心理学报 2013, Vol. 45, No.12, 1324–1333
Acta Psychologica Sinica DOI: 10.3724/SP.J.1041.2013.01324

拓扑性质对视觉新异刺激时距知觉的影响*

李宝林 陈有国 袁祥勇 Todd Jackson 黄希庭

(认知与人格教育部重点实验室(西南大学); 西南大学心理学部, 重庆 400715)

摘 要 当不被预期的新异刺激出现在重复的标准刺激序列中时, 相比标准刺激它的呈现时间往往会被高估, 这种现象被称为时距知觉中的新异刺激效应。结合这一现象, 本研究考察了对视觉新异刺激时距知觉的高估是否会受到拓扑性质的影响。实验采用新异刺激范式, 要求被试比较不同条件下新异刺激与标准刺激的呈现时间, 结果发现(1)当标准刺激与新异刺激表现出拓扑性质的差异时, 被试更倾向于高估新异刺激的呈现时间; (2)相对于其他几何性质的变化, 拓扑性质的变化能够导致更大程度的新异刺激效应。这些结果表明拓扑性质作为一种重要的非时间信息, 对视觉新异刺激时距知觉具有重要影响; 同时也进一步支持了知觉物体的拓扑学定义。

关键词 拓扑性质; 新异刺激; 时距知觉; 知觉物体

分类号 B842

1 引言

时距知觉与我们的生活息息相关, 从听觉信息的理解到运动技能的控制都离不开对时距信息的加工。尽管准确地知觉时距对个体的生存具有重要意义, 然而大量研究表明个体知觉到的时距不仅取决于事物客观的时距信息, 而且还会受到刺激的量值(Xuan, Zhang, He, & Chen, 2007)、运动信息(Brown, 1995; Wang & Jiang, 2012)、空间频率(Aaen-Stockdale, Hotchkiss, Heron, & Whitaker, 2011)等因素的影响。这表明大脑对事物某些非时间信息的加工会影响时距信息的加工。

时距知觉扭曲现象反映了人们的时距知觉具有相当强的可塑性。当不被预期的新异刺激出现在重复的标准刺激序列中时, 相比标准刺激它的呈现时间往往会被高估, 比如在重复出现的红色圆盘中突然插入一个同样大小的黑色圆盘, 要求被试比较它们呈现时间的长短, 在等时距呈现的条件下被试会倾向于判断黑色圆盘的呈现时间更长(Tse, Intriligator, Rivest, & Cavanagh, 2004)。这种现象被称为时距知觉中的新异刺激效应(oddball effect)(Schindel, Rowlands, & Arnold, 2011)。近年来这种现象得到了广泛的关注。Tse 等人(2004)发现当标准刺激与新异刺激间的差异为颜色、形状、大小和动态性等特征时, 被试均会倾向于高估新异刺激的呈现时间。后续的研究也发现通过改变标准刺激的朝向、明度和运动方向等特征来定义新异刺激也会引起被试对新异刺激呈现时间的高估(Sadeghi, Pariyadath, Apte, Eagleman, & Cook, 2011; Schindel et al., 2011)。然而, 通过对比可以发现当标准刺激与新异刺激间的差异不同, 被试对新异刺激呈现时间的高估量也不相同, 如已有研究发现随着标准刺激与新异刺激间朝向差异的增大, 被试对新异刺激呈现时间的高估量也随之增加(Pariyadath & Eagleman, 2012; Schindel et al., 2011)。此外, Aaen-Stockdale 等人(2011)也发现当标准刺激与新异刺激间仅存在空间频率的差异时, 没有出现新异刺激效应。这些都说明新异刺激的新异程度是影响新异刺激效应大小的重要因素。

拓扑性质是指在拓扑变换(如拉伸、扭曲、挤压等)下图形保持不变的性质和关系, 如连通性、内外关系、洞的个数等。例如, 当一个正方形变成圆

收稿日期: 2012-12-26

* 西南大学心理学部 2012 研究团队建设项目“时间分段综合模型的机制与应用” (TR201201-1)。

通讯作者: 黄希庭, E-mail: xthuang@swu.edu.cn

形时, 其连通性等拓扑性质保持不变, 因此正方形和圆形是拓扑等价图形; 然而当正方形变成圆环时, 一个有洞一个没洞, 洞的个数是一种典型的拓扑性质, 因此正方形和圆环存在拓扑性质的差异。研究发现个体的视知觉对拓扑性质的差异更为敏感(Chen, 1982)。对似动现象(Chen, 1985)、错觉关联效应(Chen & Zhou, 1997)、构形优势效应(Todd, Chen, & Norman, 1998)和掩蔽启动现象(Huang, Zhou, & Chen, 2011)等的研究也都表明对拓扑性质的检测在视知觉过程中有着重要意义。这一观点也得到了种系发生学(Chen, Zhang, & Srinivasan, 2003; 朱静, 郭兴焱, 马园, 任菲, 2010)、发展心理学(Chien et al., 2012)和认知神经科学(Zhuo et al., 2003)研究的支持。此外, 安蓉、阴国恩和郑金香(2004)发现在限时呈现条件下被试倾向于按拓扑特征对图形进行分类, 这说明拓扑性质对其他心理加工过程也有着重要的影响。时距知觉是个体具有的一种基本能力, 易受到各种因素的影响而发生扭曲(黄希庭, 李伯约, 张志杰, 2003)。虽然拓扑性质是事物所具有的一种重要性质, 对视知觉过程有着重要作用, 但是却鲜有人关注其对视时距知觉的影响。目前有研究通过对运动诱发视盲(motion-induced blindness, MIB)现象的研究发现, 当两个图形是连通的, 或位于同一洞中, 或具有相同的洞的个数时, 它们更倾向于整体共同消失或重现, 且共同消失的时间更长(左真涛, 罗欢, 周可, 2013)。这一现象暗示拓扑性质可能的确能够影响个体对刺激时距信息的加工, 但是其仍尚未明确揭示拓扑性质对视时距知觉的影响。

