

· 生物电子学 ·

音乐情绪感知的脑电研究

赖永秀, 高婷婷, 吴丹, 尧德中

(电子科技大学生命科学院 成都 610054)

【摘要】利用情绪量表筛选出对应“愉快、快乐、悲伤、恐惧”四种情绪的音乐片段作为刺激,同步记录脑电,从脑区、情绪极性、强度等方面对脑电 α 波功率的变化进行了分析。结果表明:脑电 α 波功率的变化与情绪的极性和强度密切相关;“快乐与恐惧”、“愉快与恐惧”、“恐惧与悲伤”之间 α 波功率差异显著;顶枕区 α 波功率在负性情绪中强度强的明显小于强度弱的;在强度强的情绪中,正极性情绪显著大于负性情绪。

关键词 脑电 α 波功率; 情绪感知; 音乐和脑电; 音乐情绪
中图分类号 R318 **文献标识码** A

Research on Electroencephalogram of Musical Emotion Perception

LAI Yong-xiu, GAO Ting-ting, WU Dan, and YAO De-zhong

(School of Life Science & Technology, University of Electronic Science and Technology of China Chengdu 610054)

Abstract Four musical excerpts representing four different emotions of ‘happy, joy, sad, and fear’ were selected as stimuli by emotions scale. The electroencephalogram was recorded simultaneously and the alpha power was analyzed with factors of brain region, valence, and intensity of the musical emotions. The results showed that the alpha power was closely related to emotional valence and intensity. The difference between ‘joy and fear’, ‘happy and fear’, and ‘fear and sad’ was statistically significant. In the parieto-occipital region, the alpha power was significantly larger in calm emotion than in intense emotion within negative emotions; meanwhile within intense emotions the alpha power was significantly larger in positive emotion than in negative emotion.

Key words EEG alpha power; emotion perception; music and EEG; musical emotion

情绪感知作为社会认知的重要部分,在生物进化过程中及现实生活的社会交往中至关重要。关于人类情绪的神经科学研究大都采用静态视觉图像为刺激来诱发情绪^[1],而现实生活中人的情绪显然可由多种不同的刺激源引发。神经科学已发现音乐也是可用来研究情绪的一种有效工具。音乐所具有的优势在于:(1)音乐能够引发相当强度的情绪反应;(2)这些情绪通常可以在不同被试间一致地诱发;(3)音乐不仅可以引发不愉快情绪,也可以引发愉快情绪,而通过静态图像却难以引发愉快情绪^[1]。

文献[2]报道,脑电(electroencephalogram, EEG)功率谱变化与音乐情绪的极性和强度密切相关; α 波功率与大脑活动呈反相关,即 α 功率愈大代表脑活动愈少;反之, α 功率愈小代表脑活动愈多;同时 α 波段功率比其他波段更能反应大脑行为的变化^[3]。然而,作为一个新的领域,音乐情绪感知的脑电研

究整体上还处于摸索阶段,期待更多更系统而细致的研究。本文从多种角度分析了八名被试者分别在静息状态以及由音乐引发的四种不同情绪状态下脑电 α 波功率谱的变化,得到了一些有价值的结论。

1 实验设计和方法

1.1 音乐情绪测量

实验前使用情绪量表挑选音乐刺激,此量表包括两部分:1)中文版的分化情绪量表(differential emotions scale, DES),为一个形容词检表,包括十种基本情绪,用于测量个体处在特定情绪情境下的情绪分化成分^[4]。2)对情绪的极性和强度进行测定,包括:(1)询问被试所听音乐是否愉快。(2)询问被试所听音乐的强度大小,答案选项均从“1”到“9”记分,分别对应从“极不愉快”到“非常愉快”、“格外平和”到“格外激烈”的连续变化。测试后

收稿日期:2006-09-17;修回日期:2007-01-13

基金项目:国家自然科学基金(60736029;60571019)

