果前导图形和后续图形相同即为不发生变化条件). 被试继续注视直至发觉任何图形或其部分, 立刻按键反应, 无论知觉到何种图形都是按同一个键, 按键后后续图形和掩蔽图形同时消失, 记录从

图形变化到被试按键反应的时间即为被抑制时间。如果被试一直未发觉任何图形, 6 s 后所有图形也会自动消失。大约 3 s 间隔后下一个试次自动开始。要求被试在每次实验开始呈现前导图形的时候需要保持注视前导图形, 并且实验过程中尽量不要眨眼。实验为组内设计, 每名被试需完成不同后续图形的试次各 50 次, 不同试次混合排列随机呈现, 另外为了帮助被试正确判断图形存在与否和监测被试状态, 还有 20 个 catch trial 随机出现, 即马赛克出现 300 ms 后另一侧的前导图形直接消失而不出现任何后续图形, 被试在这种情况下应该观察不到任何图形而不按键(图 1)。

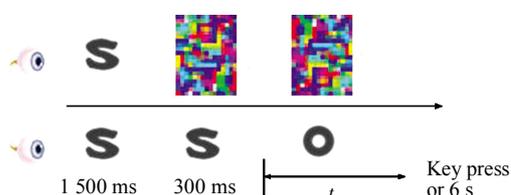


Fig. 1 Schematic representation of the exp1 procedure

Test image was displayed to the subject's one eye, 1.5 s later the mosaic noise of a 10 Hz flash rate was displayed to the other eye. After 300 ms, the suppressed test image transformed to another image or stayed unchanged. The subject was told to press a key on the keyboard immediately if he saw something except the noise, and the time from the new figure's appearance to the key response was recorded.

实验 2: 显示器屏幕背景为灰色(RGB 128), 被抑制图形为深灰色, 灰度值根据每名被试的具体情况而定, 呈现给同一被试的不同图形的灰度相同。掩蔽图形为 $9.47^\circ \times 6.36^\circ$ 的彩色马赛克, 由大

小长短不一的矩形色块随机重合叠加组成, 相比实验 1 中的规则马赛克掩蔽能力更强。实验开始前, 先以屏幕上的黑棒为线索调整平面镜使被试左右眼图像重合。每个试次开始时, 被试两眼视野中央均有一十字形注视点, 其中一只眼睛的正上方各呈现相同的一块以 10 Hz 的频率切换的彩色马赛克, 而对另一只眼, 在注视点的上方或下方, 对应于相应马赛克中心的位置呈现一个被抑制图形, 500 ms 后这个图形变化为刺激对中的另一个图形, 再经过 500 ms 后又返回第一次呈现的图形, 如此反复, 刺激呈现总时间长度 3 s, 即共呈现了 6 次图形, 发生了 5 次图形的变化。在 3 s 的刺激呈现结束后, 刚才呈现马赛克图形的一侧, 掩蔽色块消失, 只留下注视点, 而呈现被抑制图形的一侧屏幕, 会立即呈现 500 ms 的马赛克掩蔽图形, 以消除被抑制图形的后效。结束后屏幕上除了黑棒和注视点外的所有图形同时消失, 要求被试判断刚才的实验中, 被抑制图形呈现在注视点的上方还是下方并按下相应按键, 被试按键后自动开始下一个试次。对于每组刺激图形对, 出现在注视点上方或下方的次数相等。要求被试在实验中盯住注视点, 并且实验过程中尽量不要眨眼, 如果不确定图形出现在上方或是下方, 则尽量选择自己觉得可能性更大的一方。被抑制图形对比度在练习时根据每名被试分别调整, 保证总体正确率在 70%~80%为宜。实验为组内设计, 每名被试需完成不同被抑制图形对的试次各 50 次, 不同试次混合排列随机呈现(图 2)。实验中同样有与实验 1 类似的 20 个 catch trial, 此时会有几何图形被叠加到色块上呈现, 即不存在掩蔽, 被试能直接看到。

