

《心理科学进展》审稿意见与作者回应

题目：预期视角下音乐节拍结构的认知与神经机制

作者：孙丽君，杨玉芳

第一轮

审稿人意见：

该研究在预期编码理论框架下，通过行为实验和脑电技术，多层次地探查音乐节拍神经表征预期建立与更新的神经基础，以及节拍结构建构的层级性整合和远距离整合，对音乐认知的基本机制和神经模型的建立具有较为重要的意义。研究思想与方案均具有一定的新颖性和独特性。音乐节拍感知的神经机制在深化音乐认知加工的理解上具有重要意义，该科学问题本身具有较强的科学价值。研究者创新性地将预期编码理论与音乐节拍加工结合，研究目标明确，研究内容和整体方案基本合理。

意见 1：论文标题“预期视角下的音乐节拍结构认知与神经机制”建议改成“预期视角下音乐节拍结构的认知与神经机制”。

回应：感谢审稿人的意见。我们按照您的建议对标题进行了修改。

意见 2：论文核心关键词是“音乐节拍结构”，但开篇并没有对关键词做出较为清晰的解释，虽然文章的主要读者是有一定背景知识的群体，但还是应该先讲清楚相关概念。

回应：在问题提出的第一段，我们增加了对音乐节拍结构概念的定义，并对此进行了进一步说明和解释。以下为修改后内容：

“任何一部音乐作品都是由长短各异的声音和休止构成，这些声音事件总是按照一定的强弱规律交替组合，并以此为基础循环往复。节拍结构即指声音序列中强拍和弱拍循环往复的组织形式，它是音乐的时间框架(Vuust et al., 2014)。”（第 8 页）

意见 3：对音乐节拍加工的理解与情绪，社会认知，临床音乐疗法等一系列科学领域均相关，在问题提出部分可以阐述一下本研究可以延伸的方向，以丰富本文的可借鉴意义和价值。

回应：谢谢审稿人的意见。的确，音乐节拍是人们欣赏音乐美感、体验音乐情绪、参与社会性活动以及音乐治疗的支持和保障。因此，在问题提出部分的第二段，我们针对音乐节拍在情绪体验、社会活动以及音乐治疗等重要领域都发挥的重要作用进行了系统论述，进一步凸显音乐节拍研究的价值和对未来多个领域的借鉴意义。以下为修改内容：

“已有研究表明，在音乐聆听的过程中，与时间结构的同步是情绪诱发的机制之一 (Troost et al., 2017)。当音乐响起时，人们经常会自发地表现出随着音乐起舞的冲动，或者具有节奏性的拍手、跺脚等行为，在这种与音乐节拍同步的行为中，心跳、呼吸、皮肤电、神经递质等生理系统的指标发生改变，同时听者体验到正性的情绪和愉悦的心理状态 (Juslin, 2013; Troost & Vuilleumier, 2013)。另外，在某些特定的场合中，人们需要聚集在一起庆祝或哀悼社区中的重要事件，音乐常常作为一种社交互动的媒介，拉近彼此之间的关系。其原因在于音乐节拍激励群体中的社会性同步，处于相同音乐背景中的个体更容易感受同呼吸共命运的体验，建立更为深刻的社交关系。来自脑科学的证据进一步发现，大脑前庭系统和边缘系统产生更多连接，意味着音乐的节拍同步唤起了奖赏系统参与社交行为 (Troost et al., 2017)。基于

节拍同步的生理和心理机制，除了音乐对情绪调节的作用被广泛地挖掘并应用于心理疗愈，节拍在一些特定的音乐治疗方法中也发挥着重要的作用。旋律语调疗法是针对非流畅性失语症患者的一种有效且无创的治疗手段，其核心是借助与语言音韵相一致的旋律恢复言语产生能力。这种失语症治疗方法的关键在于节拍，因此，与音高相比，时间方面的训练可能更为重要(孙丽君等, 2017)。” (第 8-9 页)

新增参考文献如下：

- 孙丽君,周临舒,阎芮平, 蒋存梅.(2017).旋律语调疗法及其对失语症的临床应用. 心理科学, 40(01),231-237.
- Juslin, P. N. (2013). From everyday emotions to aesthetic emotions: Towards a unified theory of musical emotions. *Physics of Life Reviews*, 10(3), 235-266.
- Trost, W. J., Labbé C., & Grandjean, D. (2017). Rhythmic entrainment as a musical affect induction mechanism. *Neuropsychologia*, 96, 96-110.
- Trost, W., & Vuilleumier, P. (2013). ‘Rhythmic entrainment’ as a mechanism for emotion induction and contagion by music: A neurophysiological perspective. In T. Cochrane, B. Fantini & K. R. Scherer (Eds.), *The emotional power of music* (pp. 213-225). New York, NY: Oxford University Press.

