

## 音乐之脑\*

叶 铮 周晓林

(北京大学心理学系, 北京 100871)

**摘 要** 回顾并总结了近年来对音乐认知神经基础的研究结果, 包括人类感知乐曲的音高、理解音乐的结构和意义中的脑基础, 音乐家和普通人在音乐认知上的脑功能差异, 以及东西方听众在聆听本土和非本土音乐时的脑活动差异, 并对国内利用脑功能成像技术和事件相关电位技术研究音乐认知的前景作出展望。

**关键词** 音乐认知, 神经基础, fMRI, ERP。

**分类号** B842

人们谈论音乐, 如同谈论语言的双生兄弟一般: 音乐通过变化不同的声学参数, 犹如言语中的语音参数, 传达不同层次的信息; 它遵循类似于语法的有限的规则, 将可与词汇相比拟的乐音排列组合成悦耳的曲调, 最终建构出纷繁复杂的歌曲, 而曲调和歌曲则类似于语言中的句子和文章<sup>[1]</sup>。人类的音乐能力如同他们的语言能力一样, 在很大程度上是先天性的, 取决于进化、遗传所决定的大脑特定神经基础。加拿大多伦多大学的研究者发现, 6个月大的婴儿对旋律轮廓 (melodic contour) 和节奏型 (rhythmic pattern) 的敏感程度已不亚于成人; 即使是双耳失聪的母亲也能生下音乐知觉敏锐的孩子<sup>[2]</sup>。这表明, 人类对音乐的敏感性源于大脑神经网络的特定生物机能。换言之, 音乐不仅是人类文化的一部分, 也可能是人类天性的一部分。

### 1 乐曲的音高

音乐和言语一样, 依赖频域和时域变化来传达信息。对任何一种音乐体系来说, 音质 (tonal pitch) 的变化都是至关重要的。音乐家通过调整音高来创造悦耳的音调, 影响乐句切分 (phrasing)<sup>[3]</sup>。

Peretz 及其同事的研究显示, 双侧颞叶损伤的患者通常会失去唱歌的能力, 也无法辨认从前熟悉的曲调<sup>[4,5]</sup>。一些更为系统的研究则表明, 感知音高

和处理频域信息的职能主要由大脑右半球的颞叶承担<sup>[6-15]</sup>。更具体地说, 大脑右侧颞叶听皮层受损的患者往往难以分辨音高变化的方向<sup>[16]</sup>。而基于健康受试者的研究结果也表明, 右半球的听皮层对于音高的判断和保持, 节奏的想象和重复, 音质的评判, 以及异常和弦的检测都承担着十分重要的功能 (详见文献<sup>[3]</sup>)。

近来 Zatoore (加拿大蒙特利尔神经学研究所) 和 Belin (加拿大蒙特利尔大学) 的功能性核磁共振成像 (fMRI) 研究表明, 从总体上看, 与左半球相比, 大脑右半球对频率变化 (即音高变化) 更为敏感。具体地说, 左半球听皮层前部和右半球颞上沟的某些区域在处理频率信息的过程中有着显著的激活 (如图 1 所示)<sup>[17]</sup>。由此可见, 大脑右半球对音乐的感知, 尤其是对其中音高变化的感知, 十分重要。

### 2 音乐的结构

像语言一样, 音乐也遵循其内在复杂的规律并拥有精密的结构。音乐理论认为, 和声具有制约音乐形式的结构功能: 它组织音高的纵向结合; 确立或瓦解调性、调式; 发展或终止某一结构; 听众能根据前一段和声预期随之出现的和声的特性。

关于和声的事件相关电位 (ERP) 研究显示, 音乐序进 (musical sequence) 中突然出现的走调和弦 (out-of-key chord) 不仅在 350ms 左右诱发了大脑右半球前部的右前颞负电位 (RATN), 而且在 600ms 左右诱发了大脑后部的正电位 (P600)<sup>[18]</sup>。此外, 研究还表明, 乐曲上下文中 (musical context) 不和谐的和弦也能很快诱发大脑右半球前部的右

收稿日期: 2005-12-22

\* 国家攀登计划 (批准号: 95-专-09)、国家自然科学基金 (30070260, 30470569, 60435010)、教育部科学技术重点项目基金 (01002, 02170) 和中国科学院知识创新工程方向性项目 (KGCX2-SW-101)。

通讯作者: 周晓林, E-mail: xz104@pku.edu.cn

电位 (ERAN) [19] 明 人类大脑, 特 音相 敏感。恰如和声 星期 乐曲能保持一定

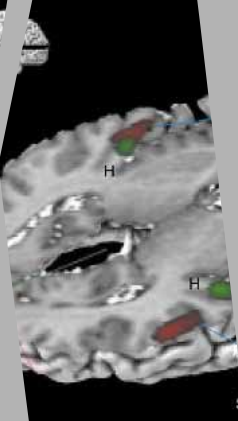
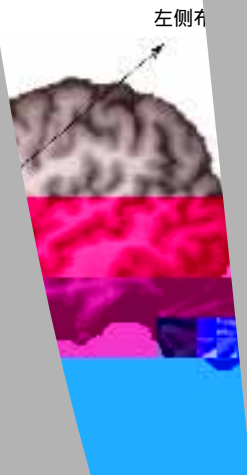