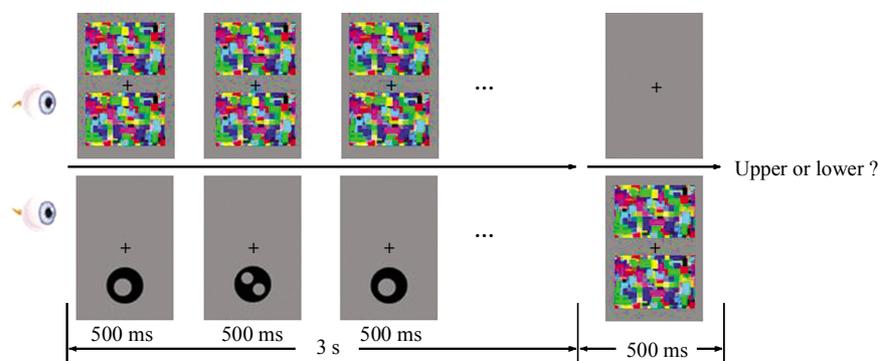


Fig. 2 Schematic representation of the exp2 procedure

A low contrast test image was displayed to the subject's one eye, above or below the fixation, during the 3 s' display the figures may stay unchanged or change back and forth every 500 ms, meanwhile the mosaic noise was presented to the other eye, both above and below the fixation. After the 3 s' display, 500 ms' noise was presented to the eye which the test image was just displayed, then the screen was cleared and subjects were required to judge whether the figures were displayed on the upper or the lower half of the screen.

2 实验结果

本研究包含两个行为实验，均考察了被试对被 CFS 抑制的图形所发生变化的知觉。洞的有无及其数量是二维图形的拓扑性质，实验 1 以被抑制时间为指标探讨了洞的有无变化在意识下知觉的处理，而实验 2 则以正确检测率为指标并推广到洞的数量变化。

2.1 实验 1

对于每名被试，20 个 catch trial 中的按键次数如果大于等于 2 次则删除此名被试，而正常试次中未按键和 3 倍标准差以外的被抑制时间数据予以剔除，如果剔除数据达到总数的 20% 以上则删除此名被试，剩下的为有效被试，计算每名被试不同图形的被抑制时间均值，用 SPSS 软件做统计分析，统计方法为配对样本的 t 检验，结果如下：配对 t 检验结果显示，实验 1.1 中 S 形不变和由 S 形变为 O 形的被抑制时间差异非常显著 ($t_{(11)}=3.213$, $P=0.008$)，实验 1.2 中 O 形不变和被抑制时间同样显著长于由 O 形变为 S 形的被抑制时间 ($t_{(13)}=2.607$, $P=0.022$)。这表明即使局部几何性质变化不大，发

生拓扑变化依然大大缩短了被抑制时间，而且这种被抑制时间的差异只能用变化来解释，而不会是图形特异性的影响，譬如某种图形更容易被知觉到，因为实验中 S 形与 O 形两种图形的地位是完全等同的。

实验 1.3 添加了非拓扑变化这一层次，由圆到 S 形和由圆到 O 形间，发生的局部几何性质变化程度是大体对等的，在前面实验排除了图形特异性影响之后，最大差异就是前者是非拓扑变化而后者是拓扑变化。结果采用重复测量方差分析处理，显示三种情况下被抑制时间的差异非常显著 ($F_{(2, 26)}=41.447$, $P<0.001$)，Bonferroni 多重比较结果显示，不变情况的被抑制时间和另两者间的差异均达到非常显著 ($P<0.001$)，而非拓扑变化和拓扑变化的被抑制时间的差异也达到显著 ($P=0.033$)。这个结果表明，被抑制图形发生变化会更快地被知觉到，而相对于非拓扑变化，发生拓扑变化被知觉到的速度显著更快。总结实验 1 的 3 个实验，结果表明，洞的有无这一拓扑性质是物体在形状方面中最基础的性质，以至于在意识下知觉中相比其他局部性质其变化显著加快了其突破掩蔽的速度(图 3)。

