

音乐感知的神经机制探析 ——基于音乐工作记忆的 ERP 实证研究

哈 箏

(山西大学 音乐学院,太原 030006)

摘 要: 文章研究的目的是探讨音乐工作记忆对音乐感知影响的神经机制,探索影响音乐感知的其他认知属性。研究采用延迟样本匹配实验范式(DMS),运用事件相关电位技术(ERP)对音乐感知过程中音乐工作记忆的加工机制进行实时脑电记录,同时对被试进行音乐感知能力和综合认知能力测试。文章研究旨在通过行为数据和脑电数据充分证实与分析音乐感知能力的差异性产生的原因与脑机制,对音乐教育、音乐创作、音乐欣赏等音乐相关领域的发展提供可行性的方案和可借鉴的基础。

关键词: 音乐感知能力;音乐工作记忆;综合认知能力;事件相关电位

中图分类号: N02 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674 - 7062(2021)04 - 0066 - 07

在音乐学习中,音乐感知和音乐表现并行加工。已有研究显示,4%的人群存在音乐感知能力的欠缺^[1],表现为对音乐旋律中某个间隔较小音高变化的感知。虽然在音乐中,音乐感知和音乐表现是两个独立加工的过程,但是音乐感知不足也会影响到音乐的表现能力,比如“五音不全”、记忆乐谱、和声色彩感知、二次创作……。事实上个体感知音乐时会不经意间用记忆的手段对音乐进行加工,将其保存在大脑中,从而影响到主体的生活、工作和学习。但是人类的认知系统对信息加工的时间和容量有限,故而音乐记忆的结果大多只限于对旋律的保留。音乐记忆是一种综合的记忆能力,涉及视觉记忆、听觉记忆、肌体记忆和逻辑记忆。其中逻辑记忆是个体通过对音乐进行深层认知加工后形成记忆的过程,这相对于其他三种记忆方式来说是更趋理性和持久的。由此可见,要想提高个体的音乐记忆能力,继而提高音乐感知能力,就应该重视工作记忆在音乐记忆中的作用,因为音乐工作记忆是音乐感知过程中不可避免要用到的认知加工方式。

1982年由美国普莱纽姆出版社(Plenum Press)出版的《音乐、思维和大脑——音乐神经心理学》一

书,标志音乐心理学的研究向脑科学的延伸,该书探讨了诸如音乐的旋律、节奏在大脑的控制区域及功能定位等问题^[2]。此后,从神经机制的角度,运用脑成像技术对音乐感知相关领域^[3]的研究也日渐增多,例如,对音乐本体(如单音、音程、和弦、音调、节奏等)结构的感知:音高的感知^[4]、节奏的感知^[5]、音调的感知^[6]、旋律的感知^[7]、音乐的感知培养与发展^[8]、对其他领域的影响及作用,以及音乐记忆^[9]、音乐训练^[10]、音乐治疗^[11]、音乐表演^[12]、音乐和情绪^[13]、音乐和语言^[14]等。

在上述音乐感知的研究中,如何有效地提高个体的工作记忆能力,是音乐类研究的热点。“工作记忆”是近年来在认知神经科学中使用频率较高的一个术语,其既包括对信息的储存,也涵盖了对信息的加工处理。自20世纪90年代以来,使用事件相关电位技术对工作记忆的脑加工机制的研究取得了不少成果。研究方向涉及最多的学科包括心理学、神经科学^[15],以及语言文学的相关研究^[16],同时也有针对交替传译训练模式下记忆容量的扩展作用的讨论^[17],可以改善特殊人群(语言障碍儿童)的言语和认知能力等。对于探究与音乐专业概念相关的

【收稿日期】 2021 - 01 - 04

【作者简介】 哈 箏(1985 -),女,河北保定人,博士,山西大学音乐学院讲师,研究方向为音乐心理学、钢琴表演。

研究^[18],也有相应探索。在音乐专业领域,国内已有一些研究者对工作记忆改善音乐训练的结果进行探讨,这些研究大多是将音乐作为实验背景,研究个体对非音乐任务的工作记忆的影响^[19]。其中刘沛等人的研究提道:具有绝对音高能力的人无需动用工作记忆机制^[20];朱丹的研究证明音乐体验为主导的审美教育,可以增进儿童的基础性音乐工作记忆及非音乐工作记忆的加工能力,长期的音乐训练尤其是乐器训练会影响个体的工作记忆能力等^[21]。但上述内容不是以音乐工作记忆为出发点进行的实证性研究。除此之外,另有几篇文献将音乐元素作为实验刺激材料,运用脑科学研究手段进行的实证研究,其研究目标多为对工作记忆模型的验证,或与视觉工作记忆、听觉工作记忆、言语工作记忆加工方式的对比等^[22]。在音乐领域中,用较完整的音乐片段作为刺激材料对音乐工作记忆进行研究,且从脑科学的实证角度对音乐感知能力与音乐记忆的验证进行探讨的研究甚少。