图 1 与感知音高变化相 脑横切面的三维图。图中 上回前部和右半球的颞下 音频率的变化十分敏感。



左侧布

研究所, 2004 年更名为马克斯 - 普朗克人类 斗学研究所) 在脑磁图 (MEG) 和源分析 (analysis) 结果的基础上进一步指出, 对和 (armonic sequence) 的分析和对走调和弦 能主要是由大脑左半球的布罗卡区及其 对应脑区完成的 (如图 2 所示) [20]。虽然 大脑左半球的布罗卡区主要负责语言认 句法加工, 但随着研究的逐步深入, 人 脑区不仅加工语法规则, 而且加工音乐

### 意义

论家认为, 作曲家用音乐来表达自己, 的意义是音乐不可或缺的一部分。音乐 自对客体声音特征的模仿和对某种特 造, 也来自音乐之外的联想, 以及音乐 有力、时而轻快放松的节奏所激发的情 即使是一个从未听过贝多芬第三交响 能够在聆听乐曲的过程中自然地联想到 司, 而不是“懦夫”。



右侧对应脑区

在矢状面、轴状 源 域在和声模进的

德国马克斯 认知和脑 事件相关脑 了乐曲选段是 相关的词汇意 现, 即使听众是 对该乐曲的 能在音乐中 也能很 相关的语 例如

的布罗卡区及其右半球的对应脑区。

重奏中描述了自己心脏病发作时的 的曲段在听者的大脑中启动了“针” 此外, 那些被音乐术语描 较窄的音乐段落 之

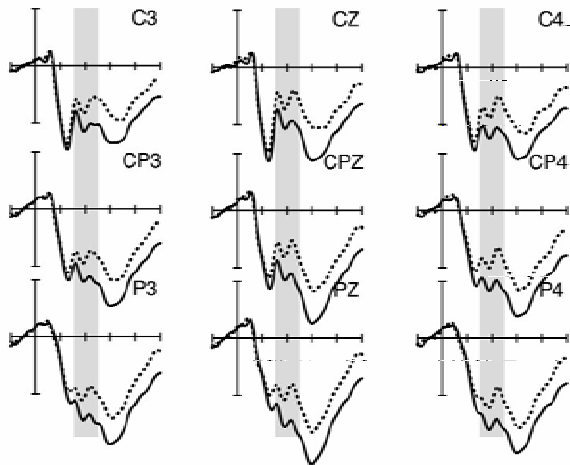


图 3 音乐意义加工中的 N400 效应

上图阴影所示部分表明，由与曲段意义相关的词所诱发的负电位(实线)小于由与曲段意义无关的词所诱发的负电位(虚线)。图中坐标上负下正。其中 C3、Cz、C4 分别表示在大脑中上部左、中、右位置记录到的电位变化；CP3、CPz、CP4 分别表示在大脑中后部左、中、右位置记录到的电位变化；P3、Pz、P4 分别表示在大脑后部左、中、右位置记录到的电位变化。资料来源：文献[23]

一段表达炽烈情感的乐曲则能够激活“红色”的概念。与此相对地，那些与音乐段落意义无关的概念

却不会得到激活。当受试者在听完乐曲后突然读到一些与曲段语义无关的词时，大约 400ms 后其大脑中后部就产生了相应的负电位 (N400)，表明当前的词与先前听到的音乐段落在意义上并不匹配（即被音乐段落启动的语义概念不同于当前词的语义概念；如图 3 所示）<sup>[23]</sup>。

此后的源分析进一步表明，人类大脑中负责加工音乐含义的区域位于左右半球的颞中回后部，接近颞上沟（如图 4 所示）<sup>[23]</sup>。

由此可见，音乐所传达的意义比人们想象的要多。乐曲能启动特定的语义概念，它无需假借言语标签（例如英雄式的、热情的、淘气的等等）就可以表达自己。在理解音乐意义的过程中，左右半球颞中回后部承担了十分重要的职责。

#### 4 音乐家与普通人的区别

大多数人都曾经喜爱过某位演奏家、歌唱家或某个乐队，迷恋他们的演出技巧和舞台魅力，羡慕他们的音乐才华。普通大众对音高、意义和结构的敏感性令人惊奇不已，但他们毕竟不是音乐家。认知神经科学家感兴趣的一个问题是，与普通人的相比，音乐家在音乐感知和理解的脑功能方面究竟存在什么特别之处？



左侧颞中回后部

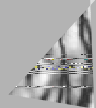
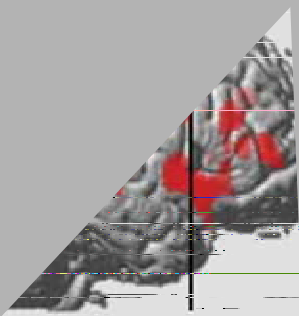
右侧颞中回后部