作者简介:赖永秀(1972-),女,在职博士生,主要从事EEG信号分析与处理方面的研究。

根据此两项得分,以强度为横坐标、愉快度为纵坐标作图,来判定特定音乐所引发情绪的极性和强度^[5]。

1.2 实验设计

被试者为八名右利手正常大学生(均未接受过任何专业音乐训练),平均年龄为 21.88 ± 1.73 岁。实验刺激为依据30名未参与实验的大学生利用情绪量表对14段音乐进行打分而筛选出的四段音乐,分别对应“愉快、快乐、悲伤、恐惧”四种基本情绪,每段音乐均参考其自然起伏剪辑约2 min。其中愉快和快乐属正极性情绪,悲伤和恐惧属负极性情绪,它们共同组成情绪的四个强度等级。

实验开始前告知实验的基本目的,指示被试者放松去听并体会每段音乐带来的感受。实验过程如下:(1)令被试者调整状态至平静,分别记录闭眼、睁眼状态下的脑电各2 min。(2)为被试者播放两段舒缓而中性的音乐各2 min,帮助被试者适应环境。(3)提示被试者实验正式开始,为被试者播放四段音乐刺激,每段刺激播放完毕后要求被试者填写情绪量表;而后被试者调整状态,提示实验者开始播放下一段音乐。四段音乐刺激的播放顺序固定,即总是负极性情绪的音乐在后,正极性情绪的音乐在前,依据是:由负极性刺激所引发的负极性情绪趋向比由正极性刺激所引发的正极性情绪持续较长的时间^[6],为避免负极性情绪的持续对正极性情绪的诱发产生干扰,实验设计为负极性刺激总是在正极性刺激之后进行。音乐由电脑播放并通过耳塞传入被试者耳中,被试者在所有听音乐的过程中均闭眼。

脑电信号通过EGI System 200型脑电记录仪记录,采集通道为128道。电极按GSN-128标准放置,电极阻抗均调至 $40 \text{ k}\Omega$ 以下。工作中主要分析四个电极位置的EEG信号,即国际10-10系统的F3、F4、PO3和PO4,它们分别代表左半球、右半球、前半部(额区)、后半部(顶枕区)等不同脑区^[7]。所有电极均以中央头顶(Cz)为参考,记录数据通过 $0.1 \sim 48 \text{ Hz}$ 的带通滤波,采样率为 500 Hz 。

1.3 数据处理及分析

所有EEG信号都进行了眼动伪迹去除,并按时间截为长度约10 s的数据段。分别选择各被试者在每种状态下的数据段10个,用DFT变换进行功率谱估计,由此计算得到 α 波($8 \sim 13 \text{ Hz}$)的平均功率谱,然后对所有数据取对数后再进行平均,最终每个被试者的每个状态都对应一个值,该数据用于后续分析。与情绪相关的脑波成分可能包括 α 波、 β 波和 θ 波等,但 α 波的变化最容易观察。因此作为系列研究的第一

步,本文以对 α 波的分析为切入点,对处理后的 α 波功率谱进行重复测量方差分析,以分析各因素(包括情绪类型、极性、强度、大脑偏侧性以及脑区前后)对 α 波功率谱大小的影响,其中显著性水平定义为 $p < 0.05$ 。统计分析采用SPSS软件(13.0版本)。

2 结果

2.1 情绪测量结果

图1所示为实验前所进行的情绪DES测量结果和情绪极性-强度测量结果,图中所示均为30人得分的平均值。图1a的结果表明,实验所采用的音乐刺激能够有效地诱发四种目标情绪;图1b的结果表明,所选的四种情绪在二维图上具有良好的分散性。

