

# 音乐和语言句法认知的比较

周临舒<sup>①②</sup>, 蒋存梅<sup>③</sup>, 杨玉芳<sup>①\*</sup>

① 中国科学院心理研究所, 北京 100101;

② 中国科学院研究生院, 北京 100049;

③ 上海师范大学音乐学院, 上海 200234

\* 联系人, E-mail: yangyf@psych.ac.cn

2012-02-23 收稿, 2012-06-06 接受

国家自然科学基金(31070989)资助

**摘要** 音乐和语言是人类独有的杰出能力, 对人类的生存和社会活动具有无可比拟的重要意义. 长期以来, 语言被认为是一个高度模块化的神经认知系统, 独立于其他复杂的认知能力. 然而, 最近的研究, 尤其是认知和神经影像学的研究表明音乐和语言在句法加工的各个方面存在大量重叠. 本文简述了音乐和语言的句法理论, 总结了近年来领域间句法形式、句法认知机制以及句法和意义的比较研究. 在此基础上, 我们讨论了已有研究成果的重要性以及今后的研究方向. 与语言相似, 音乐的加工机制涉及大范围的脑区, 探索音乐和语言的句法联系将有助于更深入地认识人类的认知脑功能. 同时, 研究成果可能在一定程度上为语言能力发展和语言障碍临床治疗的研究提供借鉴.

## 关键词

音乐  
语言  
句法  
意义  
认知机制

音乐和语言是人类最重要的两种沟通能力, 对人类的生存和社会活动具有无可比拟的意义. 有研究表明, 人类在婴儿期就具有音乐识别和言语韵律交流的能力<sup>[1]</sup>, 而这种能力是人类的远亲——非人灵长类动物通过多年的训练也难以达到的. Darwin<sup>[2]</sup>认为, 在人类的进化史上, 音乐和言语可能具有相同的起源. 人类的原始语言可能是一种介于现代语言和音乐之间的交流形式, 包含音乐和言语两种成分. 随着人类社会化程度的提高, 音乐和言语逐渐分化, 朝着不同的进化方向发展.

关于音乐和语言的起源与进化问题长期停留在推测性的思考上. 随着神经科学技术的发展, 人们开始通过实证研究来了解这两个领域相应的认知机制和生物学基础. 过去人们一度认为, 语言在大脑中是高度模块化的组织系统, 独立于其他的认知能力<sup>[3]</sup>. 音乐和语言的神经心理学研究也表明, 脑损伤会选择性损害某一领域的的能力, 但另一个领域的的能力完好无损<sup>[4-8]</sup>. 然而, 近年来的认知神经科学研究发现,

语言和音乐在句法加工上存在部分重叠, 音乐和语言的关系重新引起了热烈讨论.

句法是音乐和语言研究中的重要话题, 它涉及各个层级结构间独立和相互联系的组织规则, 以及这些规则内化到意识中所产生的内隐结构知识. 音乐和语言的句法都包含丰富的特征. 首先, 句法依赖于多种组织形式, 如时长或音高的组织模式. 其次, 句法具有多层级的组织结构. 高层级水平的结构规则中, 嵌套着低层级结构的组合规则. 此外, 句法还与意义具有重要联系. 对层级或局部句法结构的改变, 将直接影响意义的表达. 句法作为人类大脑特殊能力的象征, 长期以来被认为是领域特殊性的重要体现<sup>[3,9]</sup>. 因此, 研究句法在领域间的联系, 对于探索音乐和语言认知神经机制的关系具有特别的意义.

音乐和语言的认知神经机制究竟是共享的还是独立的模块, 目前存在一定争议. 对二者句法加工的比较将有助于解释这些争议, 并能够对相关认知机制的探索以及神经科学的进步产生积极的促进作用.

一方面,句法比较研究有助于了解不同领域中知觉加工网络的运作方式,并为心理语言学和音乐心理学的研究带来启发.另一方面,比较研究是一种重要的认识手段,研究结论能够增强对大脑功能结构的认识,揭示人类自身交流能力的本质.同时,对音乐和语言句法关系的探索具有重要的实际意义.认知神经机制的联系有助于解释领域间能力的训练迁移效应,并为语言障碍的临床治疗提供借鉴.

Patel 在其撰写的 *Music, Language, and the Brain*<sup>[10]</sup> 一书中,论述了音乐和语言在多个层面的认知和神经联系.本文将从句法的视角讨论音乐和语言在结构、机制和意义之间的关系,并根据近期新的研究发现解释已有理论的不足.本文将在简要论述音乐和语言句法理论的基础上,总结和讨论近年来句法组织形式、句法认知神经机制以及句法与意义的比较研究.最后,探讨已有研究对音乐和语言关系的解释以及未来的研究方向.

## 1 音乐和语言的句法理论

音乐和语言的句法结构包含丰富的多层级的组合规则,并在心理上产生相互联系的知觉网络.这种多层级的组织结构均依赖于一定的组织手段.音乐和语言句法的比较,既包含二者声音组织手段的比较,也包含层级结构分析和整合所涉及的知觉网络的比较.下文将简要论述音乐和语言句法表征的异同以及具有代表性的句法认知理论.

### 1.1 句法表征的异同

音乐和语言都以声音来传达信息,并在时间维度上展开.从声音构成的角度来看,音乐和语言都是由音高、时长、音强以及音色等基本要素所构成.而且,二者句法树都以层级方式组织.在音乐和语言中,元素(如词和音符)都被组合成更高层级的单元,如短语和乐节,短语和乐节又进一步被组合成句子和乐句.

但是,语言和音乐的句法结构具有显著差异.语言句法树的每一个节点都具有语法范畴,比如名词或形容词短语,音乐中没有类似的语法范畴.语言句法还常常依靠多种手段来编码成分间的依存关系,比如一致性、格、反身性、首语重复法、省略以及长距离依存性等,在词的内部还有更进一步的形态句法,比如词缀结构等.音乐句法中找不到能够与之对

应的匹配物<sup>[11]</sup>.

语言和音乐的句法都包含特定的语法规则,但语法功能不同.语言中有主语、谓语、宾语等语法功能,西方调式音乐中有主和弦、属和弦、下属和弦等和声功能.然而,语言的语法功能不能等同于音乐中的和声功能,主语与主和弦所传达的功能概念具有显著差别.

音乐和语言句法所依赖的组织形式既存在相似性,又相互区别.音乐和语言的节奏都以时间长短对比作为句法的时长模式,旋律和语调都是依据音高在一定时间维度上的变化模式,并以突显的音高事件作为组合线索<sup>[10]</sup>.但是,音乐中的时长模式往往包含具有严格周期规律的节拍,旋律在稳定的音高音程上构建并具有调式特征,这都是语言句法所缺乏的形式特征.此外,和声、复调结构是音乐中常见的句法组织形式,而语言句法中缺乏类似的音高纵向组合关系.