拓扑性质知觉理论认为, 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, 因此图形拓扑性质的改变(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(Chen, 2005; Zhou, Luo, Zhou, Zhuo, & Chen, 2010)。据此, 可以推测当一个图形突然发生了拓扑性质的变化, 将在更大程度上破坏原有图形的一致性, 从而使新图形具有更大程度的新异性。因此, 结合时距知觉中的新异刺激效应, 可以预测相比拓扑等价条件, 当标准刺激与新异刺激间存在拓扑性质差异时, 被试会更倾向于高估新异刺激的呈现时间。

本研究结合一种时距扭曲现象—— 时距知觉中的新异刺激效应—— 来探讨拓扑性质对视觉新异刺激时距知觉的影响。实验采用新异刺激范式, 要求被试比较新异刺激与标准刺激呈现时间的长短。实验 1 考察了当标准刺激与新异刺激间存在拓扑性质差异和非拓扑性质差异时, 被试对新异刺激呈现时间的高估情况。另外, 根据物体形状在不同变换中保持的不变特征, 德国数学家克莱因于 1872 年提出了爱尔浪根纲领(Erlanger Program)。根据这一纲领, 各种形状性质可以由不同层次的几何学, 即欧几里得几何学、仿射几何学、射影几何学和拓扑学来加以描述, 几何学性质中最为稳定的是拓扑性质(如洞的个数), 接着依次是射影性质(如共线性)、仿射性质(如平行性)和欧氏性质(如方向性)(Chen, 2005; 朱滢, 2005)。拓扑性质知觉理论认为视觉系统的形状知觉存在一个功能层次, 其类似于克莱因的爱尔浪根纲领按不变性对几何学的分类, 即各个层次的几何不变性质是形状知觉的主要元素。因此, 实验 2 系统考察并比较了不同层次的几何不变性质对新异刺激时距知觉的影响。

2　实验 1 洞的个数对视觉新异刺激时距知觉的影响

洞的个数是一种典型的拓扑性质。实验 1 通过两个实验考察了当标准刺激和新异刺激间存在洞的个数这种拓扑性质差异和轮廓形状这种非拓扑性质差异时, 被试对新异刺激时距知觉的差异。

2.1　实验 1a

2.1.1　方法

2.1.1.2　被试

18 名非心理学专业在校本科生和研究生自愿参加并顺利完成实验, 其中男 7 名, 女 11 名, 年龄 18~25 岁(平均年龄 21.94±1.55 岁)。除一名被试为左利手外, 其他均为右利手, 视力或矫正视力正常。实验后给予适当报酬。

2.1.1.2　刺激和仪器

采用 CoreDRAW12 绘制白色(RGB: 255, 255, 255)单孔正方形(正方形边长 2.66°, 单孔直径 1.5°)、双孔正方形(正方形边长 2.66°, 每个内孔直径 1.06°, 水平两孔间距 0.3°)、单孔圆环(外直径 3°、内直径 1.5°)和双孔圆环(外直径 3°, 每个内孔直径 1.06°, 水平两孔间距 0.3°), 它们的面积相等; 采用 E-prime 1.1 编制程序; 用电脑呈现刺激和记录反应, 视觉刺激呈现在 17 英寸 CRT 彩色显示器中央, 屏幕分辨率为 1024×768, 背景为灰色(RGB: 100, 100, 100), 刷新频率为 85 Hz; 被试距离计算机屏幕约 57 cm。

2.1.1.3 设计

采用 2(标准刺激类型：单孔正方形和双孔正方形) × 2(差异类型：拓扑性质差异和非拓扑性质差异)的被试内设计。因变量为被试判断新异刺激的呈现时间比标准刺激的呈现时间“长”的比率。

标准刺激类型指实验中重复出现的标准刺激的类型；差异类型指标准刺激与新异刺激间的差异类型：当标准刺激为单孔正方形，新异刺激为单孔圆环时，标准刺激与新异刺激间为非拓扑性质差异，而当标准刺激为单孔正方形，新异刺激为双孔圆环时，标准刺激与新异刺激间为拓扑性质差异；同样当标准刺激为双孔正方形，新异刺激为单孔圆环时，标准刺激与新异刺激间为拓扑性质差异，而当标准刺激为双孔正方形，新异刺激为双孔圆环时，标准刺激与新异刺激间为非拓扑性质差异。

2.1.1.4 程序

正式实验前对被试进行适当练习，使其熟悉实验程序与任务操作，练习程序同正式实验程序。正式实验的流程如图 1 所示，首先向被试呈现一定数目(3~10 个)的标准刺激，每个标准刺激的呈现时间为 500 ms (标准时距)，标准刺激间的时间间隔为 300 ms，间隔 300 ms 之后随机呈现新异刺激之一作为比较刺激，呈现时间为 350、400、450、500、550、600 或 650 ms (比较时距)。然后呈现空屏，要求被试比较标准刺激与新异刺激的呈现时间，并通过按键进行反应。为了平衡被试的按键反应，要求一半被试在认为新异刺激的呈现时间长时按“F”键，反之按“J”键；另一半被试的按键要求与此相反。最后间隔 1000 ms 后开始下一个试次(trial)。实验在暗室中进行。

整个实验共分为两组，每组中只包含一种标准刺激，但包含两种新异刺激，所以每组中的差异类型都可分为拓扑性质差异和非拓扑性质差异。被试完成两组的顺序是随机的。实验中每种条件的 7 个比较时距都呈现 12 次，因此整个实验共有 4×7×12 (336)个试次，被试每完成 84 个试次后休息一次，故整个实验期间可以休息 3 次，除第二次休息时间由主试规定外(为了减小前一组实验对后一组实验的可能影响，要求被试最少休息 5 min)，其他的休息时间由被试自己控制。整个正式实验约 45 min。

2.1.2 结果与分析

对所有被试的数据使用 SigmaPlot 12.0 和 SPSS 13.0 进行数据分析。以比较时距为横坐标，被试判断新异刺激呈现时间长于标准刺激呈现时间的比率为纵坐标，将每名被试在每种条件下的数据拟合成一条 Sigmoid 曲线($f = 1/(1+\exp(-(x-x0)/b))$)，求得每名被试在每种条件下的主观相等点(point of subjective equality, PSE，即被试判断长的比率为 50%的点所对应的时距)，见图 2。同时，为了便于比较，参照以往研究(Tse et al., 2004)将主观相等点转换成时间膨胀系数(temporal expansion factor)，计算公式为：时间膨胀系数 = 标准时距/PSE，其

