



论文

艾宾浩斯错觉的脑形态学机制及其与冲动性人格的关系

郝磊[†], 蒙杰[†], 何颖, 邱江, 毕泰勇^{*}, 陈旭^{*}

西南大学心理学部, 认知与人格教育部重点实验室, 重庆 400715

[†] 同等贡献^{*} 联系人, E-mail: bitaiyong@swu.edu.cn; chenxu@swu.edu.cn

收稿日期: 2014-10-31; 接受日期: 2015-05-05

中央高校基本科研业务费专项资金(批准号: SWU1409155, SWU1409323)和国家自然科学基金(批准号: 31400960)资助项目

doi: 10.1360/N052014-00271

摘要 艾宾浩斯错觉是一种具有代表性的大小错觉, 但是对其神经机制的探索还较为缺乏. 前人的研究主要应用了功能性磁共振成像的方法, 揭示了人类初级视皮层和腹侧通路在错觉形成中的作用. 至今还未有研究直接探索该错觉在大脑形态学方面的神经基础. 另外, 作为一种稳定的错觉现象, 其与人格特质的关系也值得进一步研究. 因此, 本研究从稳定的人格特征和脑形态学特征的个体差异出发, 探究艾宾浩斯视错觉的神经机制及其与人格的关系. 研究发现, 艾宾浩斯错觉效应和左侧眶额叶及背外侧前额叶的灰质体积具有显著的正相关性; 艾宾浩斯错觉效应和巴瑞特冲动性人格具有显著的负相关性; 进一步分析发现, 冲动性人格特质在左侧眶额叶灰质体积与艾宾浩斯错觉效应之间起部分中介作用, 表明了冲动人格作为个体稳定的心理特征, 在视错觉的形成过程中起重要作用. 本研究首次尝试从人格和脑形态学两方面研究视错觉形成的认知神经基础, 对理解视错觉的产生过程和现实意义具有积极的推动作用.

关键词艾宾浩斯错觉
巴瑞特冲动性人格
灰质体积
眶额皮层
中介作用

视错觉是人们在观察物体时, 产生的与物理实际不相符的视觉误差, 包括大小错觉、颜色错觉、方位错觉等. 艾宾浩斯错觉是指, 当一个圆被几个比它小的圆包围时, 看起来比实际要大; 反之, 当它被几个比它大的圆包围时, 看起来比实际要小(图 1)^[1-3], 这种视错觉最早是由赫尔曼·艾宾浩斯于 1902 年提出的, 并由此得名. 艾宾浩斯错觉实际上是个体在处理视觉信息刺激时, 由对比产生的对物体实际物理

量大小的错误知觉, 但其产生机制仍不清楚. 错觉产生的机制对理解人类知觉的加工过程具有特殊的意义, 在视知觉研究领域受到广泛关注^[4-7].

前人对艾宾浩斯错觉的研究主要集中在这一错觉产生的内在机制上^[8-11]. 这些研究主要涉及个体自身的生理因素和知觉过程中的认知因素^[12,13]. 具体而言, 生理因素包括神经传递作用、视皮层结构、网膜神经的交互作用等^[14,15]. 例如, Kaldy 和 Kovacs^[16]

引用格式: 郝磊, 蒙杰, 何颖, 等. 艾宾浩斯错觉的脑形态学机制及其与冲动性人格的关系. 中国科学: 生命科学, 2015, 45: 685-694

Hao L, Meng J, He Y, et al. The brain morphometric mechanism of Ebbinghaus illusion and its relationship to impulsiveness. SCIENTIA SINICA Vitae, 2015, 45: 685-694, doi: 10.1360/N052014-00271

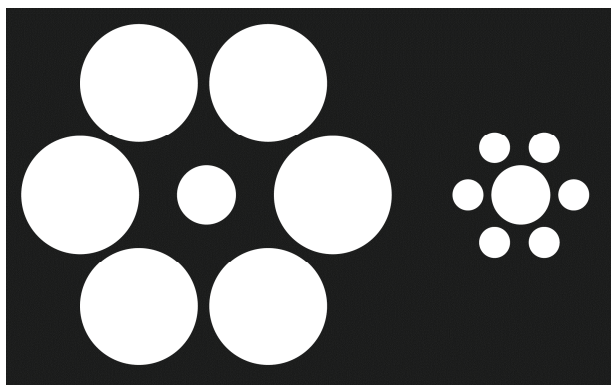


图1 艾宾浩斯错觉

发现了儿童的错觉效应显著比成人小. 他们认为, 儿童对环境整合的知觉能力还未发展成熟, 以至于他们受环境刺激因素的影响更弱, 导致了他们的错觉相对于成人更小. 与之一致的是, 另有研究发现, 对于4~8岁的儿童来说, 错觉效应也随年龄的增加而增加^[17]. 认知因素包括注意影响、经验作用、认知方式和知觉方式等^[18-21]. 例如, Shulman^[20]研究了注意对艾宾浩斯视错觉的影响, 他们发现被试知觉的变化依赖于诱导圆(即外周的圆)是否与任务相关. 另外, 由于人格特征具有相对较高的稳定性^[22], 有研究推测视错觉与稳定的人格特征可能存在一定的关系^[23,24]. 但是, 目前还没有研究系统地探索视错觉(包括艾宾浩斯错觉)和人格的关系. 由于艾宾浩斯错觉的成因较为复杂, 因此单一的生理或认知的因素都不能完全解释错觉的形成^[25], 目前对其机制仍处于探索阶段^[3].