因此本研究聚焦于音乐心理学,运用事件相关电位探讨音乐工作记忆与音乐感知能力的相关,从而进一步挖掘影响音乐感知能力的音乐本体因素与综合认知能力因素,探索音乐学习的深层认知加工模式和脑神经机制。

一 研究方法

(一) 被试

整个实验包含三个步骤:实验前测、综合认知测验、事件相关电位实测。通过实验前测的成绩选出参与后两个步骤的被试。

被试:共49人,男生26名,女生23名,年龄范围18—26岁(21.50 ± 2.36)。

所有被试均视力或校正后视力正常,均右利手,无精神疾患史和神经系统疾患史。

(二) 实验设计与程序

1. 实验材料评定

根据李克特(Likert)五点量表设计评定量表,对音乐材料的熟悉度和逻辑度(音乐的基本要素和形式要素所体现程度)进行等级评定。

2. 实验前测

由戈登(Edwin Gordon)编制的音乐能力倾向测验(Musical Aptitude Profile,简称MAP)改编后的成人版对所选被试的音乐感知能力程度进行测评。根据此实验行为数据的结果组成事件相关电位实测中的对照组。

3. 综合认识实验

采用经典的认知评估工具,对被试进行12项基础认知评估,涵盖加工速度、工作记忆、执行控制等多个维度。

4. 事件相关电位(ERP)的实验

ERP脑电的采集通过德国Brain Products公司生产的电生理数据仪。采用64导电极,采样率为500Hz,电阻抗小于5k Ω ,记录电极Cz点和FPz为接地电极点。

工作记忆实验采用经典范式—DMS,总实验分为四个部分,每个部分有三十个实验任务,每一个实验任务有三个刺激,共360个刺激,实验总时长约65分钟。两种音乐性质(逻辑性/非逻辑)的刺激材料随机出现。任务呈现及反应采用美国PST公司(Psychology Software Tools, Inc)开发的E-Prime软件及配套的SRBox反应盒进行操作。

实验产生的行为数据通过IBM SPSS Statistics 19.0软件进行统计分析。对事件相关电位(ERP)的提取分析运用德国的Brain Vision Analyzer软件进行。

实验刺激时程分段采用合并头皮电极^[23]的分析方法。具体操作为:(一)分析时程为4000ms完整音乐刺激的平均波幅;(二)音乐工作记忆的编码阶段,由于实验设计在音乐刺激材料的2500ms处进行了改变,所以具体分析2500ms以后的区域;(三)音乐工作记忆的提取阶段,将4000ms的音乐刺激材料分为4个时间段进行分析:时间窗口1(1300ms—1500ms),时间窗口2(1500ms—2500ms),时间窗口3(2500ms—3500ms),时间窗口4(3500ms—4000ms)。

音乐工作记忆编码和提取的两个阶段,选取不同的脑区作为感兴趣区(Regions of interest,简称ROI)。编码阶段将脑区分为九个兴趣区:ROI1(F7\F5\F3\F1),ROI2(F2\F4\F6\F8),ROI3(T7\C5\C3\C1),ROI4(T8\C6\C4\C2),ROI5(P7\P5\P3\P1\P03\O1\P07),ROI6(P8\P6\P4\P2\P04\O2\PO8),ROI7(FZ),ROI8(CZ),ROI9(POZ)(见图1)。九个兴趣区的划分规则为:前后维度(Anterior-PostROIor)分为四个水平,左右维度(Left-Right)分为三个水平;九个大脑皮层兴趣区按编码排序依次为:左前额叶、右前额叶、左颞-左中央区、右颞-右中央区、左顶-左枕区、右顶-右枕区、前额区、中央区、枕区。

