

Musical Emotion and Its Neural Basis

Lu Wang, Xu Chen*, Jianling Ma

Department of Psychology, Southwest University, Chongqing

Email: wl2580@swu.edu.cn, *chenxu@swu.edu.cn

Received: Sep. 11th, 2014; revised: Sep. 24th, 2014; accepted: Oct. 13th, 2014

Copyright © 2014 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Musical emotion, refers to music-evoked emotion, and reflects the value of music. Different from daily emotional stimuli, music often induces individual experience of happiness. Functional neuroimaging studies show that musical emotion can modulate activity in virtually all limbic and paralimbic brain structures, hypothalamus, insula, anterior cingulate cortex, hippocampus and prefrontal cortex, especially orbitofrontal cortex, nucleus accumbens and amygdale. Moreover, varieties of neurotransmitters, including dopamine, are involved in the processing of musical emotion. Those regions and neurochemicals are highly overlapped with reward system, which may explain why music induces pleasure. Researches in future can focus on standardization of music materials, and effect factors such as personality, control of culture, and neural interactions between subcortical and cortical regions.

Keywords

Musical emotions, Accumbens Nucleus, Amygdala, Orbitofrontal Cortex, Dopamine

音乐情绪及其神经基础

王璐, 陈旭*, 马建苓

西南大学心理学部, 重庆

Email: wl2580@swu.edu.cn, *chenxu@swu.edu.cn

收稿日期: 2014年9月11日; 修回日期: 2014年9月24日; 录用日期: 2014年10月13日

摘要

音乐情绪是指音乐诱发的情绪, 是音乐价值的集中体现。与日常情绪刺激不同, 音乐往往诱发了个体的*通讯作者。

快乐体验。脑成像的研究表明音乐情绪调节了几乎所有的大脑边缘及旁边缘结构的活动，负责自主神经系统唤醒的下丘脑、脑岛和前扣带回皮层、形成记忆的海马区以及涉及复杂认知活动的前额叶皮层，尤其是眶额叶皮层、伏隔核和杏仁核。此外，包括多巴胺在内的多种神经递质也参与了音乐情绪的加工。这些脑区和神经化学物质与奖赏系统高度重合，为音乐诱发快乐体验提供了神经基础。未来的研究可在实验材料的标准化，影响因素如人格、文化的控制和神经网络交互作用等方面进一步探索。

关键词

音乐情绪，伏隔核，杏仁核，眶额叶，多巴胺

1. 引言

情绪一直是认知神经科学研究的热点问题。尽管大多数研究都集中在视觉刺激(面孔、身段表情、视觉场景等)如何诱发情绪，听觉情绪刺激也日渐受到关注。近几十年来，音乐诱发情绪的研究成为新的热点(Cross, 2012)。学者们采用了音乐情绪(musical emotion)的概念表示音乐诱发的情绪，以区别于一般的日常情绪(Juslin & Vastfjall, 2008)。目前，学术界趋于认同大多数人听音乐是因为音乐能够诱发或调节个体情绪(Gabrielsson & Lindström, 2010; Juslin & Vastfjall, 2008; Lundqvist, Carlsson, Hilmersson, & Juslin, 2009; Perlovsky, 2010)，但是，与传统情绪刺激(如表情)的功能不同，音乐没有显著的生存或繁衍价值(Salimpoor, Benovoy, Longo, Cooperstock, & Zatorre, 2009)，音乐情绪也缺少动因成分和目标关联，不能促进或阻碍个体达到某一目的(Juslin & Vastfjall, 2008)。基于此，本文聚焦于音乐为何能够诱发个体的情绪体验，即音乐情绪的神经基础，归纳总结已有发现，以期为音乐情绪的产生提供神经生物依据，同时为音乐在临床疾病与脑损伤的治疗提供理论基础。

2. 音乐情绪诱发快乐体验

Goldstein(1980)首次报告了由音乐情绪诱发的特殊生理现象——“颤栗”，表现为皮肤电反应增加，类似于鸡皮疙瘩或沿着脊柱传导的战栗感，通常是被音乐深深打动而产生的令人愉悦甚至陶醉的审美情绪反应，伴随着快乐的高峰体验。问卷调查研究也支持了音乐带来快乐体验的发现。Zentner, Grandjean 和 Scherer(2008)选取了 262 名在校大学生，要求他们就音乐情绪与日常情绪对 146 个情绪词的发生频率进行 4 点评分。结果发现，相比于日常情绪，音乐情绪中很少体验到罪恶感、羞愧、妒忌、厌恶、轻蔑、难堪、愤怒和恐惧等消极情绪。著名的瑞典音乐心理学家 Juslin 等人(2011)的大范围调查结果显示：85% 的听众出于放松的目的听音乐，80% 的听众出于娱乐的目的，快乐、平静、怀旧、爱、兴趣和渴望是最为常见的音乐情绪。跨文化研究也说明音乐带来的积极情绪体验具有世界范围的普遍性和一致性(Fritz et al., 2009)。从劳动号子到广告的背景再到音乐会上的钢琴曲，音乐带给人们的欢乐并不局限于特定的教育程序和社会文化背景(Overy & Molnar-Szakacs, 2009)。

不仅如此，Gabrielsson(2002)和 Kallinen(2006)的研究发现：即使是恐惧和悲伤的音乐仍然可以诱发积极的情绪体验。Konečni, Brown 和 Wanic(2008)比较了快乐、中性、悲伤的音乐和由自传体记忆诱发的情绪状态，发现悲伤音乐诱发的悲伤强度明显低于悲伤记忆诱发的悲伤，而快乐音乐诱发的快乐强度与记忆诱发的相当。音乐自身的情绪效价并不足以决定人们是否喜欢某首音乐，令人悲伤或悲喜交集的乐曲同样令人沉迷。对这一发现，不同的学者持有不同观点。部分学者立足于音乐不具有对个体目标或愿望的实际影响力，称体验到消极情绪的听者实际上是将音乐中表达的情绪与其自身感受到的情绪相混淆(Konečni, 2008)。Zentner 等人(2008)认为听音乐时，被试通常会进入一种忘我的境界，将现实世界的利