通过磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)技术, 已经开始了对艾宾浩斯错觉的神经基础的探索. 例如, Schwarzkopf和Rees^[26]发现, 艾宾浩斯错觉的知觉大小依赖于人类初级视皮层的皮层放大因子, 说明低级的视皮层在错觉形成中具有重要作用. 此外, Lee和van Donkelaar^[27]的研究发现了艾宾浩斯错觉的形成过程中腹侧和背侧视觉通路之间的交互作用. 然而, Coello等人^[28]通过对背侧视觉通路损毁病人的研究却发现, 艾宾浩斯错觉的形成不受背侧视觉通路的影响. Yan等人^[29]的研究重点关注对艾宾浩斯错觉影响的神经机制, 证明了限制被试的注意范围可以降低其错觉效应量, 并且发现枕内沟、颞中回和颞极局部脑区的激活与艾宾浩斯错觉效应显著相关. 另外, Weidner和Fink^[30]认为, 视错觉信

息加工和大脑右侧顶内沟负责的自上而下的视空间判断存在交互效应. 这些研究大多使用任务态功能性磁共振成像(functional magnetic resonance imaging, fMRI)方法, 关注加工视觉刺激的脑区激活情况. 目前为止, 直接探讨艾宾浩斯错觉与脑形态学之间关系的研究很少.

近来, 基于体素的全脑形态测量学(voxel based morphometry, VBM)技术在大脑结构研究方面起到了重要的推动作用. 该方法可以对脑结构图像进行全面、自动化分析, 从而定量检测全脑组织成分的体积, 该方法的客观性和可重复性较好^[31]. 因此, 在前期研究的基础上, 本实验首次尝试从大脑结构的个体差异出发, 探究艾宾浩斯错觉的脑形态学机制. 同时, 本研究还试图探索稳定的人格特质是否与个体的错觉效应存在一定的关系. 在此基础上, 期望能较为全面地阐释大脑结构和人格特质对艾宾浩斯错觉的影响, 从而揭示艾宾浩斯错觉产生的生理和心理机制.

1 材料与方法

1.1 被试

实验随机选取了40名健康右利手在校大学生, 其中男性16名, 女性24名, 年龄(19.98 ± 1.14)岁. 所有被试视力或矫正视力正常, 无色盲, 无精神疾病史和手术外伤史. 本实验通过了西南大学脑成像中心伦理委员会批准, 与所有被试签订了知情同意书, 并在实验结束后给予一定的报酬.

1.2 人格问卷

使用大五人格问卷(revised neuroticism extraversion openness personality inventory, NEO-PI-R)^[32]和巴瑞特冲动性人格问卷(Barratt impulsiveness scale, BIS-11)^[33]对被试的人格特征进行测量, 所有被试认真地完成了问卷的填写. 通过问卷分数统计, 计算出每个被试的各个维度的人格特征分数, 用于后续的分析.

1.3 刺激与程序

行为学数据采集实验在Matlab R2012a(Math Works Inc., <http://www.mathworks.com>)软件环境下使用Psychtoolbox^[34]工具包进行. 实验使用艾宾浩斯错觉图片, 测量被试的错觉效应量大小. 刺激呈现流程

如图 2 所示, 每个试次开始时, 屏幕中心出现注视点提示符号“+”1000 ms, 随即注视点两侧出现艾宾浩斯错觉图形 500 ms, 刺激消失后要求被试进行反应. 整个过程中注视点一直呈现在屏幕中央, 并要求被试盯住注视点完成任务. 错觉图形中间的圆叫做测验圆, 周围的 6 个圆叫做诱导圆, 出现在测验圆对侧视野中用于与测验圆的大小相比较的圆叫做标准圆. 测验圆与标准圆在注视点左右两侧同时出现, 测验圆出现在左边或是右边的概率相等并且顺序随机. 实验时要求被试盯住中心注视点, 当刺激出现时, 比较测验圆和标准圆的大小, 左(右)侧的圆大就按左(右)键. 实验刺激中, 测验圆和标准圆圆心与中心注视点距离始终为 200 像素(视角为 7.85°), 标准圆直径为 20 像素(视角为 0.79°), 测验圆直径为 12, 16, 20, 24, 28 像素(视角分别为 0.47° , 0.63° , 0.79° , 0.94° , 1.10°). 测验圆周围呈现的诱导圆有两种大小, 当诱导圆直径为 10 像素(视角为 0.39°)时, 其圆心与测验圆圆心距离为 30 像素(视角为 1.18°); 当诱导圆直径为 40 像素(视角为 1.57°)时, 其圆心与测验圆圆心距离为 60 像素(视角为 2.36°). 实验分为 10 个组块, 每个组块包含 40 个试次. 诱导圆为小圆及诱导圆为大圆的情况各 20 个试次, 测验圆为 12, 16, 20, 24, 28 像素的试次分别为 8 个. 本实验的显示设备使用的阴极射线管(cathode ray tube, CRT)显示器, 屏幕分辨率为 1024×768 , 刷新率为 85 Hz, 被试眼睛距离屏幕约为 57 cm.

1.4 MRI 图像获取及预处理

MRI 数据采集使用西门子 3.0T 磁共振扫描仪(Siemens Medical, 德国), 被试的头部用 MRI 兼容的

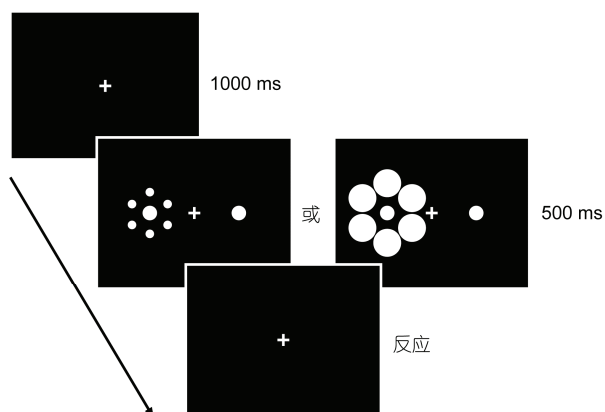


图 2 一个试次的刺激呈现流程

泡沫垫固定以尽量减少头动. 首先使用磁化准备快速采集梯度回波序列(magnetization-prepared rapid acquisition gradient echo, MPRAGE)采集高分辨率 T1 加权结构像, 具体扫描参数为: 重复时间(repetition time, TR)/回波时间(echo time, TE)/反转时间(inversion time, TI)=1900 ms/2.52 ms/900 ms; 翻转角 $=9^\circ$, 成像矩阵= 256×256 , 层厚=1.0 mm, 体素大小= $1 \times 1 \times 1 \text{ mm}^3$, 扫描 176 层覆盖全脑.

