

情绪面孔搜索效率的脑形态学基础

王勇超[†], 杜杨杨[†], 毕泰勇*, 邱江*

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; qiujiang@swu.edu.cn

2016-05-26 收稿, 2016-06-17 修回, 2016-06-20 接受, 2016-11-03 网络版发表

国家自然科学基金(31271087, 31470981, 31571137, 31500885)和中央高校基本科研业务费专项资金(SWU1509383, SWU1509451)资助

摘要 人类对面孔加工的特异性和有效性已被许多研究所证实, 快速感知他人的情绪表情对个体的社会行为有重要作用. 前人研究表明, 情绪面孔的加工显著快于中性面孔, 神经影像学研究也表明杏仁核等脑区对情绪面孔表现出显著的激活. 然而, 多种情绪面孔加工的优势效应的共同的大脑结构基础还没有得到揭示. 本研究使用视觉搜索范式, 验证了情绪面孔搜索显著快于中性面孔搜索. 通过计算搜索情绪面孔和搜索中性面孔的拟合直线的斜率之差, 得到每个被试高兴和恐惧面孔搜索的效率, 发现两种情绪面孔搜索效率呈现显著的正相关. 在此基础上, 结合核磁共振影像基于体素的形态学分析, 研究情绪面孔加工搜索效率的个体差异的大脑结构基础. 结果发现, 高兴和恐惧的情绪面孔的搜索效率均与右侧后扣带和左侧顶上小叶区域的灰质体积呈显著的相关. 这表明, 个体对不同的情绪面孔表情的敏感性的个体差异可能有共同的脑结构基础.

关键词 情绪面孔加工, 视觉搜索, 基于体素的形态学分析, 灰质体积, 右侧后扣带, 左侧顶上小叶

面孔表情传递着大量有价值的信息, 他人的面孔表情对于个体的社会互动行为起着调节修正的作用, 微笑的表情预示着良好的社交氛围, 而愤怒或生气的表情则预示着敌意. 个体需要敏锐地感知他人的情绪以应对生活和工作的种种情境, 有效地知觉他人的面孔表情具有广泛的生物适应意义. 人类面孔包括6种基本的情绪表情, 分别是高兴、悲伤、厌恶、愤怒、恐惧和惊奇, 前人使用视觉搜索范式研究发现, 不论实验中使用的面孔是概略图面孔还是真实的图片面孔, 个体对于面孔表情觉察都存在注意优势效应, 即个体对于情绪性面孔的知觉具有敏感性, 但是个体对不同的面孔表情的敏感性也不同^[1~6].

很多研究者使用了脑成像或电生理等技术对情绪面孔的加工进行了更深入的研究. Kanwisher等

人^[7,8]发现了面孔加工的特异性脑区FFA(梭状回面孔加工区, fusiform face area). 也有研究表明, STS(颞上沟, superior temporal sulcus)区域在情绪面孔加工中显著激活^[9,10]. Haxby等人^[11]提出了面孔加工的分布式的神经系统, 包括由调节面孔的视觉分析的颞枕区域组成的核心系统, 以及负责其他认知功能并与核心系统协同工作从面孔中提取信息的扩展系统. FFA与STS都属于核心系统, FFA主要负责面孔身份等不变信息, 而STS主要在可变的面孔信息如面孔表情、唇部运动、眼睛注视等的加工中发挥主要作用. 但之后一些研究者的研究发现了与这个模型不一致的结果^[12,13]. 除此之外, 其他的脑区也参与到面孔加工当中. Ohrmann等人^[14]研究表明, 杏仁核对掩蔽的恐惧情绪面孔的活动强度可以预测个体搜索恐惧情

引用格式: 王勇超, 杜杨杨, 毕泰勇, 等. 情绪面孔搜索效率的脑形态学基础. 科学通报, 2016, 61: 3698–3707

Wang Y C, Du Y Y, Bi T Y, et al. The brain anatomical basis of emotional face advantage (in Chinese). Chin Sci Bull, 2016, 61: 3698–3707, doi: 10.1360/N972016-00393

绪面孔的效率。杏仁核不仅对恐惧的情绪面孔表现出显著的激活, 当在任务中呈现高兴、悲伤和愤怒的情绪面孔时, 杏仁核活动也显著增强^[15~17], 结果显示, 在功能上, 杏仁核可能是多种情绪面孔加工的重要脑区。Zhao等人^[18]的研究表明, 杏仁核的灰质体积与恐惧面孔认知能力显著相关, 但是并未发现杏仁核灰质体积与其他种类情绪面孔的相关。到目前为止, 还没有发现有研究探索多种情绪面孔的敏感性的个体差异是否存在共同的大脑结构基础。

视觉搜索范式是研究情绪面孔加工的优势效应的重要手段, 很多研究者使用该范式对情绪面孔加工进行了研究^[6,19,20]。Frischen等人^[21]在2008年发表的一篇综述中, 对情绪面孔视觉搜索的研究领域进行了详细的分析总结。他指出, 情绪面孔搜索的研究需要在严格地控制刺激集的大小(set size)、一致的分心物背景(distractor context)和自上而下的搜索策略(top-down search strategies)以得到可靠的结果。前人研究少有直接比较在完全相同的面孔刺激中搜索不同目标面孔的效率差异。

本研究使用高兴、恐惧和中性的真实面孔图片作为刺激, 比较在完全相同的分心物背景下个体搜索情绪性面孔和目标性别的中性面孔的效率差异, 通过比较两种条件下反应时的斜率函数来确定高兴和恐惧面孔的注意优势效应, 并将行为实验中情绪性面孔搜索的斜率函数与对应的中性面孔搜索的斜率函数之差作为该种情绪性面孔的敏感性指标, 使用基于体素的形态学分析在全脑搜索与该指标相关的脑区, 研究情绪面孔加工的个体差异, 试图寻找高兴和恐惧情绪面孔敏感性共同的脑结构基础。

