

音乐对情绪的影响及其脑机制的相关研究^{*}

孙亚楠¹ 刘源² 南云^{1**}

北京师范大学 1. 认知神经科学与学习国家重点实验室; 2. 心理学院, 北京 100875

摘要 音乐能够表达人们的情感, 影响人们的情绪. 认知神经科学的发展增进了对于音乐诱发情绪神经机制的认识. 文中综述了该领域的最新进展, 对音乐情绪研究的可能方向进行了阐述.

关键词 音乐 情绪 脑电 事件相关电位 功能性核磁共振脑成像(fMRI) 正电子发射断层扫描(PET) 脑损伤

音乐是一门古老的艺术, 古人云: “乐者, 心之动也”. 通过有组织的乐音形式, 音乐凭借声波振动, 在时间中展现, 来表达人们的思想感情, 并反映社会现实生活^[1]. 音乐与人们内心的情感有着密切的关系. 最初的音乐就是起源于人的某种难以言说的原始冲动, 这种原始冲动的激情具有各种激情的基本属性, 却缺乏具体的情感指向^[2], 只是对情绪的一种强烈的体验. 劳动创造了人类, 同时劳动也创造了音乐. 劳动本身给予音乐以内容, 劳动的动作和呼声给予音乐以节奏和音调^[3]. 也就是说, 这些“音乐”融合着人们劳动时的各种情感与情绪体验.

音乐与情绪有着古老而又密切的联系, 但是音乐影响情绪的脑机制是怎样的? 这一问题引起了越来越多的科研人员的兴趣. 近年来, 针对情绪的认知神经科学研究得到了飞速发展. 特别是将高空间分辨率、无创伤性的脑成像技术如功能性核磁共振(functional magnetic resonance imaging, fMRI)应用到了情绪研究中后, 研究者能够在不损伤大脑的情况下直接观察被试在完成认知任务时大脑的活动情况. 这就将认知过程与脑的活动过程直接联系起来, 大大提高了研究结果的直观性和深入性. 无创性脑功能成像技术的应用, 使得脑机制的研究成为近10年来情绪研究中十分活跃的领域.

音乐与情绪的关系的研究有着重要的理论意义. 音乐可以诱发许多种不同的情绪, 对于大多数人来说, 听音乐的主要动机即情绪诱发^[4]. 用音乐来诱发情绪, 具有许多优势. 一方面, 音乐可以高强度地诱发情绪, 而且音乐诱发出来的这些情绪, 与被试之间有很高的一致性^[4]; 另一方面, 音乐不仅可以诱发不愉快的情绪, 而且还可以诱发愉快的情绪, 这比用静态的图片来诱发情绪更有优势^[5]. 认知神经科学认为, 人类情绪的产生源于对各种内外部刺激的直觉加工, 但目前情绪诱发整个过程的具体脑机制尚不清楚. 因此, 用音乐来诱发情绪就为解答这个问题提供了独特的视角.

音乐与情绪的关系的研究有着重要的实践意义. 目前, 音乐已经被大量用于提高身体健康水平、减轻压力、分散病人对于疾病症状的注意力等方面. 尽管存在个体喜好方面的差别, 但音乐却无疑对于自主神经系统具有直接的生理效应. 音乐可以有效地降低病人的焦虑、提升情绪. 它还可以减轻手术或者其他急慢性疾病病人的疼痛^[6]. 听音乐不但可以促进中风早期病人的认知功能恢复, 而且还可以防止病人产生消极情绪^[7,8], 对中风病人出现的失眠症状也有很好的治疗作用^[9]. 音乐还能够通过影响情绪进一步影响人的行为^[10,11]. 在同一个环境中, 不同的音乐(比如令人情绪高涨的与令人

2008-06-06 收稿, 2008-07-01 收修改稿

* 国家自然科学基金资助项目(批准号: 30700225)

** 通信作者, E-mail: dr_yunnan@yahoo.com.cn

©1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

厌烦的音乐)对于同一组人的帮助性行为的影响是不同的,令人情绪高涨的音乐显著地比令人厌烦的音乐更加能够激发出这一组人的帮助性行为。

因此,正确地认识音乐诱发情绪的基本神经机制,不但可以弥补国内外基础研究领域的空白,还可以在实际的社会生活中比如在音乐治疗与音乐教育的具体实践中,给我们以科学的指导。