益和威胁都抛于脑后。Salimpoor 和 Zatorre(2013)也赞同这一观点,认为在音乐环境中产生的负性情绪是“安全”的,无论音乐本身表达的情绪是快乐还是悲伤,音乐诱发的情绪都可以是愉悦的。而 Huron(2011)通过大脑的快通路与慢通路机制来解释人们享受悲伤音乐的原因:音乐通过快通路诱发出了一种所谓的“假痛”,但是稍后大脑意识到现实环境中并不存在威胁,从而感到放松,因此产生的净效应就是快乐。尽管学者们的观点莫衷一是,但都认可了音乐情绪不仅依赖于对音乐自身的特征,如调式(tempo)、节奏(rhythm)的自下而上加工,也依赖于个体自身音乐偏好、音乐经验的自上而下加工。

3. 音乐情绪的脑机制

近几十年来,神经科学家开始关注音乐情绪(Koelsch, 2010)。脑电研究的主要发现集中于以下两点:一是发现音乐诱发的积极情绪在大脑左侧半球的优势(Davidson, 2004; Flores-Gutiérrez et al., 2007),二是在要求被试对音乐进行分类判断的任务中,不喜欢的音乐诱发了更大的晚期正向波(Late Positive Potential, LPP) (Istók, Brattico, Jacobsen, Ritter, & Tervaniemi, 2013),而晚期正向波被认为与情绪的强度正相关(Hajcak, MacNamara, & Olvet, 2010)。已报告的脑电研究寥寥可数,更多的发现主要采用了功能性磁共振成像(functional Magnetic Resonance Imaging, fMRI)和正电子发射断层扫描(Positron Emission Tomography, PET)技术。脑成像发现,音乐几乎调节了所有的大脑边缘及旁边缘结构(Koelsch, 2010),负责自主神经系统唤醒的下丘脑、脑岛和前扣带回皮层(Blum et al., 2010),形成记忆的海马区以及涉及复杂认知活动的前额叶皮层(Salimpoor & Zatorre, 2013),而研究的主要焦点在于眶额叶、伏隔核和杏仁核。

3.1. 眶额叶皮层(Orbitofrontal Cortex, OFC)

Blood 等人(1999)最早采用 PET 技术观察到眶额叶参与音乐情绪的加工。实验要求非音乐家被试听 6 段不熟悉的音乐,每段长 30 秒,6 段音乐的和谐程度递减,从非常和谐到完全不和谐。每段音乐结束后,要求被试对主观情绪体验进行评级。PET 结果显示:双侧眶额叶、内侧胼胝体下扣带区和双侧额叶对和谐音乐的活动增强,而不和谐音乐与右侧旁海马回及楔前叶的活动增强相关。比较 6 段音乐中最和谐的音乐与最不和谐的音乐发现,右侧旁海马回的活动显著增强,右侧眶额叶皮层和内侧胼胝体下扣带区的活动随不和谐程度的增加而降低。Menon 和 Levitin(2005)也采用了与此研究类似的设计,收集到 fMRI 的数据:被试在听和谐音乐时,双侧额下回、左侧眶额叶皮层、前扣带皮层、小脑蚓部和脑干的活动增强。有效性连接分析表明,以腹侧被盖区为中介调节的伏隔核与下丘脑、脑岛和眶额叶皮层的交互作用显著。同时,眶额叶也与其他边缘结构具有紧密的功能连接,在音乐诱发的积极体验中,眶额叶与伏隔核的功能性连接显著增强。Trost 等人(2012)在一项新近的研究中报告:只有在诱发低唤醒度正性情绪(如惊奇和温柔)时,观察到被试内侧眶额叶皮层的活动增强,而在高唤醒度正性情绪(如力量和快乐)时,在脑岛处观测到活动的增强。这一发现支持了正性情绪在高唤醒和低唤醒不同维度上的神经活动分离的假设(Zentner et al., 2008):音乐诱发的不同的积极情绪也许具有不同的神经基础(Bechara, Damasio, Tranel, & Damasio, 2005)。

3.2. 伏隔核(Accumbens Nucleus, Nacc)

关于音乐情绪中伏隔核活动的探索始于 Blood 和 Zatorre(2001)首次采用 PET 技术观测音乐家在“颤栗”反应时的脑机制研究。实验以被试自选最喜爱的古典音乐作为实验材料,以他人喜爱的音乐和两组在波幅上匹配的噪音和静音为对照。PET 测量结果表明主观报告的“颤栗”反应强度的增加与左腹内侧纹状体、左背内侧中脑及右侧丘脑活动的增强有关。这一研究说明腹侧纹状体(包括伏隔核)在加工主观体验强烈的愉悦情绪中具有重要作用。Mitterschiffthaler 等人(2007)采用 fMRI 的研究也支持了早期的发现:聆听西方古典音乐所产生的正性情绪反应伴随大脑两侧纹状体腹部和左侧纹状体背部、左侧扣带回以