1 材料与方法

1.1 被试

随机选取了健康右利手的在校大学生65人, 年龄范围19~25岁, 其中男生22人, 女生43人。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, 所有被试自愿参加实验。实验经过西南大学脑成像中心伦理委员会批准, 与所有被试都签署了知情同意书, 并在实验结束后给予一定的报酬。

1.2 行为实验刺激与程序

行为学数据采集实验在MATLAB R2010a (Math

Works Inc., <http://www.mathworks.com>)软件环境下使用Psychtoolbox工具包进行。实验使用从中国化面孔情绪图片系统^[22]中选取的64张中性面孔, 32张恐惧面孔, 32张高兴面孔, 每种情绪面孔中男女性面孔各半。每张面孔图片经过修剪, 去掉非面孔区域(如头发、颈部等)。面孔图片刺激分布在围绕着黑色屏幕中心的注视点的一个圆环上, 视角为 $1.58^{\circ} \times 1.37^{\circ}$, 屏幕与被试眼睛的距离为53 cm。所有面孔刺激图片的中心与注视点之间的视角为 3.16° 。

实验在安静避光的环境中进行, 要求被试将下巴放置在头托上使其眼睛与屏幕距离不变, 右手食指和中指放在小键盘的“1”, “2”键上, 做好准备。被试的任务是判断出现的面孔刺激中有无一张目标面孔, 目标面孔是一张情绪面孔图片或者一张中性表情目标性别的面孔图片, 在保证准确性的前提下尽快按键, 如果目标面孔存在, 则按“1”, 若不存在, 则按“2”。每个run开始时, 屏幕左上方提示这个run的每个trial以一个位于屏幕中心的绿色注视点开始, 当注视点变红时, 提示搜索在1 s后开始, 搜索直至被试做出反应结束, 接着呈现下一个trial, 依次循环。每个run包括36个trial, 面孔刺激的数量和位置随机, 实验记录被试的反应时和正确率。实验包括两个变量: (1) 目标面孔的类别(高兴、恐惧、中性); (2) 面孔刺激的数目(2, 4或8张面孔刺激)。搜索情绪面孔时与搜索中性面孔时呈现的面孔刺激完全一样, 包括一张情绪面孔, 一张与目标性别的中性面孔, 其他的为非目标性别的中性面孔, 从而比较搜索情绪面孔和搜索中性面孔时的效率差异。图1显示了一个包含8张面孔刺激的trial的流程。本实验的显示设备使用的戴尔液晶显示器(Liquid Crystal Display, LCD), 屏幕分辨率为 1024×768 , 刷新率为60 Hz。

1.3 大脑图像获取和预处理

所有大脑图像数据的采集使用西门子3.0 T磁共振扫描仪(Siemens Medical, 德国), 被试的头部用MRI 兼容的泡沫垫固定以尽量减少头动。

结构MRI 数据采集: 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° , 成像

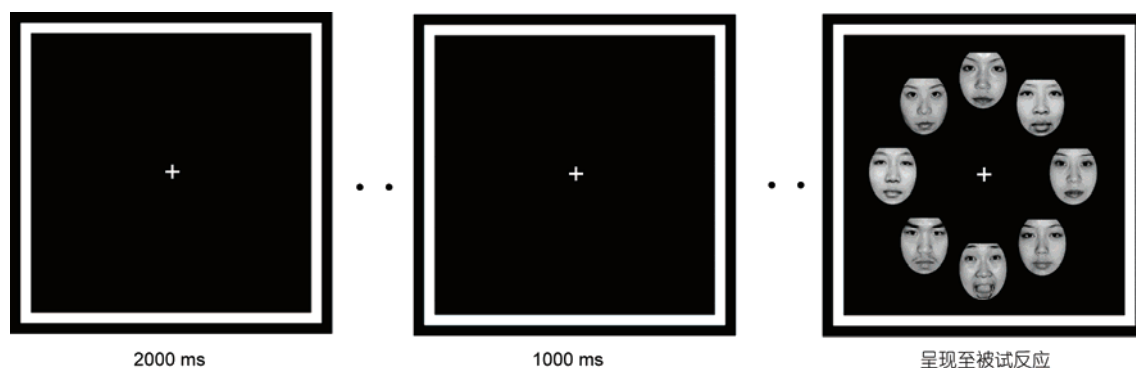


图1 行为实验流程图

Figure 1 Experimental procedure

矩阵=256×256, 层厚=1.0 mm, 体素大小=1 mm×1 mm×1 mm, 扫描176层. 覆盖全脑结构MRI数据的预处理使用基于MatlabR2012a (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^[23]. 每个被试的高分辨率T1结构加权像数据的预处理步骤如下: (1) 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; (2) 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; (3) 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FWHM=8 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)模型对数据进行建模, 进行基于体素形态学的统计分析.

1.4 数据分析

行为实验包括搜索高兴、恐惧的面孔和对应的两种搜索中性的面孔这4种条件, 每种条件的每个不同面孔刺激数目的反应正确率都在90%以上, 对4种条件下有目标呈现并且被试做正确反应的试次的反应时和正确率分别进行统计分析. 对反应时进行了4(搜索目标: 高兴、恐惧和对应的两种中性面孔条件)×3(刺激数目: 2, 4或8张面孔刺激)的两因素重复测量方差分析. 由于我们关注情绪面孔及其对应的中性面孔搜索效率的差异, 之后对两种不同的情绪表情及其对应的中性表情的面孔分别进行2(情绪面孔、中性面孔)×3(刺激数目: 2, 4或8张面孔刺激)的两因素重复测量方差分析. 通过计算得到每个被试在每种目标面孔条件下的斜率, 并对情绪面孔及其对应的中性面孔的斜率进行配对T检验. 搜索高兴和恐惧面孔及其对应的中性面孔的斜率差异可以作为被试对高兴和恐惧情绪面孔的敏感性的指标, 并对两种敏感性指标进行相关分析.