音乐工作记忆的提取阶段将脑区分为六个兴趣

区: ROI1(FZ/F1/F2) ,ROI2(CZ\C1/C2) ,ROI3(PZ\P1\P2) ,ROI4(OZ\O1\O2) ,ROI5(T7) ,ROI6(T8) (见图2)。六个兴趣区的划分规则为:前后维度(Anterior - PostROlor) 分为四个水平,左右维度(Left - Right) 分为两个水平;六个大脑皮层兴趣区按编码排序依次为:前额区、中央区、顶区、枕区、左颞叶区、右颞叶区。

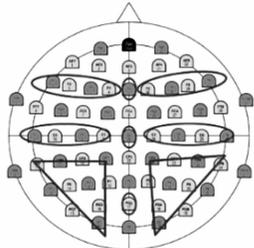


图1 音乐工作记忆编码阶段脑部电极分布及兴趣区划分平面图

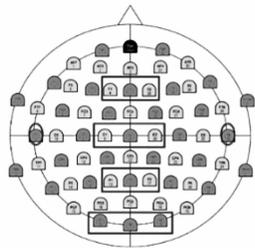


图2 音乐工作记忆提取阶段脑部电极分布及兴趣区划分平面图

使用 IBM SPSS Statistics 19.0 软件计算出每一个兴趣区在不同的时间窗口内的平均波幅,并依次作为因变量,将音乐感知能力水平、音乐刺激材料、时间分段、兴趣区作为自变量进行重复测量方差分析。最后将音乐感知能力、性别、综合认知能力等因素纳入分析,根据因素间相关与交互作用,进行回归分析。

二 结果与分析

(一) 音乐感知能力与音乐工作记忆的相关分析

音乐感知能力各分数与音乐工作记忆中逻辑音乐正确率、非逻辑音乐正确率、两种音乐正确率率差之间呈显著正相关, $r=0.581-0.716$, p 均 <0.05 。

(二) 音乐感知能力与综合认知能力的相关分析

音乐感知能力(旋律)得分与数字空间倒背 - 正确数呈显著正相关 $r=0.483$, $p < 0.05$; 音乐感知能力(节奏)得分与空间广度 - 正确数、反向空间广度 - 正确数、数字空间倒背 - 正确数呈显著正相关, $r=0.380-0.506$, $p < 0.05$,均呈正相关; 音乐感知能力(节奏)得分与 Stroop 颜色呈显著负相关 $r=-0.419$, $p < 0.05$ 。

(三) 音乐工作记忆与综合认知能力的相关结果分析

音乐工作记忆中逻辑音乐正确率与数字空间正背 - 正确数、数字空间倒背 - 正确数得分呈显著正相关, $r=0.418-0.381$, p 均 <0.05 ; 音乐工作记忆中两种音乐正确率率差与反向空间广度 - 正确数、数字空间正背 - 正确数得分呈显著正相关, $r=0.373-0.357$, p 均 <0.05 ; ERP 实验逻辑音乐反应

时与 Stroop 语义呈显著正相关, $r=0.385$, $p < 0.05$; ERP 非逻辑音乐反应时与符号检索 - 正确数呈显著负相关, $r=-0.379$, $p < 0.05$ 。

在控制了一般工作记忆对音乐工作记忆的影响(以数字空间倒背得分为协变量进行方差分析)后,比较两组被试的音乐工作记忆差异,结果表明音乐感知能力高组在各个方面的正确率均显著高于低组。

(四) 音乐工作记忆编码阶段的 ERP 分析结果

以音乐感知阶段的 ERP 平均波幅为因变量,分析音乐工作记忆编码阶段的第二条音乐刺激片段中不同音乐感知能力被试在音乐加工时的脑功能差异,结果表明:音乐感知能力高低组在加工逻辑与非逻辑音乐刺激材料中,ROI2 区域(右前额叶)两组的平均波幅差异具有显著性 [$F(1,15)=10.497$, ($p < 0.05$)](见图3)。对 ROI2 的交互作用进行简单效应分析(见图5)发现在音乐感知能力低组,ROI2 逻辑与非逻辑音乐刺激材料的平均波幅差异显著($p < 0.05$),在音乐感知能力高组,ROI2 逻辑与非逻辑音乐刺激材料的平均波幅差异不显著($p > 0.05$)(见图4,图5)。