及左侧旁海马回的激活，而负性情绪反应则与海马和杏仁核激活有关。

在近期的一项研究中，Salimpoor 等人(2011)同时采用了 fMRI 和 PET 技术探讨了听众在产生“颤栗”反应时的脑区活动。同 Blood(2001)的研究相同，被试自选愉悦音乐作为实验材料，中性的音乐为对照组材料，记录被试对每段音乐的情绪维度评级并报告体验到的“颤栗”次数，同步采集相关电生理数据。在肯定了 Blood(2001)研究结果的基础上，该研究进一步揭示了“颤栗”反应激活的脑区在时程上的分化。fMRI 扫描结果显示：在右侧的背侧纹状体(尾核)和腹侧纹状体(伏隔核)发现随时序变化的 BOLD (blood-oxygen-level-dependent)信号分别与预期(“颤栗”反应前)和高峰体验(“颤栗”反应时)相关，在“颤栗”的高峰体验阶段，伏隔核的活动显著增强，而在“颤栗”反应前的预期阶段，尾核的活动显著增强。随后，Salimpoor 等人(2013)又设计了拍卖情境实验，更为巧妙且直接地证实了音乐情绪的奖赏功能与伏隔核活动的关联。实验以被试不熟悉的音乐片段为实验材料，要求被试根据喜爱程度对每段音乐出价，同时结合主观评级和电生理测量。研究结果发现：最高的出价与最高的愉悦度和唤醒度呈正相关。相比于最低出价的音乐，听出价高的音乐时，被试的伏隔核和腹内侧前额叶皮层的功能性连接随着奖赏价值的增加而增强。fMRI 数据显示纹状体的活动强度，尤其是伏隔核的活动能对出价高低做出最好的预测。被试享受音乐带来的愉悦的同时，伏隔核与上颞回、右侧额下回的功能性连接得到增强。

临床研究也证实音乐情绪诱发了伏隔核的活动。Hosseini 等人(2013)探究了音乐治疗在分娩阵痛和初次生产过程中的作用，数据分析显示：音乐降低了疼痛的感觉。而鉴于伏隔核涉及减少疼痛的感觉，这一效果很可能是通过调节伏隔核的活动达到的(Mavridis, 2013)。最近，Mantione 等人(2014)报告了一位 60 岁的病例，他在接受针对伏隔核的大脑深部刺激后，突然产生了对 Johnny Cash(一位著名的美国乡村音乐人)特殊的音乐偏好，说明对伏隔核刺激可以直接改变个体的音乐偏好，而不需要外在的强化，证实了伏隔核涉及音乐评估的假设(Mavridis, 2014)。

3.3. 杏仁核(Amygdala)

早期的研究发现杏仁核参与加工不愉悦的音乐，且在音乐诱发的悲伤情绪中受到激活(Mitterschiffthaler et al., 2007)，而在听快乐的音乐时，活动强度降低(Blood & Zatorre, 2001)。然而，也有研究显示，杏仁核涉及积极的情绪体验。Fritz 和 Koelsch(2005)首次使用和谐与不和谐音乐作为材料，发现随着情绪效价的升高，在杏仁核中央部分(外侧和基底节区域)显示出 BOLD 信号的减弱，而在杏仁核的上部(包括无名质)显示 BOLD 信号的增强。更重要的是，发现了杏仁核的中央部分与颞极、海马、旁海马回有功能上的连接，杏仁核上部与腹侧纹状体及眶额叶皮层存在功能上的连接。这暗示了杏仁核不同部分可能涉及调节不同的情绪网络。Ball 等人(2007)进一步探索了人类杏仁核的子区域在加工听觉刺激时的不同功能。这一研究使用原创的钢琴片段作为愉快刺激，同一音乐的乱序版本作为负性刺激，采用 fMRI 技术记录两种刺激中杏仁核的信号变化。结果显示：在两种音乐中，均在杏仁核基底外侧区观察到 BOLD 信号的增强，在杏仁核的上部区域观察到信号的减弱。

在 Koelsch 等人(2013)的最新的研究中，愉悦的音乐材料采用了 Fritz(2009)研究中验证的能够诱发愉悦情绪的音乐片段，恐怖音乐选自游戏或电影的原声带。每段音乐材料控制在 30 秒钟。fMRI 结果显示：相比于恐怖音乐，被试在听愉悦音乐时，双边杏仁核浅表区和听觉皮层的活动增强，反之，相较于愉悦音乐，被试在听恐怖音乐时，初级躯体感觉皮层的活动增强。将每段音乐的 fMRI 数据分成前后两个 15 秒的片段，对比观察到杏仁核浅表区、听觉皮层和初级躯体感觉皮层的时间动态激活：杏仁核浅表区的平均激活说明在愉悦和恐惧条件下均出现增强信号，但涉及的子区域和时程不同。在愉快音乐播放 10 秒钟后双侧浅表区的信号达到最强，而听恐怖的音乐时，只在右侧浅表区观测到增强的信号，听愉悦的音乐时，观测到在双侧听觉皮层和左侧浅表区的信号显著增强。右侧初级躯体感觉皮层在两种音乐初始时

均出现下降信号，随后在恐怖的音乐中诱发了强烈的增强信号。这一结果与 Koelsch(2006)的研究相左。因而 Koelsch 进一步采用了“小世界”网络分析了音乐愉悦体验下的大脑功能联接，发现杏仁核浅表区对具有社会情感意义的信号特别敏感，并激发趋近性行为。相比于音乐诱发的恐惧，音乐诱发的快乐在浅表区诱发了更强的 BOLD 信号。浅表区与伏隔核的功能性连接以及浅表区和中背侧丘脑的功能联接也在听愉悦音乐时更强。这暗示了伏隔核、杏仁核浅表区和中背侧丘脑组成的脑网络能够调节对具有社会情感意义刺激的趋近和回避行为。杏仁核中央内侧区是杏仁核内声音信息和其他感觉信息输入的主要结构，涉及对正性和负性刺激的评价和学习，以及对强化物产生期待以引导对刺激的目标导向行为。