为了测量情绪面孔敏感性是否可能具有共同的脑结构基础, 首先对两种情绪面孔注意优势效应指标进行了相关分析, 之后使用SPM8的多元回归(multiple regression)模型分析方法计算情绪面孔注意优势效应与全脑个脑区灰质体积的相关性. 全脑灰质体积作为协变量回归掉, 在组块水平(cluster level)

上统计显著的结果。全脑分析显示 P 值小于0.005且组块大于300个体素(voxel)的区域。

以多元回归分析方法得出的与两种情绪面孔敏感性有显著相关的脑区作为感兴趣区(region of interest, ROI)提取局部灰质体积的信号,分别与两种情绪面孔敏感性计算相关性,同样回归掉全脑灰质体积。

所有数据统计使用基于MATLAB R2012a的SPM8 (<http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm>)和SPSS16 (SPSS Inc., 美国)作为统计工具。

2 结果

2.1 行为实验结果

对反应时进行的4(搜索目标: 高兴、恐惧和对应的两种中性面孔条件) $\times$ 3(刺激数目: 2, 4或8张面孔刺激)的两因素重复测量方差分析结果表明, 搜索目标和刺激数目的主效应和它们的交互作用均显著(搜索目标: $F(3, 183)=416.4, P<0.001$; 刺激数目: $F(2, 122)=1327, P<0.001$; 交互作用: $F(6, 366)=150.849, P<0.001$)。

结果表明, 搜索目标和刺激数目的主效应及它们的交互作用均显著(搜索恐惧面孔及其对应的中性面孔: 搜索目标: $F(1, 61)=475.48, P<0.001$; 刺激数目: $F(2, 122)=1091, P<0.001$; 交互作用: $F(2, 122)=208.90, P<0.001$; 搜索高兴面孔及其对应的中性面孔: 搜索目标: $F(1, 61)=462.53, P<0.001$; 刺激数目: $F(2, 122)=1098, P<0.001$; 交互作用: $F(2, 122)=183.37, P<0.001$)。通过计算得到每个被试在每种目标面孔条件下的斜率, 并对情绪面孔及其对应的中性面孔的斜率进行配对 T 检验发现, 两种情绪面孔搜索的斜率都显著地小于对应的中性面孔搜索的斜率(恐惧vs.中性: $t=17.036, df=61, P<0.001$; 高兴vs.中性: $t=15.351, df=61, P<0.001$), 这表明, 情绪面孔相对中性面孔的敏感性更强(图2)。

对两种情绪面孔注意优势效应进行的相关分析表明两者相关系数 $R=0.672, P<0.001$ (图3), 即被试对两种情绪面孔的敏感性显著相关。

2.2 基于体素的形态学分析结果

行为实验结果的分析得出了情绪性面孔及其对应的中性面孔搜索的斜率差异, 这种差异表明了被试对面孔情绪的敏感性的指标, 将每个被试对高兴

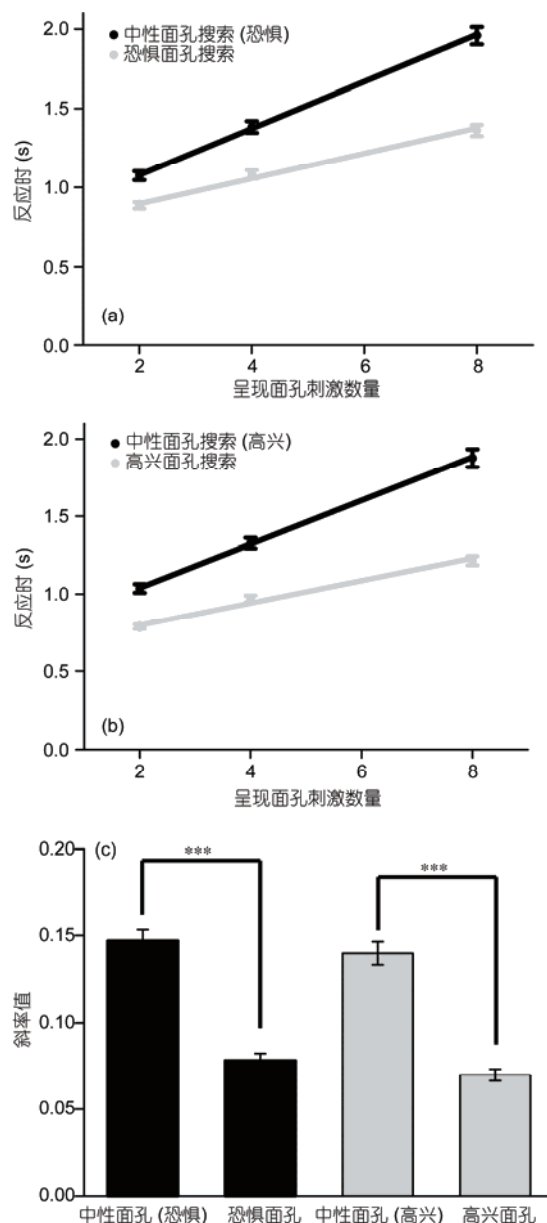


图2 高兴和恐惧情绪面孔搜索的结果分析。(a) 恐惧情绪面孔及其对应的中性面孔搜索的结果; (b) 高兴情绪面孔及其对应的中性面孔搜索的结果; (c) 高兴和恐惧情绪面孔及其对应的中性面孔搜索的斜率。***, $P<0.001$

Figure 2 Behavioral results. (a) Behavioral results of fearful and corresponding neutral face search; (b) behavioral results of happy and corresponding neutral face search; (c) search slopes of happy and fearful and their corresponding neutral faces. ***, $P<0.001$