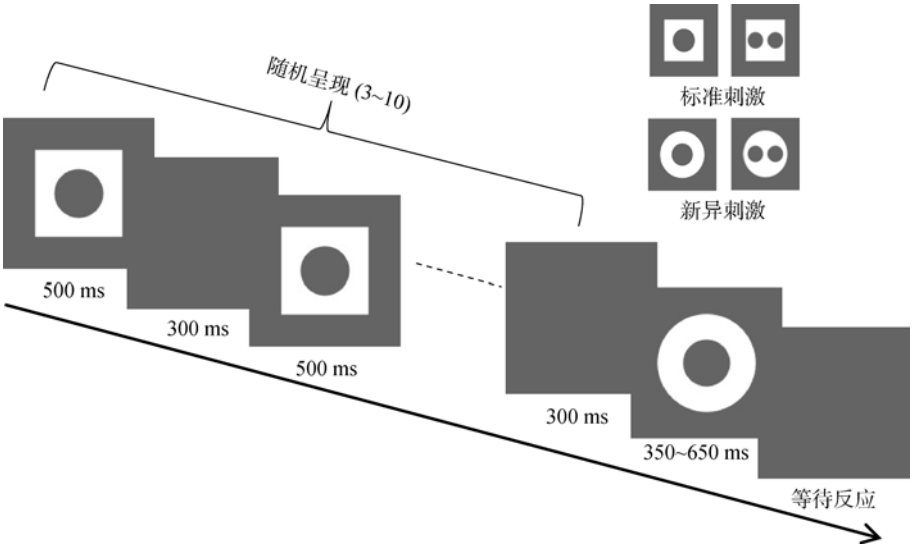

图 1 实验 1a 流程示意图。首先向被试随机呈现 3~10 个标准刺激(标准刺激有两类：单孔正方形和双孔正方形)，当前为单孔正方形；接着呈现一个新异刺激(新异刺激也有两类：单孔圆环和双孔圆环)，当前为单孔圆环；最后要求被试比较新异刺激和标准刺激的呈现时间。标准刺激的呈现时间为 500 ms，新异刺激的呈现时间为 7 个比较时距(350~650 ms)中的任意一个，刺激间间隔 300 ms。

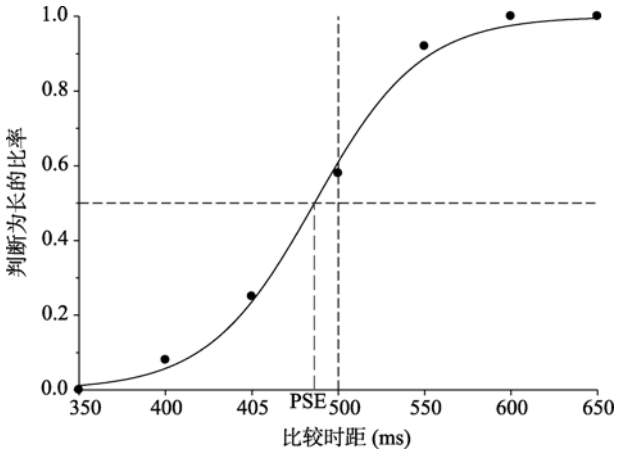

图 2　一名被试(LXF)分别在一种条件的 7 个比较时距上判断新异刺激呈现时间长于标准刺激呈现时间的比率及其拟合的 Sigmoid 曲线。图中水平虚线为被试判断新异刺激呈现时间长于标准刺激呈现时间的比率为 50%，其与 Sigmoid 曲线的交点所对应的时距即为被试的 PSE。

值大于 1 表示相比标准刺激被试高估了新异刺激的呈现时间，小于 1 则表示相比标准刺激被试低估了新异刺激的呈现时间，值越大表示被试对新异刺激呈现时间的估计越长。

根据心理测量函数求得被试在各种条件下的 PSE，进而求得所有被试在每种条件下的平均时间膨胀系数(如图 3)。

对时间膨胀系数进行统计分析。首先，单样本 t 检验发现，仅当标准刺激为双孔正方形且新异刺激为单孔圆环时，时间膨胀系数显著大于 1, $t(17) = 3.90$, $p = 0.001$，表明在这种条件下出现了显著的新异刺激效应。其次，2(标准刺激类型：单孔正方形和双孔正方形) × 2(差异类型：拓扑性质差异和非拓扑性质差异)的重复测量方差分析发现，标准刺激类型的主效应显著, $F(1,17) = 4.90$, $p<0.05$；差异类型的主效应显著, $F(1,17) = 25.52$, $p <0.001$；标准刺激类型和差异类型的交互作用不显著，$F(1,17) = 2.32$，$p>0.05$，表明标准刺激类型和标准刺激与新异刺激间的差异类型对新异刺激时距知觉都有显著影响。

分别对两种标准刺激条件下拓扑性质差异和非拓扑性质差异时的时间膨胀系数进行配对样本 t 检验。结果发现当标准刺激为单孔正方形时，拓扑性质差异条件下的时间膨胀系数(1.0179)显著大于非拓扑性质差异条件下的时间膨胀系数(0.9880), $t(17) = 2.41$，$p<0.05$；当标准刺激为双孔正方形时，拓扑性质差异条件下的时间膨胀系数(1.0768)也显著大于非拓扑性质差异条件下的时间膨胀系数(1.0139), $t(17) = 3.97$, $p = 0.001$。这表明无论标准刺激为何种类型，拓扑性质差异条件下的时间膨胀系数都要显著大于非拓扑性质差异条件下的时间膨胀系数，即说明在拓扑性质差异条件下，被试更倾向于高估新异刺激的呈现时间。