### 1.2 句法的认知模型

音乐句法认知涉及听者如何对音乐层级进行分析和整合.Lerdahl 和 Jackendoff<sup>[9]</sup>在调性音乐的生成理论(generative theory of tonal music, GTTM)中,提出了与语言句法类似的音乐结构树状模型.其中,时程还原树指示相关事件(比如调式旋律中的主音与经过音)之间的结构重要性,从而区分出重要结构与装饰性事件的层级关系;延长还原树指示某一事件相对于其他相关事件而产生的紧张或放松关系,局部的紧张或放松运动往往嵌入在更高层级的运动之中.GTTM 模型在调性音高空间(tonal pitch space theory, TPS)理论<sup>[12]</sup>中得到进一步阐述.该理论认为音高是音乐感知的核心.以和弦为例,任意的两个和弦之间存在一定的心理距离,这个距离可以计算.和声距离能直接影响音乐序列中此消彼长的音高感知,并进而产生紧张度的体验.这表明听者是以层级加工方式来感知音乐传达的情绪意义.

语言句法认知涉及长时记忆中的语言结构知识,以及为了建立知觉连贯性而对这些知识进行加工的过程.较有代表性的句法认知模型是以联结主义理论为基础的依存位置理论(dependency locality theory, DLT)<sup>[13,14]</sup>和预期理论<sup>[15,16]</sup>.DLT 认为句法整合的代价受位置的影响,每一个新引入的单词需要与它所依存的先前单词相联结.当联结的距离较远,则需要

较多的整合资源,并导致句子整合困难.根据联结距离长度和加工代价的关系,DLT既可以解释由句子语法复杂性产生的加工差异,也可以解释句法歧义句的解释偏好.预期理论则认为,整合难度取决于出现的词是否符合句法范畴的预期.在句子的即时理解过程中,当出现的单词不符合首选的句法范畴,加工资源将重新分配以适应新的结构解释.DLT和预期理论分别适用于解释不同的句子加工效应.

音乐和语言句法的认知理论都强调句法整合与认知资源的联系.音乐句法的GTTM和TPS模型强调了层级结构对比与音乐知觉的关系.当出现离调和弦,或是出现与当前语境调性距离较远的音高事件,进行知觉整合所需要的加工代价就会提高.这是因为离调和弦或调性距离远的音符在联结网络中的激活水平低,对这些项目表征进行快速激活,需要较多的整合资源.对于语言句法的DLT和预期理论来说,尽管它们各自强调依存位置和句法范畴预期对整合加工的影响,但是二者都假设困难的句法整合会消耗建构结构表征的加工资源.因为依存距离远的单词或是改变首选结构解释,都必须激活之前语境中的项目,而这些项目的激活程度已经逐渐降低.基于此,Patel等人<sup>[10,17,18]</sup>提出了音乐和语言句法加工比较的理论模型——“句法整合资源共享假设”(shared syntactic integration resource hypothesis, SSIRH).该理论认为,虽然音乐和语言在句法表征上具有很大差异,但二者对句法结构进行整合的认知机制是相同的.他假设提供句法整合资源的大脑网络是“资源网络”,音乐和语言激活表征结构并进行整合的脑区和认知资源存在重叠.

此外,音乐和语言句法还可能共享其他认知机制.比如,在一定序列中,音乐和语言都能根据句法规则对即将出现的词或和弦进行预测.对语言信息的预测可以发生在多种水平上,比如对韵律、语义、语用等信息的预测.这其中也包括对即将出现的层级结构进行句法范畴预测<sup>[19,20]</sup>.同样的,对习惯西方调性音乐的听众来说,即使他们没有受过音乐训练也能内隐地学习和声功能知识.根据这些内隐知识,他们能够在一定的和声序列中,对即将出现的和声功能进行预测<sup>[21-23]</sup>.因此,对即将出现的句法结构产生预期的认知机制很可能为音乐和语言所共享.这其中的差异可能在于,对音乐中较复杂的层级结构信息(如奏鸣曲式)的结构预测,可能需要额外的音

乐训练才能达到.相对于音乐来说,对语言篇章层级结构的预期更容易实现,这可能与语言所具有的明确语义性有关.

## 2 音乐和语言句法的认知加工

近年来,音乐和语言句法加工的比较研究取得了丰富的成果.一方面,音乐和语言具有相似的句法组织形式,许多研究对这些相似性结构的认知加工进行比较.另一方面,对于那些具有领域特殊性的句法组织形式,也有研究考察其潜在认知机制的联系.比如,同时考察语言句子和音乐和声序列的认知加工等.另外,音乐和语言的意义依赖于特定的句法结构形式.通过比较音乐句法与语言语义的关系、音乐意义和语言语义的关系,能够进一步探索两个领域在形式与意义之间的联系.下文将论述这3类研究的主要发现,及其对音乐和语言句法关系的解释.

### 2.1 句法组织形式的比较

(i) 节奏和节拍的比较.音乐和语言都以节奏、重音的组合作为声音构成的时长模式,只是音乐的时长模式包含更严格的周期性规律.一些研究对比了音乐和语言中的节奏对比模式和分组,发现这2个领域在时长特征上存在重要联系.

通过计算标准化成对变异指数(normalized pairwise variability index, nPVI),可以考察音乐节奏和语言中相邻元音间时长差异的关系.有研究发现,英国和法国古典音乐作品中的节奏模式与各自母语(英语或法语)语言中的节奏模式具有显著的相关性<sup>[24,25]</sup>.这一发现也在其他音乐文化中得到验证<sup>[26]</sup>,说明音乐家在进行音乐创作时很可能受到母语韵律特征的影响.为了进一步验证这一观点,有研究考察了人们是否能够辨别英国和法国歌曲中的节奏差异<sup>[27]</sup>.他们发现,当歌词被去掉,被试依然能够根据节奏信息分辨出歌曲的国别,说明音乐节奏和语言节奏韵律之间存在关联.

除此之外,音乐和语言中都存在分组(grouping)这一基本的时长知觉现象.基于短语和乐句分组的研究揭示出二者的神经关联.事件相关电位(event-related potential, ERP)的多项研究表明,口语中的语调短语边界和阅读中的逗号都能诱发特定的ERP成分终止正漂移(closure positive shift, CPS),这种成分主要反映的是语言中韵律层级结构的终止<sup>[28-30]</sup>.在

汉语句子中,不同层级韵律边界所诱发的 CPS 在潜伏期和波幅上具有差异<sup>[31]</sup>。而且,这种边界的认知加工机制在语篇水平上也存在。在中国诗歌的韵律加工中<sup>[32]</sup>,对韵律短语、语调短语和语段等各个层级韵律边界的加工均能诱发 CPS。而且,其波幅和潜伏期与层级有关,高层级的边界所诱发的 CPS 具有更长的潜伏期,反映了对边界前信息的整合加工。

在音乐乐句边界加工的研究中,也发现了类似的脑电成分。Knösche 等人<sup>[33]</sup>采用联合脑电图(electroencephalography, EEG)和脑磁图成像(magnetoencephalography, MEG)技术研究了音乐乐句边界的认知机制,发现乐句边界所诱发的 ERP 成分 mCPS (music CPS)在波幅和脑地形图上都与语言中语调短语边界诱发的 CPS 相类似,表明人们对音乐和语言短语边界有相似的加工过程。不过,与语言相比, mCPS 在一定程度上受到音乐训练的影响<sup>[34,35]</sup>。音乐中的 mCPS 是否与语言中 CPS 一样,是否在不同韵律层级边界的加工中有不同表现,值得进一步研究。