结构 MRI 数据的预处理使用基于 Matlab R2012a(Math Works Inc., <http://www.mathworks.com>)平台的统计参数图软件包 SPM8(statistical parametric-mapping software package v8, <http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm>)进行, 主要使用 SPM8 提供的 DARTEL(diffeomorphic anatomical registration through exponentiated lie algebra)软件包完成, DARTEL 使用的容积配准算法是目前被公认的效果最好的方法之一^[35]. 每例被试的高分辨率 T1 结构加权像数据的预处理步骤如下: (i) 结构分割(new segment), 可以更精确更可靠地完成对组织的分割, 计算得到每个被试图像和到标准模板间的仿射变换矩阵, 并利用该变换矩阵, 生成大致对齐的图像, 得到一组经过刚体配准并将所有受试者的原始结构图像分割为不同组织类型的图像, 包括灰质、白质及脑脊液; (ii) 创建模板(create template), 然后在刚体配准的基础上, 使用非线性变换来更好地配准不同被试的图像. DARTEL 首先会利用所有被试刚体配准后的图像生成一个模板, 然后把每个被试的图像配准到该模板上, 从而利用这些已配准到模板的图像重新生成一个新模板, 每个被试的图像再配准到这个新模板上, 如此反复, 直到得到好的被试间配准结果; (iii) 空间标准化(normalise to MNI space), 最后将图像配准到标准 MNI(montreal neurological institute)空间, 然后用雅可比行列式(Jacobian determinant)对所得的灰质图像进行调制, 使得调节产生的体素值能代表局部的灰质体积. 为得到更高的信噪比及减小个体间的结构残差, 采用高斯核卷积函数对标准化后的灰质图像进行空间平滑处理, 高斯平滑核半高全宽(full width at half maximum, FWHM), 即 $\text{FWHM}=8 \text{ mm}$.

预处理完成后, 将得到一组经过标准化、调制及平滑后的灰质和白质体积的图像, 然后利用 SPM 中的多元回归(multiple regression)模型对这些数据进行建模, 进行基于体素形态学的统计分析.

1.5 数据分析

采用 2AFC(two alternative forced choice)任务, 让被试比较测验圆与标准圆哪个更大. 错觉效应量的计算方法如下: 首先采用 Sigmoid 函数拟合出每个被试在诱导圆为大圆和小圆条件下的心理测量曲线; 然后计算出心理测量曲线在 $y=0.5$ 时, 测验圆的直径, 即主观相等点; 最后计算出诱导圆为大圆和小圆时主观相等点的平均值, 即代表了该被试的平均错觉效应量. 图 3 显示了被试间平均的心理测量曲线, X 轴为测验圆的大小(测验圆直径和标准圆直径的百分比), Y 轴为被试判断测验圆比标准圆更大的百分比.

分别统计大五人格问卷和巴瑞特冲动性人格问卷的各维度分数及总分数, 并计算与被试艾宾浩斯错觉效应量的 Pearson 相关.

使用 SPM8 的多元回归(multiple regression)分析方法计算艾宾浩斯错觉效应量与全脑各脑区灰质体积的相关性. 全脑体积作为协变量回归掉, 在区块水平(cluster level)上统计显著的结果, 全脑分析显示 $P<0.005$ 且区块尺寸大于 300 个体素(voxels)的区域.

以多元回归分析方法得出的与艾宾浩斯错觉有显著相关的脑区作为感兴趣区(region of interest, ROI)提取局部灰质体积信号, 分别与巴瑞特冲动性人格问卷总分计算相关性, 并且将全脑体积作为协变量回归掉, 发现左侧额下回与巴瑞特冲动性人格分数相关显著. 然后基于此, 建立中介模型, 以左侧额下回的灰质体积为自变量 X , 艾宾浩斯错觉效应量为因变量 Y , 巴瑞特冲动性人格问卷总分为中介变量 M ,

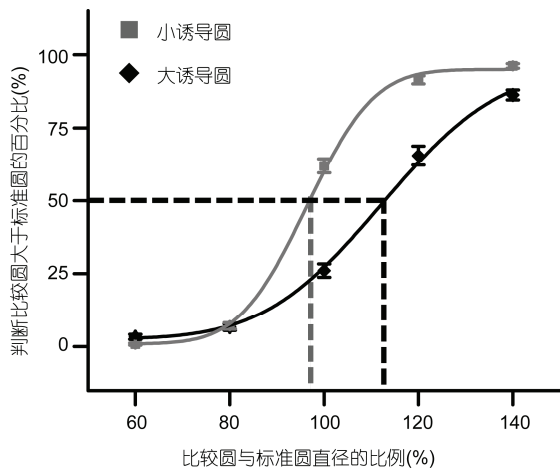


图 3 根据主观相等点计算错觉效应量的图示

计算是否左侧额下回通过冲动性影响着错觉效应量的大小.

2 结果

2.1 行为和问卷结果

所有行为及问卷数据统计均使用 SPSS 16(SPSS Inc., 美国)作为统计工具, 被试的错觉效应量和问卷描述统计结果见表 1. 结果发现, 被试的错觉效应量显著($t=10.74, P<0.001$).

对被试的艾宾浩斯错觉效应量与大五人格各维度分数和巴瑞特冲动性人格问卷分数进行了 Pearson 相关分析(表 2 和 3). 结果发现, 艾宾浩斯错觉的效应量和巴瑞特冲动性人格问卷的 3 个子维度得分及其总分均呈显著负相关(认知冲动性: $R=-0.46, P<0.01$; 无计划冲动性: $R=-0.40, P<0.05$; 运动冲动性: $R=-0.36, P<0.05$; 总分: $R=-0.48, P<0.01$).