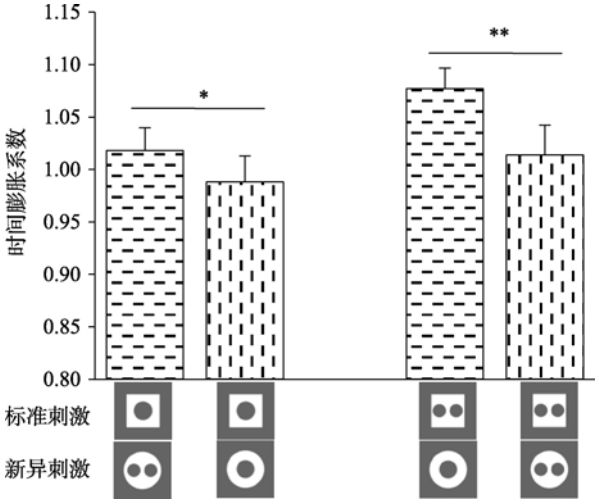

图 3　实验 1a 中不同条件下的平均时间膨胀系数($M\pm SE$)

注：$*p<0.05$, $**p<0.01$

2.2　实验 1b

2.2.1　方法

2.2.1.1　被试

14 名非心理学专业在校本科生和研究生自愿参加并顺利完成实验，其中男 7 名，女 7 名，年龄 20~23 岁(平均年龄 21.5±1.02 岁)。所有被试均为右利手，视力或矫正视力正常。实验后给予适当报酬。

2.2.1.2　刺激和仪器

采用 CoreDRAW12 绘制白色(RGB: 255, 255, 255)单孔正方形、双孔正方形、双孔圆环(同实验 1a)和三孔正方形(正方形边长 2.66°，每个内孔直径为 0.87°，三孔圆心间的间距分别为 1.24°、1.24°和 1.37°)，它们面积相等；其他同实验 1a。

2.2.1.3　设计

采用单因素被试内设计。自变量为新异刺激的类型，有三个水平，即单孔正方形、三孔正方形和双孔圆环。因变量同实验 1a。

由于标准刺激为双孔正方形，因此当新异刺激为单孔正方形和三孔正方形时，标准刺激与新异刺激间为拓扑性质差异；而当新异刺激为双孔圆环时，标准刺激与新异刺激间为非拓扑性质差异。

2.2.1.4 程序

实验中每种条件的 7 个比较时距都呈现 12 次，因此整个实验共有 3×7×12 (252)个试次，被试每完成 63 个试次后休息一次，故整个实验期间可以休息 3 次，休息时间由被试自己控制。整个正式实验约 30 min。其他同实验 1a。

2.2.2 结果与分析

同实验 1a，根据心理测量函数求得被试在各种条件下的 PSE，进而求得所有被试在每种条件下的平均时间膨胀系数(如图 4)。

对时间膨胀系数进行统计分析。首先，单样本 t 检验发现，仅当新异刺激为单孔正方形时，时间膨胀系数显著大于 1，$t(13) = 3.21$，$p<0.01$。其次，单因素重复测量的方差分析发现，新异刺激类型的主效应显著，$F(1.28, 16.70) = 6.94$，$p<0.05$。事后比较显示，当新异刺激为单孔正方形时的时间膨胀系数(1.0466)显著大于新异刺激为双孔圆环时的时间膨胀系数(0.97)，$p<0.01$，且与新异刺激为三孔正方形时的时间膨胀系数(1.0362)没有显著差异，$p>0.05$；另外当新异刺激为三孔正方形时的时间膨胀系数也显著大于新异刺激为双孔圆环时的时间膨胀系数，$p<0.05$。同实验 1a，这一结果说明在拓扑性质差异条件下，被试更倾向于高估新异刺激的呈现时间。

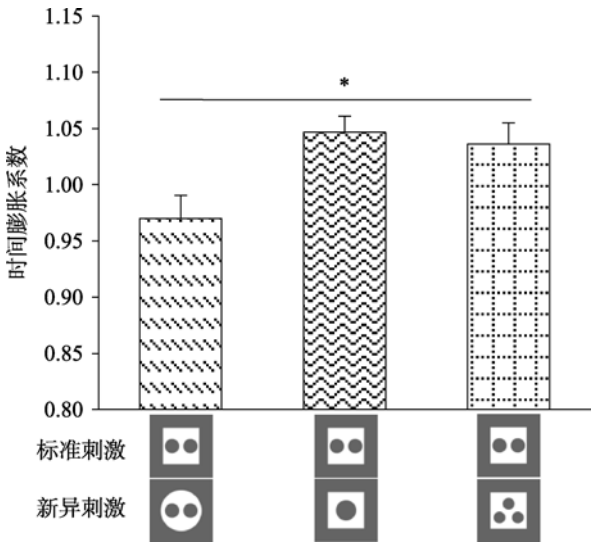

图 4 实验 1b 中不同条件下的平均时间膨胀系数($M\pm SE$)

注：*$p<0.05$

2.3 讨论

时距知觉受到刺激自身特征(如，大小、多少等)的影响(Xuan et al., 2007)。为了平衡拓扑差异条件和非拓扑差异条件下新异刺激自身特征对时距知觉的影响，实验 1a 在两种差异条件下采用面积相等和轮廓形状相同的新异刺激(单孔圆环和双孔圆环)，结果发现在相同的标准刺激条件下，当标准刺激与新异刺激间的差异为拓扑性质时被试对新异刺激呈现时间的高估要显著大于非拓扑性质差异条件。然而，在实验 1a 的拓扑性质差异条件中，标准刺激与新异刺激间不但存在洞的个数这种拓扑性质差异，而且也存在轮廓形状差异；而非拓扑性质差异条件中标准刺激与新异刺激间仅存在轮廓形状差异。这种差异数量的不对等性在一定程度上影响了对实验结果的解释。因此，实验 1b 进一步采用面积相等的三种新异刺激，结果发现在相同的标准刺激条件下，当标准刺激与新异刺激间的差异仅为拓扑性质差异(即洞的个数差异)时被试对新异刺激呈现时间的高估仍显著大于非拓扑性质差异(即轮廓形状差异)条件。综合实验 1 的两个实验，可以得出相对于非拓扑性质差异条件，拓扑性质差异条件下被试更倾向于高估新异刺激的呈现时间。