节奏对比模式和分组的比较研究揭示出音乐和语言时长模式的关联,但是,目前的研究仅是初步的探索。音乐和语言时长组织模式的联系仍然有大量问题需要考察。比如,对于分组来说,目前的研究还难以确证音乐和语言共享边界认知机制。一方面,语言中研究 CPS 的范式与音乐中诱发 mCPS 的范式具有差异,有必要系统考察音乐和语言分组的认知机制与相关声学参数之间的联系,并进行对比。另一方面,已有研究发现语言 CPS 与音乐 mCPS 在潜伏期上具有差异<sup>[33]</sup>,这其中的潜在原因和机制可能反映音乐和语言的领域特异性。揭示二者加工关联的最好途径,是进行基于被试内设计的研究,考察被试在同时进行音乐和语言结构边界加工时的神经机制。

另外,节拍重音是今后考察音乐和语言时长组织关系的另一个方向。语言中周期性的节拍规律不明显,但是韵律结构中重音的使用与语言句法具有重要联系。同样的,音乐表演中重音等表现手段的使用与音乐层级结构有关。考察重音在言语韵律和音乐表演中的加工机制,可以进一步说明音乐和语言句法组织形式的关联。

(ii) 旋律和语调的比较。旋律和语调都通过音高在时间维度上的变化加以实现,它们分别是音乐和语言句法所依赖的组织形式。有研究考察了不同语言中语调变化特点是否在音乐作品的旋律创作中

有所反映<sup>[25]</sup>。通过对英国和法国音乐作品中的音程变化模式进行统计,他们发现音乐旋律中音程变化模式的差异,能够反映出语言音高模式之间的差异。这说明,日常口语韵律模式的内隐学习,可能对音乐创作中的旋律模式产生影响。

旋律和语调关系的研究进展有不少是从先天失歌症(congenital amusia, 下文简称失歌症)的研究中获得的。失歌症主要表现为音乐音高加工的障碍,唱歌跑调,并且无法对音乐旋律进行再认或辨别<sup>[36]</sup>。这种障碍既不归因于脑损伤、听觉丧失、认知或社会情感的错乱,也不缘于缺少与音乐的接触(如音乐训练、音乐欣赏活动等)<sup>[37]</sup>。神经心理学研究表明,失歌症者的语言知觉能力是正常的<sup>[36,38]</sup>。但是近期研究发现,英语和法语为母语的失歌症者对句子语调的分辨与正常人相比存在一定障碍<sup>[39,40]</sup>。而且,以声调语言为母语的母语经验不能弥补这种障碍。无论是对音乐旋律轮廓的加工<sup>[41]</sup>,还是对语调<sup>[41]</sup>或声调<sup>[42,43]</sup>的加工,以汉语为母语失歌症者的表现都弱于控制组,说明失歌症者对旋律和语调的知觉均存在缺陷。

旋律和语调分别是音乐和语言音高模式的体现。旋律和语调在句法形式上是否具有联系,关键在于考察二者音高事件的组合关系。不过,已有失歌症研究只涉及了音高知觉,与音高的组织模式并无太大关联。语调和旋律的知觉障碍联系,可能仅仅基于二者依赖共同的声学加工。对这一问题的确证,还需要更多的后续研究。

尽管人们都认为旋律和语调具有种种联系,而且研究表明母语韵律中的音高模式可以影响器乐音乐的旋律创作,但是这种音程关系对比的统计也仅能说明二者存在相关。因此,目前的研究还不足以表明,音乐和语言中音高模式的加工是相同的。如果考察旋律和语调结构在正常人大脑中的加工方式及其关系,将可以更直接地说明两个领域的句法组织系统是否存在重合。

## 2.2 句法加工的认知神经机制

音乐和语言在句法表征上具有很大差异,但是有研究对比了差异性结构(语句和音乐和声)的句法加工,发现音乐和语言在认知机制上存在潜在联系<sup>[17]</sup>。音乐和语言都存在多层次的结构,并依据一定的规则来引导元素组合成具有层级关系、能够传递

一定意义的序列结构. 可能有多种机制参与了这一认知加工过程, 并为音乐和语言领域所共享. 已有研究在一定程度上支持了这一观点, 其中包括正常人对音乐和语言结构加工的研究, 以及 Broca 失语症病人句法加工的神经机制研究.

(i) 正常人对音乐和语言句法的加工. Patel 等人<sup>[17]</sup>最早采用电生理方法比较音乐和语言的句法加工. 他们发现和弦序列中的调外和弦能够诱发 ERP 成分 P600s, 这与语句中句法不一致单词所诱发的成分相类似, 暗示句法加工的某些方面可能为这两个领域所共享. 该研究的发现在很大程度上鼓舞了后来考察音乐和语言结构的被试内研究. 如果音乐和语言句法加工具有相同的认知机制, 那么在认知资源有限的情况下, 二者的句法加工将互相干扰. 有两项行为实验支持了这一推论. Fedorenko 等人<sup>[44]</sup>发现, 当音乐和语言同时产生句法整合困难时, 被试在语言理解任务中的准确率就会下降. 在 Slevc 等人<sup>[45]</sup>的研究中, 当音乐和语言句法同时产生违反时, 被试在自控速阅读范式下的阅读速度变慢. 控制实验说明, 这种效应确实源于对句法结构的加工, 而不是由声学参数改变而导致的.

另外, 有研究通过电生理方法考察音乐和语言句法的同步加工. 这类实验首先基于对句法加工 ERP 成分的研究. 先前单独对语言和音乐进行的研究显示, 语言句法加工与左侧前负波(left anterior negativity, LAN)有关, 其中也包括分离出来的早期左侧前负波(early left anterior negativity, ELAN)<sup>[46]</sup>. LAN 是在形态句法违反的情况下在 300~500 ms 出现的负波, 它主要反映了语言句法的整合. ELAN 是在短语结构违反(包括词类违反)情况下在 100~300 ms 之间出现的负波. 而音乐句法加工则与早期右侧前负波(early right anterior negativity, ERAN)有关<sup>[47]</sup>. ERAN 是由离调和弦或调外音符<sup>[48]</sup>所诱发的在 100~350 ms 内的负波.

在此基础上, Koelsch 等人<sup>[49,50]</sup>发现, 大脑对音乐和语言句法的加工并不是简单的相加式, 而是交互的: 当句法不一致单词伴随着调外的和弦时, 诱发的 LAN 明显变小, 好像诱发 LAN 和 ERAN 的加工在争夺相同的神经资源. 通过对音乐和语言句法加工的神经元振荡进行时频分析<sup>[51]</sup>, 可以发现二者的神经元活动在低频段振荡中存在重叠, 进一步证实了 SSIRH 的句法理论.

SSIRH 理论主要关注句法结构整合的认知机制, 然而有部分研究发现并不能由 SSIRH 理论来解释. 颅内 EEG 研究表明, ERAN 和 ELAN 的神经元在双侧额上回和左侧额下回存在部分重叠<sup>[52]</sup>. 由于 ELAN 反映的是语言句法的早期建立阶段<sup>[46]</sup>, 即句法整合之前的加工阶段, 因此实验中采用的局部短语结构的违反仅体现为局部结构范畴预期的违反, 说明音乐和语言的重叠关系也表现在对句法结构范畴进行预期的机制.