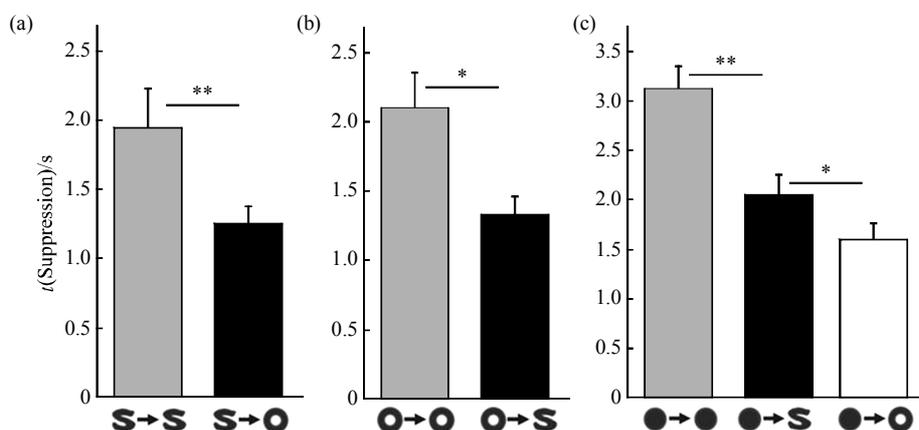


Fig. 3 Topological changes took less time to break into dominance

(a), (b), (c) corresponding to results of exp1.1, exp1.2, exp1.3. The suppressed figures with topological changes took less time to break into dominance than those of nontopological changes or unchanged, results also indicated the ring itself doesn't have specialty here. (* $P<0.05$, ** $P<0.01$).

2.2 实验 2

实验 1 洞的有无变化其实就是洞的个数 0 和 1 之间的变化，如果上面的结果能在洞的个数变化上被证实，将具有更为广泛的意义，所以实验 2 就是关于洞的个数变化的研究。实验 2 以正确率为考察

指标，实验流程与实验 1 相比主要有两点区别：每个试次中实行多次变化而不是单次变化，突出了变化这一因素而减少图形本身的影响，采用多次变化也可以避免变化的方向性这一问题；从实验 1 的考察被抑制时间的范式，改为以正确率为指标的强迫

二选一(2AFC)范式, 实验 2 中被抑制图形都有两个可能的呈现位置, 被试需要在刺激呈现完毕后按键选择刚才的图形呈现在哪个位置并统计其正确率以进行统计分析, 这个变化改进了实验的客观性和可操作性。

对于每名被试, 20 个 catch trial 中的错误按键次数如果大于等于 2 次则删除此名被试, 各种条件下都达到地板或天花板效应的被试也删除. 实验 2.1 中 4 种条件构成双因素 2×2 组内设计, 第一个因素为是否拓扑变化, 第二个因素为局部性质改变的程度, 1 个洞和 2 个洞这对刺激, 与 1 个弧与 2 个弧这对刺激, 变化时发生的局部性质改变是类似的, 因此作为一组, 剩下两对刺激作为另一组. 分别统计 4 种情况下被试的正确率, 用 SPSS 软件做统计分析, 统计方法为双因素重复测量方差分析, 结果如下: 拓扑变化与否和局部变化程度的交互作用不显著($F_{(1, 15)}=0.030, P=0.864$), 拓扑变化与否的主效应显著($F_{(1, 15)}=7.244, P=0.017$), 局部变化程度的主效应不显著($F_{(1, 15)}=0.655, P=0.431$). 表明在意识下知觉中对拓扑变化判断的正确率显著高于非拓扑变化, 且这一效应不受非拓扑变化程度的调控, 而不同程度的非拓扑变化对被试的判断没有影响. 从这个实验可以看到, 在包含多个洞的图形刺激中, 洞和弧间的区别虽然从局部因素上并不重大, 但是一个是拓扑变化一个是非拓扑变化, 同处于被掩蔽状态时, 可能得到的处理加工水平并不一致, 拓扑变化得到的加工更充分, 被试因此能更准确判断图形的位置.