4. 音乐情绪的神经化学机制

4.1. 多巴胺

对于音乐情绪的神经化学机制，目前研究较多的是多巴胺。前文中报告的腹侧纹状体(包括伏隔核)在音乐情绪中的激活的研究(Blood & Zatorre, 2001; Brown, Martinez, & Parsons, 2004; Menon & Levitin, 2005)也反映了多巴胺能的变化：伏隔核部分地受到多巴胺能脑干神经元(主要分布于腹侧被盖区和黑质中)的支配，包括从外侧下丘脑经过前脑内侧束到中脑边缘多巴胺路径。Salimpoor 等人(2009)的研究显示强烈愉悦的音乐情绪(“颤栗”反应)会导致伏隔核内多巴胺合成量的增加。而在 Brown(2004), Koelsch(2005) 和 Menon(2005)这三项研究中，被试并没有报告“颤栗”反应，PET 结果仍然显示多巴胺路径的激活，这说明包括伏隔核在内的多巴胺能路径一旦知觉到音乐中的愉悦，即使尚未达到“颤栗”反应的强烈程度，也能够被激活(Koelsch, 2010)。来自临床的证据表明，采用音乐在帕金森症充当多巴胺替代物，引起了患者的“被动歌唱”行为，暗示音乐促进多巴胺的释放(Bonvin, Horvath, Christe, Landis, & Burkhard, 2007)。一项关于多巴胺基因多态性对中脑边缘奖赏激活影响的研究也发现：音乐对快感缺乏症患者的作用类似于一种强有效的间接 D2 受体激动剂，并且可能对快感缺乏症患者及药物滥用的相关行为有重要的治疗效果(Blum et al., 2010)。

Salimpoor 等人(2011)进一步探讨了多巴胺释放的时程与空间变化。实验采用被试自选的能够诱发“颤栗”反应的音乐，对照组为中性情绪的音乐。在 PET 扫描过程中，向被试体内注入 11 C 雷氯必利(raclopride, 多巴胺拮抗剂)(一种放射性的标记配体)与内源性多巴胺在纹状体内竞争与 D2 受体的结合。PET 扫描的结果显示：快乐的主观体验增强与 11 C 雷氯必利在纹状体内结合的降低，即多巴胺的释放增多有关，尤其是在右侧尾状核和右侧的伏隔核。为了获得更多关于时间进程的信息，研究还使用 fMRI 技术采集了同批被试和实验材料的数据。结果发现：多巴胺的释放可以被分为两个部分：期待阶段(在主观报告“颤栗”反应前的 15 秒内)和“颤栗”反应阶段。在期待阶段，尾状核多巴胺释放量增加，而在“颤栗”反应阶段，纹状体多巴胺释放量增加。多巴胺与受体的结合程度与被试的主观评级相匹配，伏隔核的多巴胺释放量与“颤栗”反应的强度正相关，尾状核的多巴胺释放量与“颤栗”反应次数正相关。这一结果说明多巴胺在不同部位不同阶段的释放涉及不同的加工阶段。

4.2. 其它神经递质

听音乐时诱发的强烈愉悦情绪也对其他神经递质产生了影响，包括血清素、内啡肽、内源性类鸦片内活性肽和催乳素。血清素通常与预期结果的满足感相关，一项对快乐或不快乐音乐中神经化学反应的研究报告，当被试暴露于他们喜爱的音乐中时，体内的血清素水平显著升高(Evers & Suhr, 2000)。上个世纪八十年代末，Goldstein(1980)曾观察人体在发生颤栗时神经系统化学物的变化，发现音乐引起颤栗时，会使人体释放出内啡肽，产生类似于吗啡和鸦片剂一样的止痛效果和欣快感；反之由音乐产生的“颤栗”

反应会受到阿片类拮抗剂纳洛酮的阻碍。内源性类鸦片内活性肽能产生鸦片剂一样的止痛和快感，临床研究中听音乐降低了患者因手术后疼痛而对鸦片类药物的需求，说明音乐可能刺激了大脑内源性类鸦片内活性肽的释放(Cepeda, Carr, Lau, & Alvarez, 2006)。Mori 和 Iwanaga(2013)认为在聆听悲伤音乐时诱发的快乐体验可能与个体内催乳素的分泌有关。催乳素是一种可以引发平静和放松感觉的肽类激素。当个体在经历真正的痛苦时，催乳素的释放有助于缓解痛苦，带来平静。由悲伤音乐诱发的“假痛”促使催乳素的释放，在没有真正痛苦体验的环境中，催乳素的增多带来了个体愉悦的体验(Huron, 2011)。

对于音乐情绪的神经化学研究目前并不充分，今后的研究应当明确音乐情绪的诱发过程是否能够解析成不同的神经化学机制，分别对应于不同的诱发阶段，如期待阶段和“颤栗”反应阶段。

5. 音乐情绪——奖赏

如前文所述，音乐诱发的快乐体验是大多数人听音乐的主要原因，那么，音乐为什么能诱发快乐呢？随着音乐情绪神经基础研究的不断深入，越来越多的研究者发现音乐情绪的神经机制与奖赏系统存在高度重合(Koelsch, 2014)，而奖赏系统的激活能够给个体带来快乐体验，如获得食物与性行为(Berridge & Kringelbach, 2008)。奖赏系统是一种古老的大脑机制，包括一系列与不同神经生物机制相联系的复杂心理活动。近期学者主要将其划分为“渴望”(wanting)、“喜爱”(liking)和“学习”(learning)三个子成分，每一个成分又包括意识和无意识两个水平(Berridge & Kringelbach, 2008)。奖赏被认为是自然选择的结果，通过激发个体从事对生存具有重大意义的行为来改善物种的存活几率(Berridge & Kringelbach, 2013)。然而，随着生物体在进化过程中构造上的不断复杂化，其他因素也开始变得对生存至关重要，在人类社会中，奖赏分为两类：初级奖赏(如食物、性)和次级奖赏，又称“美学奖赏”(如艺术、音乐和诗歌)(Sescousse, Caldú, Segura, & Dreher, 2013)。