和恐惧情绪的敏感性指标分别采用多元回归方法创建统计模型, 计算全脑灰质体积与情绪敏感性的相关性。结果发现, 右侧边缘叶的后扣带区域与恐惧情绪和高兴情绪的敏感性都呈现显著的负相关。其中, 恐惧情绪敏感性与右侧后扣带区域灰质体积相关性

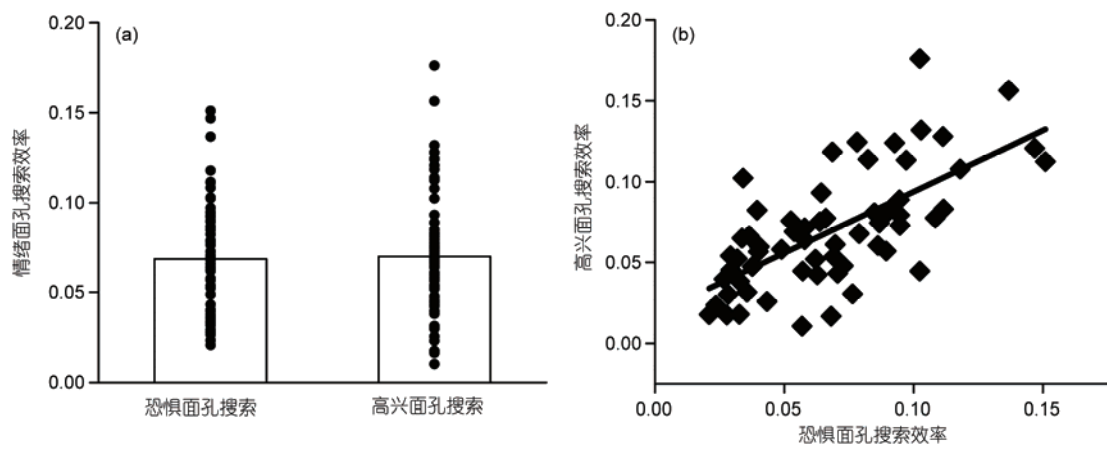


图3 高兴和恐惧情绪面孔优势效应的相关分析结果。(a) 高兴和恐惧面孔搜索优势效应的值;(b) 高兴和恐惧面孔搜索优势效应的相关性
Figure 3 Correlation analysis for happy and fearful face search advantage. (a) Happy and fearful face search advantages; (b) correlation between happy and fearful face search advantages

为 $R=-0.406$, $P<0.001$, 与左侧顶上小叶的灰质体积相关性为 $R=0.354$, $P<0.005$; 高兴情绪敏感性与右侧后扣带区域灰质体积相关性为 $R=-0.380$, $P<0.005$, 与左侧顶上小叶的灰质体积相关性为 $R=0.323$, $P=0.05$. 除此之外, 也有一些脑区的灰质体积被发现只与恐惧情绪的敏感性相关, 其中, 只与恐惧情绪敏感性相关的脑区包括: 左侧颞中回、左侧后扣带, 只与高兴情绪敏感性相关的脑区包括: 右侧顶上小叶. 全脑分析的结果见表1和2.

之后我们将与两种情绪敏感性指标都呈现显著相关的两个脑区的重叠部分分别作为感兴趣区(ROI大小分别为: 右侧后扣带212个体素, 左侧顶上小叶239个体素), 提取两个脑区的皮层灰质体积, 分别与恐惧和高兴情绪的敏感性指标进行相关分析, 发现两个脑区与两种情绪敏感性指标的相关性均显著(所有 $P<0.05$)(图4).
为了说明右侧后扣带与左侧顶上小叶的灰质体积与恐惧和高兴的情绪敏感性相关, 采用多元回归

表1 灰质体积与恐惧情绪面孔搜索效率相关显著的区域^{a)}

脑区	体素数量	BA	中心点MNI坐标			t值
			X	Y	Z	
左侧颞中回	365	20	-57	-27	-19.5	-3.678
左侧后扣带	1817	19	-16.5	-46.5	-4.5	-4.060
右侧后扣带	1500	17	18	-78	10.5	-3.721
左侧顶上小叶	423	5	-15	-49.5	73.5	3.832

a) MNI: Montreal neurologic institute, 蒙特利尔坐标; BA, 布鲁德曼分区

表2 灰质体积与高兴情绪面孔搜索效率相关显著的区域^{b)}

脑区	体素数量	BA	中心点MNI坐标			t值
			X	Y	Z	
右侧后扣带	549	30	24	-66	22	-3.951
左侧顶上小叶	319	7	-12	-49.5	-75	3.213
右侧顶上小叶	304	7	15	-52.5	67.5	3.627