图 4 与加工音乐意义相关的脑区

上图从左到右分别显示了大脑左侧矢状面和右侧矢状面。土黄色所标明的部分位于左右半球的颞中回后部，是与加工乐曲的意义密切相关的脑区。资料来源：文献[23]

Lotze (德国图宾根大学) 等人发现，音乐家在演奏莫扎特小提琴协奏曲时，大脑运动辅助区的活动水平低于普通人演奏同一乐曲时的脑活动水平。

当音乐家想象自己演奏的情景时，其右半球运动区也保持着较低的活动水平。研究者猜测，上述结果可能是长年的音乐训练造成的；音乐家演奏时的每



与普通话

的音





- [13] Sidtis J J, Volpe B T. Selective loss of complex-pitch or speech discrimination after unilateral lesion. *Brain and Language*, 1988, 34: 235~245
- [14] Robin D A, Tranel D, Damasio H. Auditory perception of temporal and spectral events in patients with focal left and right cerebral lesions. *Brain and Language*, 1990, 39: 539~555
- [15] Penhune VB, Zatorre RJ, Feindel WH. The role of auditory cortex in retention of rhythmic patterns as studied in patients with temporal lobe removals including Heschl's gyrus. *Neuropsychologia*, 1999, 37: 315~331
- [16] Johnsrude I S, Penhune V B, Zatorre R J. Functional specificity in the right human auditory cortex for perceiving pitch direction. *Brain*, 2000, 123: 155~163
- [17] Zatorre R J, Belin P. Spectral and temporal processing in human auditory cortex. *Cerebral Cortex*, 2001, 11: 946~953
- [18] Patel A D, Gibson E, Ratner J, Besson M., Holcomb P. Processing syntactic relations in language and music: an event-related potential study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 1998, 10: 717~733
- [19] Koelsch S, Gunter T, Friederici A D, Schröger E. Brain indices of music processing: 'non-musicians' are musical. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 2000, 12: 520~541
- [20] Maess B, Koelsch S, Gunter T C, Friederici A D. Musical syntax is processed in Broca's area: an MEG study. *Nature Neuroscience*, 2001, 4: 540~545
- [21] Krumhansl C L. Perceptual analysis of Mozart's piano sonata KV 282: segmentation, tension, and musical ideas. *Music Perception*, 1996, 13: 401~432
- [22] Krumhansl C L. An exploratory study of musical emotions and psychophysiology. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 1997, 51: 336~352
- [23] Koelsch S, Kasper E, Sammler D, Schulze K, Gunter T, Friederici A D. Music, language and meaning: brain signatures of semantic processing. *Nature Neuroscience*, 2004, 7: 302~307
- [24] Lotze M, Scheler G, Godde B, Erbt M, Groddi W, Birbaumer N. Comparison of fMRI-activation maps during music execution and imagination in professional and non-professional string players. *NeuroImage*, 2000, 11: S67
- [25] Koelsch S, Schmidt B H, Kansok J. Influences of musical expertise on the ERAN: an ERP-study. *Psychophysiology*, 2002, 39: 657~663
- [26] Koelsch S, Fritz T, Schulze K, Alsup D, Schlaug G. Adults and children processing music: an fMRI study. *NeuroImage*, 2005, 25: 1068~1076
- [27] Carterette E C, Kendall R A. Comparative music perception and cognition. In: Deutsch D. *The Psychology of Music*. San Diego: Academic Press, 1999: 725~791
- [28] Arikani M K, Devrim M, Oran O, Inan S, Elhah M, Demiralp T. Music effects on event-related potentials of humans on the basis of cultural environment. *Neuroscience Letters*, 1999, 268: 21~24
- [29] Genç B O, Genç E, Tastekin G, Iihan N. Musicogenic epilepsy with ictal single photon emission computed tomography (spect): could these cases contribute to our knowledge of music processing. *European Journal of Neurolinguistics*, 2001, 8: 191~194
- [30] Morrison S J, Demorest S M, Aylward E H, Cramer S C, Maravilla K R. FMRI investigation of cross-cultural music comprehension. *NeuroImage*, 2003, 20 (1): 378~384
- [31] Swain J P. *Musical Languages*. New York: Norton, 1997

## The Musical Brain

Ye Zheng, Zhou Xiaolin

(Department of Psychology, Peking University, Beijing 100871, China)

**Abstract:** In recent years a growing number of researches have been conducted to address the neural basis of music comprehension with ERP and fMRI technique. These studies provided new evidences about the on-line processing of pitch, the music-specific syntax and meaning in left and right hemispheres. Additionally, there are studies concerning whether musicians and non-musicians processes music-related information in the same way. Cross-cultural studies also examined whether western and non-western music active same brain areas in the same pattern. New trends and issues pertaining to the study of music processing with fMRI and ERP technique are covered and discussed in this review.

**Key words:** music cognition, neural substrate, fMRI, ERP.