不过, 目前的研究结果仍存在矛盾. Maidhof 和 Koelsch<sup>[53]</sup>采用了与之前同类 ERP 研究相似的实验范式, 将语言刺激的形态句法违反改为短语结构违反, 实验发现无论在何种注意分配条件下 ELAN 和 ERAN 均不存在显著的交互效应. 研究暗示了音乐和语言在句法加工的早期阶段可能是独立的加工机制, 也暗示了二者并不共享对结构信息进行预期的认知资源. 不过, 该研究的音乐和语言实验材料均是采用了听觉呈现, 不排除语言语调的音高变化会对音乐和声的知觉产生影响, 因此该问题还有待进一步的考证.

已有研究发现句法加工重叠可能包含多种认知机制, 比如层级结构的整合与预期. 但值得注意的是, 在句法加工过程中, 许多相关的认知机制并不是独立发挥作用. 比如, 在先前的行为<sup>[44,45]</sup>和电生理<sup>[49,50]</sup>实验中, 花园路径句或者句法形态违反的句子既存在句法预期的违反, 同时也引起句法整合的困难. 在音乐材料的设计中, 已有研究往往在和声序列的末尾处引入拿波里和弦<sup>[49,50]</sup>. 这种做法不仅引起局部和声期待的违反(因为拿波里和弦从不接在属和弦之后), 同时也引起层级句法整合的困难(拿波里和弦处于和声终止的位置). 因此, 今后的研究应注重考察相关机制的独立作用及其相互间的关系, 这将有助于深化音乐和语言的句法加工比较. 另外, 最好考察不同文化中句法的一般认知机制, 而不仅仅局限于某个时期某种音乐或语言文化的句法特点.

(ii) Broca 失语症的句法加工. 近年来, MEG 研究发现音乐句法加工的脑区位于左侧额下回(inferior frontal gyrus, IFG) Broca 区和对应的右侧区域, 只是右侧优势大于左侧<sup>[54,55]</sup>. 而 Broca 区已经被确认是负责语言句法加工的区域. 因此, 左半球 Broca 区负责着语言和音乐结构的双重加工. 同样的, 功能核磁共振成像(functional magnetic resonance imaging, fMRI)

研究发现,当呈现不规则的音乐句法<sup>[56-59]</sup>或是呈现语言句法错误的句子<sup>[60-62]</sup>时,大脑 IFG 区域和颞上回前部(anterior superior temporal gyrus, aSTG)区域会产生双侧的激活。其中,音乐句法加工呈现右侧偏侧化,而语言句法加工在左侧占据主导优势。这些发现说明,音乐和语言句法加工在大脑的额叶-颞叶区域存在重叠,尤其是在语言的优势左半球的相应区域存在重叠。但是,由于 MEG 和 fMRI 技术的弱点,以上的发现仅能说明句法加工涉及这些脑区,而无法证明这些脑区是音乐和语言句法加工的必要条件。因此,有 Broca 失语症研究考察了左侧 IFG 和左侧 aSTG 对音乐和语言句法加工的影响。

Patel 等人<sup>[63]</sup>采用句子-图片匹配任务,对 12 名 Broca 失语症病人的语言句法加工能力进行测试。结果发现,失语症病人的表现明显比控制组差,表明他们存在语言句法理解的缺陷。在此基础上,该研究考察了这组被试的音乐句法加工能力,发现他们对音乐和声结构异常的检测弱于控制组,说明 Broca 失语症病人的音乐和语言句法加工能力存在一定关联。然而,该研究的被试左侧大脑损伤部位不尽相同,其中有些并不包含 Broca 区或额叶区域<sup>[63]</sup>,因此难以证实相关脑区对于音乐和语言句法加工都是不可或缺的。

为了更有效地探究音乐和语言句法加工的神经基础, Sammler 等人<sup>[64]</sup>考察了 6 名左侧 IFG 受损以及 7 名左侧 aSTG 受损病人的音乐句法加工。研究结果发现,与健康的控制组相比,左侧 aSTG 损伤的病人表现出完好的音乐句法加工能力。与此相反,左侧 IFG 受损的病人在 ERAN 的头皮分布上存在异常,并且在音乐句法加工的行为检测上显示出少许障碍,甚至有一个左侧 IFG 损伤的被试没能引发 ERAN 效应。这些结果说明,左侧 IFG 区域(Broca 区)负责一般性句法加工,是音乐和语言句法加工的先决条件。

音乐和语言句法神经机制的重叠关系,增强了人们对音乐和语言关系以及认知脑功能的认识。音乐和语言句法加工在左侧 IFG 和 aSTG 存在重叠,而且左侧 IFG 是一般性句法加工的必要条件,这一发现是对模块化观点的重要挑战。但是,音乐和语言句法在何种程度上共享加工脑区,以及相关脑区在句法加工中的作用仍不明确。研究虽然表明左侧 IFG 是音乐和语言句法加工的重要区域,但该区域的无损可能并不是音乐句法加工的充分条件,因为 ERAN

波幅和总体行为表现在组间并无显著差异<sup>[64]</sup>。该结果暗示,相对应的右侧 IFG 脑区可能在音乐句法加工中发挥更重要的作用。而且,音乐和语言句法加工的重叠脑区可能不局限于左侧 IFG 区域,右侧 IFG 以及 STG 后部等也可能负责一般性句法加工。今后对顶叶和颞叶后部脑区句法认知功能的进一步考察,将有助于深化大脑功能结构的研究。

对句法认知神经机制的进一步探索具有重要的实际意义。句法认知机制的联系与领域间能力关系具有一定相关。对某个领域句法加工的熟悉性的提高,包括与句法相关的认知能力敏感性的提高,可能形成对另一个领域的训练迁移效应。因此,相关研究对儿童语言发展具有一定的启示意义。而且,研究可能在一定程度上为语言障碍治疗提供借鉴。音乐领域句法加工熟悉性的提高可能有助于语言句法知觉网络的构建,而语言句法认知网络的提高或恢复,能够使属于低激活水平的语言表征更快地得到激活。这种基于句法的领域间认知能力的相互影响,可能是言语障碍临床治疗的潜在机理。今后对正常人和 Broca 失语症者的句法认知神经机制研究,将有利于发展更高效和更有针对性的音乐治疗。

### 2.3 句法和意义

意义的研究与句法研究密不可分,音乐和语言的意义表达都依赖于相应的句法结构。在语言中,相同的词语改变词序将会引起语言意义的变化。音乐缺少外显的表达明确语义的符号,因此音乐意义更是依赖于音乐句法结构。句法和意义之间关系的研究是句法研究的延伸,不但有助于说明音乐和语言在结构上的联系,而且对其他领域的研究也有一定意义。近年来,有研究分别考察了音乐句法和语言语义的加工关系,以及音乐自身结构意义与语义性的关联。相关结论有助于解释心理语言学中语义和句法加工的关系,对音乐的形式与内容等美学问题也有一定启发。

(i) 音乐句法和语言语义。句法分析是语言理解的重要过程。在心理语言学研究中,句法加工是否优先于语义加工是长期争论不休的话题。德语和法语的几项 ERP 研究发现,当词类句法与语义同时发生违反,反映词汇语义整合的 N400 成分就会消失<sup>[65-68]</sup>,暗示句法加工的困难将会阻断语义信息的整合。而某些研究则发现,结合句法和语义违反的加

工中仍会出现 N400 语义效应<sup>[69-74]</sup>, 暗示句法和语义加工在句子理解中具有一定独立性. 这些研究结论的矛盾, 可能与实验材料所反映的加工阶段、实验任务以及语言系统等方面的差异有关.

