

音乐训练对执行功能的影响*

陈杰^{1,2} 刘雷¹ 王蓉² 沈海洲²

(¹ 辽宁师范大学脑与认知神经科学研究中心, 大连 116029) (² 湖南师范大学教育科学学院, 长沙 410081)

摘要 尽管音乐训练影响许多认知加工,但这种广泛性影响背后的机制迄今仍不清楚。近年来,研究者认为音乐训练的迁移效应可能是通过执行功能起作用。本文将执行功能细分为抑制控制、工作记忆、认知灵活性三个核心成分,考察音乐训练对这三个成分的影响以及执行功能在音乐训练迁移效应中的中介作用。研究结果表明,音乐训练对执行功能不同成分的影响有不同特点。同时,前额叶结构与功能的变化在音乐训练影响执行功能的过程中发挥着重要作用。此外,关于执行功能在音乐训练迁移效应中的中介作用,目前研究还存在不一致的结果,未来研究应采用多种技术手段深入探讨这一问题。

关键词 音乐训练; 执行功能; 抑制控制; 工作记忆; 认知灵活性

分类号 B842

1 引言

自Nature杂志1993年报告莫扎特效应(Rauscher, Shaw, & Ky, 1993)以来,音乐对个体发展的影响受到了科学家和社会大众的极大关注(Dittinger et al., 2016; Hargreaves & Aksentijevic, 2011; 陈霞, 南云, 2010)。越来越多的家长选择让孩子在业余时间接受音乐教育(王杭, 江俊, 蒋存梅, 2015)。音乐训练,包括器乐训练和声乐训练,是一种多系统、长时程的学习过程(王孟元, 宁睿婧, 张雪岩, 2015),涉及广泛脑区以及一系列高级认知加工的参与(Herholz & Zatorre, 2012)。大量研究发现,音乐训练有助于音乐相关认知加工的提升(Kraus & Chandrasekaran, 2010)。例如,音乐家在音高变化的加工速度和准确性(Schellenberg & Moreno, 2010)、词调信息的提取(Lu & Greenwald, 2016)、语音分割(Francois, Chobert, Besson, & Schon, 2013)以及语音意识(Degé & Schwarzer, 2016; Flaughnacco et al., 2015)等方面都有更好的表现。同时,这种促进作用还能迁移到与音乐无关的其他认知活动中

(Schellenberg & Weiss, 2013; 王杭等, 2015)。例如,音乐家在注意(Wang, Ossher, & Reuter-Lorenz, 2015)、读写能力(Gordon, Fehd, & McCandliss, 2015)、工作记忆(Degé, Wehrum, Stark, & Schwarzer, 2011)、阅读能力(Tierney & Kraus, 2013)、智力(Degé, Kubicek, & Schwarzer, 2011)、创造力与发散思维能力(Gibson, Folley, & Park, 2009)等方面较非音乐家表现得更好。此外,音乐训练还对文化适应(Frankenberg et al., 2016)、学业成就(Cabanac, Perlovsky, Bonniot-Cabanac, & Cabanac, 2013)、攻击性行为(Roden, Zepf, Kreutz, Grube, & Bongard, 2016)、亲社会行为(Schellenberg, Corrigan, Dys, & Malti, 2015)等高级社会认知加工有着预测或调节作用。

尽管如此,音乐训练通过何种机制对个体的认知能力产生影响迄今仍不清楚。虽然有研究者提出音乐训练的迁移效应可能是通过改变信息的加工速度来起作用(Bugos & Mostafa, 2011),但近来更多的研究者认为音乐训练的迁移效应是通过执行功能起作用(Hannon & Trainor, 2007; Jäncke, 2009; Moreno & Farzan, 2015; Moreno, Lee, Janus, & Bialystok, 2015; Saarikivi, Putkinen, Tervaniemi, & Huotilainen, 2016; Sala & Gobet, 2017; Schellenberg & Peretz, 2008)。执行功能包括一系列复杂的认知功能,比如工作记忆、抑制控制、

收稿日期: 2017-03-08

* 湖南省自然科学基金青年项目(2017JJ3204), 湖南省哲学社会科学基金青年项目(15YBA263), 国家自然科学基金青年项目(31300866)。

通讯作者: 陈杰, E-mail: xlxchen@163.com

注意控制、认知灵活性以及推理、计划、问题解决等(Collins & Koechin, 2012), 涉及日常生活的方方面面, 与广泛的认知活动有着密切的关系(Diamond, 2013, 2016; Diamond & Ling, 2016)。尽管关于执行功能的内容, 不同研究者存在不同的看法, 但研究者普遍认为执行功能的核心成分包括抑制控制(inhibitory control)、工作记忆(working memory)、认知灵活性(cognitive flexibility)三个方面(Diamond, 2013; Miyake & Friedman, 2012)。

近年来研究者对音乐训练影响执行功能的认知神经机制进行了初步探索, 取得了一定的成果。但系统探究音乐训练与执行功能多个方面之间关系的研究还比较少, 少数研究存在不一致结论。因此, 本文首先从抑制控制、工作记忆、认知灵活性三个方面, 详细阐述音乐训练对执行功能各个子成分影响的特点; 然后进一步阐述音乐训练影响执行功能的神经机制; 最后在展望中探讨执行功能是否在音乐训练迁移效应中起中介作用, 试图揭示音乐训练迁移效应产生的内在机制。

2 音乐训练影响执行功能的行为表现

演奏乐器往往需要执行功能的参与(Zuk, Benjamin, Kenyon, & Gaab, 2014)。在音乐训练过程中, 个体需要注意来自各个感觉通道的信息, 在不同感觉刺激间进行实时切换, 将多感觉通道信息进行整合并保存在工作记忆中以便随时调用, 同时还需要抑制外部其他竞争性刺激的干扰(Moradzadeh, Blumenthal, & Wiseheart, 2015; Sato, Kirino, & Tanaka, 2015; Slevc, Davey, Buschkuhl, & Jaeggi, 2016)。此外, 音乐训练是一种综合性训练, 相比于其他一般认知训练(如工作记忆训练)虽然更加复杂, 但也更加有趣、更具有吸引力。在训练过程中, 个体全身心的投入使得其对自身认知负荷不太敏感, 同时在训练上的直接受益(如学会演奏一种乐器)会增强其学习的内在动机(Okada, 2016)。因此, 长期高强度音乐训练可能使得执行功能得到了全面而有效的提升(Seinfeld, Figueroa, Ortiz-Gil, & Sanchez-Vives, 2013; Slevc et al., 2016)。下文将从执行功能的三个核心成分: 抑制控制、工作记忆和认知灵活性论述音乐训练对执行功能的影响。

