

# 音乐与语言的认知神经科学研究进展\*

杜醒<sup>1</sup> 南云<sup>1</sup> 周晓林<sup>2</sup> 董奇<sup>1</sup>

(1 北京师范大学认知神经科学与学习研究所, 北京 100875) (2 北京大学心理系, 北京 100871)

**摘要** 回顾了近年来对音乐与语言的认知神经科学的研究结果。神经影像学研究表明音乐与语言可能拥有一些共同的神经机制; 而对脑损伤病人的研究则表明两者可能同时拥有分离的、各自独立的神经基础。文章对这两类研究做了总结和比较, 探讨了相关的理论模型, 并对今后的研究趋势作出了展望。

**关键词** 音乐, 语言, 神经基础, 失乐症, 失语症。

**分类号** B845.1

## 1 引言

语言是人类区别于其它物种的杰出能力之一。长期以来, 无论是在基础神经科学还是在应用神经科学研究领域, 对语言加工机制的探讨都激发了研究者们极大的兴趣。音乐在传统研究中一般是艺术或哲学领域的课题, 但随着近年来脑成像技术的迅速发展, 以及对于各种认知功能的脑内结构更为深入的了解, 音乐能力与大脑的关系也逐渐引起了认知神经科学家的关注。人类的音乐能力如同语言能力一样, 与大脑特定的神经结构基础密切相关<sup>[1]</sup>。通过对音乐的研究, 人们可以对语言加工、大脑可塑性、情绪的起源等方面有更深入的了解<sup>[2]</sup>。通过两者的比较研究, 可以更深入更完整的探讨大脑的神经机制。

从结构上说, 音乐和语言一样, 都是由一些分离的元素按照一定的规则组成的具有等级结构的序列。简单来说, 正如语音构成词汇, 词汇组成句子, 在音乐中, 音调构成旋律, 旋律组成乐曲。近年来涌现出很多对两者进行比较的研究, 包括学习过程, 大脑可塑性, 音调知觉, 文化特异性等方面<sup>[3,4]</sup>。本文主要分析、比较有关二者神经机制的研究, 着重从神经影像学角度与神经心理学角度两个方面展开。

## 2 神经影像学的研究

### 2.1 音乐和语言的结构规则

收稿日期: 2007-8-5

\* 本研究得到国家攀登计划 95-专-09 项目的资助。

作者简介: 杜醒, 女, 北京师范大学认知神经科学与学习研究所硕士生。Email: duxing06@gmail.com。

董奇, 男, 北京师范大学认知神经科学与学习研究所教授, 博士生导师。

结构规则 (syntax) 指由分离元素组成序列时所遵循的原则, 包括多重层面, 如语言中的构词法、短语构成的规则、组句的规则; 音乐中和弦、和弦序进及音阶等构成的规则, 见图 1。

A. 语言中等级形式的句法结构 B. 音乐中等级形式的张弛结构

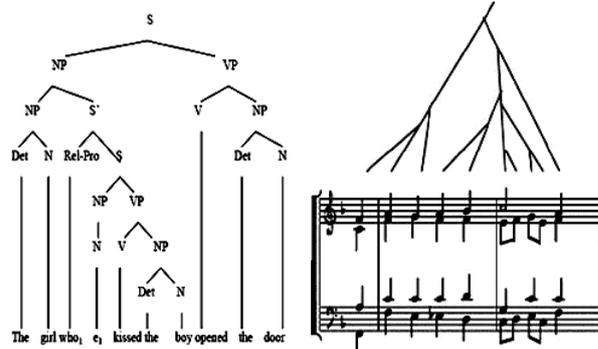


图 1 语言和音乐中的等级结构

A. 一个英语句子的等级结构。S 句子, NP 名词短语, VP 动词短语, S' 从句, N 名词, V 动词, Det 定冠词, Rel-Pro 代词; B. 由巴赫创作的乐曲中的一个切分。右边的分支表示节奏的紧张程度上升, 左边的分支表示节奏的紧张程度下降 (即越来越舒缓)。

