

# 音乐刺激激活人脑情感系统的 fMRI 研究

项爱斋, 张云亭, 张权, 李威

(天津医科大学总医院放射科, 天津 300052)

**【摘要】** 目的:利用 fMRI 技术,对音乐欣赏相关脑功能区进行定位,并初步探讨音乐情感反应和音乐治疗的可能神经机制。方法:采用组块设计模式,对 30 名非音乐专业志愿者进行被动聆听音阶、轻音乐和恐怖音乐(各 3 段)实验。应用 SPM99 软件对实验结果进行组分析,获得平均激活图。结果:轻音乐和恐怖音乐可激活大脑与情感加工相关的脑区,前者主要包括双侧前额皮层外侧部(左侧为著)、左侧眶额皮层、扣带回前部、左侧岛叶前部、右侧丘脑和左侧豆状核;后者主要包括双侧前额皮层外侧部(右侧为著)、双侧眶额皮层、双侧额内回和扣带回前部和双侧杏仁复合体。结论:音乐可有效激活人脑与情感加工相关脑区;大脑对喜悦和恐惧情感具有不同(或部分交叉)的神经加工网络,其中,轻音乐引起的正性情感加工可能是音乐治疗的部分神经基础。

**【关键词】** fMRI; 脑; 音乐; 情绪

中图分类号: R395.9 文献标识码: A 文章编号: 1005-3611(2006)02-0215-03

## The Activation of Human Affective System During Passive Music Listening: A Preliminary fMRI Study

XIANG Ai-zhai, ZHANG Yun-ting, ZHANG Quan, LI Wei

Department of Radiology, General Hospital of Tianjin Medical University, Tianjin 300052, China

**【Abstract】** Objective: To localize the functional areas related to music processing with fMRI, and to discuss the possible neural mechanism underlying emotion experience and music therapy. Methods: Thirty healthy non-musicians underwent fMRI study. Experimental tasks included listening passively to instrumental pieces of scale, pleasant classic music and scary music(3 pieces each), which were given in block design. Conjunction analysis was performed with SPM99 to render the mean functional images. Results: Both the pleasant music and the scary music activated the neural substrates underlying affective processing; the former mainly included bilateral lateral prefrontal cortex(left advantage), the left orbitofrontal cortex, the anterior cingulate cortex, the left anterior part of insula, the right thalamus and the left lenticula; the later mainly included bilateral lateral prefrontal cortex(right advantage), bilateral orbitofrontal cortex, bilateral medial frontal gyri, bilateral anterior cingulate cortex and bilateral amygdaloid complex. Conclusion: Passively listening to pleasant and scary music could strongly activate distinct emotion processing substrates, and the positive emotion processing system activation during pleasant music listening may be one of the neural mechanisms of music therapy.

**【Key words】** fMRI; Brain; Music; Emotion

音乐是人类进行情感交流的重要手段,可以调节心态、营造气氛等。近年,音乐已用于临床辅助镇静和止痛、生理缺陷和情感障碍患者的生理心理调节等治疗。目前,对音乐的身心调节机制仍缺乏公认的理论基础,本研究采用 BOLD-fMRI 技术,对音乐欣赏相关脑功能区进行定位,初步探讨音乐情感反应和音乐治疗的可能神经基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 志愿者选择

30 名医学生,男 16 名,女 14 名,年龄 21-29 岁,平均 24 岁。本科以上学历,只接受基础音乐教育,无专业音乐学习和训练经历。均为右利手,双耳听力正常,无神经及精神疾病史。

### 1.2 音乐的选择

包括音阶、轻音乐和恐怖音乐三种。音阶为钢琴演奏

的七声音阶,中速(84 次/分)。轻音乐选自节奏舒缓、旋律优美的钢琴曲,大调调式,中速(行板或中板)。恐怖音乐选自恐怖电影的配乐或具恐怖色彩的合成音效,包含不规则节奏及不协和旋律。均由音频编辑软件 Cooledit pro2.0 编辑成为 30 秒的片段。

### 1.3 成像设备及成像参数

采用 GE 公司 1.5T Twin speed 磁共振全身扫描仪及头部正交线圈。轴位 T<sub>1</sub>WI 解剖像扫描采用 FLAIR 序列,扫描参数为:TR 2732.9ms,TE 11.6ms,TI 760ms,层厚 6mm,层间距 1mm,共 20 层,包括头顶至颅底的全脑范围。功能像采用单次激发回波平面成像梯度回波序列(GRE-EPI),扫描参数为:TR 3000ms,TE 40ms,flip 90 度,FOV 24cm×24cm,矩阵 128×96,扫描层面与 T<sub>1</sub>WI 一致,共 184 次全脑扫描,扫描时间 9 分 12 秒。