3 实验 2 不同层次的几何不变性质对视觉新异刺激时距知觉的影响

根据拓扑性质知觉理论，形状知觉有一个功能层次，其划分类似于克莱因的爱尔浪根纲领按不变性对几何学的分类。实验 2 系统探讨了不同层次的几何不变性质对新异刺激时距知觉的影响。

3.1 方法

3.1.1 被试

40 名在校非心理学专业本科生和研究生自愿参加并顺利完成实验，其中男 15 名，女 25 名，年龄 20~27 岁(平均年龄 22.6±1.43 岁)。所有被试均为右利手，听力和视力或矫正视力正常。实验后给予适当报酬。

3.1.2 刺激和仪器

采用 CoreDRAW12 绘制白色(RGB: 255, 255, 255)正方形(边长 2.66°)、平行四边形(上下边长和高都为 2.66°)、等腰梯形(上底 1.99°、下底 3.32°、高 2.66°)、圆形(直径 3°)和单孔圆环(同实验 1)；采用 Adobe Audition 生成一个 1000 Hz 的正弦音；听觉刺激用耳机呈现，其他同实验 1。

3.1.3 设计

采用 2(标准刺激类型：正方形和听觉刺激) × 4(新异刺激类型：平行四边形、梯形、圆形和单孔圆环)的混合设计。其中标准刺激类型为被试间变

量; 新异刺激类型为被试内变量。因变量同实验 1。

当标准刺激为正方形新异刺激为平行四边形、梯形、圆形或单孔圆环时, 它们之间的差异分别为欧氏性质(方向性)、仿射性质(平行性)、射影性质(共线性)或拓扑性质(洞的个数)。另外, 为了探讨不同类型的新异刺激自身特征对时距知觉的影响, 实验同时采用一种听觉刺激为标准刺激, 此时无论新异刺激为何种图形, 它们之间都没有任何几何性质的差异。

3.1.4　程序

整个实验共分为两组, 每组中只包含一种标准刺激, 但包含四种新异刺激。被试为人数相等的两组(每组 20 名), 每组被试只参加一组实验。实验中每种条件的 7 个比较时距都呈现 12 次, 因此每组实验共有 4×7×12 (336)个试次, 被试每完成 84 个试次后休息一次, 故整组实验期间可以休息 3 次, 休息时间由被试自己控制。整组正式实验约 40 min。其他同实验 1。

3.2　结果与分析

同实验 1, 根据心理测量函数求得被试在各种条件下的 PSE, 进而求得所有被试在每种条件下的平均时间膨胀系数(如图 5)。

对时间膨胀系数进行统计分析。首先, 单样本 t 检验发现, 仅当标准刺激为正方形且新异刺激为单孔圆环时, 时间膨胀系数显著大于 1, $t(19) = 2.88$, $p = 0.01$。其次, 两因素混合设计的重复测量方差分析发现, 标准刺激类型的主效应不显著, $F(1,38) = 0.99$, $p>0.05$; 新异刺激类型的主效应显著, $F(3,114) = 5.90$, $p = 0.001$; 交互作用显著, $F(3,114) = 5.01$, $p<0.01$。进一步的简单效应分析发现, 当标准刺激为听觉刺激时, 新异刺激类型的简单效应不显著, $F(3,114) = 2.18$, $p>0.05$; 当标准刺激为正方形时, 新异刺激类型的简单效应显著, $F(3,114) = 8.74$, $p<0.001$, 拓扑性质差异条件下的时间膨胀系数(1.065)显著大于欧氏性质差异条件(0.9984, $p<0.001$)、仿射性质差异条件(1.0183, $p<0.01$)和射影性质差异条件(1.0282, $p<0.01$)下的时间膨胀系数, 且时间膨胀系数随着刺激间形状差异性质的稳定性的提高而增大, 呈一种显著的线性趋势, $F(1,19) = 20.48$, $p<0.001$。这些说明标准刺激与新异刺激间的几何性质差异显著影响对新异刺激的时距知觉; 相比其他几何性质, 拓扑性质对新异刺激时距知觉的影响最大, 即在拓扑性质差异条件下被试更倾向于高估新异刺激的呈现时间, 且这一结果不是由新异刺激自身特征造成的。

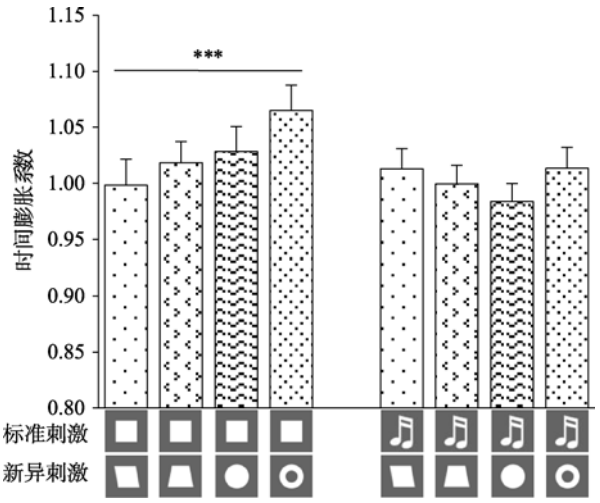

图 5　实验 2 中不同条件下的平均时间膨胀系数($M\pm SE$)

注：***$p<0.001$

3.3　讨论

实验 2 的结果发现当标准刺激与新异刺激间的差异分别为欧氏性质、仿射性质、射影性质和拓扑性质时, 被试对新异刺激呈现时间的高估量依次递增, 且拓扑性质差异条件下的时间膨胀系数显著大于其他三种条件下的时间膨胀系数。这再次验证了实验 1 的结论, 即在拓扑性质差异条件下被试更倾向于高估新异刺激的呈现时间。那么这一结果是否由新异刺激自身特征引起呢? 实验 2 也发现当标准刺激为听觉刺激, 新异刺激不变时, 被试对新异刺激的时距知觉并没有显著差异。这进一步说明了不同层次的几何不变性质对新异刺激时距知觉的影响。