意见 4: 由于研究实验方案用到了脑电分析的不同指标，如 ERP 成分、神经振荡、PAC 跨频耦合等，但未能阐述清楚采用这些分析技术需要解决和回答的研究问题是什么，为什么需要通过这些技术进行解决，以及为什么不同的研究要用不同的分析方法等。

回应: 谢谢。在此次修改稿中，我们对研究构想中所采用的每一种分析技术进行了更详细的说明，尤其是为何采用这些分析方法，以及该分析方法的优势进行补充解释。(第 13-15 页)

例如，在介绍 PAC 的研究方法时，进行了如下修改：“相-幅耦合(phase-amplitude coupling, PAC) 是探究神经振荡通过与外界节律同步化参与知觉加工的重要神经指标之一 (张雪等, 2016)，特指低频神经振荡的相位与高频成分的幅度之间存在特定的共变关系，反映了大脑神经活动在不同时间尺度上的组织 (Jensen & Colgin, 2007; Lakatos et al., 2005)。考虑到节拍结构的抽取和表征过程需要多尺度神经元振荡的协调和功能整合，因此，在目标音乐事件出现前的阶段，以 PAC 量化 delta-beta 的跨频率耦合，探讨听者在不同音乐背景中预期形成的大脑响应，揭示可预测性对节拍结构预期的影响。”

新增参考文献如下：

- 张雪, 袁佩君, 王莹, & 蒋毅. (2016). 知觉相关的神经振荡-外界节律同步化现象. *生物化学与生物物理进展*, 43(04), 308-315.
- Jensen O & Colgin L L. (2007). Cross-frequency coupling between neuronal oscillations. *Trends in Cognitive Sciences*, 11(7): 267-269.
- Lakatos, P., Shah, A. S., Knuth, K. H., Ulbert, I., Karmos, G., & Schroeder, C. E. (2005). An oscillatory hierarchy controlling neuronal excitability and stimulus processing in the auditory cortex. *Journal of Neurophysiology*, 94(3), 1904-1911.

意见 5: 文章中首次出现某个脑电成分时，需要写出全称。ERAN 成分在文中出现多次，但是在首次提出时，并未写出其全称。

回应: 谢谢审稿人的意见，我们仔细检查了文中所有脑电成分的写法，并在首次出现时标注了其全称。例如，ERAN 成分首次出现时，改成“会在大脑中诱发出早期右前负波(early right anterior negativity, ERAN)”，我们在括号中对该成分做出具体的标注和解释。(第 9 页)

意见 6: 作者的研究构想逻辑不是很清晰，仅能够看到是按照预期阶段和整合阶段来开展研究，但两者之间的关系感觉比较松散 (或许是没有表达的很清楚)，各子实验之间要探讨的

主要问题没有形成有机的整体，希望作者能够加强阐述，写清楚串起预期阶段和整合阶段加工过程的主线研究问题是什么。

回应：谢谢审稿人的意见。本研究将预期编码理论与音乐节拍加工结合，在预期误差框架下探究音乐结构信息是如何在时间维度上整合更新的。依据已有信息形成具有结构的内部表征是感知音乐节拍结构的基础和先决条件，一旦形成结构表征，听者即处于对即将发生的音乐事件进行预期的状态。音乐事件出现之后，听者判断是否符合预期，将其整合到已有的音乐背景中，并依据预期符合或违反的情况调整结构表征，从而更好地预期。因此，预期和整合是大脑对节拍结构加工的两个必不可少的重要阶段，二者缺一不可，并互相影响，反映了大脑对节拍结构自主加工的迭代过程。