### 1.4 实验过程

被试仰卧,配带气导防磁耳机,保持身体静止及闭目。功能像扫描采用组块设计模式,开始4次全脑扫描为适应阶段,数据不列入统计,然后静息组块与刺激组块交替进行,每个组块30s,共循环9次,9个刺激组块依次施加3段音阶、3段轻音乐和3段恐怖音乐。实验后,要求所有受试者:对音乐进行归类,并描述各自的特征、感受和生理反应;对能正确区分三种不同音乐情感特征者,进一步对轻音乐和恐怖音乐的情感强度进行评分,评分标准为5分制,从“不好听”到“非常好听”或“不恐怖”到“非常恐怖”共分为5个不同等级。

1.5 统计分析

采用SPM99软件对原始数据进行后处理。预处理包括运动校正、空间标准化和空间平滑处理。统计阈值概率设定为 $P < 0.05$ ,激活范围阈值设定为6个像素。将志愿者数据链接进行组分析,获得平均激活图,用于脑激活区定位。

2 结 果

2.1 行为学结果

30名志愿者参加实验,其中2名志愿者不能对音乐的情感特征进行正确归类,5名志愿者对恐怖音乐的评分为“1”分,即认为“不恐怖”,将其实验数据舍弃。余23名志愿者的评分情况为:轻音乐

$3.74 \pm 0.46$ ,恐怖音乐  $2.96 \pm 0.34$ ,均列入统计分析。

2.2 组分析结果

2.2.1 音阶实验 主要脑激活区包括双侧颞上、中回、右侧额下沟后部周围皮质。此外,4例志愿者出现双侧辅助运动区和(或)小脑半球的激活,因激活例数较少,未在组分析结果显示。

2.2.2 轻音乐 主要脑激活区包括双侧颞上、中回、右侧额下沟后部周围皮质、右侧额下回后部、左侧前额皮层外侧部、左侧中央前回(运动前区)、双侧辅助运动区、右侧丘脑、双侧小脑半球和小脑蚓部。

2.2.3 恐怖音乐 主要脑激活区包括双侧颞上、中回、右侧额下沟后部周围皮质、双侧额下回(右侧为著)、左侧中央前回(运动前区)、双侧额内回(包括辅助运动区)和扣带回前部、双侧眶额皮层、右侧杏仁复合体、右侧基底节、左侧小脑半球和小脑蚓部。

2.2.4 轻音乐与音阶对比 轻音乐以音阶为对照主要激活脑区包括双侧颞上、中回后部听觉皮层、双侧前额皮层外侧部(左侧为著)、左侧眶额皮层、扣带回前部、左侧岛叶前部、双侧海马旁回、右侧丘脑、左侧豆状核和双侧小脑半球,见图1。

2.2.5 恐怖音乐与音阶对比 恐怖音乐以音阶为对照主要激活脑区包括右侧颞上回后部听觉皮层、右侧前额皮层外侧部、右侧中央前回、双侧额内回和扣带回前部、双侧眶额皮层、双侧颞极、左侧颞中、下回后部、双侧杏仁复合体和小脑蚓部,见图2、图3。