4　总的讨论

采用新异刺激范式, 结合时距知觉中的新异刺激效应, 本研究探讨了拓扑性质对视觉新异刺激时距知觉的影响。实验 1 发现当标准刺激与新异刺激间存在拓扑性质的差异时, 被试更倾向于高估新异刺激的呈现时间; 实验 2 比较了不同层次的几何不变性质对新异刺激时距知觉的影响, 发现随着标准刺激与新异刺激间差异性质稳定性的增加, 被试对新异刺激呈现时间的高估量也逐渐增大, 相比其他几何性质, 拓扑性质是一种最稳定的性质, 其对新异刺激时距知觉的影响最大,且这一结果并不是由于新异刺激自身的特征造成的。综合两个实验表明, 拓扑性质对视觉新异刺激的时距知觉具有重要影响, 这种影响源自于标准刺激与新异刺激间的差异。

本研究发现标准刺激与新异刺激间的差异会影响被试对新异刺激的时距知觉，这与以往研究结果一致(Pariyadath & Eagleman, 2012; Schindel et al., 2011)。标准刺激与新异刺激间的差异可以从知觉物体的角度解释。Chen (2005)认为知觉物体可以定义为拓扑变换中的不变性。已有研究发现相对于非拓扑性质(如，轮廓形状和颜色等)，只有拓扑性质的变化才能显著地破坏多物体跟踪的成绩(Zhou et al., 2010)。这说明拓扑性质的改变的确可以破坏对象“足够平滑的转换”，从而产生“新刺激”(陈霖，2008)。本研究发现相对于其他几何性质，被试会在拓扑性质改变的条件下更大程度地高估新异刺激的呈现时间。这一结果一方面表明拓扑性质能够通过改变刺激的新异程度进而影响对新异刺激的时距知觉，另一面也从另一个角度支持了知觉物体的拓扑学定义。

时距知觉会受到众多因素的影响，但是其产生的心理和神经机制目前仍存在着争论。传统的计时模型认为在有机体的大脑中存在一个类似时钟或计时器的“装置”，它为主体感知外部的时距信息提供了一套计时机制(Treisman, 1963)。然而，这类模型并没有得到更多生理学研究的证实。因此，Eagleman 和 Pariyadath (2009)提出了神经编码效能假设，认为个体的时距知觉反映了大脑表征外部刺激所需要的神经能量，所需的能量越多，知觉的时距越长。这一假设得到了众多研究的支持。如 Sadeghi 等人(2011)以随机运动的点组成的若干标准刺激和一个测试刺激为实验材料，发现人类在视觉时距辨别任务中的表现与猴子在相应条件下视觉皮层的颞中区(the middle temporal area, MT 区)神经活动的适应性特征变化一致，即随着猴子 MT 区神经活动的增强(包括神经反应持续时间的增长和振幅的增大)，人类被试的时距知觉也变长。神经编码效能假设在解释时距知觉中的新异刺激效应时，常将关注点放在重复出现的标准刺激，认为新异刺激效应的产生是由于表征重复刺激时神经编码效能提高，神经活动减弱，对应着较短的时距知觉；反之,表征新异刺激时神经活动较强，知觉到的时距也随之变长(李宝林，黄希庭，毕翠华，陈有国, 2013)。这一假设同样可以为本研究结果提供一种合理的解释。已有研究表明拓扑性质知觉主要激活了前颞叶皮层(Wang, Zhou, Zhuo, & Chen, 2007; Zhou, Zhang, & Chen, 2008; Zhou et al., 2010; Zhuo et al., 2003)，且在长距离似动中前颞叶的激活程度随着两图形间差异性质稳定性的增大而线性上升(Zhuo et al., 2003)。因此本研究结果，即随着标准刺激与新异刺激间差异性质稳定性的增大，被试对新异刺激呈现时间的高估量也随之增大，符合神经编码效能假设。

不过在本研究中，当标准刺激与新异刺激都为视觉刺激时，被试对新异刺激呈现时间的高估量(平均约为 2.36%)比以往研究要小(约为 10%, Pariyadath & Eagleman, 2007)，且没有在所有条件下都出现显著的新异刺激效应。这可能主要有以下几个原因：第一，从刺激呈现方式来看，以往研究在新异刺激呈现之后会接着呈现标准刺激(Pariyadath & Eagleman, 2007; Schindel et al., 2011; Tse et al., 2004)，而本研究的新异刺激总是位于刺激序列中的最后一个位置。相比而言，当新异刺激前后都有标准刺激时，其新异性可能会更加突出，故以往研究中对新异刺激呈现时间的高估量相对较大；第二，在本研究中，被试在一次实验中必须完成多种条件的任务，这一方面可能会造成被试的疲劳，另一方面由于各种条件中新异刺激的新异程度不同且是随机呈现，被试对一种新异刺激呈现时间的知觉可能会受到其他新异刺激的影响，即除了标准刺激，其他条件的新异刺激也成为了被试作出判断的参考，这就造成被试对新异刺激呈现时间的知觉更为准确，进而削弱了新异刺激效应。此外，实验背景(experimental context)也是影响新异刺激效应的重要因素。已有研究发现实验中某个试次产生的新异刺激效应大小受到之前试次产生的新异刺激效应大小范围的影响(Pariyadath & Eagleman, 2012)。在本研究中当标准刺激与新异刺激间为非拓扑性质差异时，结果并没有出现显著的新异刺激效应，这可能是由于在实验中非拓扑性质差异条件总是与拓扑性质差异条件同时存在，被试在非拓扑性质差异条件下产生的新异刺激效应大小受到了在拓扑性质差异条件下产生的新异刺激效应大小的调节。尽管如此，本研究还是观察到不同条件下被试对新异刺激呈现时间的高估量不同，表明拓扑性质对新异刺激时距知觉的确具有重要影响。