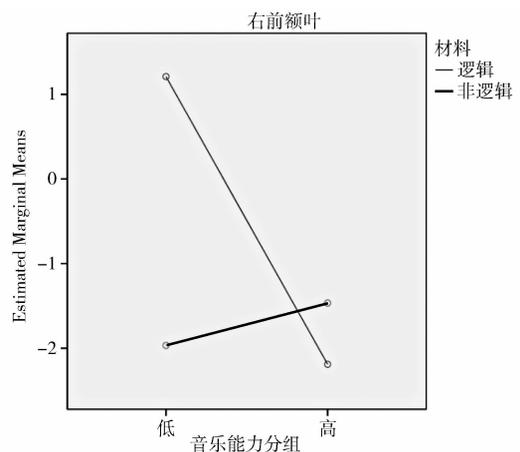


图3 不同音乐感知能力被试在编码阶段感知逻辑与非逻辑音乐时 ERP 平均波幅差异

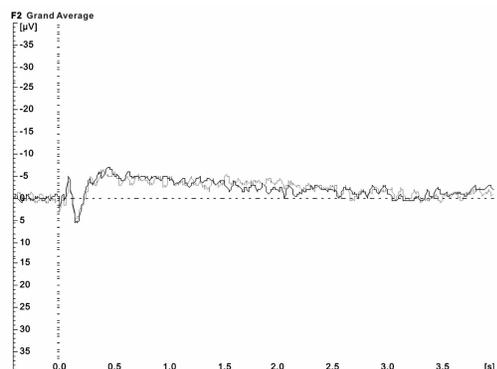


图4 音乐感知能力高分组与音乐刺激材料交互作用不显著的脑区波幅显示结果

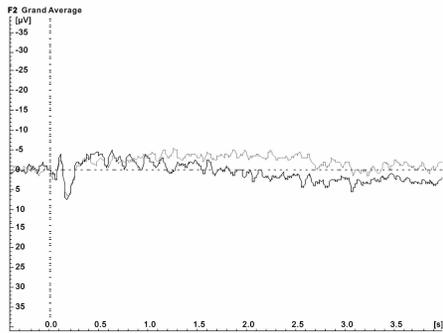


图5 音乐感知能力低分组与音乐刺激材料交互作用显著的脑区波幅显示结果

(五) 音乐工作记忆提取阶段 ERP 分析结果

以音乐工作记忆阶段的 ERP 平均波幅为因变量,音乐感知能力高低分组、逻辑与非逻辑音乐刺激材料及时间窗口为被试间与被试内因素,进行三因素重复测量方差分析。结果显示,音乐刺激材料主效应在 ROI6(右侧颞叶)上显著 [$F(1,15) = 9.766 (p < 0.05)$](见图6)。时间窗口的主效应在兴趣区 ROI2、ROI3、ROI4 上呈显著或边缘显著 [$F(3,45) = 3.893 - 8.212 (p < 0.05$ 或 $p = 0.06)$](见图7,图8);音乐刺激材料与时间窗口交互作用在 ROI6 上结果呈边缘显著 [$F(3,45) = 3.208, (p = 0.057)$](见图9,图10)。

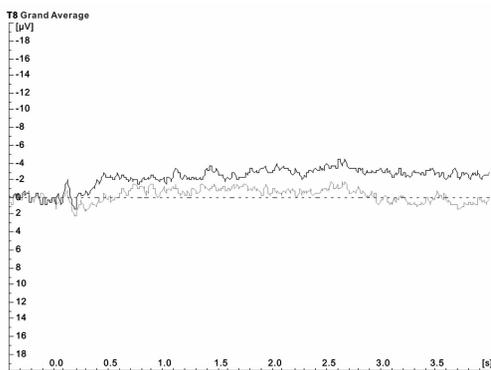
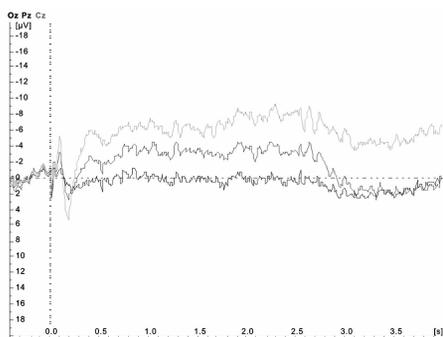