b) MNI: Montreal neurologic institute, 蒙特利尔坐标; BA, 布鲁德曼分区

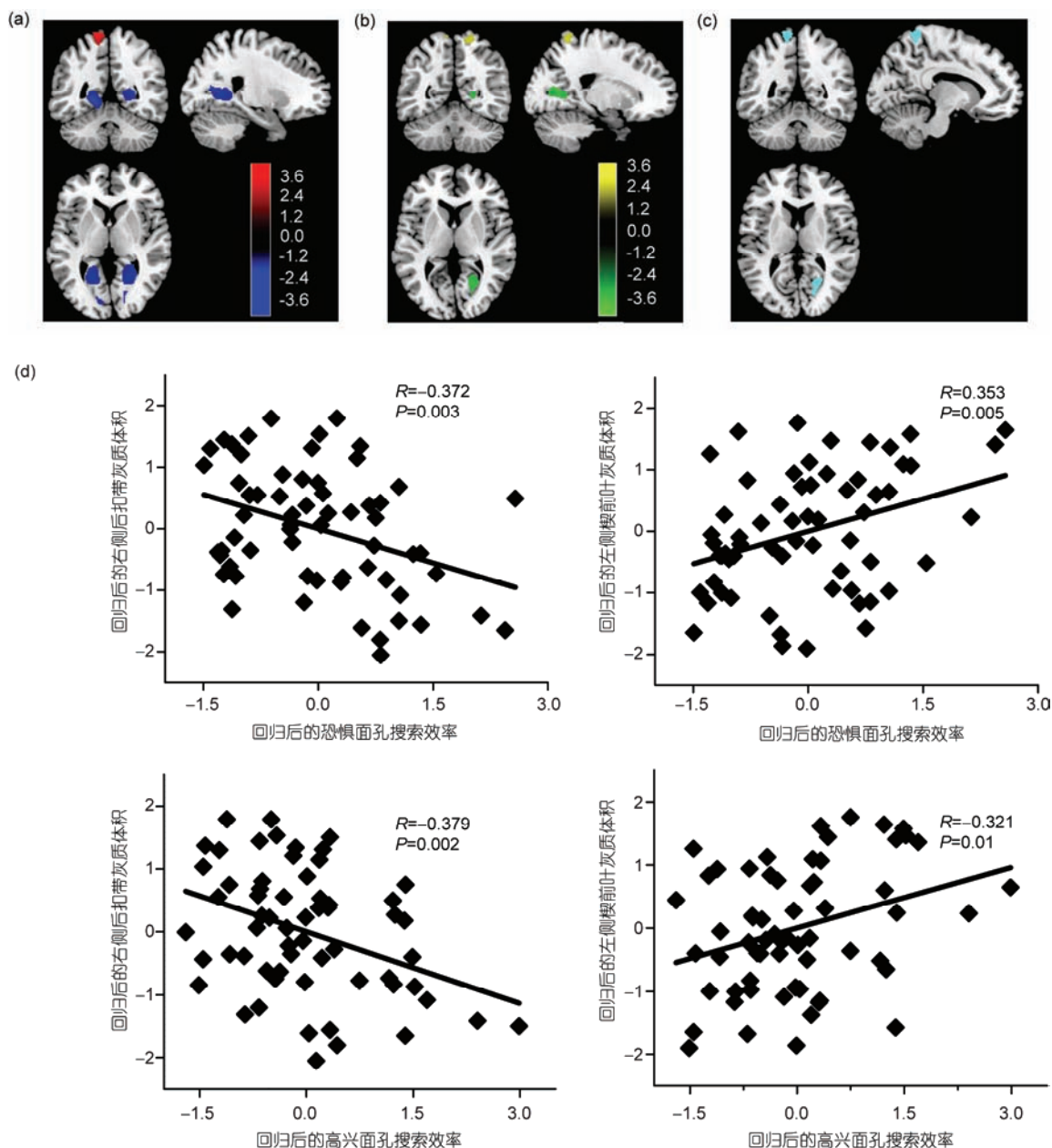


图 4 (网络版彩色)灰质体积与高兴和恐惧面孔情绪相关的共同脑区及其相关性. (a) 恐惧情绪面孔搜索效率相关脑区; (b) 高兴情绪面孔搜索效率相关脑区; (c) 两种情绪面孔搜索效率相关脑区重合的区域; (d) 四个散点图分别表明右侧后扣带和左侧楔前叶的灰质体积与恐惧和高兴情绪面孔的搜索效率的相关性

Figure 4 (Color online) Results from VBM analysis. (a) Brain regions correlated with fearful face search advantage; (b) brain regions correlated with happy face search advantage; (c) overlapped regions correlated with fearful and happy face search advantages; (d) scatter plots for the correlation between brain region volume and fearful and happy face search advantages

的方法,以两个脑区重叠部分的灰质体积为预测变量,来预测恐惧和高兴的情绪敏感性.以两个脑区灰质体积同时预测恐惧情绪敏感性的结果 $R^2=0.229$,模型显著($F(2, 59)=8.766$, $P<0.001$);以两个脑区灰质体积同时预测高兴情绪敏感性的结果 $R^2=0.214$,模型显

著($F(2, 59)=8.031$, $P<0.001$).

然后,再分别以两个脑区的灰质体积为预测变量,来预测恐惧和高兴的情绪敏感性,对恐惧情绪敏感性的预测结果是:右侧后扣带 $R^2=0.139$,模型显著($F(1, 60)=9.660$, $P<0.005$),左侧顶上小叶 $R^2=0.125$,

模型显著($F(1, 60)=8.555, P<0.005$); 对高兴情绪敏感性的预测结果是: 右侧后扣带 $R^2=0.143$, 模型显著($F(1, 60)=10.018, P<0.005$, 左侧顶上小叶 $R^2=0.102$, 模型显著($F(1, 60)=6.851, P<0.05$).

最后, 为了说明左侧顶上小叶和右侧后扣带区域对高兴和恐惧情绪面孔加工的特异性和一致性, 分别在高兴和恐惧情绪面孔加工与两个脑区的相关性计算中控制另一种情绪面孔搜索效率, 结果均不显著(高兴情绪面孔搜索效率与左侧顶上小叶: $R=0.120, P=0.357$; 与右侧后扣带: $R=-0.187, P=0.149$; 恐惧情绪面孔搜索效率与左侧顶上小叶: $R=0.196, P=0.130$; 与右侧后扣带: $R=-0.171, P=0.187$). 这表明左侧顶上小叶与右侧后扣带两个脑区和两种情绪面孔加工效率的相关具有一致性.