1 音乐与情绪的行为研究

不同的音乐会带给人们不同的情绪。如贝多芬的《月光》暗淡而哀伤,莫扎特的《土耳其进行曲》则欢快而轻松。同时,不同的人对于同样的音乐的感觉与体验是不同的,甚至同一个人对于同样的音乐,在不同的情景下,其感受也有着天壤之别。

音乐有许多特性,这些特性包括音色、音程、和声、节奏、力度等方面。音乐主要通过这些特性影响着人们的情绪。

在音乐结构本身,情绪信息由其不同的结构线索进行编码。调性等级就是其中较为重要的一个^[12,13]。音乐进行时其相对于主音调(tonic of a key)的方向决定了听者紧张(背离主音调)与放松(趋向主音调)感觉的产生。调性等级影响情绪的唤醒度,但不决定情绪的效价。根据对于音乐特定的结构特点的理解,听者会对其转承可能性有一定的预期,这种预期的实现与违背也会影响情绪,这可能是音乐诱发情绪最为主要的因素^[14]。音高、不协音、音强及节拍等均会影响情绪的唤醒度^[15-18],而调性(大调或小调)则主要影响情绪的效价^[19]。

不同种类的音乐,其节拍或节奏也不相同。音乐的节奏有两个特征:快慢和强弱。一般来说,平静的和悲伤的音乐节奏较缓慢,激动的和愉悦的音乐节奏较快。同时,平静的和愉悦的音乐的节奏感较弱,而悲伤的和激动的音乐的节奏感较强。所以,音乐的节奏特征对于其情绪的表达起着重要的作用^[20]。研究表明,不同速度的音乐给人的情绪体验是不一样的。例如,贝多芬的《致爱丽丝》有两个版本:速度轻快流畅的纯钢琴独奏和加了伴奏的速度缓慢悠长的钢琴版。很多人在听了这两段音乐之后的主观描述是不同的。普遍反映,前者给人一种源源不断,滚滚向前,络绎不绝的感受,而后者却是哀婉、凄凉的。

人们对音乐的欣赏不但受音乐特性的影响,还会受到很多主观和客观因素的影响,比如心境(mood),环境和过去经验(experience)。因此,人们在欣赏音乐时,不仅仅是从简单的音色和节奏等方面来判断这段音乐所表达的情绪的。音乐对情绪的影响还有着更为复杂的脑机制。

2 音乐与情绪的脑电研究

2.1 脑电图(electroencephalography, EEG)的研究

Tsang^[21]等用 EEG 研究发现,愉快和高兴的音乐片段可以更明显地激活左侧额叶相关脑区,而恐惧和悲伤的音乐片段更强烈地激活右侧额叶相关脑区。后来,Altenmüller^[22]等用皮层直流脑电图(cortical direct current-electroencephalography)研究发现,听音乐时双侧额颞区有广泛的激活。该研究还发现听音乐时的情绪反应具有侧效应:正性情绪与左侧额叶活动有关,而对负性情绪的加工右侧额颞部皮质更占优势。Sammler^[23]等发现,与不愉快的音乐相比,愉快的音乐能使额中区出现更多的 θ 波。该效应反映出情绪加工与注意的功能有密切的交互作用。国内相关研究发现:脑电 α 波功率的变化与情绪的极性和强度密切相关。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。并且,额区和顶枕区的脑电 α 功率都会随音乐情绪强度的减小而增加^[24]。

EEG记录的是脑的自发电位,它的谐波成分相当复杂。因为音乐诱发情绪过程的复杂性,EEG在该领域的应用相对较少。目前,关于音乐情绪的脑电图(EEG)研究还处于初期阶段,结果较为分散。

2.2 事件相关电位(event related potentials, ERP)的研究

国内外关于音乐与情绪的 ERP 研究非常少,目前的主要工作大部分为用 ERP 来研究音乐认知的脑机制。Schiavetto^[25]等研究发现整体加工发生在早期的感知阶段,然后再将音乐的识别过程分配到整体和局部进行加工。Leino^[26]等研究发现和谐的音乐与不和谐的音乐会在人的大脑中产生鲜明的特异性反应。违反了和声规则的不和谐和弦(incongruous chords)会激发大脑出现早期双侧前负波(a ear-

ly bilateral anterior negativity, as EBAN), 波幅取决于对和声规则的违反程度. 违反了音乐序列中各音之间的关系规则的走调和弦(mistuned chords), 则在双侧额中区诱发出失配性负波(a bilateral fronto-central negativity, or the mismatch negativity, as MMN).