围绕上述过程中所涉及的认知机制，本研究通过四个子研究深入探讨。模块一聚焦节拍结构的预期加工，分别探究预期产生和预期更新的动态过程；模块二聚焦节拍结构的整合加工，考察节拍结构在乐句和乐段两个水平上的整合加工。四个子实验共同回答大脑对节拍结构的加工过程及其潜在的神经机制。

在此次修改稿中，我们在研究构想部分做了更详细的表述（第 12 页）

意见 7：作者在写作过程中同一个主题分了很多个段落依次进行，但较难理解有些部分作者分段的依据是什么，以及段与段之间的逻辑联系是什么，影响了文章的可读性和可理解性。建议作者用一句总结性的话语在每一段开篇，或者结尾，清楚的说明这一段主要讲述一个什么观点或者希望告诉读者一项什么内容。

回应：谢谢，我们针对上述问题，为了帮助读者对逻辑连贯性的理解，对一些段落进行了合并。同时，也增加了总结性的句子，增强文章的可读性。（第 9-12 页）

意见 8：在研究三的实验构想中，假设 3 的描述“听者对节拍结构的整合均存在早期探测与晚期整合的双阶段加工特征(Sun et al., 2018)”过于笼统，需要具体指出这样的双阶段加工特征具体体现在哪些神经指标上。

回应：对节拍结构整合存在双阶段加工阶段的预期主要基于以往对和声结构的研究，具体体现在早期 ERAN 效应和晚期的 N5 或 P600 效应，分别反映了早期自动化的探测过程和晚期有意识的整合过程。我们已经将这个假设改为：

“与和声的整合加工过程类似，听者对不同层级水平节拍结构的整合均存在早期探测与晚期整合的双阶段加工特征，分别体现在早期 ERAN 和晚期 N5 或 P600 (Sun et al., 2018)。”
(第 15 页)

意见 9：注意语言文字的准确和精炼，例如“音乐中分割音符时值最常见的法则是二分法，即按照二分之一的关系分出下一个时值长度，每一个时值维度上的音符展现出相同的层级水平，不同的层级水平组合在一起，即交织成复杂的层级网络。”

回应：针对语言表达的准确性和简明性，我们对全文进行了多次精读和修改。对审稿人指出的问题，我们做了如下调整：

“音乐中分割音符时值最常见的法则是二分法，即按照二分之一的关系分裂出更短的时值长度，每一个时值的音符具有相同的层级水平，不同的层级水平的音符组合在一起，交织成复杂的层级网络”。（第 17 页）

第二轮

审稿人意见:

通过作者对审稿意见的细致回复和对正文的相应修改,修改稿中对构思逻辑和文字表述更为清晰准确。另外,仍有些细节需要再完善。

意见 1: 问题提出的第二段建议在段首补充一个对整个段落的概括句子,清晰地表明探究音乐节拍结构的重要性。

回应: 谢谢审稿人的意见。我们在该段落增加了首句“音乐的节拍结构不仅为作曲家的创作提供框架,还是人们欣赏音乐美感、体验音乐情绪、参与社会性活动以及音乐治疗的支持和保障”,明确段落的主旨。(第 9 页)

意见 2: 问题提出中,关于节拍结构如何在社会性活动和音乐治疗中发挥作用的表述不够精炼,这部分文字建议重新凝练,凸显其重要性但不拖沓。

回应: 在这个段落中,我们已经进行了适当删减和句子的合并,具体见第 9-10 页。

意见 3: 第 12 页,“最新的研究发现,小时间尺度的信息加工……(Wolff, et al., 2022)。”建议改为“最近的研究,……”

回应: 谢谢,我们已经做出相应修改。(第 12 页)

意见 4: 第 14 页,“因此,首先采用事件相关电位与时频分析等技术手段……,以事件相关的脑电响应探究……”,建议更具体一些,改为“通过事件相关的时频域脑电响应探究……”

回应: 谢谢,我们已经进行了相应修改。(第 15 页)

意见 5: 注意标点符号的使用。例如,“本项目通过音乐材料的设计,不仅能够控制心理学因素的干扰而且更具有生态效度。”,建议在“而且更具有生态效度”之前,加上逗号。

回应: 谢谢!我们已经按照意见做了相应修改。(第 18 页)

编委意见:

同意审稿专家的意见,建议发表!