因为艾宾浩斯错觉的效应量和巴瑞特冲动性的总分及 3 个子维度均呈显著负相关, 为了结果的简洁,

表 1 行为和问卷描述统计结果

项目	数据描述	
	$\bar{x}$	SD
艾宾浩斯错觉效应量(%)	7.94 ^{a)}	4.68 ^{a)}
认知冲动性分数	36.41	11.72
无计划冲动性分数	36.15	13.92
运动冲动性分数	31.86	13.41
巴瑞特冲动性人格总分	34.81	11.16
大五神经质	132.82	19.75
大五外向性	155.54	14.00
大五开放性	158.13	13.37
大五宜人性	169.33	11.96
大五责任感	164.82	19.02

a) 相对于标准圆的百分比

表 2 错觉效应量与大五人格问卷分数相关性统计^{a)}

大五人格问卷子维度	与错觉效应量的相关
大五神经质	-0.18
大五外向性	-0.18
大五开放性	0.00
大五宜人性	0.02
大五责任感	0.19

a) 所有 $P>0.05$

表 3 错觉效应量与巴瑞特冲动性问卷分数及问卷维度间的相关性统计^{a)}

巴瑞特冲动性问卷维度	与错觉效应量的相关	冲动性总分
认知冲动性	-0.46**	0.89***
无计划冲动性	-0.40*	0.90***
运动冲动性	-0.36*	0.77***
冲动性总分	-0.48**	-

a) *: $P<0.05$; **: $P<0.01$; ***: $P<0.001$

后续的分析仅采用巴瑞特冲动性的总分作为分析对象. 艾宾浩斯错觉的效应量和巴瑞特冲动性总分的散点图见图 4. 图中有 2 个值离总体较远, 为了验证数据结果的可靠性, 首先删除右下方的数据点重新计算艾宾浩斯错觉的效应量和巴瑞特冲动性总分的相关性, 结果显示其相关系数 $R=-0.46$, 显著性 $P<0.01$; 删除左上方及右下方的数据点后重新计算相关性, 结果显示其相关系数 $R=-0.45$, 显著性 $P<0.01$, 表明这 2 个值可以被保留在整体结果中.

2.2 MRI 结果

采用多元回归方法创建统计模型, 计算全脑灰质体积与艾宾浩斯错觉量的相关性, 发现左侧眶额叶、左侧背外侧前额叶局部灰质体积与艾宾浩斯错觉效应量有显著的相关性(图 5 和表 4), 脑区图(图 5)使用 BrainNet Viewer 软件绘制^[36]. 本实验中随机选取的被试同质性较高, 年龄跨度较小, 故建立多元回归统计模型时未将性别与年龄作为协变量回归掉. 为了验证其正确性, 现将全脑体积、性别和年龄作为协

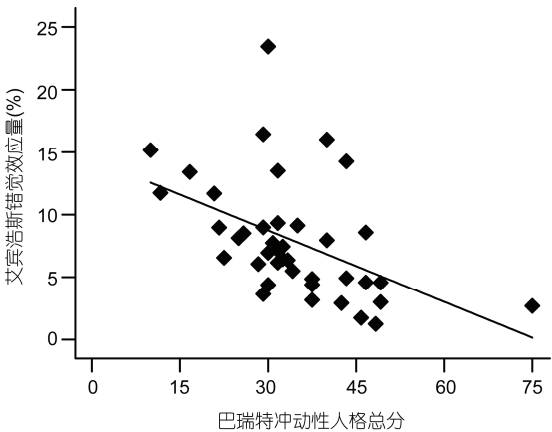


图 4 艾宾浩斯错觉的效应量和巴瑞特冲动性总分的散点图

侧前额叶 2 个 ROI 局部灰质体积的偏相关, 结果变量, 计算艾宾浩斯错觉量与左眶额叶和左侧背外侧前额叶: 左侧眶额叶: $R=0.57$, $P<0.001$; 左侧背外侧前额叶: $R=0.54$, $P<0.001$.

将左侧背外侧前额叶和左眶额叶与错觉量相关显著的脑区作为感兴趣区, 提取该脑区的皮层灰质体积数据, 计算其与艾宾浩斯错觉量的相关并将全脑体积作为协变量回归掉, 散点图如图 6 所示.

2.3 中介调节模型结果

实验发现, 左侧眶额叶感兴趣区的体积与冲动性总分呈显著负相关($R=-0.40$, $P<0.05$), 与前人的研究结果一致(图 7)^[37]. 背外侧前额叶感兴趣区的体积与冲动性总分的相关性不显著($R=-0.26$, $P>0.05$). 因此, 以左侧眶额叶灰质体积为自变量 X , 艾宾浩斯错觉效应量为因变量 Y , 巴瑞特冲动性人格问卷总分为中介变量 M 建立中介模型. 结果发现该模型的中介效应显著($P<0.001$), 且该模型为部分中介效应模型. 说明左侧眶额叶区域以冲动性人格作为中介, 影响个体的艾宾浩斯错觉效应量大小, 详见图 8 所示.