图6 提取阶段材料主效应在 ROI6 上的显示



注:从上至下依次为 ROI2、ROI3、ROI4

图7 提取阶段时间窗口的主效应在兴趣区 ROI2、ROI3、ROI4 上的结果

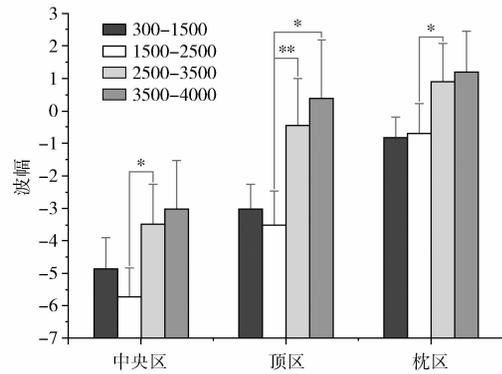


图8 中央区、顶区及枕区不同时间窗的两两比较

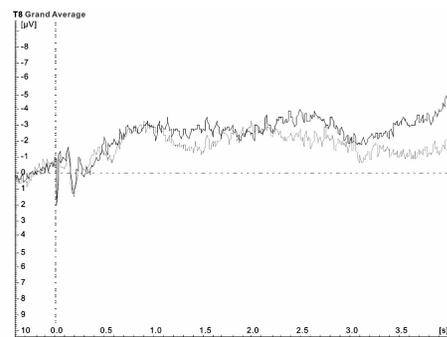


图9 提取阶段音乐刺激材料与时间窗口的交互作用在 ROI6 上的显示

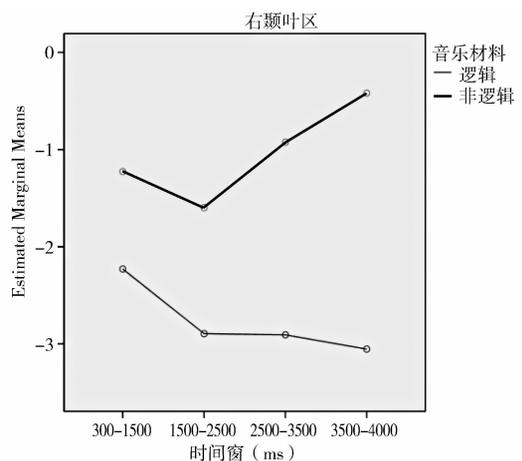


图10 不同音乐材料在右颞叶区不同时间窗内诱发反应的趋势图(图中纵轴为估测边际均值)

三 对实验结果的解释

(一) 音乐感知能力与音乐工作记忆之间相互影响

本研究结果表明,音乐感知能力与音乐工作记忆存在显著正相关,从音乐工作记忆编码阶段的第二段统计结果来看,被试在感知音乐的过程中均激活了大脑的右半球区域(右侧颞叶)和整个枕叶区域,而左半部区域激活不明显,此结果支持了音乐加工以大脑右半球为主的理论假设,可见系统的音乐

教育和训练可以更多地激活大脑右半部区域,从而促进整个大脑的功能开发,对音乐感知能力的培养确实具有重要的作用,对大脑右半球的可塑性也有一定的影响。

纵观全脑九个兴趣区,音乐感知能力高低分组与音乐刺激材料的交互作用在 ROI2(右前额叶)的音乐工作记忆编码阶段显著,体现在音乐感知能力高低组对逻辑音乐的加工程度。音乐工作记忆的大脑激活区域与综合认知的工作记忆的大脑激活区域有重叠之处,但音乐工作记忆编码阶段主要激活了大脑的右前额区、右中央区、右颞叶、枕叶、顶叶,这也验证了音乐工作记忆与一般工作记忆是有相互影响的,但有别于一般工作记忆,且更复杂。

大脑对音乐工作记忆的提取阶段逻辑的比非逻辑的音乐刺激材料更显著的激活了右颞叶区域,表明被试对于逻辑的音乐刺激材料内部结构的加工更复杂。

(二) 音乐工作记忆、音乐感知能力与综合认知能力之间的相互影响

从相关分析来看,音乐工作记忆与综合认知能力的一般言语工作记忆、视空间工作记忆均呈正相关,但是在控制了一般工作记忆能力后,对照组仍然在音乐工作记忆方面存在差异,且音乐工作记忆仍与音乐感知能力显著相关。这说明音乐工作记忆与一般言语和视空间工作记忆有关,却是一种特殊形式的工作记忆。在音乐加工过程激活了大脑的韦尼克区,我们推断这和音乐中的“逻辑”有关。此外,音乐感知能力与斯特鲁普颜色实验及其反应时间呈负相关,说明音乐感知能力强的人,其工作记忆与执行抑制能力越强。