实验 2.2 为双因素 2×3 设计, 拓扑变化有是与否两水平, 局部变化的程度则由小到大三个水

平. 分别统计 6 种情况下被试的正确率, 双因素重复测量方差分析结果如下: 拓扑变化与否和局部变化程度的交互作用不显著($F_{(2, 30)}=0.365, P=0.697$), 拓扑变化与否的主效应显著($F_{(1, 15)}=6.092, P=0.026$), 局部变化程度的主效应不显著($F_{(2, 30)}=0.090, P=0.914$). 方差分析表明, 对拓扑变化判断的正确率显著高于非拓扑变化, 且这一效应不受非拓扑变化的程度调控, 而不同程度的非拓扑变化对被试的判断没有影响. 从结果中可以看出, 虽然 1 个、2 个、3 个洞的增减间的区别在直觉上似乎很重大, 不仅有数量, 也包含光通量的变化, 但是被试判断起来的难易度并没有差别, 不同数量弧的增减也是如此, 按照拓扑知觉理论, 这是因为其实质是同为拓扑变化或者同类型非拓扑变化, 其内部是无差别的; 与此相对, 洞和弧在局部性质上的差别并不大, 但是有拓扑变化与否的差别, 拓扑变化得到的加工更充分, 被试因此能更准确判断图形的位置; 而且, 拓扑变化相对非拓扑变化的这种优势并不受局部变化程度的影响, 即无论是几个洞的增减 *vs.* 几个弧的增减, 前者对后者都具有同样的优势.

实验 2.3 综合了前两个实验, 双因素 2×3 设计, 拓扑变化与否两个水平, 局部变化的程度三个水平, 每种情况 50 试次, 共 300 个试次. 分别统计 6 种情况下被试的正确率, 双因素重复测量方差分析结果如下: 拓扑变化与否和局部变化程度的交互作用不显著($F_{(2, 32)}=1.456, P=0.248$), 拓扑变化与否的主效应显著($F_{(1, 16)}=10.180, P=0.006$), 局部变化程度的主效应不显著($F_{(2, 32)}=0.622, P=0.543$)可以看出结果与前两个实验完全一致(图 4).

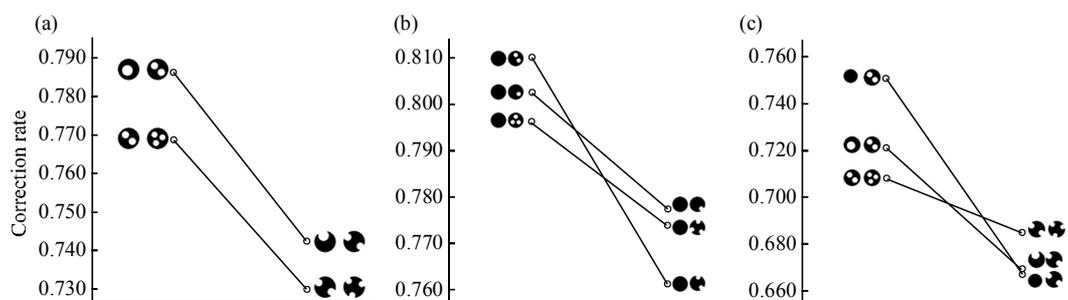


Fig. 4 Topological changes are easier to detect during suppression

(a), (b), (c) corresponding to results of exp2.1, exp2.2, exp2.3. Topological changes (increasing or decreasing numbers of holes) make the figures easier to be detected than nontopological changes; while different extent of mere local-feature-changes (changes in contour) doesn't make any differences; interaction also doesn't exist.

3 讨 论

从以上两组行为实验,可以发现,视觉刺激在被连续闪现抑制时,相对于仅仅发生非拓扑的形状变化,图形洞的有无或洞的个数发生变化,能使其更快或者更容易突破抑制进入主导.结果表明,洞的个数的变化能够在意识下得到充分地加工处理,从而引导其从意识下的掩蔽状态突破到意识上的主导状态.洞的个数是二维拓扑不变量.这一结果首次将拓扑知觉理论从有意识知觉拓展到了意识下知觉领域,表明无意识知觉过程中拓扑性质得到了相对于局部几何性质更加充分的加工,揭示了意识下知觉中的大范围优势.