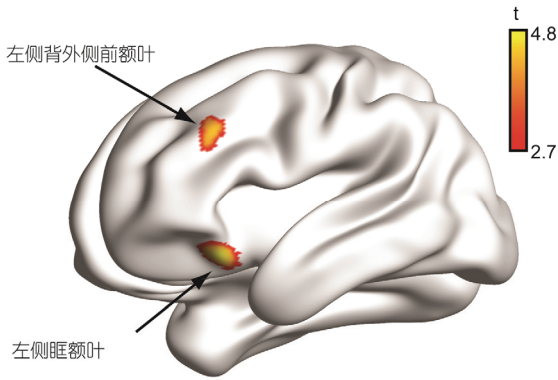


图 5 与艾宾浩斯错觉效应量相关显著的脑区
橙色区域为 $P<0.005$ 且组块大于 300 体素的区域

表 4 与艾宾浩斯错觉显著相关的脑区^{a)}

脑区	体素数量	BA	中心点 MNI 坐标			t 值
			X	Y	Z	
左侧眶额叶	757	47	-33	24	-20	4.83*
左侧背外侧前额叶	366	6	-57	0	8	4.60*

a) MNI: Montreal neurologic institute, 蒙特利尔神经研究所; BA: 布鲁德曼分区; *: 组块水平 $P<0.05$ (多重比较矫正)

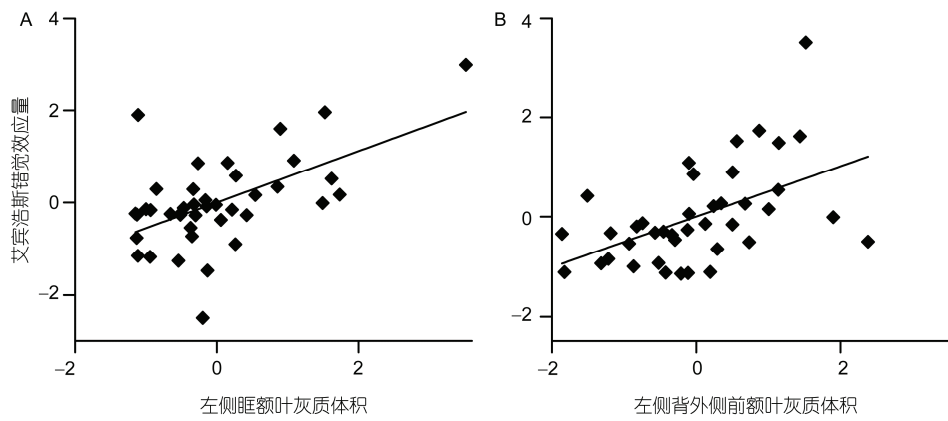


图6 艾宾浩斯错觉的效应量和感兴趣区灰质体积的散点图(已回归全脑体积, 转化为Z分数)

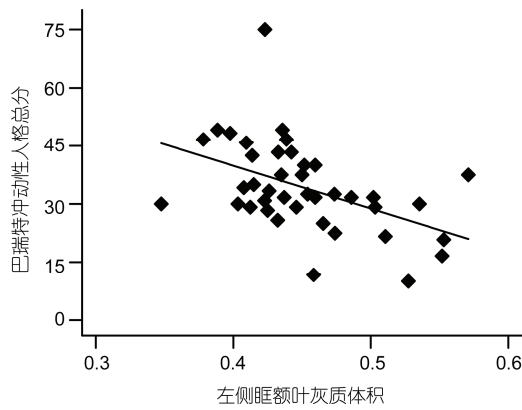


图7 巴瑞特冲动性人格总分和左侧眶额叶感兴趣区灰质体积的散点图

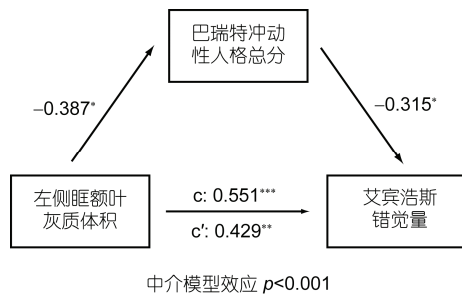


图8 部分中介模型

3 讨论

从个体差异的角度出发, 首次探讨了艾宾浩斯错觉在脑形态学上的神经基础. 结果发现, 左侧眶额叶及背外侧前额叶的灰质体积与艾宾浩斯错觉效应量呈显著正相关. 另外, 巴瑞特冲动性人格问卷分数与艾宾浩斯错觉效应量呈显著负相关, 说明冲动性

越高的个体表现出越低的艾宾浩斯错觉效应量. 进一步分析发现, 左侧眶额叶区域的灰质体积与冲动性人格分数也呈显著负相关. 基于此, 本研究继而以冲动性人格作为中介变量, 以左侧眶额叶局部体积为自变量, 以艾宾浩斯错觉效应量为因变量进行中介分析, 发现冲动性人格在左侧眶额叶和艾宾浩斯错觉效应间起部分中介作用.

(1) 基于个体差异的全脑结构分析发现, 艾宾浩斯错觉效应量与左侧眶额叶及背外侧前额叶局部区域的灰质体积呈显著正相关, 而未发现该错觉效应和视觉区脑结构的关系, 这一结果和前人重点关注视觉区活动的结果不同^[27,28,38], 说明错觉效应在功能上的基础可能位于视觉区, 而在结构上的基础可能位于额叶. 有研究发现, 眶额叶与冲动以及控制能力具有密切关系^[37,39-41], 该区域的局部体积越小, 则个体的控制能力就越弱. 眶额叶是行为抑制控制能力的关键脑区^[42,43]. 例如, fMRI 结果显示, 眶额叶脑区是 Go/No-Go 范式的关键脑区, 说明其在抑制控制能力方面具有重要作用^[44]. 此外, 在多种与冲动及控制任务相关的研究中, 也发现眶额叶区域具有关键性的作用. 例如, 有研究将正常人与以冲动性为主要特点边缘型人格个体进行比较, 发现边缘型人格个体左侧眶额叶灰质体积显著减小^[45,46]; 而可卡因依赖患者表现出了眶额叶灰质密度的下降^[47,48]; 物质依赖个体的眶额叶灰质体积显著小于正常人, 并且在赌博任务中更倾向于做出高风险的决策^[49]. 更具说服力的证据来自脑损伤病人的研究. 在 Szatkowska 等人的研究中, 眶额叶损毁的病人表现出抑制控制能力的减弱^[49]. 这些证据都表明, 眶额皮层的一个重