音乐和语言在一定程度上共享句法认知资源, 那么音乐句法是否能够影响语言语义的加工? 有研究考察了被试对音乐句法和语言语义的同步加工<sup>[49,50]</sup>, 即同时呈现和声序列以及语言句子. 研究发现, ERAN 以及 N400 效应在双重违反条件下不受影响, 表明二者并不存在交互作用. 行为实验也表明, 被试在理解包含低期待语义句子的句子时, 任务表现并不受同时呈现的句法不一致和弦的影响<sup>[45]</sup>, 进一步证实了之前的结论. 这些研究暗示了音乐句法和语言语义是独立的加工过程. 但是, 当使用相似的实验材料进行 EEG 时频分析, 研究者发现语义加工的神经元活动在较晚阶段受到音乐句法影响而有所降低<sup>[51]</sup>. 也有行为研究发现, 语言的语义启动效应会受到同时呈现的和声句法的调节<sup>[75]</sup>.

已有研究在实验结果上存在一定矛盾, 这可能是实验设计的差异造成的. 未来的研究可以比较外显和内隐两种不同任务条件, 以及跨通道和同通道两种不同刺激呈现方式对实验结果的影响. 虽然目前涉及音乐句法和语言语义加工关系的研究不多, 但进一步考察二者关系仍十分必要. 尽管 SSIRH 和预期共享理论是基于句法结构加工而提出的, 但是不排除音乐句法与语言语义加工之间也存在类似的认知机制联系. 目前, 心理语言学的许多理论模型, 都难以解释句法和语义研究中的结论. 通过考察音乐和语言的句法联系以及相关机制的作用, 有助于启发心理语言学的进一步研究. 值得一提的是, 汉语缺乏印欧语言中的性、数、格、时态等外显的句法形态特征, 因此语义在汉语句子加工中具有一定特殊性<sup>[72-74]</sup>. 在汉语背景下对音乐句法和语言语义关系的继续探讨将具有重要意义.

(ii) 音乐结构的语义性. 从汉斯立克的自律论与晚期浪漫主义情感论的美学之争开始, 音乐形式和内容的关系便不断处于争辩之中. 和语言相比, 音乐缺少外显的表达明确语义的符号. 非语义性也因此成为了音乐领域特殊性的重要体现. 然而, 近几年的研究表明, 音乐意义可能和语义性具有一定联系. 实验证据主要来自于对音乐结构的 N400 启动效应的研究, 以及对音乐结构本身诱发的认知成分

N5(或 N500)的研究.

N400 最初发现于语言研究中, 它与语义信息加工有关, 特别是与概念加工和词汇通达有关<sup>[76,77]</sup>. Koelsch 等人<sup>[78]</sup>通过经典的语义启动研究范式发现, 当音乐启动刺激与词汇探测刺激语义不一致时, 出现典型的 N400 启动效应. 引发的 N400 成分在潜伏期、波幅以及头皮分布上都与语言条件下引发的 N400 效应一致. 先前的语言研究表明, N400 受到语言语义契合程度的影响<sup>[79]</sup>. 因此该研究说明, 音乐和语言都能够启动词汇语义概念的表征, 并且能够诱发反映语义加工的脑电指标.

在 Koelsch 等人<sup>[78]</sup>研究的基础上, 研究者发现孤立的和弦<sup>[80]</sup>或音调<sup>[81]</sup>都能够启动概念意义的表征, 并且能够根据与先前呈现的句子、单词或音调<sup>[82]</sup>的语义契合度而引发 N400 效应. 有研究者提出, 基于启动的意义研究反映的是音乐外在的意义, 即与世界知识相联系的意义<sup>[83]</sup>. 根据 Meyer 的理论<sup>[21]</sup>, 研究者将这种音乐外在的意义分为 3 类: 形象性的、指引性的以及象征性的<sup>[83]</sup>. 对于特定音乐结构反映的是何种意义, 还需要通过实验进一步界定.

音乐所引发的 N400 效应说明, 音乐可能与语言学意义具有一定联系. 但是, 目前的研究还不足以确证这一点. 已有研究主要通过启动范式引发 N400 效应. 这种效应也可以在面部表情和图片<sup>[77]</sup>、环境音响<sup>[84-86]</sup>以及气味<sup>[87]</sup>等刺激的研究中发现. 目前的研究只是初步地探索了音乐结构对语义概念的启动, 这是由相关实验范式的局限所造成的. 未来的研究如果能通过合理的实验方法, 考察音乐层级结构的不同组织对意义的不同表达, 那么将大大拓展音乐句法和意义(语义)的研究.

此外, 有 ERP 研究发现, N5 是与音乐本身结构意义有关的认知成分<sup>[88-90]</sup>. 已有研究发现, 音乐句法不规则的和弦序列在 ERAN 之后还引发了 N5, 其振幅比规则和弦所引发的 N5 振幅更大, 暗示该和弦连接在和声整合上的认知负荷增大. 因此 N5 被认为是反映和声整合的相关神经机制<sup>[89,91]</sup>.

Steinbeis 和 Koelsch<sup>[50]</sup>考察了音乐意义加工(以 N5 为指标)与语言语义加工(以 N400 为指标)的关系. 结果发现, 反映音乐和声整合的 N5 效应受到语言中单词语义完型率条件的影响. 在单词为低完型率的条件下, N5 的振幅变小, 表明 N5 效应受到语言语义加工的影响. 该结果说明, N5 与 N400 成分应该是反

映相同或相似的认知机制,否则二者不会出现交互作用。

考察上述研究中 N5 效应的特点,可以发现它与反映语言语义加工的 N400 存在以下联系: (1) N5 随着和声关系的建立而逐渐减弱<sup>[89]</sup>。与此相似, Van Petten 和 Kutas<sup>[92]</sup>发现句子中不同位置的开放类词所引发的 N400 不同,当位于句末时, N400 的效应最小。(2) 当出现句法不一致和声时, N5 效应达到最大,说明 N5 的波幅反映了和声整合中认知负荷的增大<sup>[89]</sup>,这与 N400 反映词汇语义整合是类似的。(3) N5 效应的引发不需要注意资源的参与<sup>[47]</sup>,这与通过启动范式所发现的 N400 效应是一致的。这些结论说明, N5 可能与 N400 类似,反映语义或意义的加工。根据 Meyer<sup>[21]</sup>对音乐内意义的描述, Koelsch<sup>[83]</sup>认为, N5 效应与音乐本身的结构有关,不需要与长时记忆中的世界知识产生联系,所以它很可能反映了音乐内在的意义加工。

