

摘要
关键词
分类号

我们
般：乐谱
语音数，
法的限的
合成耳的
曲调曲
的音力如
上是性的
定神经出。
个月大
奏型（
即使是

文化的一

1 乐曲

音
信息。S
的变化
造悦耳
J
患者
的曲调^[4,5]。

2 音乐的结构

日期：200

基金计划（批准号：9

070260, 30470569, 60435

金（01002, 02170）和

目（KGCX2-SW-101）。

者：周晓林，E-mail：x

更为敏
右半球颞上沟
中有着显著的
脑右半球对
感知，十分

前负电位 (ERAN) [19]。简而言之, 这些研究清楚地说明, 人类大脑, 特别是其右半球, 对音乐是否和谐相当敏感。恰如和声理论所认为的那样, 人们总是期望乐曲能保持一定的结构性和稳定性[20]。

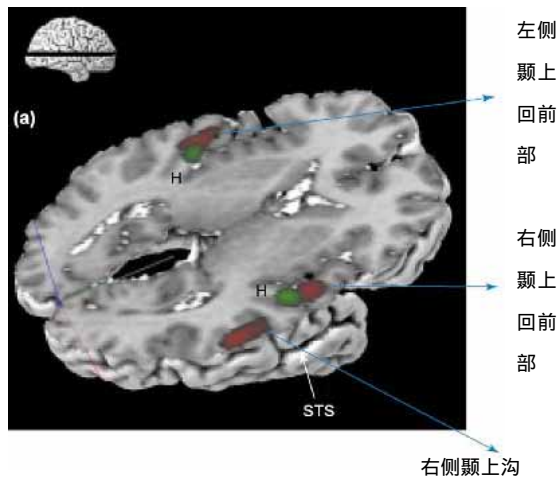


图 1 与感知音高变化相关的脑区

从右侧看大脑横切面的三维图。图中红色区域分别位于左、右半球的颞上回前部和右半球的颞下沟 (STS)。研究显示, 这些区域对语音频率的变化十分敏感。资料来源: 文献[3]

Maess 等研究者 (德国马克斯 - 普朗克认知神经科学研究所, 2004 年更名为马克斯 - 普朗克人类认与和脑科学研究所) 在脑磁图 (MEG) 和源分析 (source analysis) 结果的基础上进一步指出, 对和声序进 (harmonic sequence) 的分析和对走调和弦的觉察可能主要是由大脑左半球的布罗卡区及其右半球的对应脑区完成的 (如图 2 所示) [20]。虽然过去认为大脑左半球的布罗卡区主要负责语言认知任务中的句法加工, 但随着研究的逐步深入, 人们发现这一脑区不仅加工语法规则, 而且加工音乐规则。

3 音乐的意义

音乐理论家认为, 作曲家用音乐来表达自己, 音乐所传达的意义是音乐不可或缺的一部分。音乐的意义既来自对客体声音特征的模仿和对某种特定心情的营造, 也来自音乐之外的联想, 以及音乐中时而紧张有力、时而轻快放松的节奏所激发的情感响应 [21,22]。即使是一个从未听过贝多芬第三交响曲的人也能够聆听乐曲的过程中自然地联想到“英雄”一词, 而不是“懦夫”。

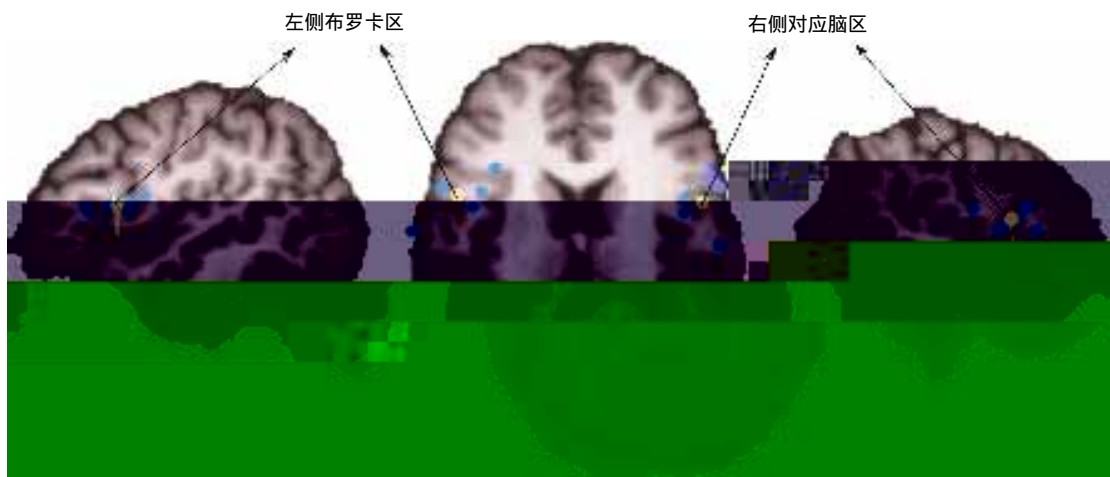


图 2 与加工音乐规则相关的脑区

从左至右分别为大脑左侧矢状面、轴状面和右侧矢状面。黄色标明了大脑左半球的布罗卡区及其右半球的对应脑区。源分析结果认为, 这两个区域在和声模进的分析中起主要作用。资料来源: 文献[20]