Arikan^[27] 等用 ERP 来研究文化环境对音乐认知的影响. 他们让土耳其被试听 3 种不同的背景声音, 分别为白噪声、大提琴演奏的音乐以及用 Ney (土耳其当地人非常熟悉的一种长笛)演奏的类同的音乐. 研究发现, 与其他两种背景声音相比, 被试听在听 Ney 演奏的音乐时 P3 波幅明显增大. 这说明在记忆更新过程中, 听熟悉风格的音乐能够增强注意资源的分配. 同时, 这体现了认知加工过程中文化环境的作用.

ERP 的优势是具有高时间分辨率和无创性. 关于音乐认知方面的 ERP 研究为进行音乐与情绪的 ERP 研究提供了研究素材和思路. 如 ERP 中的 P3 成分就可以作为反应情绪变化的一个重要的电生理指标, 但目前尚未有相关的研究报道. 此外, 目前关于音乐与情绪的 ERP 研究大部分是利用呈现违反音乐规则的音乐小段来诱发相应的情绪反应的, 用自然音乐作为刺激来诱发情绪的 ERP 研究较为鲜见.

3 音乐与情绪的脑成像研究

3.1 功能性核磁共振 (functional magnetic resonance imaging, fMRI) 的研究

目前, 音乐与情绪脑机制的相关研究大多都是运用功能性核磁共振(fMRI)来进行的. 大多数研究者目前的研究结果都认为听音乐是认知加工与情绪加工的综合过程. Griffiths^[28, 29] 通过 fMRI 的研究方法发现, 大脑双侧颞上回、颞中回和右侧额下回后部主要与音乐认知加工有关, 而边缘系统包括前扣带回、杏仁核、基底神经节等则主要与情绪加工有关. Mitterschiffthaler^[30] 等的 fMRI 研究发现, 音乐的情绪反应加工网络是由涉及奖赏体验和运动的腹背侧纹状体、与注意有关的前扣带回以及通常在评价和情绪加工过程中起作用的内侧颞叶等脑区整合而成的. 可见, 在音乐的情绪加工中, 边缘系统起了重要作用. 从进化角度来说, 边缘系统属于

旧皮质, 是比较原始的. 这同时也提示了音乐在起源上的古老性.

很多研究者认为边缘系统中的杏仁核实际上是加工音乐情感信息所必需的脑结构, 特别是悲伤或者恐怖性情绪. Koelsch^[31] 等用 fMRI 研究发现, 相比较于令人悲伤的音乐小段, 令人愉悦的小段会激活额下回、前上脑岛、腹侧纹状体、Heschl 氏回及 Rolandic operculum. 而令人悲伤的音乐相对比较于令人高兴的音乐则会激活杏仁核. 国内也有研究发现, 在音阶刺激和轻音乐刺激的对照下, 仅恐怖音乐刺激会出现杏仁复合体的激活^[32]. Eldar^[33] 等研究发现, 情感丰富但缺乏现实感的音乐与细节丰富而情感贫乏的中性电影联合呈现, 会激活杏仁核、海马和侧前额叶脑区. 当音乐与现实场景结合起来时, 杏仁核对于情感刺激的反应会增强. 该发现为情绪加工过程中对于具体现实世界的信息整合效应研究奠定了基础.

国内关于音乐与情绪的研究较少, 但已经将 fMRI 技术应用到了音乐认知的研究中. 李恩中^[34] 等的 fMRI 实验发现, 在音乐刺激下, 右侧额中、下回, 右侧海马旁回与缘上回有显著兴奋区, 少数左半球的一些脑区也可被激活. 对音乐家与非音乐家的研究表明^[35], 音乐家与非音乐家在音乐刺激下双侧听皮层区出现广泛激活, 包括颞横回、颞上回及颞中回等区域. 但音乐家一般表现为左侧颞区优势, 而非音乐家一般为右侧优势. 此外, 音乐家除双侧颞区激活外, 还伴有其他脑区较强及较广泛的激活.