通过以上的对比可以发现,音乐中 N5 效应和句法结构之间的关系,与语言中 N400 效应和结构的关系具有很强的一致性。N5 和 N400 效应都与句法结构的位置效应有关,并且都容易在句法结构不规则的情况下出现。可以推论, N5 和 N400 可能反映相似的认知过程,或许 N5 是 N400 的延迟出现。N5 的头皮分布主要是在额叶区域<sup>[83]</sup>,比 N400 的典型头皮分布更靠前,暗示 N5 与 N400 有不同的神经发生源。然而, N5 的神经发生源至今没有定论,这是因为 N5 常常伴随 ERAN 产生,因此二者的神经发生源难以区分。有研究者推测 N5 的神经发生源可能包括了额叶和颞叶的联合区域<sup>[83]</sup>。无论是考察 N5 的认知成分,还是追溯其神经发生源,都需要进一步的研究探索。

### 3 总结与展望

总之,句法加工的比较研究已经取得重要进展,相关成果大大深化了音乐和语言的对比研究。虽然音乐和语言在句法表征上存在差异,但二者的认知加工过程存在多方面的联系。音乐和语言不但在句法组织形式上存在认知联系,而且在句法认知机制和功能脑区上存在重叠。音乐句法与语言语义的联系,更进一步揭示出这两个领域在形式和意义上的关联。

近期,研究者将 SSIRH 理论进一步发展为资源-共享框架(resource-sharing framework)理论<sup>[93]</sup>。该理

论认为音乐和语言的表征存在诸多方面的差异,但是二者的加工机制以及负责加工的脑区和神经资源是共享的。然而,模块化观点认为,音乐能力部分依赖于特定的神经加工过程,音乐和语言的知觉和活动(比如,歌唱和言语)包含了多种的加工成分,这些成分既可以看作是执行高度特殊计算的模块,也可以说是特殊领域加工所独有的特性<sup>[94,95]</sup>。资源-共享框架在承认领域间表征差异的同时,强调了二者认知机制的联系,而模块化理论更多地基于神经心理学的研究结果。已有研究表明,音乐和语言的句法加工在诸多方面共享认知神经资源。对 Broca 失语症的研究,也揭示出音乐和语言句法能力并不是完全分离,研究结论倾向于支持资源-共享框架。

但是,目前的句法比较研究仍存在许多尚未解决的问题。音乐和语言句法加工所共享的机制仍难以证实,这主要由于不同机制在研究中存在混淆。在句法加工过程中,有多种认知机制参与了多层级结构的知觉加工。其中,某些认知机制可能是音乐和语言领域所特有的,比如对层级结构的整合以及对结构范畴的预期。某些机制具有领域一般性,它们参与了各种认知功能的活动,如注意和工作记忆。已发现的句法加工重叠可能是由多种机制协同作用所引起,未来研究最好对相关机制加以控制和区分。另外,音乐和语言的时长、音高模式是否在大脑中有相似的加工过程?音乐和语言句法的神经机制在多大程度上重叠和分离?相关脑区在句法加工中发挥何种作用?这些问题都值得进一步探讨。

音乐和语言是人类在进化过程中产生的两个独有的声音系统,探讨二者认知神经加工网络的联系,对各个领域的研究都具有重要意义。西方国家从 20 世纪 90 年代开始探索音乐、语言和认知神经之间的关系,对于中国科学界来说,对该领域的研究直到近几年才出现。如今,跨文化跨学科的研究已经成为科学探索的前沿趋势,这为中国在该领域的发展提供了很好的机会。如果科学研究仅仅关注某一时期某一文化中的语言或音乐特征,那么就难以发现人类信息交流能力中更为普遍的一般性规律。中国具有源远流长的传统音乐文化和丰富的声调语言,这些都为音乐和语言认知加工的比较研究提供了优越的基础。相信在不远的将来,会有更多中国的研究者投入该领域的研究工作,从音乐和语言的对比研究出发,揭开人类脑神经机制的神秘面纱。

参考文献

- 1 Trehub S E, Hannon E E. Infant music perception: Domain-general or domain-specific mechanisms? *Cognition*, 2006, 100: 7399
- 2 Darwin C. *The Descent of Man, and Selection in Relation to Sex*. London: John Murray, 1871
- 3 Fodor J A. *Modularity of Mind*. Cambridge, MA: MIT Press, 1983
- 4 Hébert S, Racette A, Gagnon L, et al. Revisiting the dissociation between singing and speaking in expressive aphasia. *Brain*, 2003, 126: 1838
- 5 Peretz I, Gagnon L, Hébert S, et al. Singing in the brain: Insights from cognitive neuropsychology. *Music Percept*, 2004, 21: 373–390
- 6 Racette A, Bard C, Peretz I. Making non-fluent aphasics speak: Sing along! *Brain*, 2006, 129: 2571–2584
- 7 Peretz I, Kolinsky R, Tramo M, et al. Functional dissociations following bilateral lesions of auditory cortex. *Brain*, 1994, 117: 1283
- 8 Schön D, Lorber B, Spacal M, et al. A selective deficit in the production of exact musical intervals following right-hemisphere damage. *Cogn Neuropsychol*, 2004, 21: 773–784
- 9 Lerdahl F, Jackendoff R. *A Generative Theory of Tonal Music*. Cambridge, MA: MIT Press, 1983
- 10 Patel A D. *Music, Language, and the Brain*. New York: Oxford University Press, 2008
- 11 Jackendoff R. Parallels and nonparallels between language and music. *Music Percept*, 2009: 195–204
- 12 Lerdahl F. *Tonal Pitch Space*. New York: Oxford University Press, 2001
- 13 Gibson E. Linguistic complexity: Locality of syntactic dependencies. *Cognition*, 1998, 68: 1–76
- 14 Gibson E. The dependency locality theory: A distance-based theory of linguistic complexity. In: Marantaz A, Miyashita Y, O'Neil W, eds. *Image, Language, Brain*. Cambridge: MIT Press, 2000. 95–126
- 15 Narayanan S, Jurafsky D. A bayesian model predicts human parse preference and reading times in sentence processing. In: Dietterich T G, Becker S, Ghahramani Z, eds. *Advances in Neural Information Processing Systems 14*, 2001 Dec 3–8, Vancouver. Cambridge, MA: MIT Press, 2002. 59–66
- 16 Lau E, Stroud C, Plesch S, et al. The role of structural prediction in rapid syntactic analysis. *Brain Lang*, 2006, 98: 74–88
- 17 Patel A D, Gibson E, Ratner J, et al. Processing syntactic relations in language and music: An event-related potential study. *J Cogn Neurosci*, 1998, 10: 717–733
- 18 Patel A D. Language, music, syntax and the brain. *Nat Neurosci*, 2003, 6: 674–681
- 19 Gibson E. The interaction of top-down and bottom-up statistics in the resolution of syntactic category ambiguity. *J Mem Lang*, 2006, 54: 363–388
- 20 Levy R. Expectation-based syntactic comprehension. *Cognition*, 2008, 106: 1126–1177
- 21 Meyer L B. *Emotion and Meaning in Music*. Chicago: University of Chicago Press, 1956
- 22 Tillmann B. Implicit investigations of tonal knowledge in nonmusician listeners. *Ann NY Acad Sci*, 2005, 1060: 100–110
- 23 Tillmann B, Bharucha J J, Bigand E. Implicit learning of tonality: A self-organizing approach. *Psychol Rev*, 2000, 107: 885–913
- 24 Patel A D, Daniele J R. An empirical comparison of rhythm in language and music. *Cognition*, 2003, 87: B35–B45
- 25 Patel A D, Iversen J R, Rosenberg J C. Comparing the rhythm and melody of speech and music: The case of British English and French. *J Acoust Soc Am*, 2006, 119: 3034–3047
- 26 Huron D, Ollen J. Agogic contrast in French and English themes: Further support for Patel and Daniele. *Music Percept*, 2003, 21: 267–271
- 27 Hannon E E. Perceiving speech rhythm in music: Listeners classify instrumental songs according to language of origin. *Cognition*, 2009, 111: 403–409
- 28 Pannekamp A, Toepel U, Alter K, et al. Prosody-driven sentence processing: An event-related brain potential study. *J Cogn Neurosci*, 2005, 17: 407–421
- 29 Steinhauer K, Alter K, Friederici A D. Brain potentials indicate immediate use of prosodic cues in natural speech processing. *Nat Neurosci*, 1999, 2: 191–196
- 30 Steinhauer K, Friederici A D. Prosodic boundaries, comma rules, and brain responses: The closure positive shift in ERPs as a universal marker for prosodic phrasing in listeners and readers. *J Psycholing Res*, 2001, 30: 267–295
- 31 Li W, Yang Y. Perception of prosodic hierarchical boundaries in mandarin Chinese sentences. *Neuroscience*, 2009, 158: 1416–1425
- 32 Li W, Yang Y. Perception of Chinese poem and its electrophysiological effects. *Neuroscience*, 2010, 168: 757–768
- 33 Knösche T R, Neuhaus C, Haueisen J, et al. Perception of phrase structure in music. *Hum Brain Mapp*, 2005, 24: 259–273
- 34 Neuhaus C, Knösche T R, Friederici A D. Effects of musical expertise and boundary markers on phrase perception in music. *J Cogn Neurosci*, 2006, 18: 472–493
- 35 Nan Y, Knösche T R, Friederici A D. Non-musicians' perception of phrase boundaries in music: A cross-cultural ERP study. *Biol Psychol*, 2009, 82: 70–81