2.1 音乐训练对抑制控制的影响

抑制控制又称反应抑制(response inhibition),

是执行功能的核心成分之一。它通过对内在或外在干扰因素的抑制而对注意、情绪、行为等进行调控, 从而有效完成既定目标和任务(Banich & Depue, 2015; Diamond, 2013)。考察抑制控制的任任务通常包括: Stroop 任务、Go/No-go 范式、信号停止范式等(Hampshire & Sharp, 2015)。尽管不同类型的任务在具体操作中可能存在差异, 但研究表明注意和动作相关的不同类型抑制控制任务有着相似的神经基础(Bunge, Dudukovic, Thomason, Vaidya, & Gabrieli, 2002; Cohen, Berkman, & Lieberman, 2013; Diamond, 2013)。

Sabir, Blakely 和 Alfano (2005)采用色词 Stroop 范式考察音乐训练对抑制控制的影响, 研究发现相比无音乐经验被试, 接受过 10 年正式音乐训练的被试在色词不一致条件下能够更好的抑制词义对颜色判断的干扰(Sabir et al., 2005)。Travis, Harung 和 Lagrosen (2011)研究重复了这一结果, 专业音乐家比业余音乐爱好者表现出更小的 Stroop 干扰效应, 即表现出更好的抑制控制能力(Travis et al., 2011)。随后, 研究者进一步采用线索空间 Simon 任务和听觉 Stroop 任务仍然发现音乐家比非音乐家有更好的抑制控制能力(Bialystok & Depape, 2009)。这说明音乐训练不仅增强了听觉加工的抑制控制能力, 还对非言语的空间任务的抑制控制具有促进作用。此外, Moradzadeh (2014)采用 Flanker 范式也得出了与上述一致的结论。以上研究, 从语义干扰、听觉干扰以及空间位置干扰等方面, 通过音乐家与非音乐家的对比研究揭示了长期的音乐训练对抑制控制表现出促进作用。那么短期的音乐训练是否也能提升个体的抑制控制能力?

Moreno 等人(2011)采用纵向的追踪研究, 将 4~6 岁的儿童随机分成两组, 一组接受音乐训练, 另一组接受视觉艺术训练。这两种训练都通过 Moreno 开发的计算机训练程序来操作实施, 每天进行两次, 每次训练 1 个小时, 整个训练持续 4 周(20 天)。研究结果发现, 音乐训练提升了儿童在 Go/No-go 任务上的表现, 但是视觉艺术训练没有产生此种促进效应。这表明, 短期音乐训练能提升儿童的抑制控制能力。

在上述研究基础之上, 研究者进一步探究音乐训练对儿童和成人的影响是否同样会表现在老年人身上。将 60~85 岁的健康老人随机分成两组, 一组接受听音乐训练, 另一组接受钢琴演奏训练,

持续训练16周。研究结果发现,训练结束后接受钢琴训练的老年人比接受简单听音乐的老年人在 Stroop 任务中表现更好(Bugos, 2010)。Seinfeld 等人(2013)研究也发现类似结果。接受4个月钢琴训练的老年人比对照组(休闲运动训练)老人在 Stroop 任务表现出更小的干扰效应(Seinfeld et al., 2013)。综上所述,音乐训练不仅能促进儿童和成人抑制控制能力发展,对老年人抑制控制能力仍然具有一定的改善效果。

然而,也有少数研究提示音乐训练与抑制控制能力的提升无关(Slevc et al., 2016; Okada, 2016)。Slevc 等人(2016)借助一系列执行功能任务考察其与音乐训练之间的关系。相关分析表明,音乐经验与抑制控制之间不存在显著性关联。这一方面可能与实验任务有关,Stroop 和 Simon 任务都是考察对优势反应的抑制(Diamond, 2013),但在该研究中两者却不存在显著性关联且表现出较低的分半信度;另一方面也和被试的选取有关。尽管被试都有一定的音乐经验,但他们均为非专业的音乐家,或者并没有接受过高强度的音乐训练(Slevc et al., 2016)。为了探究任务难度及被试音乐经验可能存在的干扰,以后研究可以考虑对比音乐家、业余爱好者以及非音乐家在不同难度的抑制控制任务中是否存在明显差异。

2.2 音乐训练对工作记忆的影响

工作记忆与抑制控制相互影响(Diamond, 2013),研究者在考察音乐训练与抑制控制之间关系的同时,也在探究音乐训练是否对工作记忆加工产生影响(Sabir et al., 2005)。与抑制控制相似,工作记忆也是执行功能的核心子成分之一,它反映了信息的动态存储、加工以及提取的能力(D'Esposito & Postle, 2015; Mancuso, Ilieva, Hamilton, & Farah, 2016)。测量工作记忆的典型范式包括:N-back 任务(包括 AX-CPT 任务)、顺序数字记忆广度任务(forward-digit span task)、逆序数字记忆广度任务(backward-digit span task)、柯西组块测验(Corsi block test)、自动化工作记忆测验(automated working memory assessment)等。

早期研究者通过连线测验(trail making test B, TMT-B)、韦氏迷宫测验(mazes subtest of WISC)发现,接受过音乐训练的被试相比于无音乐经验的被试在两类测验中有更好的表现,即接受过音乐训练的个体表现出较好的视觉工作记忆(Sabir

et al., 2005)。随后,研究者进一步探究音乐训练及双语使用与工作记忆之间的关系,结果表明,音乐家相比对照组被试在工作记忆广度上有更好的表现,而双语使用者并没有表现出此种工作记忆优势(Moradzadeh, 2014)。借助 Ollen 音乐熟练指数(Ollen musical sophistication index, OMSI)以及音乐听耳测验(musical ear test)客观的评定被试的音乐经验,通过让拥有不同音乐经验的音乐家被试完成听觉音高的 N-back 任务(auditory pitch-back task)以及视觉字符的 N-back 任务(visual letter-back task),考察音乐训练是否影响工作记忆刷新(working memory updating)。在排除年龄、社会经济地位以及双语使用等额外因素的干扰后, Slevc 等人发现音乐训练能够有效预测听觉和视觉工作记忆刷新的表现(Slevc et al., 2016)。Okada 采用线性混合效应模型分析,也发现音乐训练能提升工作记忆(Okada, 2016)。上述研究表明长期音乐训练不仅与工作记忆广度的提升有关,还与工作记忆刷新能力的提升有关。这种工作记忆的提升效应可能主要是因为音乐家在音乐演奏过程中不仅要提前在视觉空间模版中存储加工动态变化的音符信息,还要在听觉语音回路中实时监控乐器演奏的效果,实现听觉系统、视觉系统、运动系统以及执行控制系统之间的动态交互。那么,音乐训练对工作记忆的提升效应是否在不同年龄阶段的个体身上都有体现?