要的功能就是对冲动的控制. 而对于背外侧前额叶, 已有大量研究表明其是与注意相关的认知控制及冲突控制的关键脑区^[41-53]. 此外, 还有研究表明眶额皮层和背外侧前额叶之间具有紧密的联系. 例如, 一项经颅磁刺激 (transcranial magnetic stimulation, TMS) 的研究发现, 在背外侧前额叶上施加磁刺激使其受到短暂抑制后, 眶额皮层的激活也随之减弱^[54]. 另一项结合了 fMRI 和 ERP (Event-Related potentials) 技术的研究发现, 在观看 Kanizsa 错觉图形时, 被试物体加工的腹侧视觉通路出现了相继激活现象, 而且相对于一般刺激, 错觉刺激引起了被试额叶及顶叶区域更强的激活^[55]. Halgren 等人^[56]的一项脑磁图研究也发现了眶额叶在错觉形状形成过程中的晚期 (340~370 ms), 具有重要的调节作用. Kaldy 和 Kovacs^[16]发现了儿童的错觉效应显著比成人小, 而且有与之一致的研究发现, 对于 4~8 岁儿童来说, 错觉效应也随年龄的增加而增加^[17], 这两项研究都说明了随着年龄的增长, 控制能力的增强, 前额叶等主导高级认知功能的脑区功能也随之增强, 该新皮层脑区的结构基础也发展变化, 相应的错觉效应量也随之增加. 以上研究说明, 在错觉的形成过程中, 并不是单一的脑区主导了这一过程, 而是多脑区形成了一系列的功能及结构环路. 在这些脑区中, 主要包括由低级至高级的视觉区以及主导高级认知功能的前额叶区域, 其中视觉区作为错觉形成的功能基础, 而本研究的结果证明了错觉形成的结构基础则可能位于眶额叶皮层及背外侧前额叶. 本研究发现, 眶额叶和背外侧前额叶与艾宾浩斯错觉的大小均呈显著正相关, 说明冲动控制或抑制控制能力的强弱有可能影响了艾宾浩斯错觉的形成, 那些具有较强冲动抑制能力的被试会表现出较强的错觉. 这一点与本研究的行为结果一致, 即冲动性得分越低 (冲动控制能力越强) 的被试艾宾浩斯错觉效应量越大.

(2) 通过巴瑞特冲动性人格与左侧眶额叶和背外侧前额叶脑形态学的相关分析发现, 左侧眶额皮层感兴趣区的体积与巴瑞特冲动性问卷总分呈显著负相关, 说明个体该区域的体积越小, 就会表现出越高的冲动性. 前人的研究也发现, 左右两侧的眶额叶及左侧的前扣带回局部灰质体积与冲动性 (巴瑞特冲动性总分) 呈显著负相关^[37]. 本研究与之一致, 同样

发现眶额皮层灰质体积越小的被试在冲动性问卷上的得分越高, 而背外侧前额叶则与冲动性的得分没有显著相关. 另一些研究发现, 大脑前部胼胝体的各向异性分数 (fractional anisotropy) 和冲动性 (巴瑞特冲动性总分) 呈显著负相关^[57,58], 在神经解剖结构上, 眶额叶通过胼胝体和背外侧前额叶、前扣带回有固有的神经解剖连接^[59,60]. 这些结果表明, 眶额皮层的灰质和白质结构和个体的冲动性有密切的关系. 导致该结果的原因在上文中已经有所讨论, 即眶额皮层在冲动控制中具有重要作用^[37,39-41], 而冲动控制能力越弱的个体在冲动性量表上的得分也会越高. 更重要的是, 在进一步的分析中的确发现个体的冲动性在大脑结构和艾宾浩斯错觉效应量之间扮演显著的中介作用, 支持了本研究的推测. 但是需要注意的是, 本研究发现的是部分中介的作用, 因此眶额皮层结构和艾宾浩斯错觉之间除了个体的冲动性之外, 可能还存在其他的影响因素. 进一步的研究可以探索眶额皮层的其他功能在艾宾浩斯错觉中的作用. 总的来说, 本研究清楚地表明, 眶额皮层通过影响个体的冲动性, 在艾宾浩斯错觉的形成中起重要作用.

而与眶额皮层相对的, 本研究并未发现左侧背外侧前额叶与个体冲动性之间的关系. 这与前人的背外侧前额叶的功能主要是和注意相关的冲突控制这一研究结果相一致. 有研究表明, 背外侧前额叶与前扣带回分别负责注意相关的认知冲突的解决和监控^[61]. 说明虽然背外侧前额叶在艾宾浩斯错觉中也具有重要作用, 但是其影响错觉形成的方式与眶额皮层不同. 关于背外侧前额叶影响艾宾浩斯错觉的机制, 还需要进一步的研究来说明.

总之, 本研究表明, 眶额皮层和背外侧前额叶在艾宾浩斯错觉的形成中都具有重要的作用, 而眶额皮层对错觉的影响很可能是通过对个体冲动性的影响实现的. 这一发现不仅拓展了视错觉的内涵, 表明了和高级认知功能相关的额叶皮层在错觉中的作用; 另一方面, 也第一次为人格对视错觉的影响提供了实验证据, 说明个体的这两个稳定特征之间确实有着密切的联系. 在未来的研究中, 可以尝试通过采用神经刺激的技术手段, 例如, 经颅直流电刺激 (transcranial direct current stimulation, tDCS), TMS 等, 进一步探索大脑高级加工区和视错觉形成的因果联系.