- 36 Ayotte J, Peretz I, Hyde K. Congenital amusia: A group study of adults afflicted with a music-specific disorder. *Brain*, 2002, 125: 238–251
- 37 Peretz I, Ayotte J, Zatorre R J, et al. Congenital amusia: A disorder of fine-grained pitch discrimination. *Neuron*, 2002, 33: 185–191
- 38 Dalla Bella S, Giguère J F, Peretz I. Singing in congenital amusia. *J Acoust Soc Am*, 2009, 126: 414
- 39 Patel A D, Wong M, Foxton J, et al. Speech intonation perception deficits in musical tone deafness (congenital amusia). *Music Percept*, 2008: 357–368
- 40 Liu F, Patel A D, Fourcin A, et al. Intonation processing in congenital amusia: Discrimination, identification and imitation. *Brain*, 2010, 133: 1682–1693
- 41 Jiang C, Hamm J P, Lim V K, et al. Processing melodic contour and speech intonation in congenital amusics with mandarin Chinese. *Neuropsychologia*, 2010, 48: 2630–2639
- 42 Jiang C, Hamm J, Lim V, et al. Impaired categorical perception of lexical tone in mandarin speaking congenital amusics. *Mem Cognit*, 2012, doi: 10.3758/s13421-012-0208-2
- 43 Nan Y, Sun Y, Peretz I. Congenital amusia in speakers of a tone language: Association with lexical tone agnosia. *Brain*, 2010, 133: 2635–2642
- 44 Fedorenko E, Patel A, Casasanto D, et al. Structural integration in language and music: Evidence for a shared system. *Mem Cognit*, 2009, 37: 1–9
- 45 Slevc L R, Rosenberg J C, Patel A D. Making psycholinguistics musical: Self-paced reading time evidence for shared processing of linguistic and musical syntax. *Psychon Bull Rev*, 2009, 16: 374–381
- 46 Friederici A D. Towards a neural basis of auditory sentence processing. *Trends Cogn Sci*, 2002, 6: 78–84
- 47 Koelsch S. Music-syntactic processing and auditory memory: Similarities and differences between ERAN and MMN. *Psychophysiology*, 2009, 46: 179–190
- 48 Koelsch S, Jentschke S. Differences in electric brain responses to melodies and chords. *J Cogn Neurosci*, 2010, 22: 2251–2262
- 49 Koelsch S, Gunter T C, Wittfoth M, et al. Interaction between syntax processing in language and in music: An ERP study. *J Cogn Neurosci*, 2005, 17: 1565–1577
- 50 Steinbeis N, Koelsch S. Shared neural resources between music and language indicate semantic processing of musical tension-resolution patterns. *Cereb Cortex*, 2008, 18: 1169–1178
- 51 Carrus E, Koelsch S, Bhattacharya J. Shadows of music-language interaction on low frequency brain oscillatory patterns. *Brain Lang*, 2011, 119: 50–57
- 52 Sammler D. The neuroanatomical overlap of syntax processing in music and language: Evidence from lesion and intracranial ERP studies. *MPI Series in Human Cognitive and Brain Sciences*, Vol 108. Leipzig: Max Planck Institute for Human Cognitive and Brain Sciences, 2009
- 53 Maidhof C, Koelsch S. Effects of selective attention on syntax processing in music and language. *J Cogn Neurosci*, 2011, 23: 2252–2267
- 54 Maess B, Koelsch S, Gunter T C, et al. Musical syntax is processed in broca's area: An MEG study. *Nat Neurosci*, 2001, 4: 540–545
- 55 Abrams D A, Bhatara A, Ryali S, et al. Decoding temporal structure in music and speech relies on shared brain resources but elicits different fine-scale spatial patterns. *Cereb Cortex*, 2010, 21: 1507–1518
- 56 Koelsch S, Fritz T, Schulze K, et al. Adults and children processing music: An fMRI study. *NeuroImage*, 2005, 25: 1068–1076
- 57 Tillmann B, Janata P, Bharucha J J. Activation of the inferior frontal cortex in musical priming. *Cogn Brain Res*, 2003, 16: 145–161
- 58 Tillmann B, Koelsch S, Escoffier N, et al. Cognitive priming in sung and instrumental music: Activation of inferior frontal cortex. *NeuroImage*, 2006, 31: 1771–1782
- 59 Minati L, Rosazza C, D'Incerti L, et al. fMRI/ERP of musical syntax: Comparison of melodies and unstructured note sequences. *NeuroReport*, 2008, 19: 1381
- 60 Brauer J, Friederici A D. Functional neural networks of semantic and syntactic processes in the developing brain. *J Cogn Neurosci*, 2007, 19: 1609–1623
- 61 Friederici A D, Rüschemeyer S A, Hahne A, et al. The role of left inferior frontal and superior temporal cortex in sentence comprehension: Localizing syntactic and semantic processes. *Cereb Cortex*, 2003, 13: 170
- 62 Rüschemeyer S A, Fiebach C J, Kempe V, et al. Processing lexical semantic and syntactic information in first and second language: fMRI evidence from German and Russian. *Hum Brain Mapp*, 2005, 25: 266–286
- 63 Patel A D, Iversen J R, Wassenaar M, et al. Musical syntactic processing in agrammatic Broca's aphasia. *Aphasiology*, 2008, 22: 776–789
- 64 Sammler D, Koelsch S, Friederici A D. Are left fronto-temporal brain areas a prerequisite for normal music-syntactic processing? *Cortex*, 2011, 47: 659–673
- 65 Friederici A D, Steinhauer K, Frisch S. Lexical integration: Sequential effects of syntactic and semantic information. *Mem Cognit*, 1999, 27: 438–453