5.1. 眶额叶皮层与奖赏

早期脑成像研究发现中部眶额叶皮层对奖赏的效价进行编码(Berridge & Kringelbach, 2008)，并与包括杏仁核、腹侧纹状体和海马在内的边缘系统存在紧密联系(Kringelbach & Berridge, 2009)。已报告的音乐诱发的快乐激活了眶额叶皮层的研究，暗示眶额叶皮层或许是有意识“喜爱”体验的重要神经基础(Kringelbach, 2005)。尽管有证据证明个体在跨文化音乐中体验到的快乐依赖于一定的音乐特征(Fritz et al., 2009)，但是音乐带来的快乐情绪并不是普遍同一的，它在不同文化间，同一文化的不同个体间具有显著差异。有研究者提出，每个个体都有自己的所谓“音乐图式”，表征个体在生命中听过所有音乐信息的存储系统，包括与先前经历有关的声音和音乐结构的语法规则(Salimpoor & Zatorre, 2013)，帮助个体更好地分类和理解声音信息(Peretz & Coltheart, 2003)。而眶额叶皮层在美学奖赏加工过程中的作用，体现了个人经验、信息整合与更高层次的价值评估机制的特殊作用(Zatorre & Salimpoor, 2013)。

5.2. 伏隔核与奖赏

伏隔核是人类大脑中最为重要的快乐中心，主宰着整个奖赏系统(Berridge & Kringelbach, 2011; Mavridis, 2014)。伏隔核对奖赏和动机敏感，产生并激励获得奖赏的行为(Koelsch, 2014)。在性行为、吸食毒品、吃巧克力和在脱水状态下喝水时都能够观测到伏隔核的活动增强(Koelsch, 2010)。此外，它还被认为参与了形成预期和奖赏误差的评估，即计算实际结果与预期期间的误差(O'Doherty, 2004; Pessiglione, Seymour, Flandin, Dolan, & Frith, 2006)。先前有人提出伏隔核的活动与主观快乐体验相关，但是更多关于伏隔核功能的信息尚有待确定(Koelsch, 2010)。伏隔核的活动变化是音乐情绪激活中脑边缘奖赏系统的最直接证据(Zatorre & Salimpoor, 2013)。在熟悉音乐中，伏隔核内的血流动力学活动与不断增强的预期体验相关，并在代表着高峰体验的“颤栗”反应出现时达到顶峰。相关研究报告伏隔核与涉及加工、处理和检

测情绪的大脑皮层下边缘系统(包括杏仁核与海马)密切联系,同时它也与涉及控制自主神经系统的下丘脑、脑岛和前扣带回密切相关(Haber & Knutson, 2009)。最后,伏隔核还与参与高级情绪加工皮层(包括眶额叶和腹内侧额叶)的信息整合(Chib, Rangel, Shimojo, & O'Doherty, 2009)。这些区域涉及分配和维持对刺激的奖赏价值,也许在评价我们认为愉悦的美学刺激的重要性中起到关键作用。

5.3. 杏仁核与奖赏

杏仁核是边缘和旁边神经回路的中心结构。动物研究发现杏仁核的损伤严重影响了老鼠在完成奖赏价值判断任务中的表现(Baxter & Murray, 2002)。Everitt 等人(2003)也报告了杏仁核中央核损伤的老鼠难以表现出趋近行为。近期发表的一项元分析研究指出,杏仁核同样涉及奖赏与厌恶行为的加工(Sescousse et al., 2013)。迄今的研究暗示杏仁核的基底外侧区参与积极和消极刺激的评估,杏仁核中央区域涉及对刺激产生行为上的、自动的和内分泌反应(Koelsch & Skouras, 2013);杏仁核浅表区和内侧核,对具有社会意义的信息敏感,并且调节对此类信息的趋近-回避行为(Bzdok, Laird, Zilles, Fox, & Eickhoff, 2013; Koelsch, 2014)。这也与音乐情绪研究中杏仁核不同区域的功能分离相一致。

5.4. 多巴胺与奖赏

多巴胺是中脑边缘奖赏系统中最为重要和广为关注的神经递质,被誉为大脑中的“奖赏中心”,在性行为与获得食物的活动中,均能观察到大脑中的多巴胺释放量增加(Berridge & Kringelbach, 2008)。多巴胺与引导音乐奖赏的预测和期待线索有关,同时参与对“颤栗”的编码和体验,当预期与实际结果一致时,多巴胺释放,产生愉悦体验,对预期加工的准确性予以强化(Salimpoor & Zatorre, 2013; Zatorre & Salimpoor, 2013)。研究者推测期待阶段对应奖赏的“渴望”,“颤栗”反应对应奖赏消耗即“喜爱”。但是新的观点认为多巴胺并不是引起奖赏和享乐体验的直接原因,而只是预测动机和注意成分,内源性类鸦片内活性肽(opioid)才是诱发个体奖赏与快乐体验真正热点(Berridge & Kringelbach, 2008)。Peciña 和 Smith(2010)也认为内源性类鸦片内活性肽(opioid)对“渴望”和“喜爱”阶段都至关重要。然而由于相关研究的缺乏,这一点在尚未在音乐情绪的诱发中完全证实。

弗洛伊德将快乐与奖赏等同,认为两者或许具有相同的脑机制,奖赏的来源即获得快乐或逃避痛苦。近期有学者提出音乐中的快乐源于皮层上回路与皮层下奖赏系统的相互作用,前者是个体对声音模式产生预测和期待,后者负责奖赏和评价(Zatorre & Salimpoor, 2013)。Kringelbach 和 Berridge(2009)甚至认为皮层下结构参与无意识的奖赏或内隐的“喜欢”加工,而皮层上结构参与奖赏主观体验或有意识的“喜欢”加工。这一课题的讨论将对我们理解音乐情绪的神经基础非常重要(Koelsch, 2014),同时也增进我们对一级奖赏与二级奖赏相互关系的探讨。