参考文献

- 1 Bondarko V, Semenov L. Size estimates in Ebbinghaus illusion in adults and children of different age. *Hum Physiol*, 2004, 30: 24–30
- 2 Massaro D W, Anderson N H. Judgmental model of the Ebbinghaus illusion. *J Exp Psychol*, 1971, 89: 147
- 3 Rose D, Bressan P. Going round in circles: shape effects in the Ebbinghaus illusion. *Spatial Vision*, 2002, 15: 191–204
- 4 Bechtel W. *Philosophy of Science: an Overview for Cognitive Science*. London: Psychology Press, 2013
- 5 Crick F. *Astonishing Hypothesis: the Scientific Search for the Soul*. New York: Simon and Schuster, 1995
- 6 Zeki S. The neurology of ambiguity. *Conscious Cogn*, 2004, 13: 173–196
- 7 李小健, 刘东台. 视错觉产生的神经机制. *心理科学进展*, 2008, 16: 555–561
- 8 Danckert J A, Sharif N, Haffenden A M, et al. A temporal analysis of grasping in the Ebbinghaus illusion: planning versus online control. *Exp Brain Res*, 2002, 144: 275–280
- 9 Franz V, Bülthoff H, Fahle M. Grasp effects of the Ebbinghaus illusion: obstacle avoidance is not the explanation. *Exp Brain Res*, 2003, 149: 470–477
- 10 Glover S, Dixon P. Dynamic effects of the ebbinghaus illusion in grasping: support for a planning/control model of action. *Percept Psychophys*, 2002, 64: 266–278
- 11 Haffenden A M, Schiff K C, Goodale M A. The dissociation between perception and action in the Ebbinghaus illusion: nonillusory effects of pictorial cues on grasp. *Curr Biol*, 2001, 11: 177–181
- 12 van Ulzen N R, Semin G R, Oudejans R R, et al. Affective stimulus properties influence size perception and the Ebbinghaus illusion. *Psychol Res*, 2008, 72: 304–310
- 13 郭俊汝, 韩玉昌, 关尔群. 关于 Ebbinghaus 错觉机制的研究. *辽宁师范大学学报*, 2006, 28: 53–57
- 14 Coren S, Porac C. Heritability in visual-geometric illusions: a family study. *Perception*, 1979, 8: 303–309
- 15 Schiller P, Wiener M. Binocular and stereoscopic viewing of geometric illusions. *Percept Motor Skill*, 1962, 15: 739–747
- 16 Kaldy Z, Kovacs I. Visual context integration is not fully developed in 4-year-old children. *Perception*, 2003, 32: 657–666
- 17 Zanuttini L. Figural and semantic factors in change in the Ebbinghaus illusion across four age groups of children. *Percept Motor Skill*, 1996, 82: 15–18
- 18 Girgus J S, Coren S. Assimilation and contrast illusions: differences in plasticity. *Percept Psychophys*, 1982, 32: 555–561
- 19 Piaget J. *The Mechanisms of Perception*. New York: Basic Books, 1969
- 20 Shulman G L. Attentional modulation of size contrast. *Q J Exp Psychol*, 1992, 45: 529–546
- 21 Wapner S, Werner H. *Perceptual development: an investigation within the framework of sensory-tonic field theory*. Worcester: Clark University Press, 1957
- 22 McCrae R R, Costa P T. The stability of personality: observations and evaluations. *Curr Dir Psychol Sci*, 1994: 173–175
- 23 Eysenck H, Slater P. Effects of practice and rest on fluctuations in the Müller-lyer illusion. *Brit J Psychol*, 1958, 49: 246–256
- 24 Schiller L. *Ganzheitliche Auffassung und Persönlichkeitstypus*, Leipzig: JA Barth, 1942
- 25 Ehrenstein W H, Hamada J. Structural factors of size contrast in the Ebbinghaus illusion. *Jpn Psychol Res*, 1995, 37: 158–169
- 26 Schwarzkopf D S, Rees G. Subjective size perception depends on central visual cortical magnification in human V1. *PLoS One*, 2013, 8: e60550
- 27 Lee J H, van Donkelaar P. Dorsal and ventral visual stream contributions to perception-action interactions during pointing. *Exp Brain Res*, 2002, 143: 440–446
- 28 Coello Y, Danckert J, Blangero A, et al. Do visual illusions probe the visual brain? Illusions in action without a dorsal visual stream. *Neuropsychologia*, 2007, 45: 1849–1858
- 29 Yan T, Wang B, Yamasita Y, et al. Attention influence response in the human visual area V1 for Ebbinghaus illusion. In: *Proceeding of 2011 IEEE/ICME International Conference on Complex Medical Engineering*. Harbin: IEEE, 2011. 582–587
- 30 Weidner R, Fink G R. The neural mechanisms underlying the Müller-Lyer illusion and its interaction with visuospatial judgments. *Cereb Cortex*, 2007, 17: 878–884
- 31 Ashburner J, Friston K J. Voxel-based morphometry—the methods. *Neuroimage*, 2000, 11: 805–821
- 32 Costa P T, McCrea R B. *Revised NEO Personality Inventory (NEO PI-R) and NEO Five-Factor Inventory (NEO-FFI)*. Lutz: Psychological Assessment Resources, 1992
- 33 Patton J H, Stanford M S, Barratt E S. Factor structure of the Barratt impulsiveness scale. *J Clin Psychol*, 1995, 51: 768–774
- 34 Brainard D H. The psychophysics toolbox. *Spatial Vision*, 1997, 10: 433–436
- 35 Ashburner J. A fast diffeomorphic image registration algorithm. *Neuroimage*, 2007, 38: 95–113