虽然本研究发现了右侧后扣带和左侧顶上小叶这两个脑区与恐惧和高兴两种情绪敏感性都相关, 但是这一结果并不能完全说明单独对恐惧和高兴两种情绪敏感性的分析中发现的脑区是同样的区域, 又可能是对这两种情绪敏感性有影响的区域间差别较大, 仅有少部分重叠区域表现出和两种情绪敏感性都相关. 为了说明在两个分析中所发现的共同的两个脑区均与两种情绪敏感性相关, 研究分别以在恐惧和高兴情绪敏感性分析中发现的各自的两个脑区作为ROI, 分别与两种情绪敏感性做了相关性分析. 结果发现, 在恐惧情绪敏感性分析中发现的两个脑区的灰质体积与高兴情绪敏感性相关都显著(右侧后扣带: $R=-0.346, P<0.01$; 左侧顶上小叶: $R=0.319, P<0.01$); 同时, 在高兴情绪敏感性分析中发现的四个脑区的灰质体积与恐惧情绪敏感性的相关也都显著(右侧后扣带: $R=-0.365, P<0.005$; 左侧顶上小叶: $R=0.350, P<0.01$).

3 讨论和结论

本研究从大脑的形态学角度出发, 研究了高兴和恐惧两种情绪敏感性共同的大脑结构基础. 行为实验中, 记录了在相同的背景下搜索高兴和恐惧面孔及其对应的中性面孔的反应时间, 并根据以往研究文献通过设置三种不同的面孔刺激的数量得到了搜索情绪面孔和对应的中性面孔反应时斜率值, 发现不论是高兴还是恐惧面孔的搜索, 其斜率都显著地小于中性面孔的搜索, 即对情绪面孔的加工存在注意优势效应. 对两种情绪面孔加工的注意优势效

应指标的相关分析表明, 高兴和恐惧情绪显著正相关, 因此, 不同的情绪面孔加工的敏感性之间确实存在联系, 可能有着共同的神经基础. 在行为实验的基础上, 通过全脑搜索的方式分别搜索灰质体积与两种情绪敏感性显著相关的脑区, 发现左侧顶上小叶的灰质体积与恐惧和高兴两种情绪敏感性都有显著的正相关, 而右侧后扣带的灰质体积与恐惧和高兴两种情绪敏感性都有显著的负相关, 从而为两种情绪敏感性在大脑结构上有着共同的基础提供了重要证据.

本研究发现恐惧和高兴两种情绪面孔的搜索效率都显著相关的脑区有两个, 分别是右侧扣带和左侧顶上小叶区域. 左侧顶上小叶与两种情绪面孔搜索效率都呈显著正相关, 而右侧后扣带与两种情绪面孔搜索效率都呈显著负相关, 说明左侧顶上小叶灰质体积越大, 个体对情绪面孔的搜索效率就越高, 而右侧后扣带灰质体积越小, 个体对情绪面孔的搜索效率就越高. 顶上小叶和后扣带区域表现出的反相关表明两个脑区在任务中的作用是不同的. 顶上小叶与视觉空间注意和朝向有关, 涉及对不同的目标的注意转换^[24~26]. 后扣带能够调节情绪加工和记忆唤起的相互作用^[27,28], 对情绪类别没有选择性, 同时是大脑默认网络(default mode network, DMN)和结构中心的重要部分, 也是任务负相关网络(task-negative network, TNN)的一部分^[29~31], 在注意相关的任务中普遍表现出活动减弱^[31], 即负激活, 并因此受到很多研究的关注. 在本研究中, 后扣带区域与两种情绪面孔搜索效率都呈显著负相关, 这与后扣带区域在注意相关任务中表现出的负激活是一致的. 事实上, 后扣带皮层并没有被Posner等人^[32,33]认为是经典的注意相关脑区, 但Leech等人^[34]认为, 至少后扣带皮层的背侧部分很可能与控制内源性和外源性注意的平衡有直接的关系.

除了与两种情绪搜索效率都相关的两个脑区之外, 本研究还发现了一些脑区只与其中一种情绪的搜索效率相关, 这说明不同情绪的搜索效率的神经机制不仅有共同的成分, 也存在各自独特的成分, 这些差异可能是由于不同的情绪表情的固有属性导致的. 例如, 在恐惧情绪搜索效率的分析中, 还发现了左侧颞中回、左侧后扣带的显著相关. 左侧颞中回在前人研究中被发现与面孔知觉加工^[35,36]、阅读时理解字义^[37]等认知活动有关. 同时, 左侧颞中回也是视觉通路的一部分. Liddell等人^[36]在研究中发现, 被试

在加工恐惧的情绪面孔时,颞中回区域表现出强烈的活动. Sturm等人^[38]发现,颞中回、颞下回等区域的缩小可能与更强烈的情绪感受性有关. 因此,颞中回区域可能是感受和加工负性情绪面孔特征的重要脑区. 后扣带区域则经常被发现与多种认知功能相关. 比如, Maddock等人^[39]发现,相对于中性词汇,当被试听到威胁性的词汇时,左侧后扣带有显著的激活,研究者推测这可能是由于相关的情景记忆的唤起,但是后来的研究发现,后扣带区域对情绪相关的情景记忆加工不具有选择性,即后扣带区域对不同类别的情绪都表现出激活^[40],尽管对不同的情绪表现出的激活的敏感性不同. 在本研究中,显著性水平0.005,体素大于50的条件下,左侧后扣带区域也表现出与高兴情绪搜索效率的相关. 在高兴情绪搜索效率的分析中,显著相关的脑区还有右侧顶上小叶区域. 与左侧后扣带区相似,在显著性水平0.005,体素大于50的条件下,右侧顶上小叶也表现出与恐惧表情搜索效率的相关. 左侧后扣带和右侧顶上小叶与两种情绪表情面孔搜索效率的相关也表明,高兴和恐惧情绪面孔加工可能有共同的脑结构基础.

Habel等人^[41]在2005年发表的fMRI研究发现,被

试对高兴和悲伤的情绪面孔进行加工时表现出激活的脑区域是相似的,但是直接将两种情绪面孔加工任务进行比较时发现了较显著的效价差异,不同的任务在重合的脑区引起的激活强度不同,也出现了一些特异性的脑区. 所以, Habel等人认为,不同的情绪面孔加工在一个共同的神经网络中有不同的激活点,因而导致了不同的情绪情感的质的不同.