目前大多数音乐与情绪的研究都是通过 fMRI 的方法来实现的. 主要的研究发现为: 对音乐的基本认知加工与情绪加工分属不同的脑区, 在对音乐的情绪加工中杏仁核等边缘系统的脑区起了重要作用. 但是这些脑区参与音乐加工的具体机制还不明确. 虽然 fMRI 技术能够直观、形象地观测被试在完成认知任务过程中大脑的活动情况, 与脑电等相比具有较高的空间分辨率^[36], 但其时间分辨率不高, 因此在实际应用中往往采用 ERP 与 fMRI 相结合的研究范式. ERP 的高时间分辨率和 fMRI 的高空间分辨率可以形成很好的互补. 也有人将 EEG 与 fMRI 结合起来用, 以弥补 EEG 空间分辨率低的局限性. 如 Flores-Gutiérrez^[37] 等就用该方法发现,

愉快的音乐主要激活左侧脑区, 不愉快的音乐主要激活右侧脑区。

3.2 正电子发射断层扫描 (positron emission tomography, PET) 的研究

Blood^[38] 等用 PET 来测被试对音乐进行情感反应时的脑血流量的变化, 结果发现愉快的音乐和不愉快的音乐所激活的脑区与体验愉悦感和非愉悦感时所激活的脑区相似, 但是与进行音乐认知加工时所激活的脑区不同。Blood^[39] 在随后的研究中进一步发现, 音乐激活的相关脑区与奖赏系统和情绪加工的脑区有关, 包括腹侧纹状体、中脑、杏仁核、眶额皮层和腹内侧前额叶等脑区。这些加工愉快音乐的脑区在其他的欣快诱导刺激下(如食物、性和药物滥用等)也会被激活。该发现把音乐与生物生存相关的刺激联系起来, 揭示出它们共同的大脑神经通路, 并且这些通路与愉悦感及奖赏有关。

Brown^[40] 等在 PET 研究中, 让没有受过音乐训练的被试被动地听不熟悉的器乐作品, 结果观察到边缘系统, 包括胼胝体下回、前扣带回、前额叶、retrosplenial 皮层、海马、前脑岛和伏核等区域的激活。该研究也观察到初级听觉区和次级听觉区以及颞极区域的激活, 说明了人们对音乐的反应是情绪与认知的综合反应。

PET 技术通过给被试体内注入标记上短寿命放射性核素的某种物质, 可以在被试进行认知加工时观察该物质在代谢中的聚集, 以探查被试的新陈代谢水平和脑中血流量的变化, 从而达到辨别被激活脑区的目的。PET 同样具有较高的空间分辨率, 但是 PET 需要对人体内注入放射性核素, 这使它的应用具有一定的局限性, 因此它在音乐情绪的研究中应用的也较少。目前仅有的几项 PET 研究主要发现聆听音乐能够激活与基本音乐认知和音乐情绪加工相关的脑区, 在这一点上与前面提到的 fMRI 的相关研究结果是一致的。

4 对脑损伤病人的相关研究

通过对脑损伤病人的研究来对某些脑区的功能进行定位是认知神经科学一种比较常用的研究方法。目前, 音乐认知的脑损伤研究主要集中于对失乐症(Amusia)病人的研究。

Peretz^[41] 等对一位脑损伤的女病人进行研究, 发现对音乐的情绪判断与音乐认知分属不同脑区。Gosselin^[42] 等对切除一侧颞叶前正中部分的癫痫病人进行音乐情绪识别研究, 发现这些病人能够很好地识别高兴和悲伤的音乐, 但不能识别恐惧音乐。这说明颞中区(包括旁海马回、杏仁核、海马和颞极)在识别音乐背景中的危险信息上起着重要作用。为了进一步弄清每一部分脑区在音乐情绪加工中的作用, Gosselin 等进行了一系列的研究。他们对颞中区内不同脑区损伤的病人进行和谐音乐(包括高兴的和悲伤的音乐)和不和谐音乐(对与和谐音乐相同乐段的不和谐排列)的识别实验, 发现只有一侧旁海马皮层(parahippocampal cortex)损伤的病人在判断不和谐音乐时出现异常, 而且这与感知障碍无关, 因为病人能够正确地指出音乐片段中故意设置的错误^[43]。后来, 他们又对一位双侧杏仁核损伤但并未扩展到其他颞叶脑区的病人进行研究, 发现在基于听觉的音乐认知能力上并无异常, 而且能够正常地识别高兴的音乐, 但是不能很好地识别恐惧和悲伤的音乐。可见与音乐认知相比, 杏仁核在对音乐的情绪加工方面更为必要^[44]。