直觉常识告诉我们整体是由部分组成的,因此几乎所有关于物质世界的研究都是建立在这种“从局部到整体”的分析基础上.认知的计算理论认为知觉也是从计算简单的局部(特定朝向的线段)开始,并逐步走向计算更加困难,甚至要依赖于局部计算的整体(拓扑不变性质).本研究发现,在被CFS掩蔽时,相对于轮廓形状、空间频率、光通量等局部性质的剧烈改变(如从“S形”变成实心圆),拓扑性质改变获得了更加充分的加工,而这样更加充分的加工显然不可能依赖于较少获得加工的局部几何性质(如“S”和“O”之间的轮廓形状的改变).意识下知觉中整体性质的加工程度显著地高于局部性质的实验结果,在因果关系上暴露了“整体信息的知觉必须首先依赖于局部加工”的理论路线的根本错误.

“大范围首先”理论的脑成像研究最重要的结论是大范围不变性的关联脑区是前颞叶.然而按照“局部优先”的认知理论假设(特征分析理论)^[17],经典的视觉腹侧通路从V1一路向上一直到前颞叶,顺次处理从局部到整体的视觉属性,这样的“视觉通路的末梢”和行为上的“大范围首先”的矛盾,对于“大范围首先”理论而言是不可避免的.为了回答这个问题,该团队进一步的研究发现了一系列的证据提示“大范围首先”的理论可能可以在“皮层下”找到合理的神经机制:a.进一步的脑成像研究表明大范围拓扑性质的加工涉及到杏仁核;b.在行为研究上发现恐怖情绪加工和拓扑性质加工之间特异性的交互作用^[18-19];c.还有研究表明,拓扑性质加工可能不经由初级视觉皮层^[20].有关无意识知觉的研究也提示了被抑制的情绪信息经由皮层下视通路加工的可能性^[11].本文将意识下知觉和

拓扑性质知觉结合起来研究,在一定程度上支持了意识下知觉的“皮层下加工假说”,也同时支持了拓扑性质知觉的“皮层下加工”.

致谢 感谢胡鲲在实验技术上对我们研究的支持.

参 考 文 献

- [1] Chen L. Topological structure in visual perception. *Science*, 1982, **218**(4573): 699-700
- [2] Chen L. The topological approach to perceptual organization. *Visual Cognition*, 2005, **12**(4): 553-637
- [3] Zhuo Y, Zhou T G, Rao H Y, *et al.* Contributions of the visual ventral pathway to long-range apparent motion. *Science*, 2003, **299**(5605): 417-420
- [4] Wang B, Zhou T G, Zhuo Y, *et al.* Global topological dominance in the left hemisphere. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2007, **104** (52): 21014-21019
- [5] He L, Zhang J, Zhou T, *et al.* Connectedness affects dot numerosity judgment: implications for configural processing. *Psychon Bull Rev*, 2009, **16**(3): 509-517
- [6] Zhou K, Luo H, Zhou T G, *et al.* Topological change disturbs object continuity in attentive tracking. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2010, **107**(50): 21920-21924
- [7] Jiang Y, Costello P, He S. Processing of invisible stimuli: advantage of upright faces and recognizable words in overcoming interocular suppression. *Psychological Science*, 2007, **18**(4): 349-355
- [8] Jiang Y, Costello P, Fang F, *et al.* A gender- and sexual orientation-dependent spatial attentional effect of invisible images. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2006, **103**(45): 17048-17052
- [9] Hannula D E, Simons D J, Cohen N J. Imaging implicit perception: promise and pitfalls. *Nat Rev Neurosci*, 2005, **6**(3): 247-255
- [10] Sterzer P, Haynes J-Dylan, Rees G. Fine-scale activity patterns in high-level visual areas encode the category of invisible objects. *Journal of Vision*, 2008, **8**(15): 101-112
- [11] Pasley B N, Mayes L C, Schultz R T. Subcortical discrimination of unperceived objects during binocular rivalry. *Neuron*, 2004, **42**(1): 163-172
- [12] Carlson T A, He S. Visible binocular beats from invisible monocular stimuli during binocular rivalry. *Curr Biol*, 2000, **10**(17): 1055-1058
- [13] Haynes J D, Deichmann R, Rees G. Eye-specific effects of binocular rivalry in the human lateral geniculate nucleus. *Nature*, 2005, **438**(7067): 496-499
- [14] Kim C-Y, & Blake R. Psychophysical magic: rendering the visible "invisible". *Trends Cogn Sci*, 2005, **9**(8): 381-388
- [15] Tsuchiya N, Koch C. Continuous flash suppression reduces negative afterimages. *Nat Neurosci*, 2005, **8**(8): 1096-1101
- [16] Tsuchiya N, Koch C, Gilroy L A, *et al.* Depth of interocular suppression associated with continuous flash suppression, flash suppression, and binocular rivalry. *Journal of Vision*, 2006, **6**(10): 1068-1078