本研究从大脑结构的角度探讨高兴和恐惧两种情绪表情加工的神经基础,一般认为,脑区的灰质体积越大表明其功能越强^[42]. 本研究发现,左侧顶上小叶越大,情绪面孔搜索效率越高;而右侧后扣带体积越小,情绪面孔搜索效率越高. 造成这种差异的原因可能是因为顶上小叶和后扣带在注意相关任务中起到的作用不同,这与前人的研究结果是相一致的.

结合本研究和前人使用fMRI对情绪面孔加工脑功能的共同机制的研究,不管是从大脑结构还是从功能角度来看,不同的情绪面孔加工的敏感性确实存在共同的机制. 在脑结构上,后扣带和顶上小叶的灰质体积大小起着主要的作用,而情绪面孔加工共同的作用机制可能还包括脑区和脑区之间的连接,还需要进一步的研究加以证明.

参考文献

- 1 Eastwood J D, Smilek D, Merikle P M. Differential attentional guidance by unattended faces expressing positive and negative emotion. *Percept Psychophys*, 2001, 63: 1004-1013
- 2 Williams M A, Moss S A, Bradshaw J L, et al. Look at me, I'm smiling: Visual search for threatening and nonthreatening facial expressions. *Vis Cogn*, 2005, 12: 29-50
- 3 Smilek D, Frischen A, Reynolds M G, et al. What influences visual search efficiency? Disentangling contributions of preattentive and postattentive processes. *Percept Psychophys*, 2007, 69: 1105-1116
- 4 Horstmann G. Preattentive face processing: What do visual search experiments with schematic faces tell us? *Vis Cogn*, 2007, 15: 799-833
- 5 Gerritsen C, Frischen A, Blake A, et al. Visual search is not blind to emotion. *Percept Psychophys*, 2008, 70: 1047-1059
- 6 Lundqvist D, Bruce N, Ohman A. Finding an emotional face in a crowd: Emotional and perceptual stimulus factors influence visual search efficiency. *Cogn Emot*, 2015, 29: 621-633
- 7 Kanwisher N, McDermott J, Chun M M. The fusiform face area: A module in human extrastriate cortex specialized for face perception. *J Neurosci*, 1997, 17: 4302-4311
- 8 Kanwisher N, Yovel G. The fusiform face area: A cortical region specialized for the perception of faces. *Philos Trans Roy Soc London B Biol Sci*, 2006, 361: 2109-2128
- 9 Puce A, Allison T, Bentin S, et al. Temporal cortex activation in humans viewing eye and mouth movements. *J Neurosci*, 1998, 18: 2188-2199
- 10 Hoffman E A, Haxby J V. Distinct representations of eye gaze and identity in the distributed human neural system for face perception. *Nat Neurosci*, 2000, 3: 80-84
- 11 Haxby J V, Hoffman E A, Gobbini M I. The distributed human neural system for face perception. *Trends Cogn Sci*, 2000, 4: 223-233
- 12 Ganel T, Valyear K, Goshen-Gottstein Y, et al. Greater fMRI activation in the "fusiform face area" for the processing of expression than the processing of identity: Implications for face-recognition models. *J Vis*, 2004, 4: 135
- 13 Pitcher D, Duchaine B, Walsh V. Combined TMS and fMRI reveal dissociable cortical pathways for dynamic and static face perception.