结构规则能使大脑对输入的信息做相应的转换, 从而使这些以等级结构关系组合在一起的一系列分离元素传达特定的信息。在语言中, 通过结构规则 (句法) 表达信息的一般形式为“谁对谁做了什么”; 在音乐中, 结构规则所传达的信息是通过时而紧张时而舒缓的节奏变换来体现的。这些多种

多样的规则以内隐的形式保存在人类的头脑中,使人们能够知觉到不协调的情况,如句子中主谓不一致 (“our baby love his books”) 或音乐中的和弦走调<sup>[5]</sup>。

既然语言与音乐都具结构规则,那么这些规则在大脑中的加工是否拥有共同的神经机制?或者说,加工结构规则的神经基础在音乐和语言上是不是分离的?神经影像学的一系列研究表明二者的神经机制至少是部分重叠的<sup>[6-12]</sup>。

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特性<sup>[13]</sup>。

Maess 等通过脑磁图及源分析发现,对和声序进中走调和弦的觉察激活了布洛卡区及其右半球的对应脑区<sup>[6]</sup>,过去普遍认为布洛卡区是加工语言中句法任务所专有的,这一研究结果对布洛卡区的语言特异性提出质疑,表明音乐规则和语法规则很可能都是由这个脑区加工的。Daniel 等通过功能性核磁共振成像发现, Brodmann47 区 (BA47 区) 在加工声音刺激在时间上的连贯性时起到重要作用,当被试听被拆分的、不连贯的乐曲时,这个区域及其右半球对应脑区比聆听正常乐曲时有更大的激活<sup>[7]</sup>。过去的研究认为,左额下皮层被认为与口语或手语中的句子理解过程高度相关<sup>[8]</sup>,而 Daniel 则观察到位于左额下皮层前腹侧的 BA47 区在更广义的范围内负责加工刺激的时序结构,而并不仅仅局限于语言。

Koelsch 等通过事件相关电位技术研究了加工音乐规则与加工语言规则的相互影响<sup>[9]</sup>。对被试听觉呈现和弦(正常和弦或走调和弦),同时视觉呈现句子(句法正确或句法错误)。当和弦与句子同时呈现时,发现二者的交互作用:在走调和弦呈现时,句法错误条件与句法正确条件相减得到的差异波 LAN(左前负波)的波幅比听到正常和弦时的波幅小,这种交互作用的出现说明二者可能需要共同的加工资源。另外, Koelsch 等在一项功能性核磁共振研究中,发现被试对不规则的、或与预期不符的和弦序进的觉察激活了包括布洛卡区、维尔尼克区、颞上回、颞横回、颞平面、极平面、前上脑岛皮层在内的皮层网络<sup>[10,11]</sup>,这个研究结果与前面所述的 Maess 的研究结果都认为语言和音乐加工很可能分享一些共同的神经基础。

Patel 等以西方音乐和语言为刺激材料,发现了在规则违反时两种材料都能诱发一个正向的 ERP 成分 P600<sup>[12]</sup>。以前有研究证明 P600 与句法复杂性的关系,认为 P600 反应了对句法结构的再分析的过程, Patel 的研究则说明了 P600 并非语言加工所特有,至少音乐材料中的结构规则的不和谐也可诱发这个成分,并且这种不和谐程度对于 P600 的影响与句法加工过程中产生的影响模式是基本一致的。

## 2.2 音乐和语言的意义

表达含义、交流信息是语言最基本的功能,但是对于音乐是否能够传达含义,目前还不是十分清楚。许多语言学家认为音乐没有表达特定含义的功能,但音乐理论家认为,作曲者通过音乐来表达自己的思想,音乐所传达的意义是音乐中不可或缺的一部分。音乐的含义至少可以从 4 个方面界定:由特定的声音形式模仿客体(某种音色的声音与某种物体的声音接近);乐曲引起特定的心境;乐曲激起音乐之外的联想;乐曲中不同的节奏变换诱发的情绪感应<sup>[14,15]</sup>。

Koelsch 等在事件相关电位的研究中对被试分别呈现句子或乐曲,来比较对目标词的启动效应。结果发现,音乐和语言一样,即使对于未受过专门音乐训练的普通人,也能够很快理解作曲家在音乐中试图表达的含义,从而激活相关的语义概念<sup>[16]</sup>。