6. 小结与展望

本文中呈现的研究表明音乐情绪的诱发基于大脑中感觉、情绪与认知区域间的功能连接,包括皮层下人类与其它动物共有的奖赏网络,如伏隔核、杏仁核和多巴胺能系统,以及进化末端具有复杂认知功能的大脑皮层,如眶额叶。音乐情绪激活的脑区与奖赏系统高度一致,这也解释了音乐能够诱发个体快乐体验的原因。但是由于大脑奖赏机制本身和音乐情绪的神经基础都很模糊,笔者认为未来还可在以下方面展开进一步研究:

首先,平衡音乐材料的选择方法带来的差异。Blood 和 Zatorre(2001)和 Salimpoor 等人(2011)的实验采用被试自选的高愉悦音乐,这种做法保证了音乐能够有效地诱发快乐体验,但音乐材料间的差异较大,导致脑成像研究结果中引入由于音乐声学线索不一致而带来的无关变量;而另一部分研究采用了主试选择的音乐作为材料,虽然较严格地控制了实验条件的一致性,但是由于被试间音乐偏好的巨大差异,难

以保证被试都能体验到同样强烈程度的愉悦。这也是造成以往不同研究结果出现分歧的原因之一。目前,在音乐情绪与奖赏的研究中,研究者倾向于选用被试自选的音乐作为诱发材料,以保证奖赏的有效唤起。此外,我国也有研究者致力于中国本土化的音乐材料库的编制(李冬冬,程真波,戴瑞娜,汪芬,黄宇霞,2012),将为今后本土化的研究提供了更好的基础。

其次,重视音乐情绪研究中的个体差异,将人格、经验等影响因素纳入研究中来。音乐的“美学奖赏”与初级奖赏的巨大差异之一在于:前者对不同个体不具有同等价值。已有上百项研究关注音乐情绪,但其中涉及个体差异者寥寥。个体对音乐偏好及快乐情绪的差异性使得研究者很难对某种音乐稳定地诱发所有个体特定的生理心理反应下定论,也说明在使用音乐刺激时应考虑到自上而下加工途径的重要性,例如,已有研究发现:在大五人格量表中神经质(Barrett et al., 2010)和开放性(Nusbaum & Silvia, 2010)得分较高的个体能够体验到更为强烈的音乐情绪。人格因素、社会文化影响和个体需求及其间复杂的交互作用,应当在测量音乐情绪时纳入考虑的范围(Salimpoor & Zatorre, 2013),从而为揭示普遍意义上音乐情绪的神经基础提供更为可靠的依据。

再次,深入研究“预期”在乐情绪及美学奖赏中的作用。前文的研究发现,在“颤栗”反应前的预期阶段与“颤栗”反应的高峰体验阶段有明显不同的大脑活动模式(Salimpoor et al., 2011)。当预期与实际结果相符时,伏隔核活动增强,多巴胺释放量增加,激活奖赏系统。这说明对音乐的预期引导着高峰体验的发生,反之,高峰体验也强化了个体对音乐的预期。预期的产生依赖于大脑高级皮层,包括听觉皮层的信息存储和额叶对过去未来的时间认知(Salimpoor & Zatorre, 2013)。预期是否是音乐情绪中皮层上与皮层下联系的纽带?促进人类对听觉信息的准确预期是否才是音乐情绪的进化意义?这一议题的深入探讨对本领域研究将具有重大意义。

最后,注重皮层上与皮层下的神经网络之间的连接。已有研究多从大脑区域入手,重点观测某区域在音乐愉悦情绪体验中的活动情况,因而难以得到全面的脑区间功能性连接数据,而皮层上回路与皮层下的复杂交互作用或许才是“美学奖赏”的真正来源(Salimpoor & Zatorre, 2013)。Koelsch 和 Skouras(2013)首次采用了数据驱动,“小世界”网络模型分析 fMRI 数据,预示着今后的脑成像研究将采用更为复杂的算法,更大限度地利用数据构建音乐情绪中的神经网络,进一步揭开人类“美学奖赏”的神秘面纱。

参考文献 (References)

- 李冬冬,程真波,戴瑞娜,汪芬,黄宇霞(2012). 情绪音乐库的初步编制与评定. *中国心理卫生杂志*, 7期, 552-556.
- Ball, T., Rahm, B., Eickhoff, S. B., Schulze-Bonhage, A., Speck, O., & Mutschler, I. (2007). Response properties of human amygdala subregions: evidence based on functional MRI combined with probabilistic anatomical maps. *PLoS ONE*, 2, e307.
- Barrett, F. S., Grimm, K. J., Robins, R. W., Wildschut, T., Sedikides, C., & Janata, P. (2010). Music-evoked nostalgia: Affect, memory, and personality. *Emotion*, 10, 390.
- Baxter, M. G., & Murray, E. A. (2002). The amygdala and reward. *Nature Reviews Neuroscience*, 3, 563-573.
- Bechara, A., Damasio, H., Tranel, D., & Damasio, A. R. (2005). The Iowa Gambling Task and the somatic marker hypothesis: some questions and answers. *Trends in Cognitive Sciences*, 9, 159-162.
- Berridge, K. C., & Kringelbach, M. L. (2008). Affective neuroscience of pleasure: Reward in humans and animals. *Psychopharmacology*, 199, 457-480.
- Berridge, K. C., & Kringelbach, M. L. (2011). Building a neuroscience of pleasure and well-being. *Psychology of Well-Being*, 1, 1-26.
- Berridge, K. C., & Kringelbach, M. L. (2013). Neuroscience of affect: brain mechanisms of pleasure and displeasure. *Current Opinion in Neurobiology*, 23, 294-303.
- Blood, A. J., & Zatorre, R. J. (2001). Intensely pleasurable responses to music correlate with activity in brain regions implicated in reward and emotion. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98, 11818-11823.
- Blood, A. J., Zatorre, R. J., Bermudez, P., & Evans, A. C. (1999). Emotional responses to pleasant and unpleasant music