脑损伤病人对音乐的特殊反应说明了某些脑区对音乐的情绪加工是有特异性的, 特别是对于失乐症病人的研究, 为揭示音乐加工的脑机制提供了独特的视角。但是, 可供研究的失乐症病人非常稀少, 这使得脑损伤病人的研究受到一定的限制。

5 本实验室的相关工作

音乐具有极强的文化特性, 不同的文化背景下的音乐具有不同的形式与特点。虽然对于音乐的欣赏具有一定的普遍性, 但是特定的人群还是会受其所在的文化背景下特定音乐范式的影响。一项有关音乐诱发癫痫的研究表明, 病人的癫痫只能由其本国的音乐诱发, 其他国家的音乐则不能够诱发^[45]。相类似的对于正常人的研究还表明, 与其他的音乐表达形式相比, 与本国文化背景相一致的表达形式可以诱发出更大的 P3 波幅^[27]。目前对于音乐认知, 尤其是音乐的情绪认知研究的大部分工作都集中于西方音乐, 研究的人群也大都为西方人群。这种研究现状局限了整个音乐认知与音乐情绪研究成果的可推广性。

本实验室初期的工作立足于跨文化的角度, 探索音乐认知的普遍性及文化特异性^[46, 47]. 目前的脑成像数据表明, 德国女性音乐专业被试在聆听熟悉的本国音乐相比较于聆听陌生的中国音乐时会有腹内侧眶额皮层等等与共情相关的主要脑区以及运动区的激活, 在聆听熟悉音乐时激活运动区实际上很符合有关音乐的共情性情绪反应的运动模仿理论.

通过对于音乐的情绪反应的行为学研究, 本实验室初期的研究结果支持音乐情绪判断的跨文化一致性. 对于选自加拿大蒙特利尔 Peretz 实验室音乐情绪研究所采用的西方经典音乐小段, 中国普通未受过正规音乐训练的正常年轻人的音乐情绪分类结果与 Peretz 实验室的分类结果非常接近(81%). 本实验室进一步的研究发现, 被试对于音乐的情绪识别与反应在聆听音乐开始的几秒钟内就已经发生. 事件相关电位的结果则提示, 由被试聆听音乐开始, 短短的 500 ms 内的几个主要的 ERP 成分如 P1, N2 以及 P3 等都与音乐的情绪认知及音乐所诱发的情绪反应密切相关. 其中音乐开始后 100 ms 左右的 P1 成分主要参与了情绪认知的自动加工, 而 N2 及 P3 则参与了情绪认知的控制性加工.

6 总结与展望

音乐与情绪有着千丝万缕的联系, 这为情绪诱发的脑机制研究提供了新的视角. 脑电与脑成像技术的发展, 为音乐情绪的脑机制研究提供了先进的研究方法与技术. 以认知神经科学为代表的心理学研究取向为音乐情绪的研究提供了一个重要的切入点. 所有这些使得音乐与情绪的脑机制研究得到了快速的发展.

不同的音乐中所蕴涵作者的思想感情不同, 而听者在聆听时又会给予不同的解释. 人的情绪又依赖于对音乐各个成分的认识: 节奏平稳、速度轻快、旋律和谐以及开朗明亮的和弦可以诱发正性情绪, 反之则会诱发负性情绪. 音乐的认知过程是认知加工与情绪加工的综合过程. 大脑有的脑区参与音乐认知加工而不参与音乐情绪加工, 但可以通过神经突触的连接将信息传递至边缘系统产生情绪反应. 与此相反, 有些脑区则既参与音乐认知加工又参与音乐情绪加工, 如前额皮层是整合音乐认知信息和情绪信息的重要区域, 有着较强的协调与控制

复杂行为的能力. 但是各个脑区参与音乐加工的具体机制还不明确. 大脑中的某些脑区会对某些特定情绪产生特异性反应, 这种特异性关系还需进一步研究. 在音乐对情绪的诱发过程中存在着文化差异, 但并非绝对的. 这种差异性具体在音乐认知的哪方面起作用, 还有待研究.