从以上列举的神经影像学的研究中可以看出,研究技术包括了功能性核磁共振、脑磁图及事件相关电位等手段;研究方法方面,音乐和语言两个领域的研究都用到了规则违反范式;研究结果中,尤其是在对结构规则的加工中,音乐和语言的加工或者激活了相似的脑区,或者是诱发相似的 ERP 成分,这意味着二者可能拥有一些相同的神经基础。

## 3 认知神经心理学的研究

在以认知障碍患者为研究对象的认知神经心理学研究中,通常采用个案研究的方式,借助患者特定的、认知能力的相关和分离模式,来探讨患者认知功能的受损或保留环节,进而推测出正常人的认知机制和脑的功能组织定位<sup>[17]</sup>。

失语症 (aphasia) 是由于脑损伤而导致对各种语言符号的表达及认识能力受损或丧失,即在意识清晰无严重智能障碍的前提下,既无视、听觉缺损,亦无口、咽、喉等发音器官的肌肉瘫痪及共济运动

障碍,却听不懂别人及自己的讲话,说不出要表达的意思,不理解亦写不出病前会读会写的字句。历史上对失语症的报道较多,并且关于不同类型失语症的划分及其对应脑区损伤的报道也较为详细<sup>[18-21]</sup>。

失乐(感)症(*amusia*)是指由于先天性的原因或后天的脑损伤失去了理解音乐或感知音乐某种成分的能力,可分为先天性失乐症和获得性失乐症,患者在言语理解和言语输出上与常人无异,并且可以辨认日常生活中的各种声音,但是他们不能觉察到乐曲中错误的音调,对于经常听到的最熟悉的旋律也不能辨认。这类病人的出现提示大脑中可能存在负责音乐加工的独立的脑区,这为研究音乐的脑机制提供了重要线索<sup>[18,19]</sup>。

对于失语症和失乐症,认知神经心理学中都有大量的研究。Shebalin(1902-1963)是历史上著名的失语但未失乐的病历,他是一位杰出的音乐家,Luria的报道描述了他脑损伤后的症状,在左半球颞叶及颞顶区动脉血管受损后,他的语言功能受到损坏,但音乐能力未受影响,并且继续创作了大量出色的乐曲<sup>[20]</sup>。与此相反,Geshwind曾报道的一位先天性失乐症的男性,他儿童时期曾尝试学习钢琴,但他的老师很快发现他不能辨别音调间的差异,并且不能唱歌,但他流利地掌握了三门外语。

由于存在上述失语症与失乐症双分离的现象,根据认知神经心理学中功能模块化和解剖结构模块化的假说,可以推断出,负责加工语言与音乐的脑区似乎并不是完全重叠的。因此,对于二者是否拥有共同的神经机制这个问题,在脑成像研究与脑损伤研究这两个领域,得出了彼此不一致的结果,值得进一步研究。目前研究者们正试图通过构建一些理论模型,来解释这一现象。

#### 4 理论模型

认知理论告诉人们,语言和音乐在大脑中结构的表征是十分不同的。例如,所有语言中都有名词、动词、语法等,名词在句子中可以充当主语、直接宾语或间接宾语,在音乐中并无类似的对应物。另外,在句子中位置较远的两个词依然存在句法上的依赖关系,如图1中的“girl”和“opened”,并且这种关系很容易被知觉。而音乐中是否存在这种位置上的依赖关系,目前的研究还未确定,图1中所示的只是根据经验所得到的一个假设。所以,语言中的句法规则似乎更为紧密、严