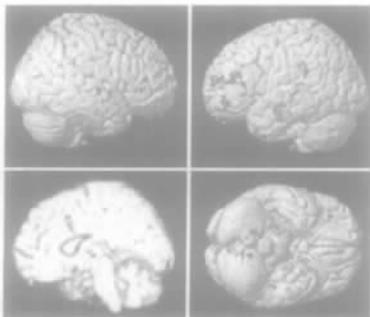


图1 轻音乐与音阶对比脑激活区

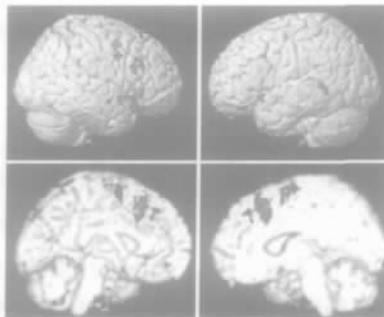


图2 恐怖音乐与音阶对比脑激活区

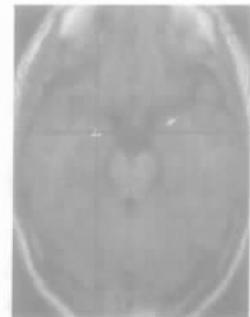


图3 恐怖音乐与音阶对比激活脑区

2.2.6 轻音乐与恐怖音乐对比 轻音乐以恐怖音乐为对照主要激活脑区:左侧前额皮层外侧部、左侧眶额皮层、扣带回前部、后部和右侧颞上回后部听觉皮层。

2.2.7 恐怖音乐与轻音乐对比 恐怖音乐以轻音乐为对照主要激活脑区:右侧前额皮层外侧部、右侧中央前回、双侧额内回和扣带回前部、双侧眶额皮层、右侧颞极、双侧颞中、下回后部和右侧杏仁复合体。

3 讨 论

音乐的组成按不同属性可分为结构特征和情感特征。结构特征决定对音乐的识别,如音乐的旋律;情感特征决定音乐的情感内涵,如轻音乐的谐和旋律等决定其喜悦情感特征,恐怖音乐的不规则节奏和不谐和旋律决定其恐怖情感特征。音阶不包含任何情感特征,作为研究的中性情感对照,即音阶刺激时只激活与音乐结构认知相关的脑区<sup>[1]</sup>。

在研究中,双侧颞上、中回、右侧额下沟后部周围皮质、小脑半球和辅助运动区为音阶、轻音乐和恐怖音乐共同的激活区,这些脑区共同参与对音乐音

高和时值分配关系的分析、保持和实时比较,与音乐结构特征的认知加工有关<sup>[2,3]</sup>。

轻音乐和恐怖音乐另外激活前额皮层、岛叶前部、海马旁回、杏仁复合体、丘脑和基底节等边缘系统的重要结构,且轻音乐和恐怖音乐的激活区或激活模式不同,提示大脑对音乐情感特征的加工具有区别于结构特征的神经机制,主要与情感加工相关脑区有关,且不同音乐情感具有独立(或部分交叉)的脑加工机制。

前额皮层在情绪加工中具有重要作用,不同亚区参与情绪加工的不同过程。本研究中,前额皮层外侧部的激活呈与情绪类型相关的偏侧性,即轻音乐(喜悦情感)主要激活左半球,恐怖音乐(恐惧情感)主要激活右半球。Davidson等<sup>[4]</sup>采用脑电图技术也证实了前额皮层在情感加工中的偏侧激活,且发现左侧前额皮层外侧部在期待正性情感刺激和趋近情绪行为的计划过程中激活最明显,而右侧前额皮层外侧部主要参与维持对威胁性刺激的警觉状态。

眶额皮层主要参与对刺激情感价值的评价以及主观情感体验的形成<sup>[5]</sup>。本研究结果显示,轻音乐实验和恐怖音乐刺激时都出现眶额皮层的激活,支持其可能参与情感价值评价及主观情感体验形成的观点。在轻音乐和恐怖音乐的对比研究中,显示两者分别激活眶额皮层的不同亚区,轻音乐实验偏于外侧而恐怖音乐实验偏于内侧,提示眶额皮层的不同部位可能参与不同情感类型的加工。Roll等<sup>[6]</sup>应用嗅觉刺激对情感神经机制的研究中,发现在给予好闻的气味时眶额皮层的激活位于内侧,而给予难闻的气味时眶额皮层的激活偏于外侧。虽然本研究眶额皮层的激活部位与Roll研究存在一定的差异,但均提示眶额皮层的不同亚区可能参与不同情感类型的加工过程,而激活部位的差异可能与研究采用的刺激手段不同有关。

前额内侧皮层在情感加工中具有重要作用,参与不同情感类型的共同加工过程。在研究中,轻音乐和恐怖音乐实验都出现前额内侧皮层的激活,但轻音乐实验的激活范围和强度明显小于恐怖音乐实验,可能为:恐怖音乐刺激包含与生存相关的威胁性成分,故需要更复杂的重要性评价、注意、生理唤起和决策过程以更好地应付随时变化的危险环境<sup>[7]</sup>。

杏仁核是情感加工的重要脑功能区。本研究结果显示,仅恐怖音乐刺激出现杏仁复合体的激活,提示其参与对音乐恐怖情感特征的加工。在脑损伤病人的行为学研究中,Gosselin等<sup>[8]</sup>发现单侧颞叶前内侧(包括杏仁复合体)切除可引起对恐怖音乐的识别障碍,而对喜悦或悲伤音乐的识别正常,亦表明颞叶