本研究发现相比其他几何性质，被试会在拓扑性质差异条件下更大程度地高估新异刺激的呈现时间。尽管刺激自身特征是影响时距知觉的重要因素(Xuan et al., 2007)，但本研究结果却并非由刺激自身特征影响所致。实验 1 发现无论标准刺激与新异刺激为何种刺激，只要它们之间存在拓扑性质差

异，被试都更倾向于高估新异刺激的呈现时间，这说明拓扑性质对新异刺激时距知觉的影响是较稳定的。同样，实验 2 发现当标准刺激与新异刺激间不存在几何性质差异时，被试知觉到的新异刺激呈现时间没有显著差异，这进一步验证了不同层次的几何不变性质对新异刺激时距知觉的影响。此外，以往的研究表明听觉通道在时距知觉中占有优势地位(Kanai, Lloyd, Bueti, & Walsh, 2011)，等时距呈现的条件下，被试往往会判断声音的呈现时间更长(Walker & Scott, 1981)。然而，实验 2 发现当标准刺激为听觉刺激时，被试并没有显著低估新异刺激的呈现时间。已有众多研究发现某些神经活动会随着刺激的重复出现而减弱，即重复抑制现象(Grill-Spector, Henson, & Martin, 2006; Ranganath & Rainer, 2003)。根据神经编码效能假设听觉刺激的重复出现可能减弱了相关神经活动的强度，进而使被试低估了标准刺激的呈现时间。因此，本研究中被试之所以没有在听觉刺激条件下低估新异刺激的呈现时间可能是这两种作用相互抵消的结果。

本研究利用时距知觉中的新异刺激效应考查了拓扑性质对新异刺激时距知觉的影响，发现相比其他几何性质，拓扑性质的改变对新异刺激时距知觉的影响最大。然而，非拓扑性质除了本研究中的几种几何性质，还包括颜色、光通量、空间频率等等，与它们相比拓扑性质对新异刺激时距知觉的影响是否仍具有优势，这是今后研究应继续探讨的问题。另外，本研究只关注了洞的个数这种拓扑性质对新异刺激时距知觉的影响，但是拓扑性质还包括连通性、内外关系等，今后研究还应采用不同的方法继续探讨这些性质对时距知觉的影响。

5 结论

作为一种重要的非时间信息，拓扑性质对视觉新异刺激时距知觉具有重要影响，这表现在(1)当标准刺激与新异刺激表现出拓扑性质的差异时，被试更倾向于高估新异刺激的呈现时间; (2)相对于其他几何性质的变化，拓扑性质的变化能够导致更大程度的新异刺激效应。同时，这一结果为知觉物体的拓扑学定义提供了新的证据。

参 考 文 献

Aaen-Stockdale, C., Hotchkiss, J., Heron, J., & Whitaker, D. (2011). Perceived time is spatial frequency dependent. *Vision Research, 51*(11), 1232–1238.

An, R., Yin, G. E., & Zheng, J. X. (2004). The geometry-characters and topology-characters of figures influence similarity judgment and categorization. *Studies of Psychology and Behavior, 2*(4), 626–629.

[安蓉，阴国恩，郑金香. (2004). 图形拓扑性质对相似性判断和分类的影响. *心理与行为研究, 2*(4), 626–629.]

Brown, S. W. (1995). Time, change, and motion: The effects of stimulus movement on temporal perception. *Perception & Psychophysics, 57*(1), 105–116.

Chen, L. (1982). Topological structure in visual perception. *Science, 218*(4573), 699–700.

Chen, L. (1985). Topological structure in the perception of apparent motion. *Perception, 14*(2), 197–208.

Chen, L. (2005). The topological approach to perceptual organization. *Visual Cognition, 12*(4), 553–637.

Chen, L. (2008). Neural correlation of “global-first” object formation: Anterior temporal lobe. *Chinese Bulletin of Life Sciences, 20*(5), 718–721.

[陈霖. (2008). “大范围优先”对象形成的神经关联: 前颞叶. *生命科学, 20*(5), 718–721.]

Chen, L., Zhang, S. W., & Srinivasan, M. V. (2003). Global perception in small brains: Topological pattern recognition in honey bees. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 100*(11), 6884–6889.

Chen, L., & Zhou, W. (1997). Holes in illusory conjunctions. *Psychonomic Bulletin & Review, 4*(4), 507–511.

Chien, S. H.-L., Lin, Y.-L., Qian, W. L., Zhou, K., Lin, M.-K., & Hsu, H.-Y. (2012). With or without a hole: Young infants' sensitivity for topological versus geometric property. *Perception, 41*(3), 305–318.

Eagleman, D. M., & Pariyadath, V. (2009). Is subjective duration a signature of coding efficiency? *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 364*(1525), 1841–1851.

Grill-Spector, K., Henson, R., & Martin, A. (2006). Repetition and the brain: Neural models of stimulus-specific effects. *Trends in Cognitive Sciences, 10*(1), 14–23.

Huang, X. T., Li, B. Y., & Zhang, Z. J. (2003). The research of the range-synthetic model of temporal cognition. *Journal of Southwest China Normal University (Humanities and Social Science Edition), 29*(2), 5–9.

[黄希庭，李伯约，张志杰. (2003). 时间认知分段综合模型的探讨. *西南师范大学学报 (人文社会科学版), 29*(2), 5–9.]

Huang, Y., Zhou, T. G., & Chen, L. (2011). The precedence of topological change over top-down attention in masked priming. *Journal of Vision, 11*(12), 1–10.

Kanai, R., Lloyd, H., Bueti, D., & Walsh, V. (2011). Modality-independent role of the primary auditory cortex in time estimation. *Experimental Brain Research, 209*(3), 465–471.

Li, B. L., Huang, X. T., Bi, C. H., & Chen. Y. G. (2013). Distortions of time perception: The oddball effect. *Advances in Psychological Science, 21*(6), 1086–1094.

[李宝林，黄希庭，毕翠华，陈有国. (2013). 时距知觉的扭曲: 新异刺激效应. *心理科学进展, 21*(6), 1086–1094.]

Pariyadath, V., & Eagleman, D. M. (2007). The effect of predictability on subjective duration. *Plos One, 2*(11), e1264.