在研究方法上, 越来越多的研究者倾向于采用 ERP 与 fMRI 相结合的研究范式. 因为 ERP 有较高的时间分辨率, 而 fMRI 在功能定位上则有相当高的精度, 二者可以有很好地互补. 总体来看, 目前音乐情绪的脑机制研究相对较少, 关于音乐诱发情绪的具体动态过程等问题还有待进一步研究.

参 考 文 献

- 徐绍贵. 对音乐起源的探讨和研究. 科技信息, 2007 (23): 192
- 蒲亨建. “循声说”——音乐起源新论. 华南师范大学学报: 社会科学版, 2007, (5): 70—76
- 汪 健. 浅谈音乐的起源问题. 吉林师范学院学报, 1995, (6): 1—2
- Panksepp J. The emotional sources of “Chills” induced by music. *Music Perception*, 1995, 13(2): 171—207
- Koelsch S. Investigating emotion with music: Neuroscientific approaches. *Annals New York Academy of Sciences*, 2005, 1060: 412—418
- Kemper KJ, Danhauer SC. Music as therapy. *Southern Medical Journal*, 2005, 98(3): 282—288
- Särkämö T, Tervaniemi M, Laitinen S et al. Music listening enhances cognitive recovery and mood after middle cerebral artery stroke. *Brain*, 2008, 131: 866—876
- 李咏梅. 感受式音乐治疗对不同文化程度卒中后抑郁患者康复的干预效应. *中国临床康复*, 2002, 19: 2952—2953
- 郭声敏, 刘晓敏, 廖 彬, 等. 音乐放松疗法对卒中失眠患者的影响. *中国临床康复*, 2004, 8(28): 6
- North AC, Tarrant M, Hargreaves DJ. The effects of music on helping behavior: A field study. *Environment and Behavior*, 2004, 36(2): 266—275
- Jensen KL. The effects of selected classical music on self-disclosure. *Journal of Music Therapy*, 2001, 38(1): 2—27
- Lerdahl F, Jackendoff R. *A Generative Theory of Tonal Music*. Cambridge: MIT Press, 1983
- Lerdahl F. The sounds of poetry viewed as music. *Annals New York Academy of Sciences*, 2001, 930: 337—354
- Meyer LB. *Emotion and Meaning in Music*. Chicago: Chicago Press, 1956
- Costa M, Ricci Bitti PE, Bonfiglioli L. Psychological connotations of harmonic musical intervals. *Psychology of Music*, 2000,