Zuk 等人(2014)选取了接受过正式音乐训练的成人和儿童以及对照组成人及儿童,让他们完成卡普兰执行功能测评系统测验(Delis-Kaplan executive function system, DKEFS)。研究发现:在逆序数字广度测验中,成人音乐组被试的得分显著高于成人对照组被试,但对照组儿童与音乐训练组儿童在该任务上没有表现出显著差异(Zuk et al., 2014)。尽管这一结果似乎提示音乐训练对成人和儿童工作记忆的影响可能存在差异,但更可能与儿童接受音乐训练的时间和程度以及成人与儿童本身工作记忆发展水平的差异有关。

为了进一步探究音乐训练对儿童和青少年工作记忆能力的影响。研究者对6到25岁之间的儿童和青少年进行了为期5年的纵向追踪研究,考察音乐训练与工作记忆之间的关系(Nutley, Darki, & Klingberg, 2014)。采用成套自动化工作记忆测验中的点矩阵测试(dot matrix test)对视觉空间工

作记忆进行评估,采用逆序数字回忆测验来评定语义工作记忆。最后,混合回归模型分析显示,音乐训练与工作记忆广度(包括视觉空间工作记忆和语言工作记忆)存在显著的正相关关系。这说明,长期音乐训练对儿童和青少年视觉空间工作记忆、语义工作记忆也具有明显的促进作用,这种促进作用主要表现在工作记忆的广度和刷新上。

音乐训练同样对老年人的工作记忆具有一定的改善作用。例如, Bugos, Perlstein, McCrae, Brophy 和 Bedenbaugh (2007)的研究对 60~85 岁的老年人进行每周 1 个半小时的音乐课程和 3 个小时钢琴练习训练。通过连线测验和韦氏智力测验的子测验:数字符号测验(digit symbol test)、数字广度测验、组块设计测验(block design test)和数字字母排序测验(letter number sequencing test)考察实验组与对照组训练前后的变化(Bugos et al., 2007)。训练后发现,实验组被试相比于对照组被试在数字符号测验和连线测验中得分显著增高。但是,两组被试在组块设计和数字字母排序测验都没有表现出显著的训练效应。数字符号测验和连线测验(B)能对工作记忆做出有效评定(Lechner, Day, Metrik, Leventhal, & Kahler, 2016),组块设计测验主要是对空间视觉化能力的考察(Yin, Zhu, Huang, & Li, 2015),而数字-字母排序测验也是考察工作记忆的一种方式(Egeland, 2015)。这些结果表明,音乐训练的促进作用不是体现在空间视觉化能力上,而是更多的表现在工作记忆上。同时,音乐训练在数字符号测验、连线测验与数字字母排序测验上的不同结果,一方面可能是因为不同测验任务考察了工作记忆的不同方面,另一方面可能与测验之间的难易程度有关。综上所述,音乐训练对个体工作记忆的毕生发展有着非常积极的影响。

2.3 音乐训练对认知灵活性的影响

认知灵活性也是执行功能的重要组成部分(Müller, Langner, Cieslik, Rottschy, & Eickhoff, 2015),反映了个体在多种不同任务或不同心理定势之间的转换能力,通常借助任务转换范式(task switching paradigm, TSP)、双任务操作范式(dual-task performance paradigm, DTPP)、维度转换卡牌分类任务(dimensional change card sort, DCCS)、威斯康辛卡片分类任务(Wisconsin card sorting task, WCST)以及认知灵活性测验(设计灵活性、口语灵活性和分类灵活性)等来加以考察(Grange & Houghton,

2014; Ruge, Jamadar, Zimmermann, & Karayanidis, 2013)。

作为执行功能的三大核心成分之一,认知灵活性虽然发展较抑制控制和工作记忆晚,但在执行功能系统中也起着重要作用(Diamond, 2013; Diamond & Ling, 2016)。研究者采用任务转换范式和双任务操作范式考察了音乐训练是否提升个体的认知灵活性(Moradzadeh et al., 2015)。研究结果发现,音乐家相比于非音乐家减少了在整体和局部转换中的消耗。整体转换消耗反映了保持和激活两种或多种竞争性任务规则在记忆中的努力,而局部转换消耗被认为是反映了从一种心理定势转换到另一种心理定势的认知努力(Moradzadeh et al., 2015)。这说明音乐训练对不同心理定势的转换灵活性增强有贡献作用。同时,在双任务操作范式中音乐家也要比非音乐家表现得更好。这些发现表明长期的音乐训练与个体认知灵活性的提升有关。

研究者们进一步探究了音乐训练对儿童和成人的认知灵活性是否有不同的影响。借助卡普兰执行功能测评系统考察音乐训练对儿童和成人认知灵活性的影响(Zuk et al., 2014)。结果发现,在言语流畅性(verbal fluency)测验中,成人音乐家和接受过音乐训练的儿童都要表现得比对照组好。但是,在设计流畅性(design fluency)测验和连线测验任务中,成人音乐家与接受过音乐训练的儿童则有不一样的表现模式。成人音乐家在设计流畅性测验中表现更好,但在连线测验中则与非音乐家无显著差异;而接受过音乐训练的儿童在连线测验任务中表现较好,但在设计流畅性任务中与对照组儿童无差异。这些发现表明,一方面音乐训练能够促进儿童和成人的认知灵活性;另一方面,音乐训练对儿童与成人的影响又存在不同的特点。音乐训练对儿童的影响主要表现在语词流畅性、分类流畅性以及心理灵活性方面(Karademas et al., 2016),对成人的影响主要表现在语词流畅性、分类转换和问题解决行为的快速启动以及视觉设计模式的灵活生成等方面。在此基础上,研究者进一步考察了音乐训练是否同样也能对老年人的认知灵活性起到一定的作用(Hanna-Pladdy & MacKay, 2011)。研究者采用成套神经心理测验(neuropsychological battery)发现,尽管两组老年人被试在字母流畅性测验(letter fluency

test)、语义流畅性测验(semantic fluency test)并没有表现出明显不同,但在连线测验中,音乐经验丰富的老年人比无音乐经验的老年人表现得更好。这表明音乐训练在一定程度上也能够改善老人的认知灵活性。