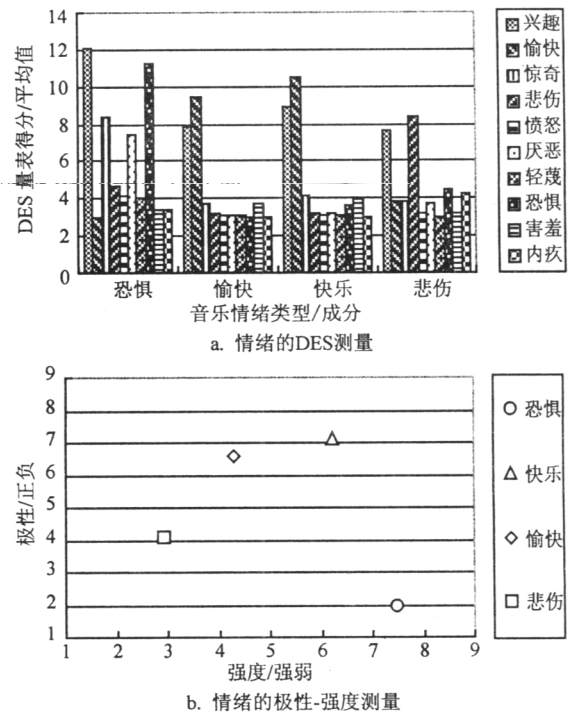


图1 音乐的情绪测量结果

2.2 脑电 α 波功率谱统计分析结果

2.2.1 额区

以情绪极性(正、负)、强度(强、弱)、大脑半球(左、右)为组内因素,对额区(F3、F4)进行三因素重复测量方差分析,结果未发现任何显著性差异。但对此结果的进一步分析中发现有以下趋势:在正极性情绪和负极性情绪中,强度强的情绪的 α 功率都小于强度弱的情绪;而在强度强和强度弱的情绪中,正极性情绪的 α 功率都大于负极性情绪(正-强: 6.59 ± 0.20 ;正-弱: 6.63 ± 0.27 ;负-强: 6.39 ± 0.13 ;负-弱: 6.59 ± 0.18)。这些趋势表明,脑电 α 功率随音乐情绪的极性和强度变化而分布不同,正极性情绪的 α 功率相对大于负极性情绪,强度强的情绪的 α

功率相对小于强度弱的情绪的 α 功率。

2.2.2 顶枕区

以与额区相同的方法对顶枕区(PO3、PO4)进行三因素重复测量方差分析,发现音乐情绪的极性 \times 强度交互效应显著($F(1,7)=14.087, p<0.007$),表明顶枕区 α 功率也随情绪的极性和强度变化而分布不同:在负极性情绪中,强度强的情绪的 α 功率(7.16 ± 0.26)显著小于强度弱的情绪的 α 功率(7.43 ± 0.32),即“恐惧<悲伤”;而在强度强的情绪中,正极性情绪的 α 功率(7.42 ± 0.32)显著大于负极性情绪的 α 功率(7.16 ± 0.26),即“快乐>恐惧”。大脑半球的主效应显著($F(1,7)=7.285, p<0.031$),表明在任何条件下大脑左半球的 α 功率(7.25 ± 0.31)都显著小于右半球(7.46 ± 0.31),这与目前公认的非音乐家人士的音乐感知主要在右半球的结论是一致的。除此之外未见其他任何主效应或交互效应显著。

2.2.3 额区与顶枕区

为了分析两者之间的整体差异,本文将额区和顶枕区左右半球的 α 功率分别相加,重新构造数据表,以脑区(前-额区、后-顶枕区)为组间因素、情绪类型(快乐、愉快、恐惧、悲伤)为组内因素进行重复测量方差分析,结果表明:组间因素脑区的主效应显著($F(1,14)=4.944, p<0.043$),脑区对 α 功率大小分布有显著的影响,顶枕区的 α 功率(14.71 ± 0.51)显著大于额区的 α 功率(13.10 ± 0.51),这是人在清醒状态时脑电 α 节律在枕区和顶区分布最为显著的必然结果;组内因情绪类型不同而有显著性差异;脑区与情绪类型间无交互效应($F(3,12)=0.4, p=0.756$)。进一步对情绪类型的四个水平进行多重比较,结果表明:“快乐”和“恐惧”、“愉快”和“恐惧”、“恐惧”和“悲伤”之间相比分别有显著性差异($p \leq 0.023$),具体为“恐惧<快乐”、“恐惧<愉快”和“恐惧<悲伤”(恐惧: 13.56 ± 0.29 ;快乐: 14.01 ± 0.38 ;愉快: 14.03 ± 0.44 ;悲伤: 14.02 ± 0.36),其余水平间均无显著性差异,如图2所示。