格,而音乐的结构规则更模糊、灵活,词语比和弦负载了更复杂的句法规则特征。

因此,音乐和语言的重叠并不是存在于“表征”这个层面。Patel等人认为,为了揭示二者的神经机制究竟是如何重叠的,首先需要对“结构规则的加工”和“结构规则的表征”作一个概念上的区分,并且假设负责规则加工的神经机制至少有一部分独立于负责规则表征的神经机制。Patel针对西方音乐的结构规则提出的“规则整合资源共享假设”(shared syntactic integration resource hypothesis, SSIRH)认为,对词或和弦进行加工时所需的认知资源取决于它们本身与整个句子或乐曲的关联程度,对于关联程度较小的词或和弦,需要更多的加工资源,才能把他们从“表征”区域提取出来。对于音乐和语言,二者的表征区域是独立的,但加工时所需的资源及负责加工的脑区是相同的<sup>[5]</sup>。

SSIRH可以从一定程度上对脑成像与脑损伤的研究结果的分歧作出解释。对于脑成像研究中得到的关于语言和音乐神经机制重叠的结果,该理论认为脑成像考察了音乐或语言加工提取的过程,而负责加工的脑区是重叠的,根据前述的研究,这部分区域位于大脑前部。对于后天的获得性失乐症但未表现出失语症的病历,可认为是专门负责音乐规则表征的区域受损,而负责语言规则表征的区域,及负责二者加工的区域是完整的。对于先天性失乐症但未失语的单分离的病人,可解释为音调表征区先天性受损,虽然负责加工音乐的脑区完好,但是没有音乐信息的输入。

对失语症病人音乐知觉能力的考察也可以检验“规则整合资源共享假设”理论的正确性,但是在现代认知神经科学中,对这方面的研究几乎是一片空白。历史上报道的失语但未失乐的病人都是具有超常音乐才能的大音乐家,他们的音乐表征及加工过程可能与普通人并不相同,另外这些数据大部分是19世纪报道的,而且并未对这些音乐家在失语后是否保存了音乐规则的加工能力做出系统的考察与测试。Patel认为,也许是因为没有相关理论的铺垫,所以这方面研究未能引起认知神经科学家们的兴趣。而SSIRH则可对不同类型失语症病人的音乐能力做出预测。

例如,有些研究者认为,布洛卡失语症表现出的语法理解缺陷,是由于大脑不能激活后部言语区,即脑区之间的联接损伤引起的,而不是言语表

征缺陷引起的。对于这种失语症患者，根据 SSIRH 则可推断其音乐中和弦加工也受到损伤，要验证这一点，可用和弦启动的范式对这类失语症患者进行考察，从而可以对该理论做出进一步的检验。

另外，Peretz 等研究者通过对各种类型的失乐症病人的神经心理学调查，提出了一个大脑音乐加工的模型<sup>[22]</sup>（见图 2）。Peretz 认为，音乐的加工包括对基本模块的加工以及模块之间联接的加工，有些模块如对曲调的编码、乐曲轮廓的分析等被认为是音乐加工所特有的，有些模块则是音乐和语言共同拥有的。但该模型尚需要更多定位明确的失乐症病例以及脑功能成像数据的支持。

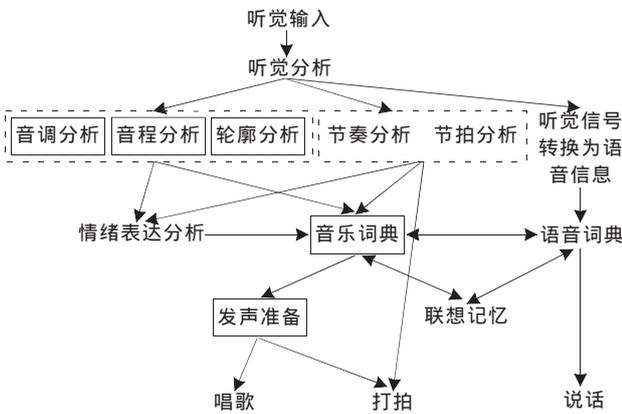


图 2 音乐加工模型

图中每个方块代表一个加工模块，箭头代表这些加工模块之间的关联和信息的流向。脑损伤可能损坏加工模块本身（方块）的功能，也可能损坏加工单元之间的信息联接（箭头）。黑色实线的方框代表这个加工单元是音乐加工所特有的。其中斜体字部分表示的“情绪表达分析”“节奏分析”“节拍分析”这三个加工单元是否为音乐所特有目前还不清楚。