- 28(1): 4—22
- 16 Hevner K. The affective value of pitch and tempo in music. *American Journal of Psychology*, 1937, 49: 621—630
- 17 Maher TF. A rigorous test of the proposition that musical intervals have different psychological effects. *The American Journal of Psychology*, 1980, 93(2): 309—327
- 18 Maher TF, Berlyne DE. Verbal and exploratory responses to melodic musical intervals. *Psychology of Music*, 1982, 10(1): 11—27
- 19 Kastner MP, Crowder RG. Perception of the major/minor distinction; IV. Emotional connotations in young children. *Music Perception*, 1990, 8(2): 189—202
- 20 王磊, 杜利民, 王劲林. 基于AdaBoost的音乐情绪分类. *电子与信息学报*, 2007, 29(9): 2067—2072
- 21 Tsang CD, Trainor LJ, Santesso DL, et al. Frontal EEG responses as a function of affective musical features. *Annals New York Academy of Sciences*, 2001, 930: 439—442
- 22 Altenmüller E, Schürmann K, Lim VK, et al. Hits to the left, flops to the right: Different emotions during listening to music are reflected in cortical lateralisation patterns. *Neuropsychologia*, 2002, 40(13): 2242—2256
- 23 Sammler D, Grigutsch M, Fritz T, et al. Music and emotion: Electrophysiological correlates of the processing of pleasant and unpleasant music. *Psychophysiology*, 2007, 44(2): 293—304
- 24 赖永秀, 高婷婷, 吴丹, 等. 音乐情绪感知的脑电研究. *电子科技大学学报*, 2008, 37(2): 301—304
- 25 Schiavetto A, Cortese F, Alain C. Global and local processing of musical sequences: An event-related brain potential study. *Neuroreport*, 1999, 10(12): 2467—2472
- 26 Leino S, Brattico E, Tervaniemi M, et al. Representation of harmony rules in the human brain: Further evidence from event-related potentials. *Brain Research*, 2007, 1142: 169—177
- 27 Arikan MK, Devrim M, Oran O, et al. Music effects on event-related potentials of humans on the basis of cultural environment. *Neuroscience Letters*, 1999, 268(1): 21—24
- 28 Griffiths TD. Functional imaging of pitch analysis. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 2003, 999(1): 40—49
- 29 Griffiths TD. The neural processing of complex sounds. *Annals New York Academy of Sciences*, 2001, 930: 133—142
- 30 Mitterschiffthaler MT, Fu CH, Dalton JA, et al. A functional MRI study of happy and sad affective states induced by classical music. *Human Brain Mapping*, 2007, 28(11): 1150—1162
- 31 Koelsch S, Fritz T, D'Y VC, et al. Investigating emotion with music: An fMRI study. *Human Brain Mapping*, 2006, 27(3): 239—250
- 32 项爱斋, 张云亭, 张权, 等. 音乐刺激激活人脑情感系统的fMRI研究. *中国临床心理学杂志*, 2006, 14(2): 215—217
- 33 Eldar E, Ganor O, Admon R, et al. Feeling the real world: Limbic response to music depends on related content. *Cereb Cortex*, 2007, 17(12): 2828—2840
- 34 李恩中, 翁旭初, 韩瓔, 等. 语言与音乐刺激下脑功能活动的MR功能成像研究. *中华放射学杂志*, 1999, 33(5): 311—315
- 35 崔恒武, 章士正, 狄海波, 等. 音乐家与非音乐家的磁共振脑功能成像研究. *浙江大学学报: 医学版*, 2005, 34(4): 326—330
- 36 薛贵, 董奇, 张红川. 事件相关功能磁共振成像研究及其在认知神经科学研究中的运用. *中国神经科学杂志*, 2003, 19(1): 45—49
- 37 Flores-Gutiérrez EO, Díaz JL, Barrios FA, et al. Metabolic and electric brain patterns during pleasant and unpleasant emotions induced by music masterpieces. *International Journal of Psychophysiology*, 2007, 65(1): 69—84
- 38 Blood AJ, Zatorre RJ, Bermudez P, et al. Emotional responses to pleasant and unpleasant music correlate with activity in paralimbic brain regions. *Nature Neuroscience*, 1999, 2(4): 382—387
- 39 Blood AJ, Zatorre RJ. Intensely pleasurable responses to music correlate with activity in brain regions implicated in reward and emotion. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2001, 98(20): 11818—11823
- 40 Brown S, Martinez MJ, Parsons LM. Passive music listening spontaneously engages limbic and paralimbic systems. *Neuroreport*, 2004, 15(13): 2033—2037
- 41 Peretz I, Gagnon L, Bouchard B. Music and emotion: Perceptual determinants, immediacy, and isolation after brain damage. *Cognition*, 1998, 68(2): 111—141
- 42 Gosselin N, Peretz I, Noulhiane M, et al. Impaired recognition of scary music following unilateral temporal lobe excision. *Brain*, 2005, 128(3): 628—640
- 43 Gosselin N, Samson S, Adolphs R, et al. Emotional responses to unpleasant music correlates with damage to the parahippocampal cortex. *Brain*, 2006, 129(10): 2585—2592
- 44 Gosselin N, Peretz I, Johnsen E, et al. Amygdala damage impairs emotion recognition from music. *Neuropsychologia*, 2007, 45(2): 236—244
- 45 Genç BO, Genç E, Tastekin G, et al. Musicogenic epilepsy with ictal single photon emission computed tomography (SPECT): Could these cases contribute to our knowledge of music processing? *European Journal of Neurology*, 2001, 8(2): 191—194
- 46 Nan Y, Knosche TR, Friederici AD. The perception of musical phrase structure: A cross-cultural ERP study. *Brain Research*, 2006, 1094(1): 179—191
- 47 Nan Y, Knosche TR, Zysset S, et al. Cross-cultural music phrase processing: An fMRI study. *Human Brain Mapping*, 2008, 29(3): 312—328