为了更进一步探讨音乐训练与认知灵活性的因果关系,研究者们对6~9岁的儿童进行了为期3周的音乐训练,研究结果发现音乐训练后儿童在任务转换范式中的反应速度明显增快,短期的音乐训练即能提升儿童的认知灵活性(Puckering, D'Souza, & Wiseheart, 2014)。随后,Janus, Lee, Moreno 和 Bialystok (2016)对4~6岁的儿童进行了为期20天的音乐训练,然后让儿童完成词语流畅性任务、柯西组块任务、词语广度任务、句子判断任务和视觉搜索任务,研究结果显示音乐训练能提高儿童在以上各项任务中的成绩(Janus et al., 2016)。这些结果与上述研究一致,音乐训练直接影响认知灵活性加工。综上所述,音乐训练影响不同年龄阶段个体的认知灵活性加工,同时这种影响在不同年龄阶段有不同的特点。

3 音乐训练影响执行功能的脑机制

大量行为研究已经发现音乐训练对执行功能的重要成分有明显的促进作用,这些行为水平上的提升是否伴随相应大脑结构和功能的改变?随着认知神经科学技术的兴起,研究者开始采用事件相关电位(ERP)、功能磁共振成像(fMRI)等技术考察音乐训练影响执行功能的认知神经机制。

George 和 Coch (2011)对音乐家与非音乐家进行了标准化的语义工作记忆测验、视空间工作记忆测验以及执行工作记忆测验,并记录了被试完成视觉与听觉 oddball 任务的脑电反应。结果发现,在行为测验中,音乐家较非音乐家在语义、视空间和执行工作记忆测验上有更好的成绩。在脑电实验中,音乐家较非音乐家对小概率的视觉和听觉偏差刺激都诱发了更短 P300 潜伏期,同时对小概率的听觉偏差刺激诱发了更大的 P300 波幅。P300 与工作记忆的更新有关,更短的 P300 潜伏期和更大的 P300 波幅反应了音乐家有着更强的工作记忆更新能力。因此,该研究从行为和电生理层面证明,长期音乐训练与视觉和听觉工作记忆能力的提升有着密切的关系(George & Coch, 2011)。Moreno, Wodniecka, Tays, Alain 和 Bialystok

(2014)进一步考察成人音乐家、双语者以及对照组(非音乐专业的单语者)在 Go/No-go 任务中的脑电反应差异。结果显示在 No-go 任务中,音乐家相比于对照组表现出更大的早期 P2 波幅和更小的 N2 波幅,而双语者相比于对照组则表现出更大的 N2 和 LPP 波幅。这些发现提示音乐训练和双语使用对抑制控制的脑网络可能有不同的作用(Moreno et al., 2014)。Carpentier, Moreno 和 McIntosh (2016)对4~6岁儿童进行了28天的音乐训练和第二语言训练,然后考察音乐训练和语言训练前后儿童在完成音高和语音 oddball 任务时的脑电反应特点。研究者采用频谱分析技术和多尺度熵方法(multiscale entropy)对脑电数据进行了分析。在脑电频谱分析中,音乐训练和语言训练产生的效果是一样的,训练后都引起了 Theta (3.5~7.5 Hz)波能量增强和高频波(>10 Hz)能量降低(Carpentier et al., 2016)。多尺度熵方法是一种测量有限时间序列复杂度的新方法,多尺度熵分析的结果发现,音乐训练之后较音乐训练之前脑电信号的复杂度增高;但是语言训练没有产生此种效应(Carpentier et al., 2016)。这表明音乐训练能增强大脑网络状态的复杂性,这些脑功能的变化可能与执行功能的提升有关,而且音乐训练和语言训练对执行功能的发展有着不同的影响效应。此外,Zhang, Peng, Chen 和 Hu (2015)采用准稳态响应实验范式和脑电时频分析技术考察了音乐家和非音乐家听觉诱发电位(auditory-evoked potentials, AEPs)的异同。以往研究表明 AEPs 既能反映低级感知觉加工,又能反映高级认知控制加工。时频分析发现在高频段(40~60 Hz)音乐家比非音乐家的听觉稳态响应锁相值更大,反映了音乐家具有较强的听知觉加工能力;在低频段(1~20 Hz),由瞬时和准稳态听觉刺激诱发的响应中,音乐家比非音乐家有更低的听觉响应强度和锁相值,反映了音乐家具有更强的认知控制能力。因此,该研究揭示音乐经验不但能促进低级的听觉信息加工,还能调节高级的认知控制加工(Zhang et al., 2015)。

关于音乐训练对执行功能神经机制的影响研究主要集中在 EEG 的研究上,而脑成像方面的研究相对较少。Pallesen 等人(2010)采用 N-back 范式考察了音乐家与非音乐家在工作记忆上的行为表现和血氧水平依赖(BOLD)信号的反应。行为结

果揭示,在基线条件下音乐家与非音乐家的反应时无差异,但是在 1-Back 任务和 2-Back 任务中音乐家的反应时明显要短于非音乐家的反应。同时,在 2-back 任务中音乐家的正确率要显著高于非音乐家,这表明在对工作记忆要求更高的任务中音乐家比非音乐家表现得更好。fMRI 结果表明音乐家比非音乐家在右侧外侧前额叶皮层(lateral prefrontal cortex, IPFC)、双侧背外侧前额叶皮层(dorsolateral prefrontal cortex, dlPFC)后部、前扣带回、脑岛、壳核以及横向顶叶皮层(lateral parietal cortex, IPC)有更大的激活。同时,音乐家在 2-back 任务中的表现与血氧信号的强度有更加明显的正相关。Oechslin, Van De Ville, Lazeyras, Hauert 和 James (2013)进一步对比非音乐家、业余爱好者以及音乐家在聆听一系列复杂的伴随有分层操作结尾的弦乐四重奏音乐时的脑反应特点,研究结果发现音乐经验水平在与工作记忆和注意有关的额-颞叶网络(fronto-temporal network)中起到逐层调节作用。在 3-back 实验任务中,音乐家比非音乐家表现的更好,同时音乐训练强度能够有效预测工作记忆相关脑网络的反应(Oechslin et al., 2013)。Zuk 等人(2014)研究则发现音乐训练影响认知灵活性加工的大脑激活模式。在规则表征和任务转换过程中接受过音乐训练的儿童比没接受过音乐训练的儿童在右侧腹外侧前额叶(ventrolateral prefrontal cortex, vlPFC)和前辅助运动区/辅助运动区(presupplementary motor area, pre-SMA/SMA)表现出更大的激活。