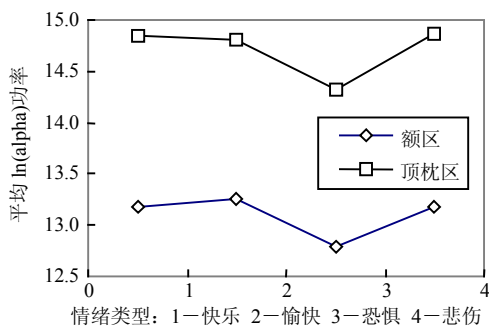


图2 α 总功率比较

3 分析和讨论

由情绪测量结果可知,实验所采用的音乐刺激可有效地诱发四种情绪,且其情绪极性、强度分布恰当,与实验目的十分相符。在通过被试自我评估而测量情绪时,若仅对实验的目标情绪进行询问,并不能充分证明该情绪已有效发生^[3],为此,本文采用DES量表对十种不同的情绪成分进行评估,避免了只对目标情绪进行测评而导致的不准确性。

根据情绪的“激励-抑制”模型^[3],大脑左额区活动与快乐、兴趣、幸福感等行为激励性情绪有关,右额区与恐惧、厌恶、悲伤等行为抑制性情绪有关。进一步的研究表明,较多的左额区EEG活动总是与正极性情绪的处理相关,而较多的右额区EEG活动则总是与负极性情绪的处理相关, α 波功率值则为:处理正极性情绪时左额区 α 功率小于右额区 α 功率,处理负极性情绪时左额区 α 功率大于右额区 α 功率。此外,额区脑电总活动大小随音乐情绪强度的减小而减小,即额区脑电 α 总功率随音乐情绪强度的减小而增加^[2]。

本文的研究表明:(1)不仅额区^[2],而且顶枕区的脑电 α 功率随音乐情绪强度的减小而增加。具体表现为在额区正和负极性情绪中,强度强的情绪对应的 α 功率相对小于强度弱的情绪^[2];在顶枕区负极性情绪中,强度强的情绪对应的 α 功率显著小于强度弱的情绪;在额区和顶枕区 α 总功率的分析中则有“恐惧<快乐”、“恐惧<愉快”和“恐惧<悲伤”的结论;尤其是“恐惧”作为实验中强度最强的刺激,所引发的 α 总功率比其他三种强度较弱的刺激均小。(2)脑电 α 功率与情绪极性有关^[8],且受情绪强度的调制。具体表现为:在额区,强度强和弱的情绪中,正极性情绪的 α 功率相对大于负极性情绪;在顶枕区,强度强的情绪中正极性情绪的 α 功率显著大于负极性情绪;在额区和顶枕区 α 总功率的分析中则有“快乐>恐惧”,“愉快>恐惧”等显著性差异。这些结果表明,强或弱的情绪中,脑电信号在正极性情绪中的 α 功率要大于负极性情绪^[8],且 α 功率与情绪极性的关系受音乐强度的调制,即强度强的负极性情绪 α 功率最小,而强度弱的正极性情绪 α 功率最大。

4 结束语

本文以音乐为刺激进行了情绪感知与脑电 α 功率之间联系的研究,主要从脑区、大脑半球偏侧性、情绪极性和强度等方面分析了脑电 α 功率的变化规律,得出脑电 α 功率的变化与情绪极性和强度密切相