- [17] Treisman A, Gormican S. Feature analysis in early vision: evidence from search asymmetries. *Psychol Rev*, 1988, **95**(1): 15–48
- [18] Qian W L, Zhou K, Chen L. Topological change triggers the attentional blink: evidence for the topological definition of perceptual units. *Journal of Vision*, 2011, **11**(11): 269
- [19] Meng Q L, Qian W L, Ren P, *et al.* Perceptual organization: Neural mechanisms and models interference between fear emotion and topological perception and its neural correlation in amygdala. *Journal of Vision*, 2012, **12**(9): 1307
- [20] Du X, Chen L, Zhou K. The role of the left posterior parietal lobule in top-down modulation on space-based attention: a transcranial magnetic stimulation study. *Human Brain Mapping*, 2012, **33**(10): 2477–2486

Implicit Perception of "Holes" Under Continuous Flash Suppression*

CHEN Ya-Qi^{1,2}, ZHOU Tian-Gang^{1**}, CHEN Lin¹

⁽¹⁾*Institute of Biophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;*

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

Abstract The Global First theory considers the global properties of objects could be described as topological invariants, with the earliest detection and highest priority in visual processing. The theory is supported by accumulating evidence in conscious vision, but remains unclear in implicit perception, the perception in the absence of awareness, whose mechanism and application have been studied a lot in cognition research for years. In the present study we probed into the processing of global properties in implicit perception by means of a variant of binocular rivalry called continuous flash suppression, in which our target stimuli were suppressed by dynamic mosaic noise patterns in order to achieve subconscious vision. The number of holes, a crucial topological invariant of an object, is the target of this study. In Exp1, the disk, the S and the O shape were used as target stimuli, the shapes might change or not after being suppressed, subjects reported the breakthrough of suppressed figures by keypress, we measured the suppression time of the figures, and found stimuli of topological changes (changes of numbers of holes in stimuli) took significantly less time to get into dominance, comparing with those of non-topological changes or unchanged. In Exp2, disks with different amount of holes or similar arcs were used as target stimuli, subjects were required to perform a 2AFC task after a 3s display in which the suppressed figures might be presented in the upper or lower visual field, the detection accuracy were compared, which indicated that the topological changes have a higher chance to be detected during suppression. The result strongly supported Global First in implicit perception, and revealed the high priority of topological properties in human visual processing, meanwhile it suggested the possible subcortical visual processing of topological properties.

Key words topological properties, hole, implicit perception, binocular rivalry, continuous flash suppression

DOI: 10.3724/SP.J.1206.2013.00463

*This work was supported by grants from National Basic Research Program of China (2012CB825500), The National Natural Science Foundation of China (91132302) and Strategic Priority Research Program of the Chinese Academy of Sciences (XDB02010001, XDB02050001).

**Corresponding author.

Tel: 86-10-64888565, E-mail: tgzhou@bcslab.ibp.ac.cn

Received: February 10, 2014 Accepted: April 22, 2014