通过与综合认知能力的相关分析,可以看出音乐旋律感知能力仅与言语工作记忆相关。而音乐节奏感知能力不但与言语工作记忆相关,还与视空间记忆、视空间工作记忆呈正相关,与斯特鲁普颜色实验及反应时间呈负相关,可见大脑对节奏的加工则更为复杂。

四 对未来的启迪和对实践的指导意义

本研究从认知神经科学的角度深入探索了音乐感知能力的差异,证实了音乐工作记忆一种特殊的工作记忆,与音乐感知能力、综合认知能力存在相关性,其中的差异很有可能是由于右脑在音乐加工中的功能差异所导致,也与音乐本体有很大的关联,具有“逻辑”的音乐更容易激活大脑被感知。以上结

论引发出的几点思考如下:

首先是对音乐学习中教与学的理论意义:1. 在现代社会中很多音乐学习过程都是以应试为目的,或者个体在音乐实践中几乎摒弃了理论性的框架,常可以见到“动手动口不动脑”“照谱宣科”“肌体训练”等现象。音乐学习的关注力需要从技巧性向“音乐性”转移,加强对音乐作品中所蕴含的规律、意义、文化、精神等内容的掌握,明白技术与“音乐”的孰轻孰重,无疑技术是为“音乐”服务的,但它不是学习音乐的最终目的。对于音乐表演授课的特殊性来说,需要教师更加重视音乐本体中各个要素的意义,在要求技艺的同时帮助学生透彻的了解作品的精髓,由表及里地感知音乐的美;2. 重视音乐中的“逻辑”结构,而不是盲目的追求“音响效果”的标新立异。强化对古典音乐的结构概念、和声手法和创作规律的掌握;3. 教师在授课的过程中要承认与保留学生音乐感知能力的差异性,一方面注意保护个体已具备的音乐能力,另一方面尝试运用本研究的结论促进其音乐综合能力的提升。总之,需要了解认知科学、肯定认知科学,运用科学的理念因材施教地指导学生进行音乐感知,弥补音乐感知的差异性,因为音乐最终的目的除了可以“美育”以外,还应当是可以促进大脑功能与结构的发展。

其次,从音乐工作记忆对音乐理论和实践的影响中可以看出,多数音乐理论是从音乐实践中总结出的高度概化的“逻辑”体现,具有“逻辑”的音乐才容易产生“美”的感知,苏联音乐学家阿萨菲耶夫说过“考虑群众的感受的规律性和为了揭示音乐的内容而把音乐加以合理的组织。”这里点明了考虑乐曲结构的两个基本美学原则:一要注意群众感受的规律,二要注意乐曲内容的表达,二者缺一不可^[24]。在表演中作为音乐欣赏者兼表演者的双重身份,不但需要了解音乐中的“逻辑”规律,深刻地体会到创作的初衷从而进行“二次创作”,而且要重视音乐审美认知,“这包括审美主体接受、储存、加工和理解各种音响信息的过程,这一过程直接作用和影响审美主体的音乐审美能力”^[25]及表演能力。音乐审美认知受到表演者音乐记忆能力的制约,而音乐工作记忆是对音乐记忆进行有效加工的手段,比如:对看似表面没有关系的音高与节奏进行联想;通过音乐学习建构出自身的音乐才能,以便找出音乐表象下隐含的内在规律与含义,从而达到提高音乐记忆的效果。从本研究的结果来看,加强音乐“逻辑”的训练,可以有效提高音乐工作记忆能力,