音乐训练对执行功能相关脑区活动产生明显影响。同时,个体认知能力的变化往往伴随着大脑形态结构的改变,已有研究发现音乐训练对大脑有着较强的可塑性(Giacosa, Karpati, Foster, Penhune, & Hyde, 2016; Merrete, Peretz, & Wilson, 2013; Vaquero et al., 2016; Xing et al., 2016)。那么这种影响是否在执行功能相关脑区的结构上也有所体现呢?Hudziak 等人(2014)通过纵向设计考察音乐训练持续时间与个体大脑皮层发展成熟之间的关系(Hudziak et al., 2014)。回归分析表明,音乐训练与背外侧前额叶、左侧眶额回后部(posterior orbitofrontal cortex, pOFC)、右侧额中回以及双侧海马回等脑区皮层的成熟度密切相关。借助基于体素的形态学分析技术(voxel-based morphometry, VBM),James 等人(2014)研究显示音乐经验与执

行功能、工作记忆等高级认知加工相关的右侧眶额回中部、左侧额下回脑区皮层灰质密度增大相关(James et al., 2014)。同时,多重回归分析揭示右侧眶额回中部与左侧额下回的灰质密度能够预测个体对细微音乐调性变化探测的准确性。Sato 等人(2015)也发现音乐专家相比于业余音乐家和非音乐家在右侧额下回显示最大的灰质体积(Sato et al., 2015)。Fauvel 等人(2014)结合基于体素的形态学分析技术与静息态脑功能成像技术(rsfMRI)发现音乐家相比于非音乐家表现出右侧额下回与扣带回、右侧额下回与屏状核的连接增强(Fauvel et al., 2014)。这些音乐训练伴随的执行功能相关脑区结构的改变,可能是音乐训练影响执行功能的重要神经基础。

4 小结与研究展望

综上所述,已有研究从行为和神经层面都揭示了音乐训练对执行功能都有着广泛而深远的影响(George & Coch, 2011),这表明音乐训练是提高执行功能的一种有效方法(Baird, Samson, Miller, & Chalmers, 2017; Dawson, 2014; Hedayati, Schibli, & D'Angiulli, 2016a, 2016b)。未来研究可以从以下这些方面展开。

首先,尽管已有研究就音乐训练影响执行功能的核心子成分进行了初步的探索,但是这些研究往往只是单独考察音乐训练对某一个子成分的影响(e.g., Puckering et al., 2014)。同时这些研究在实验设计和被试选择等方面都不尽相同,有音乐家与非音乐家的横向对比研究(e.g., Schellenberg, 2011),也有进行音乐训练的纵向研究(e.g., Moreno et al., 2014);此外,在被试选择上,也包括儿童、成人和老年人,不尽一致。因此,这些研究结果很难揭示音乐训练对执行功能不同子成分的影响是否具有不同的特点。未来研究应该在统一的视角下,采用统一的实验设计、被试以及典型的实验范式等考察音乐训练对执行功能各个子成分的影响特点以及各个子成分之间的相关关系。

其次,从发展的角度,音乐训练对执行功能的影响在不同的年龄阶段有着怎样的可塑性特点?早期音乐训练是否对执行功能的发展具有更强的可塑性?音乐训练对成人和老年人的执行功能有着多大程度的提升作用?阿兹海默症(Alzheimer's disease, AD)与执行功能有着非常密切的关系(Weiler

et al., 2014), 音乐训练是否对缓解 AD 有一定的改善效果? 对这些问题的探索, 一方面能为早期的儿童音乐教育提供科学依据; 另一方面能为延缓认知老化以及阿兹海默症的治疗与康复提供新的思路。

第三, 尽管音乐训练对执行功能的促进作用得到了大量实证研究的支持, 但是执行功能在音乐训练迁移效应中的中介作用仍主要停留在理论推论的层面(Hannon & Trainor, 2007; Jäncke, 2009; Moreno & Bidelman, 2014; Moreno & Farzan, 2015; Oechslin et al., 2013), 直接通过实验的方法来加以考察的研究还非常少(Moreno & Farzan, 2015; Sala & Gobet, 2017; Schellenberg & Peretz, 2008)。例如, Schellenberg (2011)首次借助智力测验和执行功能测验考察了执行功能在音乐训练迁移效应中的作用。回归分析发现, 当控制执行功能这个变量后, 音乐训练仍然能够有效预测智力测试成绩。因此 Schellenberg 的研究并没有发现执行功能在音乐训练对智力的提升中起中介作用。与 Schellenberg 研究不同的是, Degé 等人(2011)选取接受不同时长音乐训练的儿童作为被试, 把音乐训练作为了一个连续性变量, 借助专门为儿童设计的执行功能测验——儿童发展神经心理测验(NEPSY II), 对儿童执行功能的定势转换(set shifting)、选择性注意、计划、抑制以及灵活性等方面进行考察。结果表明音乐训练与执行功能的 5 种测验之间都表现出显著的相关。同时, 多重回归分析揭示, 执行功能在音乐训练对智力的提升中起中介作用, 其中选择性注意和抑制在中介效应中贡献最大(Degé, Kubicek et al., 2011)。Degé 等人研究则揭示执行功能在音乐训练的迁移效应中起中介作用。因此, 尽管近年来少数研究考察了执行功能是否在音乐训练促进智力发展中起中介作用, 但是却得到了不一致的结果(e.g., Moreno et al., 2011; Schellenberg, 2011)。这些不一致的结果可能与实验设计、被试群体、执行功能测量工具的选择有关系。其次, 除了智力, 执行功能是否还在音乐训练促进语音意识加工、阅读能力、创造性思维、风险决策、问题解决、学业成就等认知加工活动起到中介作用仍不清楚。同时, 执行功能的哪个子成分在音乐训练迁移效应的中介作用中贡献最大? 这些问题都还有待进一步的研究。