Koelsch 等研究者 (德国马克斯 - 普朗克人类认知和脑科学研究所) 用事件相关脑电位技术测量了乐曲选段是否能够启动相关的词汇意义。结果发现, 即使听众是一些从没听过该乐曲的普通人, 作曲家试图在音乐中表达的意义也能很快地被听众理解, 并激活相关的语义概念。例如, Schönberg

在他的弦乐三重奏中描述了自己心脏病发作时的针刺感, 其中的曲段在听者的大脑中启动了“针”这一语义概念。此外, 那些被音乐术语描述为音域 (pitch range) 较窄的音乐段落会启动“狭小”这一语义概念, 反之, 音域较宽的曲段会启动“宽阔”这一语义概念。最后, 斯特拉文斯基 (Strawinsky)

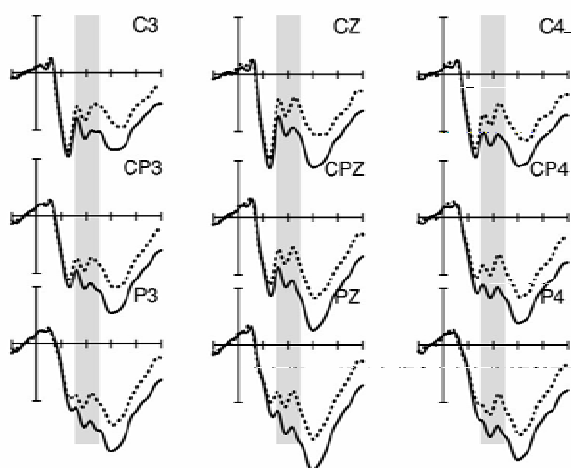


图 3 音乐意义加工中的 N400 效应

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 分别表示在大脑中前部左、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)^[23]。

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)^[23]。

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？



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

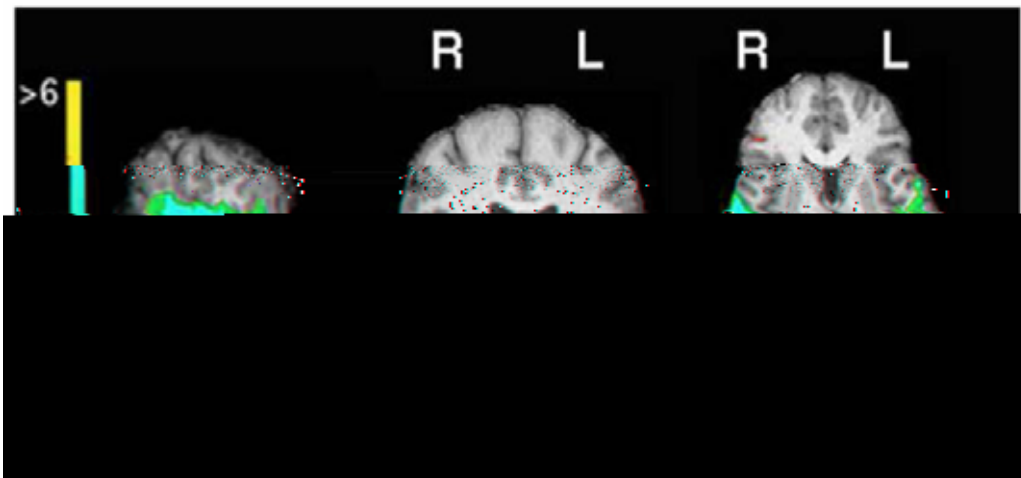


现得异常敏感。音乐训练所造就的这种敏锐在儿童（平均年龄仅为 10 岁）身上已经体现出来了。

5 西洋音乐与民乐

人们常说，音乐无国界。虽然各个国家和地区的音乐在旋律、和声、节奏和音色上存在着种种差

异，但是在西方文化的哺育中成长起来的孩子并非完全无法领会东方音乐的精神，反之亦同。从认知心理学角度对音乐认知的文化异同开展的研究，近年来逐渐增多，但从神经水平上探讨听者对东西方音乐在感知和理解上差异的研究还不多见^[27]。



听巴洛克音乐



听中国民乐

图 6 与加工音乐风格相关的脑区

上图是小提琴手听巴洛克音乐时的脑活动情况，可以看到左右半球的颞皮层存在明显激活。下图是小提琴手听中国民乐时的脑活动情况，也可以看到左右半球的颞皮层存在明显激活。

图中 R 表示大脑右半球，L 表示大脑左半球。X、Y 和 Z 所对应的分别是大脑右侧矢状面、横状面和水平面。颜色从红色到黄色表示大脑的活动水平从低到高。资料来源：文献[30]

最初的研究结果似乎并不支持“音乐无国界”的观点。一个研究指出，土耳其受试者在听音乐的过程中更注意土耳其耐笛（ney）的乐声，而非西

洋乐器大提琴的乐声^[28]。一个 48 岁土耳其女癫痫患者的案例（该案例为一种音乐诱发的癫痫）则显示，只有土耳其阿拉伯风格的乐曲（无论乐曲本身

- [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.