前内侧(包括杏仁复合体)对恐怖情感特征的识别具有重要作用。此外,在其它与恐惧情感相关的研究中,如恐惧表情面孔<sup>[9]</sup>、生活事件的内在回忆<sup>[10]</sup>等都观察到杏仁复合体的激活。这些研究共同提示杏仁复合体在恐惧情感的加工中具有重要作用,可能参与对刺激情景的认知评价、恐惧情绪状态和恐惧情感的产生、恐惧反应的维持和调节等过程。

其他脑区:轻音乐实验中,双侧海马旁回、左侧岛叶前部、右侧丘脑和左侧豆状核出现激活。海马旁回的激活与情绪记忆有关<sup>[11]</sup>,由于本研究所选用的轻音乐均为经典的钢琴曲,而恐怖音乐选自恐怖电影的配乐或合成音效,部分受试者对轻音乐的熟悉度可能高于恐怖音乐,因而与恐怖音乐实验相比,轻音乐实验出现双侧海马旁回的明显激活。岛叶是内脏感觉和血压调节的皮层中枢,而岛叶前部主要与情感加工有关,故岛叶又称为“边缘感觉皮层”,参与多种生理心理状态的调节过程以维持身心的稳定状态<sup>[12]</sup>。丘脑和豆状核与中脑被盖、伏膈核、眶额皮层及前额腹内侧皮层等共同组成大脑的奖赏趋近系统,这些脑区包含多巴胺能神经元,共同参与正性情感反应过程<sup>[13]</sup>。

恐怖音乐与音阶和轻音乐比较显示颞中、下回后部激活,其为颞枕联合区,属于视觉相关皮层,此区的激活可能与恐怖音乐引起视觉想象有关。

#### 参 考 文 献

- 1 Bernal B, Altman NR, Medina LS. Dissecting nonverbal Auditory cortex asymmetry: an fMRI study. *International Journal of Neuroscience*, 2004,114(50):661-680
- 2 Griffiths TD. The neural processing of complex sound. *Annals New York Academy of Sciences*, 2001,930(6):133-142
- 3 Penhune VB, Zatorre RJ, Evans AC. Cerebellar contributions to motor timing: A PET study of auditory and visual rhythm reproduction. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 1998,10(6):752-765
- 4 Davidson RJ. What does the prefrontal cortex "do" in affect: perspectives on frontal EEG asymmetry research. *Biological Psychology*, 2004,67(1-2):219-233
- 5 Morten LK, Edmund TR. The functional neuroanatomy of the human orbitofrontal cortex: evidence from neuroimaging and neuropsychology. *Progress in Neurobiology*, 2004, 72: 341-372
- 6 Rolls ET, Kringelbach ML, de Araujo ET. Different representations of pleasant and unpleasant odors in the human brain. *European Journal of Neuroscience*, 2003,18(3):695-703
- 7 Phan KL, Taylor SF, Robert C, et al. Activation of the medial prefrontal cortex and extended amygdala by individual ratings of emotional arousal: A fMRI study. *Biological Psychiatry*, 2003, 53(3):211-215

逐渐上升, POMC mRNA 表达逐渐升高, 中断阿片使用后解除抑制的过程是缓慢的, 以致停用外源性阿片时, 内源性阿片不能满足适应机体功能活动的需要, 导致某些生理功能的紊乱, 出现戒断症状。

从本研究结果可以看出外源性阿片对内阿片肽系统的抑制作用是严重的, 恢复是缓慢的, 已停药 30d, 大鼠伏隔核内的 POMC mRNA 表达虽然有所回升, 但仍然显著低于正常水平, 这与国外一些学者的研究结果相似<sup>[1,2,5,11]</sup>; 而安君宁能使 POMC mRNA 的表达明显加强, 随着用药时间的延长, 这种趋势越明显, 说明安君宁有助于恢复内阿片系统的正常功能。作者的临床研究表明安君宁能减轻稽延期海洛因依赖患者的渴求, 而本研究结果进一步提示其作用机制可能与安君宁能促进伏隔核内前阿黑皮素原的表达有关。

参 考 文 献

- 1 Chefer VI, Kieffer BL, Shippenberg TS. Contrasting effects of mu opioid receptor and delta opioid receptor deletion upon the behavioral and neurochemical effects of cocaine. *Neuroscience*, 2004,127(2):497- 503
- 2 Leshner AI. Addiction is a brain disease,and it matters. *Science*,1997, 278:58- 63
- 3 Di Chiara G, Bassareo V, Fenu S. Dopamine and drug addiction: the nucleus accumbens shell connection.*Neurophar-*