从而巩固音乐记忆促进音乐审美认知。这种方式可以促使音乐演奏能力有实质性的提高,创造出更有价值且具有生命力的作品,并且会适当缓解舞台焦虑等音乐心理问题。

最后从音乐与脑科学相互融合的视角,来阐述综合认知能力在音乐教育与学习等方面的几点实践意义。1. 社会中所有的音乐教育活动几乎都是以“智力开发”为口号与前提,从本研究中也已证明个体的音乐感知活动确实综合认知能力相互影响。如果对音乐感知能力的提高,采用强化与巩固个体对音乐内部“逻辑”的认知,并辅以对影响音乐感知能力的综合认知因素训练的手段,如:加强音乐听力训练,重视音乐结构中本体要素的认知与感知,与此同时对语言的朗读与背诵能力、数字存储能力、视觉记忆捕捉、抗干扰能力进行交叉训练的结合,可能比一味用提高音乐训练强度的方式来提高音乐感知能力有效也有趣的多;2. 从本研究中可以看出对于音乐学习主体来说音乐智能似乎要比其他智能凸显,但是在音乐深层次认知处理中,言语智能、空间智能和逻辑数学智能都发挥了作用。这也证明了美国心理发展学家霍华德·加德纳 1983 年提出的多元智能^①理论“八种智能是彼此区别的独立系统,每种智能都源于大脑中的一个独特部分,在相当程度上是彼此独立存在的,智能的这种独立性也意味着个体的八种智能程度不一,尽管彼此独立,但在解决问题上,却是相互作用的,常常需要几种智能在同一件事上共同发挥作用”;3. 除此之外,在音乐教育中需要重视节奏训练,它对于音乐感知能力和综合认知能力都有着显著的影响。相比旋律的变化多端,节奏不容易别出心裁,导致很多人认为旋律比节奏重要,其实不然。

综上,未来在音乐心理学领域中,对音乐感知能力的研究不但需要对人类大脑加工机制进行探索,除此之外还需要把关注力投入到音乐材料本体的研究中。其一,因为人类的大脑结构与功能非常复杂,人类所有的心理活动和行为都来自大脑的支配,音乐也不例外。了解聆听音乐过程中大脑的加工机制,可以更有效的对提高音乐感知能力提供可行性的方案。其二,由于音乐本体中的“逻辑”对音乐感知能力有影响,并且对大脑有明显的激活作用。加强音乐“逻辑”的训练,不但可以提高音乐感知能

力,还对大脑的可塑性有着深远的影响。最后音乐工作记忆的事件相关电位研究,既直观并且强有力的反映出音乐感知能力的脑加工机制,又肯定了基于音乐材料内部要素的影响力。通过找出音乐感知能力差异形成的原因,并进一步找到原因之间的相关,这一切在音乐心理学学科的视域中,都将为音乐学科未来的良性发展开拓出具有创新性的空间,并且对大脑可塑性进行深入的研究或许可以从“多元智能”等角度对人类其他活动的认知造成影响。

【参 考 文 献】

- [1] KALMUS H , FRY D B . On tune deafness (dysmelodia) : frequency, development, genetics and musical background. [J]. *Annals of human genetics*, 2012, 43(4) : 369 - 382.
- [2] 刘沛. 神经音乐学与 21 世纪的智力竞争 [J]. 黄钟(武汉音乐学院学报), 2001(1) : 24.
- [3] KOELSCH S , JENTSCHKE S , SAMMLER D , et al. Untangling syntactic and sensory processing: an erp study of music perception [J]. *Psychophysiology*, 2010, 44(3) : 476 - 490.
- [4] KRUMHANSL C . Cognitive foundations of musical pitch [M]. Oxford: Oxford University Press, 1990: 17 - 49.
- [5] VUUST P, DIETZ M J , WITEK M , et al. Now you hear it: a predictive coding model for understanding rhythmic incongruity [J]. *Annals of the new york academy of sciences*, 2018, 1423(1) : 19 - 29.
- [6] VUVAN D T , PODOLAK O M , SCHMUCKLER M A . Memory for musical tones: the impact of tonality and the creation of false memories [J]. *Frontiers in psychology*, 2014, 5(7) : 582.
- [7] MIRANDA R A , ULLMAN M T . Double dissociation between rules and memory in music: an event - related potential study. [J]. *Neuroimage*, 2007, 38(2) : 331 - 345.
- [8] NEUHAUS C , KNOESCHE T R , FRIEDERICI A D . Effects of musical expertise and boundary markers on phrase perception in music [J]. *Journal of cognitive neuroscience*, 2006, 18(3) : 472 - 493.
- [9] VUVAN D T , PODOLAK O M , SCHMUCKLER M A . Memory for musical tones: the impact of tonality and the creation of false memories [J]. *Frontiers in psychology*, 2014, 5(7) : 582.
- [10] JENTSCHKE S , KOELSCH S . Musical training modulates the development of syntax processing in children [J]. *Neuroimage*, 2009, 47(2) : 735 - 744.