最后, 从实验设计上, 以往关于音乐训练对

执行功能影响的研究主要集中在音乐家与非音乐家的对比研究, 这种相关实验设计只能揭示音乐训练与执行功能的相关关系, 不能揭示其因果关系。因此, 未来研究应采用纵向音乐训练, 并设置与音乐无关的其他训练组, 例如语言训练、艺术训练等, 来进一步确定音乐训练与执行功能的因果关系。从方法学上, 当前只有极少数研究采用 ERP、fMRI 等技术对音乐训练与执行功能之间的关系进行考察。同时已有研究都只是借助传统的一般线性模型与单变量分析方法, 简单的考察单个脑区的激活。但音乐训练对执行功能的影响不仅仅是体现在单个脑区的激活强度上, 还有可能伴随执行功能相关脑区激活的空间模式以及相关脑区间的功能连接模式的变化。因此, 未来研究应采用多模态的脑成像技术深入考察音乐训练影响执行功能的神经基础以及执行功能相关脑结构和功能的改变在音乐训练迁移效应中的作用。

参考文献

- 陈霞, 南云. (2010). 音乐与个体发展. *心理科学进展*, 18(8), 1231-1235.
- 王杭, 江俊, 蒋存梅. (2015). 音乐训练对认知能力的影响. *心理科学进展*, 23(3), 419-429.
- 王孟元, 宁睿婧, 张雪岩. (2015). 音乐训练延缓言语感知老龄化. *心理科学进展*, 23(1), 22-29.
- Baird, A., Samson, S., Miller, L., & Chalmers, K. (2017). Does music training facilitate the mnemonic effect of song? An exploration of musicians and nonmusicians with and without Alzheimer's dementia. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 39(1), 9-21.
- Banich, M. T., & Depue, B. E. (2015). Recent advances in understanding neural systems that support inhibitory control. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 1, 17-22.
- Bialystok, E., & Depape, A. M. (2009). Musical expertise, bilingualism, and executive functioning. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 35(2), 565-574.
- Bugos, J. A. (2010). The benefits of music instruction on processing speed, verbal fluency, and cognitive control in aging. *Music Education Research International*, 4, 1-9.
- Bugos, J. A., & Mostafa, W. (2011). Musical training enhances information processing speed. *Bulletin of the Council for Research in Music Education*, 187, 7-18.
- Bugos, J. A., Perlstein, W. M., McCrae, C. S., Brophy, T. S., & Bedenbaugh, P. H. (2007). Individualized piano instruction enhances executive functioning and working memory in

- older adults. *Aging & Mental Health*, 11(4), 464–471.
- Bunge, S. A., Dudukovic, N. M., Thomason, M. E., Vaidya, C. J., & Gabrieli, J. D. E. (2002). Immature frontal lobe contributions to cognitive control in children: Evidence from fMRI. *Neuron*, 33(2), 301–311.
- Cabanac, A., Perlovsky, L., Bonniot-Cabanac, M. C., & Cabanac, M. (2013). Music and academic performance. *Behavioural Brain Research*, 256, 257–260.
- Carpentier, S. M., Moreno, S., & McIntosh, A. R. (2016). Short-term music training enhances complex, distributed neural communication during music and linguistic tasks. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 28(10), 1603–1612.
- Cohen, J. R., Berkman, E. T., & Lieberman, M. D. (2013). Intentional and incidental self-control in ventrolateral prefrontal cortex. In D. T. Stuss & R. T. Knight (Eds.), *Principles of frontal lobe functions* (2nd ed., pp. 417–418). Oxford, England: Oxford University Press.
- Collins, A., & Koechlin, E. (2012). Reasoning, learning, and creativity: Frontal lobe function and human decision-making. *PLoS Biology*, 10(3), e1001293.
- Dawson, W. J. (2014). Benefits of music training are widespread and lifelong: A bibliographic review of their non-musical effects. *Medical Problems of Performing Artists*, 29(2), 57–63.
- Degé, F., Kubicek, C., & Schwarzer, G. (2011). Music lessons and intelligence: A relation mediated by executive functions. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 29(2), 195–201.
- Degé, F., & Schwarzer, G. (2016). The influence of music training on the development of phonological awareness in preschoolers. *Fruhe Bildung*, 5(3), 150–156.
- Degé, F., Wehrum, S., Stark, R., & Schwarzer, G. (2011). The influence of two years of school music training in secondary school on visual and auditory memory. *European Journal of Developmental Psychology*, 8(5), 608–623.
- D'Esposito, M., & Postle, B. R. (2015). The cognitive neuroscience of working memory. *Annual Review of Psychology*, 66(1), 115–142.
- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology*, 64(1), 135–168.
- Diamond, A. (2016). Why improving and assessing executive functions early in life is critical. In J. A. Griffin, P. Mccardle, & L. S. Freund (Eds.), *Executive function in preschool age children: Integrating measurement, neuro development and translational research*. Washington, DC: American Psychological Association.
- Diamond, A., & Ling, D. S. (2016). Conclusions about interventions, programs, and approaches for improving executive functions that appear justified and those that, despite much hype, do not. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 18, 34–48.
- Dittinger, E., Barbaroux, M., D'Imperio, M., Jäncke, L., Elmer, S., & Besson, M. (2016). Professional music training and novel word learning: From faster semantic encoding to longer-lasting word representations. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 28(10), 1584–1602.
- Egeland, J. (2015). Measuring working memory with digit span and the letter-number sequencing subtests from the WAIS-IV: Too low manipulation load and risk for underestimating modality effects. *Applied Neuropsychology Adult*, 22(6), 445–451.
- Fauvel, B., Groussard, M., Chételat, G., Fouquet, M., Landeau, B., Eustache, F., ... Platel, H. (2014). Morphological brain plasticity induced by musical expertise is accompanied by modulation of functional connectivity at rest. *NeuroImage*, 90, 179–188.
- Flaunagacco, E., Lopez, L., Terribili, C., Montico, M., Zoia, S., & Schön, D. (2015). Music training increases phonological awareness and reading skills in developmental dyslexia: A randomized control trial. *PLoS One*, 10(9), e0138715.
- Francois, C., Chobert, J., Besson, M., & Schon, D. (2013). Music training for the development of speech segmentation. *Cerebral Cortex*, 23(9), 2038–2043.
- Frankenberg, E., Fries, K., Friedrich, E. K., Roden, I., Kreutz, G., & Bongard, S. (2016). The influence of musical training on acculturation processes in migrant children. *Psychology of Music*, 44(1), 114–128.
- George, E. M., & Coch, D. (2011). Music training and working memory: An ERP study. *Neuropsychologia*, 49(5), 1083–1094.
- Giacosa, C., Karpati, F. J., Foster, N. E. V., Penhune, V. B., & Hyde, K. L. (2016). Dance and music training have different effects on white matter diffusivity in sensorimotor pathways. *NeuroImage*, 135, 273–286.
- Gibson, C., Folley, B. S., & Park, S. (2009). Enhanced divergent thinking and creativity in musicians: A behavioral and near-infrared spectroscopy study. *Brain and Cognition*, 69(1), 162–169.
- Gordon, R. L., Fehd, H. M., & McCandliss, B. D. (2015). Does music training enhance literacy skills? A meta-analysis. *Frontiers in Psychology*, 6, 1777.
- Grange, J., & Houghton, G. (Eds.). (2014). *Task switching and cognitive control*. Oxford, USA: Oxford University Press.
- Hampshire, A., & Sharp, D. J. (2015). Contrasting network and modular perspectives on inhibitory control. *Trends in Cognitive Sciences*, 19(8), 445–452.
- Hanna-Pladdy, B., & MacKay, A. (2011). The relation between instrumental musical activity and cognitive aging.