### 5 小结

音乐和语言都是社会文化的重要组成部分，通过对二者的比较研究，可以更加深入地了解它们的神经基础，也可以对相关的其它问题获得初步认识：

①大脑听觉皮层的细化研究。音乐和语言都是复杂的听觉刺激，对这两类声音的处理可能涉及到两半球听觉皮层不同功能组织，通过对二者不同声音特性的区分，有助于对听觉皮层功能组织的进一步细化研究<sup>[23-25]</sup>。

②音乐训练与语言习得的相互影响。已有研究显示接受音乐训练的儿童比未接受音乐训练的配对组表现出更好的言语记忆<sup>[26,27]</sup>，在此问题上对大脑

在结构和功能上的可塑性进行深入探讨，有助于认识和开发大脑的潜力，具有深远的现实意义<sup>[28]</sup>。

③音调语言与非音调语言加工机制的探讨。Zatorre 等人总结了一系列关于音调语言与非音调语言的加工机制的比较研究<sup>[29]</sup>，而另有证据显示了音调语言与特定音乐能力之间的潜在联系<sup>[30]</sup>，因此，在未来的研究中，将音乐、音调语言、非音调语言结合起来进行细化研究，可能会得到一些启发性的结论。

对于音乐和语言是否拥有共同的神经基础，现有的研究结果还不能做出合理可靠的解释。一方面，大多数失语症或失乐症的病历都是被当作奇闻轶事被报道和描述的，并未经过系统的科学研究；另一方面，基于已有数据提出的理论模型也不够完善，Patel 提出的 SSIRH 只是针对结构规则提出的，对其它方面的加工没有涉及，并且目前还没有研究能够确定负责结构规则加工与表征的脑区的具体部位。而 Peretz 的音乐加工模型数据支持还不够充分。

音乐和语言的认知都是多层次的，本文主要从结构和意义这两个较高层次上对两个研究领域作了比较，但是必须认识到音乐和语言的组成成分以及成分之间的关系极为复杂，二者的加工都包括了对各种声音特性的分析，听觉记忆，对声音背景的分析，对规则和意义的加工等方面<sup>[31]</sup>。因此需要首先对各种成分作更加系统、更加深入的分解与研究，在这个基础上再探讨这些成分各自对应的具体的神经基础。

### 参 考 文 献

- 1 Hauser M D, McDermott J. The evolution of the music faculty: a comparative perspective. *Nature Neuroscience*, 2003, 6 (7) : 663-668
- 2 Zatorre R J, McGill J. Music, the food of neuroscience? *Nature*, 2005, 434 (7031) : 312-315
- 3 Besson M, Schön D. Comparison between language and music. *Annals New York Academy of Sciences*, 2001, 930: 232-258
- 4 Memullen E, Saffran J R. Music and language: A developmental Comparison. *Music Perception*, 2004, 21 (3) : 289-311
- 5 Patel A D. Language, music, syntax and the brain. *Nature Neuroscience*, 2003, 6 (7) : 674-681
- 6 Maess B, Koelsch S, Gunter T C, et al. Musical syntax is processed in Broca's area: an MEG study. *Nature Neuroscience*, 2001, 4 (5) : 540-545
- 7 Levitina D J, Menonb V. Musical structure is processed in "lan-