Pariyadath, V., & Eagleman, D.M. (2012). Subjective duration distortions mirror neural repetition suppression. *Plos One,*

7(12), e49362.

Ranganath, C., & Rainer, G. (2003). Neural mechanisms for detecting and remembering novel events. *Nature Reviews Neuroscience, 4*(3), 193-202.

Sadeghi, N. G., Pariyadath, V., Apte, S., Eagleman, D. M., & Cook, E. P. (2011). Neural correlates of subsecond time distortion in the middle temporal area of visual cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience, 23*(12), 3829–3840.

Schindel, R., Rowlands, J., & Arnold, D. H. (2011). The oddball effect: Perceived duration and predictive coding. *Journal of Vision, 11*(2), 1–9.

Todd, J. T., Chen, L., & Norman, J. F. (1998). On the relative salience of Euclidean, affine, and topological structure for 3-D form discrimination. *Perception, 27*, 273–282.

Treisman, M. (1963). Temporal discrimination and the indifference interval: Implications for a model of the "internal clock". *Psychological Monographs: General and Applied, 77*(13), 1–31.

Tse, P. U., Intriligator, J., Rivest, J., & Cavanagh, P. (2004). Attention and the subjective expansion of time. *Perception & Psychophysics, 66*(7), 1171–1189.

Walker, J. T., & Scott, K. J. (1981). Auditory-visual conflicts in the perceived duration of lights, tones, and gaps. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 7*(6), 1327–1339.

Wang, B., Zhou, T. G., Zhuo, Y., & Chen, L. (2007). Global topological dominance in the left hemisphere. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 104*(52), 21014–21019.

Wang, L., & Jiang, Y. (2012). Life motion signals lengthen perceived temporal duration. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 109*(11), E673–E677.

Xuan, B., Zhang, D. R., He, S., & Chen, X. C. (2007). Larger stimuli are judged to last longer. *Journal of Vision, 7*(10), 1–5.

Zhou, K., Luo, H., Zhou, T. G., Zhuo, Y., & Chen, L. (2010). Topological change disturbs object continuity in attentive tracking. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 107*(50), 21920–21924.

Zhou, T. G., Zhang, J., & Chen, L. (2008). Neural correlation of “Global-first” topological perception: Anterior temporal lobe. *Brain Imaging and Behavior, 2*(4), 309–317.

Zhu, J., Guo, X. Y., Ma, Y., & Ren, F. (2010). Different topological properties pattern recognition in mice. *Progress in Biochemistry and Biophysics, 37*(6), 613–617..

[朱静, 郭兴焱, 马园, 任菲. (2010). 小鼠对不同拓扑性质图形的识别. *生物化学与生物物理进展, 37*(6), 613–617.]

Zhu, Y. (2005). Chen Lin’s theory of topological perception. *Psychological Science, 28*(5), 1031–1034.

[朱滢. (2005). 陈霖的拓扑性质知觉理论. *心理科学, 28*(5), 1031–1034.]

Zhuo, Y., Zhou, T. G., Rao, H. Y., Wang, J. J., Meng, M., Chen, M.,...Chen, L. (2003). Contributions of the visual ventral pathway to long-range apparent motion. *Science, 299*(5605), 417–420.

Zuo, Z. T., Luo, H., & Zhou, K. (2013). The role of topological invariants in motion-induced blindness. *Progress in Biochemistry and Biophysics, 40*(5), 471–478.

[左真涛, 罗欢, 周可. (2013). 拓扑不变性质在运动诱发视盲现象中的作用. *生物化学与生物物理进展, 40*(5), 471–478.]

The Effect of Topological Properties on Duration Perception of Oddball Stimuli

LI Baolin; CHEN Youguo; YUAN Xiangyong; Todd JACKSON; HUANG Xiting

(*Key laboratory of cognition and personality* (*SWU*), *Ministry of Education*; *Faculty of Psychology*, *Southwest University*, *Chongqing* 400715, *China*)

Abstract

Previous studies have revealed that the visual system is highly sensitive to topological differences. Topological properties, which are first represented and processed, influence ongoing visual information processing. In addition, as a fundamental human ability, perception of duration can be affected by non-temporal information, including the magnitude, motion, and spatial frequency. Topological properties are another type of important non-temporal information, but little is known whether these can also affect duration perception. Recently, researchers have found that when an unexpected “oddball” stimulus is embedded in a train of repeated standard stimuli, its duration typically seems to be longer. This phenomenon is termed the oddball effect, and illustrates how duration perception can be affected by stimulus novelty. According to the topological approach to perceptual organization, the core intuitive notion of an object may be characterized precisely as topological invariance, and changes in topological properties will be regarded as the emergence of new objects by the vision system. Therefore, the impact of topological properties on duration perception of oddball stimuli was

investigated in this research.

In Experiment 1a 18 participants (7 men, 11 women) were asked to judge whether oddball stimuli (i.e., disks with one or two holes) were longer or shorter in duration than the standard stimuli (i.e., squares with one or two holes). In Experiment 1b, 14 participants (7 men, 7women) rated whether oddballs (i.e., disks with two holes, squares with one hole or squares with three holes)were longer or shorter in duration than standard stimuli (i.e., squares with two holes). Experiment 2 included 40 participants (15men, 25 women) and was designed to compare effects on duration perception of oddball stimuli between topological properties and other geometric properties. Participants were required to judge whether the oddballs (i.e., parallelograms, trapezoids, circles or rings) were longer or shorter in duration than standard stimuli (i.e., either squares or beeps of 1000 Hz).

Results of Experiment 1 indicated that when there were topological differences between standard stimuli and the oddballs, the magnitude of the oddball effect was significantly larger than that of non-topological differences. Findings from Experiment 2 showed the magnitude of the oddball effect increased monotonically with increasing levels of stability of structural differences between standard stimuli and the oddballs. Compared with other geometrical properties, changes of topological properties induced the largest magnitude of oddball effect.

These results suggest that topological properties are one type of important non-temporal information that affect duration perception of oddball stimuli. Furthermore, the current study supports the topological definition of perceptual objects.

Key words topological properties; oddball stimuli; duration perception; perceptual object