- Curr Biol, 2014, 24: 2066–2070
- 14 Ohrmann P, Rauch A V, Bauer J, et al. Threat sensitivity as assessed by automatic amygdala response to fearful faces predicts speed of visual search for facial expression. *Exp Brain Res*, 2007, 183: 51–59
- 15 Killgore W, Yurgelun-Todd D A. Activation of the amygdala and interior cingulate during nonconscious processing of sad versus happy faces. *NeuroImage*, 2004, 21: 1215–1223
- 16 Nomura M, Ohira H, Haneda K, et al. Functional association of the amygdala and ventral prefrontal cortex during cognitive evaluation of facial expressions primed by masked angry faces: An event-related fMRI study. *NeuroImage*, 2004, 21: 352–363
- 17 Williams M A, Morris A P, McGlone F, et al. Amygdala responses to fearful and happy facial expressions under conditions of binocular suppression. *J Neurosci*, 2004, 24: 2898–2904
- 18 Zhao K, Yan W, Chen Y, et al. Amygdala volume predicts inter-individual differences in fearful face recognition. *PLoS One*, 2013, 8: e740968
- 19 Mohanty A, Eegner T, Monti J M, et al. Search for a threatening target triggers limbic guidance of spatial attention. *J Neurosci*, 2009, 29: 10563–10572
- 20 Hodsoll S, Viding E, Lavie N. Attentional capture by irrelevant emotional distractor faces. *Emotion*, 2011, 11: 346–353
- 21 Frischen A, Eastwood J D, Smilek D. Visual search for faces with emotional expressions. *Psychol Bull*, 2008, 134: 662–676
- 22 Gong X, Huang Y X, Wang Y. Revision of the Chinese facial affective picture system (in Chinese). *Chin Ment Health J*, 2011, 25: 40–46 [龚栩, 黄宇霞, 王妍, 等. 中国面孔表情图片系统的修订. *中国心理卫生杂志*, 2011, 25: 40–46]
- 23 Ashburner J. A fast diffeomorphic image registration algorithm. *NeuroImage*, 2007, 38: 95–113
- 24 Kawashima R, Roland P E, O'sullivan B T. Functional-anatomy of reaching and visuomotor learning—a positron emission tomography study. *Cereb Cortex*, 1995, 5: 111–122
- 25 Wenderoth N, Debaere F, Sunaert S, et al. The role of anterior cingulate cortex and precuneus in the coordination of motor behaviour. *Eur J Neurosci*, 2005, 22: 235–246
- 26 Cavanna A E, Trimble M R. The precuneus: A review of its functional anatomy and behavioural correlates. *Brain*, 2006, 129: 564–583
- 27 Maddock R F, Garrett A S, Buonocore M H. Remembering familiar people: The posterior cingulate cortex and autobiographical memory retrieval. *Neuroscience*, 2001, 104: 667–676
- 28 Maddock R J, Garrett A S, Buonocore M H. Posterior cingulate cortex activation by emotional words: fMRI evidence from a valence decision task. *Hum Brain Mapp*, 2003, 18: 30–41
- 29 Shulman G L, Fiez J A, Corbetta M, et al. Common blood flow changes across visual tasks. 2. Decreases in cerebral cortex. *J Cogn Neurosci*, 1997, 9: 648–663
- 30 Fox M D, Snyder A Z, Vincent J L, et al. The human brain is intrinsically organized into dynamic, anticorrelated functional networks. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2005, 102: 9673–9678
- 31 Singh K D, Fawcett I P. Transient and linearly graded deactivation of the human default-mode network by a visual detection task. *NeuroImage*, 2008, 41: 100–112
- 32 Posner M I, Petersen S E. The attention system of the human brain. *Annu Rev Neurosci*, 1990, 13: 25–42
- 33 Petersen S E, Posner M I. The attention system of the human brain: 20 years after. *Annu Rev Neurosci*, 2012, 35: 73–89
- 34 Leech R, Sharp D J. The role of the posterior cingulate cortex in cognition and disease. *Brain*, 2014, 137: 12–32
- 35 Phillips M L, Young A W, Scott S K, et al. Neural responses to facial and vocal expressions of fear and disgust. *Proc Roy Soc B Biol Sci*, 1998, 265: 1809–1817
- 36 Liddell B J, Brown K J, Kemp A H, et al. A direct brainstem-amygdala-cortical alarm system for subliminal signals of fear. *NeuroImage*, 2005, 24: 235–243
- 37 Acheson D J, Hagoort P. Stimulating the Brain's language network: Syntactic ambiguity resolution after TMS to the inferior frontal gyrus and middle temporal gyrus. *J Cogn Neurosci*, 2013, 25: 1664–1677
- 38 Sturm V E, Yokoyama J S, Seeley W W, et al. Heightened emotional contagion in mild cognitive impairment and Alzheimer's disease is associated with temporal lobe degeneration. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2013, 110: 9944–9949
- 39 Maddock R J, Buonocore M H. Activation of left posterior cingulate gyrus by the auditory presentation of threat-related words: An fMRI study. *Psychiatry Res*, 1997, 75: 1–14
- 40 Damasio A R, Grabowski T J, Bechara A, et al. Subcortical and cortical brain activity during the feeling of self-generated emotions. *Nat Neurosci*, 2000, 3: 1049–1056
- 41 Habel U, Klein M, Kellermann T, et al. Same or different? Neural correlates of happy and sad mood in healthy males. *NeuroImage*, 2005, 26: 206–214
- 42 Kanai R, Rees G. The structural basis of inter-individual differences in human behaviour and cognition. *Nat Rev Neurosci*, 2011, 12: 231–242

The brain anatomical basis of emotional face advantage

WANG YongChao, DU YangYang, BI TaiYong & QIU Jiang

Key Laboratory of Cognition and Personality of Ministry of Education, Faculty of Psychology, Southwest University, Chongqing 400715, China;

Human beings are quite efficient in emotional face processing, which is of great importance for individuals in their social interactions. Previous studies showed that processing of emotional face was significantly faster than that of neutral face, and individuals showed variability in emotional face processing efficiency. Evidences from functional magnetic resonance imaging researches indicated that brain regions such as amygdala were significantly activated at the present of emotional faces. However, the brain structural basis of this superiority of emotional face processing had not been revealed. The present study combined visual search paradigm and structural magnetic resonance imaging to explore the brain structural basis of individual difference of emotional processing efficiency. In the visual search experiment, we asked the subjects to search for an emotional (a happy or fearful face) face or a target gender (a neutral face). Two-way (set size×target type) repeated measure analysis of RTs were done respective to happy and fearful face and their corresponding face gender search. We found significant interaction of set size and target type for both of them, and the main effects of set size and target type were significant as well. For further analysis, we compare the search slopes of emotional face and face gender search, and found that every subject showed a shallower search function for emotional face search than face gender search, indicating a stable emotional face advantage. Happy and fearful face advantage indexes were calculated for each subject. We then collected structural MRI images of each subject. Then we used multiple regression analysis to explore the correlation between the emotional face advantage indexes and the brain gray matter volume. We found that both the processing advantages of happy and fearful face were significantly correlated with gray matter volume of brain regions in the right posterior cingulate cortex and the left superior parietal lobe. The GMV in the left superior parietal lobe was positively correlated with the emotional face advantage indexes while the GMV in the right posterior cingulate cortex was negatively correlated with them. Previous studies found that superior parietal lobe was involved in attentional shift for different targets, larger GMV of this region might indicate better ability to search a certain target. Posterior cingulate cortex was widely found to participate in the interaction of emotion regulation and memory arousal. It was also an important part in the target-negative network and showed decreased activation in attention-related task, which was consistent with the results in the present study. In addition to these common areas, there were brain areas that only showed correlation with one of the emotional face advantage index. In the fearful face advantage analysis, left temporal gyrus and left posterior cingulate cortex were also significantly correlated with fearful face advantage index. In the happy face advantage analysis, right superior parietal lobe was found to be significantly correlated with happy face advantage index. These results indicated that different emotional face processing included different composition. These results showed that regardless of different composition of different emotional face processing, individual difference for different emotional face processing might have a common brain structural basis.

emotional face processing, visual search, voxel-based morphometry analysis, gray matter volume, right posterior cingulate cortex, left superior parietal lobe

doi: 10.1360/N972016-00393