- guage" areas of the brain: a possible role for Brodmann Area 47 in temporal coherence. *NeuroImage*, 2003, 20 (4) : 2142-2152
- 8 Dapretto M, Bookheimer S Y. Form and content: dissociating syntax and semantics in sentence comprehension. *Neuron*, 1999, 24 (2) : 427-432
- 9 Koelsch S, Gunter T C, Wittfoth M, et al. Interaction between syntax processing in language and in music: An ERP study. *Journal of Cognitive Neuroscience* 2005, 17 (10) : 1565-1577
- 10 Koelsch S, Gunter T C, Cramon D Y, et al. Bach speaks: A cortical "language-network" serves the processing of music. *NeuroImage*, 2002, 17 (2) : 956-966
- 11 Koelsch S. Significance of Broca's area and ventral premotor cortex for music-syntactic processing. *Cortex*, 2006, 42 (4) : 518-520
- 12 Patel A D, Gibson E, Ratner J, et al. Processing syntactic relations in language and music: An event-related potential study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 1998, 10 (6) : 717-733
- 13 叶铮, 周晓林. 音乐之脑. *心理科学进展*, 2006, 14 (5) : 641-647
- 14 Krumhansl C L. A Perceptual analysis of Mozart's piano sonata KV 282: segmentation, tension, and musical ideas. *Music Perception*, 1996, 13 (3) : 401-432
- 15 Krumhansl C L. An exploratory study of musical emotions and psychophysiology. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 1997, 51 (4) : 336-353
- 16 Koelsch S, Kasper E, Sammler D, et al. Music, language and meaning: brain signatures of semantic processing. *Nature Neuroscience*, 2004, 7 (3) : 302-307
- 17 韩在柱, 舒华, 柏晓利, 徐宝忠. 认知神经心理学的基本假设和研究方法. *心理科学*, 2002, 25 (6) : 721-722
- 18 Baeck E. The neural networks of music. *European Journal of Neurology*, 2002, 9 (5) : 449-456
- 19 Piccirilli M, Sciarma T, Luzzi S. Modularity of music: evidence from a case pure amusia. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 2000, 69: 541-545
- 20 Ayotte J, Peretz I, Hyde K. Congenital amusia: A group study of adults afflicted with a music-specific disorder. *Brain*, 2002, 125 (Pt2) : 238-251
- 21 Andrade P E, Bhattacharya J. Brain tuned to music. *Journal of the Royal society of medicine*, 2003, 96 (6) : 284-287
- 22 Peretz I, Coltheart M. Modularity of music processing. *Nature Neuroscience*, 2003, 6 (7) : 688-691
- 23 Zatorre R J. Functional specialization of human auditory cortex for musical processing. *Brain*, 1998, 121 (Pt10) : 1817-1818
- 24 Zatorre R J, Belin P, Penhune V B. Structure and function of auditory cortex: music and speech. *Trends in Cognitive Sciences*, 2002, 6 (1) : 37-46
- 25 Zatorre R J, Belin P. Spectral and temporal processing in human auditory. *Cerebral Cortex*, 2001, 11 (10) : 946-953
- 26 Ho Y C, Cheung M C, Chan A S. Music training improves verbal but not visual memory: Cross-sectional and longitudinal explorations in children. *Neuropsychology*, 2003, 17 (3) : 439-450
- 27 Chan A S, Ho Y C, Cheung M C. Music training improves verbal memory. *Nature*, 1998, 396 (6707) : 128
- 28 狄海波, 陈宜张. 大脑音乐功能的研究. *神经科学通报*, 2005, 21 (1) : 82-90
- 29 Zatorre R J, Gandour J T. Neural specializations for speech and pitch: moving beyond the dichotomies. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 2008, 363 (1493) : 1087-1104
- 30 Deutsch D, Henthorn T. Absolute pitch, speech, and tone language: Some experiments and a proposed framework. *Musical Perception*, 2004, 21 (3) : 339-356
- 31 Koelsch S, Siebel W A. Towards a neural basis of music perception. *Trends in Cognitive Sciences*, 2005, 9 (12) : 578-584

## THE COGNITIVE NEUROSCIENCE OF LANGUAGE AND MUSIC

Du Xing<sup>1</sup>, Nan Yun<sup>1</sup>, Zhou Xiaolin<sup>2</sup>, Dong Qi<sup>1</sup>

(1 Institute of Cognitive Neuroscience and Learning, Beijing Normal University, Beijing 100875; 2 Department of Psychology, Peking University, Beijing 100871)

### Abstract

In recent years, a growing number of studies have been conducted to compare the neural basis of music and language. On the one hand, a lot of evidence from neuroimaging points to overlap in processing of music and language. On the other hand, neuropsychology has provided well-documented cases of dissociations between the two domains. A summary of these two kinds of studies, related theoretical models and new trends are covered and discussed in this review.

**Key words** music, language, neural substrate, amusia, aphasia.