- Neuropsychology*, 25(3), 378–386.
- Hannon, E. E., & Trainor, L. J. (2007). Music acquisition: Effects of enculturation and formal training on development. *Trends in Cognitive Sciences*, 11(11), 466–472.
- Hargreaves, D. J., & Aksestijevic, A. (2011). Music, IQ, and the executive function. *British Journal of Psychology*, 102(3), 306–308.
- Hedayati, N., Schibli, K., & D'Angiulli, A. (2016a). Effects of socially based ensemble music training on children's executive functions: ERP evidence. *Canadian Journal of Experimental Psychology-Revue Canadienne De Psychologie Experimentale*, 70(4), 379–379.
- Hedayati, N., Schibli, K., & D'Angiulli, A. (2016b). El Sistema-inspired ensemble music training is associated with changes in children's neurocognitive functional integration: Preliminary ERP evidence. *Neurocase*, 22(6), 538–547.
- Herholz, S. C., & Zatorre, R. J. (2012). Musical training as a framework for brain plasticity: Behavior, function, and structure. *Neuron*, 76(3), 486–502.
- Hudziak, J. J., Albaugh, M. D., Ducharme, S., Karama, S., Spottswood, M., Crehan, E., ... Brain Development Cooperative Group. (2014). Cortical thickness maturation and duration of music training: Health-promoting activities shape brain development. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 53(11), 1153–1161.
- James, C. E., Oechslin, M. S., Van De Ville, D., Hauert, C. A., Descloux, C., & Lazeyras, F. (2014). Musical training intensity yields opposite effects on grey matter density in cognitive versus sensorimotor networks. *Brain Structure and Function*, 219(1), 353–366.
- Jäncke, L. (2009). Music drives brain plasticity. *F1000 Biology Reports*, 1, 78.
- Janus, M., Lee, Y., Moreno, S., & Bialystok, E. (2016). Effects of short-term music and second-language training on executive control. *Journal of Experimental Child Psychology*, 144, 84–97.
- Karademas, E. C., Ktistaki, G., Dimitraki, G., Papastefanakis, E., Kougkas, N., Fanouriakis, A., ... Simos, P. (2016). Adaptation to an autoimmune disorder: Does mental flexibility impact illness-related self-regulation? *Psychology & Health*, 31(3), 276–291.
- Kraus, N., & Chandrasekaran, B. (2010). Music training for the development of auditory skills. *Nature Reviews Neuroscience*, 11(8), 599–605.
- Lechner, W. V., Day, A. M., Metrik, J., Leventhal, A. M., & Kahler, C. W. (2016). Effects of alcohol-induced working memory decline on alcohol consumption and adverse consequences of use. *Psychopharmacology*, 233(1), 83–88.
- Lu, C. I., & Greenwald, M. (2016). Reading and working memory in adults with or without formal musical training: Musical and lexical tone. *Psychology of Music*, 44(3), 369–387.
- Mancuso, L. E., Ilieva, I. P., Hamilton, R. H., & Farah, M. J. (2016). Does transcranial direct current stimulation improve healthy working memory?: A meta-analytic review. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 28(8), 1063–1089.
- Merrete, D. L., Peretz, I., & Wilson, S. J. (2013). Moderating variables of music training-induced neuroplasticity: A review and discussion. *Frontiers in Psychology*, 4, 606.
- Miyake, A., & Friedman, N. P. (2012). The nature and organization of individual differences in executive functions: Four general conclusions. *Current Directions in Psychological Science*, 21(1), 8–14.
- Moradzadeh, L. (2014). *The association between musical training, bilingualism, and executive function* (Unpublished doctoral dissertation). York University, Toronto.
- Moradzadeh, L., Blumenthal, G., & Wiseheart, M. (2015). Musical training, bilingualism, and executive function: A closer look at task switching and dual-task performance. *Cognitive Science*, 39(5), 992–1020.
- Moreno, S., Bialystok, E., Barac, R., Schellenberg, E. G., Cepeda, N. J., & Chau, T. (2011). Short-term music training enhances verbal intelligence and executive function. *Psychological Science*, 22(11), 1425–1433.
- Moreno, S., & Bidelman, G. M. (2014). Examining neural plasticity and cognitive benefit through the unique lens of musical training. *Hearing Research*, 308, 84–97.
- Moreno, S., & Farzan, F. (2015). Music training and inhibitory control: A multidimensional model. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1337(1), 147–152.
- Moreno, S., Lee, Y., Janus, M., & Bialystok, E. (2015). Short-term second language and music training induces lasting functional brain changes in early childhood. *Child Development*, 86(2), 394–406.
- Moreno, S., Wodniecka, Z., Tays, W., Alain, C., & Bialystok, E. (2014). Inhibitory control in bilinguals and musicians: Event related potential (ERP) evidence for experience-specific effects. *PLoS ONE*, 9(4), e94169.
- Müller, V. I., Langner, R., Cieslik, E. C., Rottschy, C., & Eickhoff, S. B. (2015). Interindividual differences in cognitive flexibility: Influence of gray matter volume, functional connectivity and trait impulsivity. *Brain Structure and Function*, 220(4), 2401–2414.
- Nutley, S. B., Darki, F., & Klingberg, T. (2014). Music practice is associated with development of working memory during childhood and adolescence. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 926.
- Oechslin, M. S., Van De Ville, D., Lazeyras, F., Hauert, C. A., & James, C. E. (2013). Degree of musical expertise modulates higher order brain functioning. *Cerebral Cortex*,