① 多元智能指包括人的语言、数学逻辑、空间身体触觉、音乐、人际关系、内省能力等方面在内的综合素质、能力《现代汉语新词语词典》。

- [11] 王爽. 基于深度学习的音乐感知研究 [D]. 长春: 长春理工大学, 2018: 3 - 5.
- [12] SEPPANEN M, PESONEN A - K, TERVANIEMI M. Music training enhances the rapid plasticity of p3a/p3b event - related brain potentials for unattended and attended target sounds [J]. *Attention, perception, & psychophysics*, 2012, 74(3) : 600 - 612.
- [13] 赖永秀, 高婷婷, 吴丹, 等. 音乐情绪感知的脑电研究 [J]. *电子科技大学学报*, 2008(2) : 301 - 304.
- [14] MIREILLE B, FREDERIQUE F. An event - related potential (erp) study of musical expectancy: comparison of musicians with nonmusicians. [J]. *Journal of experimental psychology: human perception and performance*, 1995, 21(6) : 1278 - 1296.
- [15] MARIE M, DONNA M B, CARMELA P, et al. The relationship between sleep and working memory in children with neurological conditions. [J]. *Child neuropsychology : a journal on normal and abnormal development in childhood and adolescence*, 2018, 24(3) : 304 - 321.
- [16] SCHWAB S, GIROUD N, MEYER M, et al. Working memory and not acoustic sensitivity is related to stress processing ability in a foreign language: an erp study [J]. *Journal of neurolinguistics*, 2020, 55(439) : 100897.
- [17] 庞愿. 交替传译模式下工作记忆容量的扩展 [J]. *文教资料*, 2006(12) : 187 - 188.
- [18] LAURENCE B L, SUSAN E W, CAROL A M, et al. Speed of processing, working memory, and language impairment in children. [J]. *Journal of speech, language, and hearing research*, 2007, 50(2) : 408 - 428.
- [19] 李颖, 张东颖, 苏晴, 等. 基于脑网络的古典音乐和摇滚音乐对工作记忆的影响研究 [J]. *中国生物医学工程学报*, 2019, 38(2) : 129 - 137.
- [20] 陈芳, 刘沛, 李娅娜. 绝对音高现象的研究现状及展望 [J]. *星海音乐学院学报*, 2009(4) : 96 - 101.
- [21] 朱丹. 音乐影响儿童工作记忆的心理实验研究 [D]. 杭州: 杭州师范大学, 2011: 26 - 27.
- [22] COLLEY I D, KELLER P E, HALPERN A R. Working memory and auditory imagery predict sensorimotor synchronisation with expressively timed music [J]. *Quarterly journal of experimental psychology*, 2018, 71(8) : 1781 - 1796.
- [23] ELYSE M. GEORGE, DONNA COCH. Music training and working memory: an erp study [J]. *Neuropsychologia*, 2011, 49(5) : 1083 - 1094.
- [24] 梁茂春. 中国传统音乐结构对专业创作的启示 [J]. *音乐研究*, 1989(3) : 65 - 73.
- [25] 王思琦. “立美”的核心与本质: 也谈音乐审美的心理结构 [J]. *星海音乐学院学报*, 2011(1) : 119 - 123 + 142.

The Impact of Musical Working Memory on Musical Perception: Evidence from Behavior and Event - related Potential

HA Zheng

(*School of Music, Shanxi University, Taiyuan 030006, China*)

Abstract: The paper tries to discuss the neural mechanism behind the impact of musical working memory on musical perception and explore other cognitive attributes that influence musical perception. In this study, the experimental paradigm of delayed match - to - sample (DMS) was adopted and event - related potential (ERP) technology was used to keep a real - time and accurate electrographic record of the processing mechanism of musical working memory in the process of musical perception. The subjects were tested for musical perception, comprehensive cognitive abilities and event - related potentials of musical working memory. Besides, it proves that unobvious differences in music perception do not exist in the group majoring in music as shown by behavioral and EEG data. By virtue of further analyses of such differences, we have found causes for the differences and brain mechanisms providing feasible schemes and bases of reference for development of music fields such as music education, as well as creative work and appreciation in music.

Key words: musical perception; musical working memory; comprehensive cognitive abilities; event - related potential

(责任编辑 赵 雷)