- 66 Friederici A D, Gunter T C, Hahne A, et al. The relative timing of syntactic and semantic processes in sentence comprehension. *NeuroReport*, 2004, 15: 165–169
- 67 Hahne A, Friederici A D. Differential task effects on semantic and syntactic processes as revealed by ERPs. *Cogn Brain Res*, 2002, 13: 339–356
- 68 Isel F, Hahne A, Maess B, et al. Neurodynamics of sentence interpretation: ERP evidence from French. *Biol Psychol*, 2007, 74: 337–346
- 69 Hagoort P. Interplay between syntax and semantics during sentence comprehension: ERP effects of combining syntactic and semantic violations. *J Cogn Neurosci*, 2003, 15: 883–899
- 70 van den Brink D, Hagoort P. The influence of semantic and syntactic context constraints on lexical selection and integration in spoken-word comprehension as revealed by ERPs. *J Cogn Neurosci*, 2004, 16: 1068–1084
- 71 Martín-Loeches M, Nigbur R, Casado P, et al. Semantics prevalence over syntax during sentence processing: A brain potential study of noun-adjective agreement in Spanish. *Brain Res*, 2006, 1093: 178–189
- 72 Ye Z, Luo Y, Friederici A D, et al. Semantic and syntactic processing in Chinese sentence comprehension: Evidence from event-related potentials. *Brain Res*, 2006, 1071: 186–196
- 73 Yu J, Zhang Y. When Chinese semantics meets failed syntax. *NeuroReport*, 2008, 19: 745–749
- 74 Zhang Y, Yu J, Boland J E. Semantics does not need a processing license from syntax in reading Chinese. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn*, 2010, 36: 765–781
- 75 Poulin-Charronnat B, Bigand E, Madurell F, et al. Musical structure modulates semantic priming in vocal music. *Cognition*, 2005, 94: B67–B78
- 76 Friederici A D, Wartenburger I. Language and brain. *Wiley Interdiscip Rev Cogn Sci*, 2010, 1: 150–159
- 77 Lau E F, Phillips C, Poeppel D. A cortical network for semantics: (de) constructing the N400. *Nat Rev Neurosci*, 2008, 9: 920–933
- 78 Koelsch S, Kasper E, Sammler D, et al. Music, language and meaning: Brain signatures of semantic processing. *Nat Neurosci*, 2004, 7: 302–307
- 79 Kellenbach M L, Wijers A A, Mulder G. Visual semantic features are activated during the processing of concrete words: Event-related potential evidence for perceptual semantic priming. *Cogn Brain Res*, 2000, 10: 67–75
- 80 Steinbeis N, Koelsch S. Comparing the processing of music and language meaning using EEG and fMRI provides evidence for similar and distinct neural representations. *PLoS One*, 2008, 3: e2226
- 81 Painter J G, Koelsch S. Can out-of-context musical sounds convey meaning? An ERP study on the processing of meaning in music. *Psychophysiology*, 2011, 48: 645–655
- 82 Daltrozzo J, Schön D. Conceptual processing in music as revealed by N400 effects on words and musical targets. *J Cogn Neurosci*, 2009, 21: 1882–1892
- 83 Koelsch S. Towards a neural basis of processing musical semantics. *Phys Life Rev*, 2011, 8: 89–105
- 84 Aramaki M, Marie C, Kronland-Martinet R, et al. Sound categorization and conceptual priming for nonlinguistic and linguistic sounds. *J Cogn Neurosci*, 2010, 22: 2555–2569
- 85 Cummings A, Ceponiene R, Koyama A, et al. Auditory semantic networks for words and natural sounds. *Brain Res*, 2006, 1115: 92–107
- 86 Orgs G, Lange K, Dombrowski J H, et al. Is conceptual priming for environmental sounds obligatory? *Int J Psychophysiol*, 2007, 65: 162–166
- 87 Grigor J, Van Toller S, Behan J, et al. The effect of odour priming on long latency visual evoked potentials of matching and mismatching objects. *Chem Senses*, 1999, 24: 137–144
- 88 Koelsch S, Siebel W A. Towards a neural basis of music perception. *Trends Cogn Sci*, 2005, 9: 578–584
- 89 Koelsch S, Gunter T, Friederici A D, et al. Brain indices of music processing: “Non-musicians” are musical. *J Cogn Neurosci*, 2000, 12: 520–541
- 90 Loui P, Torpey D, Woldorff M. Effects of attention on the neural processing of harmonic syntax in western music. *Cogn Brain Res*, 2005, 25: 678–687
- 91 Poulin-Charronnat B, Bigand E, Koelsch S. Processing of musical syntax tonic versus subdominant: An event-related potential study. *J Cogn Neurosci*, 2006, 18: 1545–1554
- 92 Van Petten C, Kutas M. Interactions between sentence context and word frequency in event-related brain potentials. *Mem Cognit*, 1990, 18: 380–393
- 93 Patel A D. Language, music, and the brain: A resource-sharing framework. In: Rebuschat P, Rohrmeier M, Hawkins J, et al., eds. *Language and Music as Cognitive Systems*. Oxford: Oxford University Press, 2012. 204–223
- 94 Peretz I. Music, language and modularity framed in action. *Psychol Belg*, 2009, 49: 157–175
- 95 Peretz I. Music, language and modularity in action. In: Rebuschat P, Rohrmeier M, Hawkins J, et al., eds. *Language and Music as Cognitive Systems*. Oxford: Oxford University Press, 2012. 254–268

# Music and language: Comparative studies of syntactic cognition

ZHOU LinShu<sup>1,2</sup>, JIANG CunMei<sup>3</sup> & YANG YuFang<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;*

<sup>2</sup>*Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;*

<sup>3</sup>*Music College, Shanghai Normal University, Shanghai 200234, China*

Music and language are both excellent abilities unique to humans, and they make great significance to human survival and social activities. Language has long been known as a highly modular neurocognitive system independent of other complex cognitive abilities. However, recent researches, especially cognitive and neuroimaging studies have shown substantive overlaps in the syntactic processing of music and language in many aspects. In this article, we first describe the theories of musical and linguistic syntax briefly, and then summarize the recent comparative researches of syntactic forms, syntactic mechanisms, and the relation between syntax and meaning. On this basis, we discuss the significance of research findings and suggest the future study directions. Like language, the processing mechanisms of music engage a wide range of the brain. Exploring the syntactic relevance of music and language will help to further understand the cognitive functions of human brain. Moreover, the findings may provide evidence for the studies of linguistic developing competence and clinical practice in language disorders to a certain extent.

**music, language, syntax, meaning, cognitive mechanism**

doi: 10.1360/972012-343