- correlate with activity in paralimbic brain regions. *Nature Neuroscience*, 2, 382-387.
- Blum, K., Chen, T. J., Chen, A. L., Madigan, M., Downs, B. W., Waite, R. L., & Giordano, J. (2010). Do dopaminergic gene polymorphisms affect mesolimbic reward activation of music listening response? Therapeutic impact on Reward Deficiency Syndrome (RDS). *Medical Hypotheses*, 74, 513-520.
- Bonvin, C., Horvath, J., Christe, B., Landis, T., & Burkhard, P. R. (2007). Compulsive singing: Another aspect of punding in Parkinson's disease. *Annals of Neurology*, 62, 525-528.
- Brown, S., Martinez, M. J., & Parsons, L. M. (2004). Passive music listening spontaneously engages limbic and paralimbic systems. *Neuroreport*, 15, 2033-2037.
- Bzdok, D., Laird, A. R., Zilles, K., Fox, P. T., & Eickhoff, S. B. (2013). An investigation of the structural, connectional and functional subspecialization in the human amygdala. *Human Brain Mapping*, 34, 3247-3266.
- Cepeda, M. S., Carr, D. B., Lau, J., & Alvarez, H. (2006). Music for pain relief. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2, Art. No. CD004843.
- Chib, V. S., Rangel, A., Shimojo, S., & O'Doherty, J. P. (2009). Evidence for a common representation of decision values for dissimilar goods in human ventromedial prefrontal cortex. *The Journal of Neuroscience*, 29, 12315-12320.
- Cross, I. (2012). Cognitive science and the cultural nature of music. *Topics in Cognitive Science*, 4, 668-677.
- Davidson, R. J. (2004). Well-being and affective style: Neural substrates and biobehavioural correlates. *Philosophical Transactions-Royal Society of London Series B Biological Sciences*, 359, 1395-1412.
- Everitt, B. J., Cardinal, R. N., Parkinson, J. A., & Robbins, T. W. (2003). Appetitive behavior. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 985, 233-250.
- Evers, S., & Suhr, B. (2000). Changes of the neurotransmitter serotonin but not of hormones during short time music perception. *European Archives of Psychiatry and Clinical Neuroscience*, 250, 144-147.
- Flores-Gutiérrez, E. O., Díaz, J.-L., Barrios, F. A., Favila-Humara, R., Guevara, M. Á., del Río-Portilla, Y., & Corsi-Cabrera, M. (2007). Metabolic and electric brain patterns during pleasant and unpleasant emotions induced by music masterpieces. *International Journal of Psychophysiology*, 65, 69-84.
- Fritz, T., & Koelsch, S. (2005). Initial response to pleasant and unpleasant music: An fMRI study. *Proceedings of the Poster Presented at the 11th Annual Meeting of the Organization for Human Brain Mapping (HBM)*, Toronto, 13-16 June 2005.
- Fritz, T., Jentschke, S., Gosselin, N., Sammler, D., Peretz, I., Turner, R., & Koelsch, S. (2009). Universal recognition of three basic emotions in music. *Current Biology*, 19, 573-576.
- Gabrielsson, A. (2002). Emotion perceived and emotion felt: Same or different? *Musicae Scientiae*, 10, 191-213.
- Gabrielsson, A., & Lindström, E. (2010). The role of structure in the musical expression of emotions. In P. N. Juslin (Ed.), *Handbook of music and emotion: Theory, research, applications* (pp. 367-400). New York: Oxford University Press.
- Goldstein, A. (1980). Thrills in response to music and other stimuli. *Physiological Psychology*, 8, 126-129.
- Haber, S. N., & Knutson, B. (2009). The reward circuit: Linking primate anatomy and human imaging. *Neuropsychopharmacology*, 35, 4-26.
- Hajcak, G., MacNamara, A., & Olvet, D. M. (2010). Event-related potentials, emotion, and emotion regulation: An integrative review. *Developmental Neuropsychology*, 35, 129-155.
- Hosseini, S., Bagheri, M., & Honarparvaran, N. (2013). Investigating the effect of music on labor pain and progress in the active stage of first labor. *European Review for Medical and Pharmacological Sciences*, 17, 1479-1487.
- Huron, D. (2011). Why is sad music pleasurable? A possible role for prolactin. *Musicae Scientiae*, 15, 146-158.
- Istók, E., Brattico, E., Jacobsen, T., Ritter, A., & Tervaniemi, M. (2013). "I love Rock 'n' Roll"—Music genre preference modulates brain responses to music. *Biological Psychology*, 92, 142-151.
- Juslin, P. N., & Västfjäll, D. (2008). Emotional responses to music: The need to consider underlying mechanisms. *Behavioral and Brain Sciences*, 31, 559-575.
- Juslin, P. N., Liljeström, S., Laukka, P., Västfjäll, D., & Lundqvist, L. O. (2011). Emotional reactions to music in a nationally representative sample of Swedish adults prevalence and causal influences. *Musicae Scientiae*, 15, 174-207.
- Kallinen, K., & Ravaja, N. (2006). Emotion perceived and emotion felt: Same and different. *Musicae Scientiae*, 10, 191-213.
- Koelsch, S. (2010). Towards a neural basis of music-evoked emotions. *Trends in Cognitive Sciences*, 14, 131-137.
- Koelsch, S. (2014). Brain correlates of music-evoked emotions. *Nature Reviews Neuroscience*, 15, 170-180.
- Koelsch, S., & Skouras, S. (2013). Functional centrality of amygdala, striatum and hypothalamus in a "Small-world" network underlying joy: An fMRI study with music. *Human Brain Mapping*, 35, 3485-3498.
- Koelsch, S., Fritz, T., Müller, K., & Friederici, A. D. (2005). Investigating emotion with music: An fMRI study. *Human Brain Mapping*, 27, 239-250.