- macology, 2004, 47:227- 241
- 4 Denise M, Tomkins, Edward M, Sellers. Addiction and the brain:the role of neurotransmitters in the cause and treatment of drug dependence. *Addiction and brain, CMA/* 2001,164(6):817- 821
- 5 Aston-Jones G, Harris GC. Brain substrates for increased drug seeking during protracted withdrawal. *Neuropharmacology*, 2004, 47:167- 179
- 6 谌红献, 郝伟, 刘铁桥,等.安君宁、康复欣对阿片类稽延性戒断症状临床疗效的对照研究. *中国临床心理学杂志*, 2004,12(1):38- 40
- 7 谌红献, 郝伟. 吗啡依赖大鼠戒断状态时伏隔核中多巴胺水平与条件性位置偏爱的关系, *中国药物依赖性杂志*, 2001,10:97- 100
- 8 Kalivas PW. Recent understanding in the mechanisms of addiction. *Curr Psychiatry Rep*, 2004, 6(5):347- 351
- 9 Nestler EJ, Aghajanian GK. Molecular and cellular basis of addiction. *Science*, 1997, 278:58- 63
- 10 Bao S, Chan VT, Merzenich MM. Cortical remodelling induced by activity of ventral tegmental dopamine neurons. *Nature*, 2001, 412(6842):79- 83
- 11 Kreek MJ, Schlussman SD, Bart G.Evolving perspectives on neurobiological research on the addictions: celebration of the 30th anniversary of NIDA. *Neuropharmacology*, 2004, 47(1):324- 44

(收稿日期:2005- 09- 29)

(上接第 217 页)

- 8 Gosselin N, Peretz I, Noulhiane M, et al. Impaired recognition of scary music following unilateral temporal lobe excision. *Brain*, 2005, 128(3):628- 640
- 9 Morris JS, Friston KJ, Büchel C, et al. A neuromodulatory role for the human amygdala in processing emotional facial expressions. *Brain*,1998,121(1): 47- 57
- 10 Damasio AR, Grabowski TJ, Bechara A, et al. Subcortical and cortical brain activity during the feeling of self-generated emotions. *Nature Neuroscience*, 2000,3(10):1049- 1056
- 11 Maguire EA, Frith CD. Lateral asymmetry in the hippocam-

- pal response to the remoteness of autobiographical memories. *Journal of Neuroscience*, 2003, 23(12):5302- 5307
- 12 Flynn FG. Anatomy of the insula functional and clinical correlates. *Psychology Press*, 1999,13:55- 78
- 13 Blood AJ, Zatorre RJ. Intensely pleasurable responses to music correlate with activity in brain regions implicated in reward and emotion. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2001,98(20): 11818- 11823

(收稿日期:2005- 07- 26)

(上接第 220 页)

参 考 文 献

- 1 Frearson WM, Eysenck HJ, Barrett PT.The Furneaux model of human problem solving: Its relationship to reaction time and intelligence, *Personality and Individual Differences*, 1990,11:239- 257
- 2 Ackerman PL, Heggstad ED. Intelligence, personality and interests: Evidence for overlapping traits.*Psychological Bulletin*, 1997, 121:219- 245
- 3 Kyllonen P. Smart testing. In R. Dillon (Ed.), *Handbook on testing*. Westport, CT: Greenwood, 1997. 347- 368
- 4 戴晓阳, 吴依泉. NEO- PI- R 在 16- 20 岁人群中的应用研究. *中国临床心理学杂志*, 2005,13,1:14- 18
- 4 Spector PE, Jex SM, Chen PY. Relations of incumbent

- affect-related personality traits with incumbent and objective measures of characteristics of jobs. *Journal of Organizational Behavior*, 1995,16:59- 65
- 5 Corr PJ, Kumari V. Impulsivity, Time of Day, and Stress: Effects on Intelligence Test Performance, *Journal of Research in Personality*, 1998,32:1- 12
- 6 Eysenck HJ. *The biological basis of personality*. Springfield, IL: C.C. Thomas, 1967.1- 57
- 7 Gray JA. *The psychology of fear and stress*. New York:Cambridge University Press, 1987.3- 59
- 8 Snow RE, Corno L, Jackson D. Individual differences in conative and affective functions. In Berliner DC and Calfee RC. *Handbook of educational psychology*. New York: Macmillan, 1996.243- 331

(收稿日期:2005- 09- 21)