- 36 Xia M, Wang J, He Y. BrainNet Viewer: a network visualization tool for human brain connectomics. *PLoS One*, 2013, 8: e68910
- 37 Matsuo K, Nicoletti M, Nemoto K, et al. A voxel-based morphometry study of frontal gray matter correlates of impulsivity. *Hum Brain Mapp*, 2009, 30: 1188–1195
- 38 Schwarzkopf D S, Song C, Rees G. The surface area of human V1 predicts the subjective experience of object size. *Nat Neurosci*, 2010, 14: 28–30
- 39 Wagner G, Koch K, Schachtzabel C, et al. Enhanced rostral anterior cingulate cortex activation during cognitive control is related to orbitofrontal volume reduction in unipolar depression. *J Psychiatr Neurosci*, 2008, 33: 199
- 40 Elliott R, Deakin B. Role of the orbitofrontal cortex in reinforcement processing and inhibitory control: evidence from functional magnetic resonance imaging studies in healthy human subjects. *Int Rev Neurobiol*, 2005, 65: 89
- 41 Bechara A. Decision making, impulse control and loss of willpower to resist drugs: a neurocognitive perspective. *Nat Neurosci*, 2005, 8: 1458–1463
- 42 Heilbrunner R L. The prefrontal cortex: anatomy, physiology, and neuropsychology of the frontal lobe. *J Neuropsych Clin N*, 1989, 1: 335–336
- 43 Malloy P, Bihlre A, Duffy J, et al. The orbitomedial frontal syndrome. *Arch Clin Neuropsych*, 1993, 8: 185–201
- 44 Casey B, Trainor R J, Orendi J L, et al. A developmental functional MRI study of prefrontal activation during performance of a go-no-go task. *J Cognitive Neurosci*, 1997, 9: 835–847
- 45 Richter J, Brunner R, Parzer P, et al. Reduced cortical and subcortical volumes in female adolescents with borderline personality disorder. *Psychiatry Res*, 2014, 221: 179–186
- 46 Brunner R, Henze R, Parzer P, et al. Reduced prefrontal and orbitofrontal gray matter in female adolescents with borderline personality disorder: is it disorder specific? *Neuroimage*, 2010, 49: 114–120
- 47 Matochik J A, London E D, Eldreth D A, et al. Frontal cortical tissue composition in abstinent cocaine abusers: a magnetic resonance imaging study. *Neuroimage*, 2003, 19: 1095–1102
- 48 Tanabe J, Tregellas J R, Dalwani M, et al. Medial orbitofrontal cortex gray matter is reduced in abstinent substance-dependent individuals. *Biol Psychiat*, 2009, 65: 160–164
- 49 Szatkowska I, Szymańska O, Bojarski P, et al. Cognitive inhibition in patients with medial orbitofrontal damage. *Exp Brain Res*, 2007, 181: 109–115
- 50 Franklin T R, Acton P D, Maldjian J A, et al. Decreased gray matter concentration in the insular, orbitofrontal, cingulate, and temporal cortices of cocaine patients. *Biol Psychiat*, 2002, 51: 134–142
- 51 Badre D, Wagner A D. Selection, integration, and conflict monitoring: assessing the nature and generality of prefrontal cognitive control mechanisms. *Neuron*, 2004, 41: 473–487
- 52 MacDonald A W, Cohen J D, Stenger V A, et al. Dissociating the role of the dorsolateral prefrontal and anterior cingulate cortex in cognitive control. *Science*, 2000, 288: 1835–1838
- 53 Sylvester C Y C, Wager T D, Lacey S C, et al. Switching attention and resolving interference: fMRI measures of executive functions. *Neuropsychologia*, 2003, 41: 357–370
- 54 Hayashi T, Ko J H, Strafella A P, et al. Dorsolateral prefrontal and orbitofrontal cortex interactions during self-control of cigarette craving. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2013, 110: 4422–4427
- 55 Kruggel F, Herrmann C S, Wiggins C J, et al. Hemodynamic and electroencephalographic responses to illusory figures: recording of the evoked potentials during functional MRI. *Neuroimage*, 2001, 14: 1327–1336
- 56 Halgren E, Mendola J, Chong C D R, et al. Cortical activation to illusory shapes as measured with magnetoencephalography. *Neuroimage*, 2003, 18: 1001–1009
- 57 Moeller F G, Hasan K M, Steinberg J L, et al. Reduced anterior corpus callosum white matter integrity is related to increased impulsivity and reduced discriminability in cocaine-dependent subjects: diffusion tensor imaging. *Neuropsychopharmacol*, 2004, 30: 610–617
- 58 Hoptman M J, Ardekani B A, Butler P D, et al. DTI and impulsivity in schizophrenia: a first voxelwise correlational analysis. *Neuroreport*, 2004, 15: 2467
- 59 Cohen M, Heller A, Ranganath C. Functional connectivity with anterior cingulate and orbitofrontal cortices during decision-making. *Cognitive Brain Res*, 2005, 23: 61–70
- 60 Sammler D, Kotz S A, Eckstein K, et al. Prosody meets syntax: the role of the corpus callosum. *Brain*, 2010, 133: 2643–2655
- 61 MacDonald A W, Cohen J D, Stenger V A, et al. Dissociating the role of the dorsolateral prefrontal and anterior cingulate cortex in cognitive control. *Science*, 2000, 288: 1835–1838

The Brain Morphometric Mechanism of Ebbinghaus Illusion and Its Relationship to Impulsiveness

HAO Lei, MENG Jie, HE Ying, QIU Jiang, BI TaiYong & CHEN Xu

Key Laboratory of Cognition and Personality (SWU), Ministry of Education, School of Psychology, Southwest University, Chongqing 400715, China

Ebbinghaus illusion is a typical size illusion. However, the neural mechanism of this illusion is still elusive. Previous studies mainly focused on the role of human early visual cortex and ventral pathway on Ebbinghaus illusion by using the method of fMRI. Till now, there are few studies on the brain morphometric basis of Ebbinghaus illusion. In addition, as a robust illusion, the relationship of Ebbinghaus illusion and human personality is worth studying. The current study investigated the neural mechanism of Ebbinghaus illusion and its relationship to human personality. We found that the effect of Ebbinghaus illusion was positively correlated to the regional gray matter volume of left orbitofrontal cortex (OFC) and left dorsolateral prefrontal cortex (DLPFC); the effect of Ebbinghaus illusion was negatively correlated to the total score of Barratt Impulsiveness Scale (BIS); impulsiveness mediated the relationship between left OFC and Ebbinghaus illusion. The results revealed that, as a stable characteristic of individuals, impulsiveness plays an important role in the generation of Ebbinghaus illusion. Our study is the first attempt to investigate the mechanism of visual illusion based on personality and brain morphometry. It advances our knowledge of visual processing and has potential practical significance.

Ebbinghaus illusion, Barratt impulsiveness, gray matter volume, orbitofrontal cortex, mediation effect

doi: 10.1360/N052014-00271