- Koelsch, S., Fritz, T., Müller, K., & Friederici, A. D. (2006). Investigating emotion with music: An fMRI study. *Human Brain Mapping, 27*, 239-250.
- Koelsch, S., Skouras, S., Fritz, T., Herrera, P., Bonhage, C., Küssner, M., & Jacobs, A. (2013). The roles of superficial amygdala and auditory cortex in music-evoked fear and joy. *Journal Title NeuroImage, 81*, 49-60.
- Konečni, V. J. (2008). Does music induce emotion? A theoretical and methodological analysis. *Psychology of Aesthetics, Creativity and the Arts, 2*, 115-129.
- Konečni, V. J., Brown, A., & Wanic, R. A. (2008). Comparative effects of music and recalled life-events on emotional state. *Psychology of Music, 36*, 289-308.
- Kringelbach, M. L. (2005). The human orbitofrontal cortex: Linking reward to hedonic experience. *Nature Reviews Neuroscience, 6*, 691-702.
- Kringelbach, M. L., & Berridge, K. C. (2009). Towards a functional neuroanatomy of pleasure and happiness. *Trends in Cognitive Sciences, 13*, 479-487.
- Lundqvist, L. O., Carlsson, F., Hilmersson, P., & Juslin, P. N. (2009). Emotional responses to music: Experience, expression, and physiology. *Psychology of Music, 37*, 61-90.
- Mantione, M., Figuee, M., & Denys, D. (2014). A case of musical preference for Johnny Cash following deep brain stimulation of the nucleus accumbens. *Frontiers in Behavioral Neuroscience, 8*, 152.
- Mavridis, I. N. (2013). Stereotactic neurosurgical anatomy of the nucleus accumbens: Four-year outcomes. *Surgical and Radiologic Anatomy, 35*, 637-638.
- Mavridis, I. N. (2014). Music and the nucleus accumbens. *Surgical and Radiologic Anatomy, 1-5*.
- Menon, V., & Levitin, D. J. (2005). The rewards of music listening: Response and physiological connectivity of the mesolimbic system. *NeuroImage, 28*, 175-184.
- Mitterschiffthaler, M. T., Fu, C. H., Dalton, J. A., Andrew, C. M., & Williams, S. C. (2007). A functional MRI study of happy and sad affective states induced by classical music. *Human Brain Mapping, 28*, 1150-1162.
- Mori, K., & Iwanaga, M. (2013). Pleasure generated by sadness: Effect of sad lyrics on the emotions induced by happy music. *Psychology of Music, 42*, 643-652.
- Nusbaum, E. C., & Silvia, P. J. (2010). Shivers and timbres: Personality and the experience of chills from music. *Social Psychological and Personality Science*, Published Online.
- O'Doherty, J. P. (2004). Reward representations and reward-related learning in the human brain: Insights from neuroimaging. *Current Opinion in Neurobiology, 14*, 769-776.
- Overy, K., & Molnar-Szakacs, I. (2009). Being together in time: Musical experience and the mirror neuron system. *Music Perception, 26*, 489-504.
- Peciña, S., & Smith, K. S. (2010). Hedonic and motivational roles of opioids in food reward: Implications for overeating disorders. *Pharmacology Biochemistry and Behavior, 97*, 34-46.
- Peretz, I., & Coltheart, M. (2003). Modularity of music processing. *Nature Neuroscience, 6*, 688-691.
- Perlovsky, L. (2010). Musical emotions, cognitive science and art of music. *Physics of Life Reviews, 7*, 49-54.
- Pessiglione, M., Seymour, B., Flandin, G., Dolan, R. J., & Frith, C. D. (2006). Dopamine-dependent prediction errors underpin reward-seeking behaviour in humans. *Nature, 442*, 1042-1045.
- Salimpoor, V. N., & Zatorre, R. J. (2013). Neural interactions that give rise to musical pleasure. *Psychology of Aesthetics, Creativity and the Arts, 7*, 62-75.
- Salimpoor, V. N., Benovoy, M., Larcher, K., Dagher, A., & Zatorre, R. J. (2011). Anatomically distinct dopamine release during anticipation and experience of peak emotion to music. *Nature Neuroscience, 14*, 257-262.
- Salimpoor, V. N., Benovoy, M., Longo, G., Cooperstock, J. R., & Zatorre, R. J. (2009). The rewarding aspects of music listening are related to degree of emotional arousal. *PLoS ONE, 4*, e7487.
- Salimpoor, V. N., van den Bosch, I., Kovacevic, N., McIntosh, A. R., Dagher, A., & Zatorre, R. J. (2013). Interactions between the nucleus accumbens and auditory cortices predict music reward value. *Science, 340*, 216-219.
- Sescousse, G., Caldú, X., Segura, B., & Dreher, J.-C. (2013). Processing of primary and secondary rewards: A quantitative meta-analysis and review of human functional neuroimaging studies. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 37*, 681-696.
- Trost, W., Ethofer, T., Zentner, M., & Vuilleumier, P. (2012). Mapping aesthetic musical emotions in the brain. *Cerebral Cortex, 22*, 2769-2783.
- Zatorre, R. J., & Salimpoor, V. N. (2013). From perception to pleasure: Music and its neural substrates. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 110*, 10430-10437.
- Zentner, M., Grandjean, D., & Scherer, K. R. (2008). Emotions evoked by the sound of music: Characterization, classification, and measurement. *Emotion, 8*, 494-521.