关的结论。这些结果初步显示了深入开展音乐情绪感知的脑电研究的可行性。音乐作为一种有效的情绪诱发源,不论在情绪感知的心理和生理研究方面,还是在实际应用方面,都具有很好的应用前景。尤其是近年来临床上有关音乐疗法以及脑神经科学上有关脑机接口等方面发展的兴起,使得对音乐、情绪、脑电之间关系的研究显得更有价值。若能根据人对不同音乐的情绪反应在脑电节律上的变化规律来编曲,并用于临床上的音乐治疗,其应用价值是不言而喻的。

参 考 文 献

- [1] KOELSCH S. Investigating emotion with music[J]. *Ann N Y Acad Sci*, 2005, 1060: 1-7.
 [2] SCHMIDT L A, TRAINOR L J. Frontal brain electrical activity (EEG) distinguishes valence and intensity of musical emotions[J]. *Cogn Emot*, 2001, 15(4): 487-500.

- [3] DAVIDSON R J, EKMAN P, SARON C D, et al. Approach-withdrawal and cerebral asymmetry: emotional expression and brain physiology I[J]. *J Pers Social Psychol*, 1990, 58(2): 330-341.
 [4] 孟昭兰. 人类情绪[M]. 上海: 上海人民出版社, 1989.
 [5] KHALFA S, ISABELLE P, JEAN-PIERRE B, et al. Event-related skin conductance responses to musical emotions in humans[J]. *Neuroscience Letters*, 2002, 328: 145-149.
 [6] EKMAN P, FRIESEN W V, ANCOLI S. Facial signs of emotional experience[J]. *Journal of Personality and Social Psychology*, 1980, 39: 1125-1134.
 [7] 尧德中. 脑功能探测的电学理论与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
 [8] BAUMGARTNER T, ESSLEN M, JANCKE L. From emotion perception to emotion experience: emotions evoked by pictures and classical music[J]. *International Journal of Psychophysiology*, 2006, 60: 34-43.

编辑 税 红

(上接第257页)

抑制背景噪声、减少语音失真、提高增强语音的感知质量等方面得到了改进。试验结果表明, 阈值的选择具有广泛的适应性, 对不同的噪声均有较好的增强效果。

参 考 文 献

- [1] BOLL S F. Suppression of acoustic noise in speech using spectral subtraction[J]. *IEEE Transaction on Acoustic Speech and Signal Processing*, 1979, 27(2): 113-120.
 [2] 刘海滨, 吴镇扬, 赵 力, 等. 平稳环境下基于人耳听觉掩蔽特性的语音增强[J]. *信号处理*, 2003, 19(4): 303-307.
 [3] 江小平, 姚天任, 傅 华. 基于最小统计量和掩蔽效应的单通道语音增强[J]. *通信学报*, 2003, 24(6): 23-31.
 [4] 陈国明. 基于人耳掩蔽效应的语音增强算法研究[D]. 南京: 东南大学, 2005.
 [5] MARTIN R. Spectral subtraction based on minimum statistics[C]//In Proceeding of 7th Euro Signal Processing Conference. Edinburgh: [s. n.], 1994: 1182-1185.

- [6] MARTIN R. Noise power spectral density estimation based on optimal smoothing and minimum statistics[J]. *IEEE Transactions on Speech and Audio Processing*, 2001, 9(5): 504-512.
 [7] ISRAEL C. Noise estimation by minima controlled recursive averaging for robust speech enhancement[J]. *IEEE Signal Processing Letters*, 2002, 9(1): 12-15.
 [8] SUNDARRAJAN R. Noise estimation algorithms for highly non-stationary environments[D]. Dallas: University of Texas, 2004.
 [9] SUNDARRAJAN R, PHILIPOS C L, YI Hu. A noise estimation algorithm with rapid adaptation for highly non-stationary environments[C]//In Proceedings of IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing(ICASSP'04). Montreal: ICASSP APOS, 2004, 1(1): 305-308.
 [10] 卜凡亮, 王为民, 戴启军, 等. 基于噪声被掩蔽概率的优化语音增强方法[J]. *电子与信息学报*, 2005, 27(5): 753-756.

编辑 张 俊