- 23(9), 2213–2224.
- Okada, B. M. (2016). *Musical training and executive functions* (Unpublished master's thesis). University of Maryland, College Park.
- Pallesen, K. J., Brattico, E., Bailey, C. J., Korvenoja, A., Koivisto, J., Gjedde, A., & Carlson, S. (2010). Cognitive control in auditory working memory is enhanced in musicians. *PLoS ONE*, 5(6), e11120.
- Puckering, E. A., D'Souza, A., & Wiseheart, M. (2014). Improving task switching performance in children through music and dance training. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 68(4), 275–276.
- Rauscher, F. H., Shaw, G. L., & Ky, C. N. (1993). Music and spatial task performance. *Nature*, 365(6447), 611.
- Roden, I., Zepf, F. D., Kreutz, G., Grube, D., & Bongard, S. (2016). Effects of music and natural science training on aggressive behavior. *Learning and Instruction*, 45, 85–92.
- Ruge, H., Jamadar, S., Zimmermann, U., & Karayanidis, F. (2013). The many faces of preparatory control in task switching: Reviewing a decade of fMRI research. *Human Brain Mapping*, 34(1), 12–35.
- Saarikivi, K., Putkinen, V., Tervaniemi, M., & Huottilainen, M. (2016). Cognitive flexibility modulates maturation and music-training-related changes in neural sound discrimination. *European Journal of Neuroscience*, 44(2), 1815–1825.
- Sabir, S. M., Blakely, L., & Alfano, D. P. (2005). Early music training and executive function. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 20(7), 835–835.
- Sala, G., & Gobet, F. (2017). When the music's over. Does music skill transfer to children's and young adolescents' cognitive and academic skills? A meta-analysis. *Educational Research Review*, 20, 55–67.
- Sato, K., Kirino, E., & Tanaka, S. (2015). A voxel-based morphometry study of the brain of university students majoring in music and nonmusic disciplines. *Behavioural Neurology*, 2015, Article ID 274919.
- Schellenberg, E. G. (2011). Music lessons, emotional intelligence, and IQ. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 29(2), 185–194.
- Schellenberg, E. G., Corrigan, K. A., Dys, S. P., & Malti, T. (2015). Group music training and children's prosocial skills. *PLoS ONE*, 10(10), e0141449.
- Schellenberg, E. G., & Moreno, S. (2010). Music lessons, pitch processing, and g. *Psychology of Music*, 38(2), 209–221.
- Schellenberg, E. G., & Peretz, I. (2008). Music, language and cognition: Unresolved issues. *Trends in Cognitive Science*, 12(2), 45–46.
- Schellenberg, E. G., & Weiss, M. W. (2013). Music and cognitive abilities. In D. Deutsch. (Ed.), *The psychology of music* (3rd ed., pp. 499–550). San Diego, USA: Academic Press.
- Seinfeld, S., Figueroa, H., Ortiz-Gil, J., & Sanchez-Vives, M. V. (2013). Effects of music learning and piano practice on cognitive function, mood and quality of life in older adults. *Frontiers in Psychology*, 4, 810.
- Slevc, L. R., Davey, N. S., Buschkuhl, M., & Jaeggi, S. M. (2016). Tuning the mind: Exploring the connections between musical ability and executive functions. *Cognition*, 152, 199–211.
- Tierney, A., & Kraus, N. (2013). Music training for the development of reading skills. *Progress in Brain Research*, 207, 209–241.
- Travis, F., Harung, H. S., & Lagrosen, Y. (2011). Moral development, executive functioning, peak experiences and brain patterns in professional and amateur classical musicians: Interpreted in light of a Unified Theory of Performance. *Consciousness and Cognition*, 20(4), 1256–1264.
- Vaquero, L., Hartmann, K., Ripollés, P., Rojo, N., Sierpowska, J., François, C., ... Altenmüller, E. (2016). Structural neuroplasticity in expert pianists depends on the age of musical training onset. *NeuroImage*, 126, 106–119.
- Wang, X., Osher, L., & Reuter-Lorenz, P. A. (2015). Examining the relationship between skilled music training and attention. *Consciousness and Cognition*, 36, 169–179.
- Weiler, M., Fukuda, A., Massabki, L. H. P., Lopes, T. M., Franco, A. R., Damasceno, B. P., ... Balthazar, M. L. F. (2014). Default mode, executive function, and language functional connectivity networks are compromised in mild Alzheimer's disease. *Current Alzheimer Research*, 11(3), 274–282.
- Xing, Y. S., Chen, W. X., Wang, Y. R., Jing, W., Gao, S., Guo, D. Q., ... Yao, D. Z. (2016). Music exposure improves spatial cognition by enhancing the BDNF level of dorsal hippocampal subregions in the developing rats. *Brain Research Bulletin*, 121, 131–137.
- Yin, S. F., Zhu, X. Y., Huang, X., & Li, J. (2015). Visuospatial characteristics of an elderly Chinese population: Results from the WAIS-R block design test. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 7, 17.
- Zhang, L., Peng, W. W., Chen, J., & Hu, L. (2015). Electrophysiological evidences demonstrating differences in brain functions between nonmusicians and musicians. *Scientific Reports*, 5, 13796.
- Zuk, J., Benjamin, C., Kenyon, A., & Gaab, N. (2014). Behavioral and neural correlates of executive functioning in musicians and non-musicians. *PLoS ONE*, 9(6), e99868.

The effect of musical training on executive functions

CHEN Jie^{1,2}; LIU Lei¹; WANG Rong²; SHEN Haizhou²

(¹ Research Center of Brain and Cognitive Science, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China)

(² School of Education Science, Hunan Normal University, Changsha 410081, China)

Abstract: Musical training has an impact on a wide range of cognitive activities, but its underlying mechanism is still unclear. Recently, researchers have claimed that the broad impact of musical training may be mediated by executive functions (EFs). In this study, we divide EFs into three core components: inhibitory control, working memory and cognitive flexibility, and elaborate the influence of musical training on these three components as well as the mediation role of EFs on transfer effects of musical training. The results showed that musical training has a different effect on different core components of EFs. Moreover, changes in the structure and function of prefrontal lobe play a significant role in the effect of musical training on EFs. In addition, there are still inconsistent results regarding the mediating effects of executive functions on the transfer effect of musical training. Future researches should focus on this issue by multiple technologies.

Key words: musical training; executive functions; inhibitory control; working memory; cognitive flexibility