

音乐疗法在神经系统疾病康复中的研究进展

郑嘉璇 陈伟观 沈光宇

音乐疗法是一门多学科交叉的新兴边缘学科,涉及到医学、心理学、音乐学等多个领域,国内外至今未有一个统一的定义。我国音乐治疗学的创始人,原世界音乐治疗联合会(World Federation of Music Therapy, WFMT)理事张鸿懿教授认为^[1]:音乐疗法是以心理治疗的理论和方法为基础,运用音乐特有的生理、心理效应,使人们在治疗师的指导参与下,通过各种专门设计的音乐行为、音乐体验,达到消除心理障碍,恢复或增进心理健康的目的。美国 Temple 大学教授、前美国音乐治疗协会会长 Bruscia 将音乐治疗定义为一个系统的干预过程,在此过程中,治疗师利用音乐体验的各种形式,以及在治疗过程中发展起来的、作为治疗动力的治疗关系,帮助被治疗者达到健康的目的^[2]。近年来,临床上多种疾病应用音乐治疗取得了一定疗效。本文就音乐疗法在神经系统疾病康复中的临床应用及相关机制进行综述。

音乐疗法在脑卒中康复治疗中的应用

虽然治疗脑卒中的医疗措施近年来不断发展更新,但药物多为对症治疗,且对于脑卒中后残留的功能障碍尚无行之有效的药物,现有的康复治疗手段在减轻功能障碍方面有很大贡献,然而也存在一定的局限性。人们逐渐将注意力聚焦于非药物治疗功能障碍的方法,尤其是音乐疗法,在患者语言减少或缺失时,音乐以无需语言的本质,使其成为一种良好而有效的沟通媒介。在人类的大脑中,最强大的听觉刺激源之一即由音乐提供,而且音乐刺激涉及到感知和运动系统的相互作用,因而更易诱发运动^[3]。因此音乐疗法不失为一种改善脑卒中后功能障碍的有效方法。

一、音乐疗法对运动功能的影响

脑卒中后的运动障碍是指肌肉无力而引起随意运动失控的表现,这一缺陷是脑卒中后偏瘫最常见的结果,占到所有病例的 70%^[4],其中下肢的瘫痪妨碍了功能性移动,例如行走,而上肢的瘫痪又限制了患者日常生活活动。

Zhang 等^[5]通过荟萃分析发现,与仅采用常规的康复训练相比,联合音乐疗法对改善脑卒中后的运动障碍和执行功能有更好的治疗效果。有报道称节奏性听觉刺激对于改善脑卒中患者的步幅、步速、步频及不对称性有积极的作用^[6]。宋涛等^[7]将 39 例患者分为对照组($n=19$)和治疗组($n=20$),对照组进行常规康复训练,包括物理治疗和运动疗法等,治疗组在常规康复干预的同时配合音乐疗法,结果显示,联合音乐疗法可以提高脑卒中患者肢体运动功能评分和日常生活活动能力,

说明音乐疗法对于脑卒中后运动功能改善有积极的作用。

二、音乐疗法对认知功能的影响

认知障碍是脑卒中后常见的功能障碍之一,多项研究表明,包括听觉刺激在内的丰富环境与单一的物理环境相比,对于改善认知功能更为有利^[8],基础研究亦证实,声音环境有助于增强听觉皮质的功能,提高学习和记忆能力^[9,10]。Särkämö 等^[11]将 60 例脑卒中的患者分为对照组、语言组和音乐组,探讨音乐对其认知和情绪的影响,结果显示,基于同样的药物使用和常规康复训练,每天增加 1 h 以上的由治疗师选择的文字或音乐听力材料,有助于改善言语记忆及增强注意力,且远期疗效较好,而音乐对于脑卒中患者的抑郁和抗拒情绪也有所改善。Xing 等^[12]在对 45 只幼年大鼠的研究中发现,运用莫扎特 D 大调双钢琴奏鸣曲 K448 有助于改善大鼠的空间记忆,而逆行莫扎特 K448(retrograde version of Mozart K448)则有一定的抑制;进一步研究还证实了节奏是其中起到治疗作用的关键因素,而音高则不具有相应的功效,这说明合适的音乐有利于提高患者认知功能。

三、音乐疗法对言语功能的影响

音乐对与脑卒中后言语障碍的影响涉及多个方面,其中以音乐的节奏、韵律及其所提供听觉刺激的影响最为重要。Tomaino 等^[13]将 40 例非流畅性失语症患者随机分为音乐干预组和图画对话组,所有患者接受连续 12 周,每周 3 次,每次 30 min 的一对一训练,采用西方失语成套测验和成年人找词测验对患者进行评估,最终完成整个研究的音乐干预组有 18 例患者,而图画对话组只有 8 例,这表明音乐更为患者所接受,且音乐干预组疗效优于图画对话组,也提示音乐对于改善言语障碍有更为积极的作用。周惠嫦等^[14]研究发现,在常规的内科治疗和一对一的言语治疗基础上,配合旋律语调治疗,每次 30~40 min,每天 1 次,连续 3 个月,可以改善重度感觉性失语患者的听理解能力、复述能力、呼名和书写能力。

音乐治疗在帕金森病中的应用

帕金森病是第二大常见的神经退行性疾病,其患病率占全世界老年人口的 1%。步态异常是帕金森病患者的主要症状之一,其典型特征是速度减低、步幅缩短、双下肢步幅时间不均匀和步频增加。这种步速的降低和步幅的缩短在疾病的后期伴随着随意运动的启动困难将导致患者运动的僵化。这种步行的限制反过来则又将影响平衡和姿势控制,从而导致患者活动的减少以及跌倒的高风险^[15]。以上症状是由于基底神经节的功能异常以及药物治疗的功效将随时间的延长而减少所致^[16]。因此,行为学治疗可能有助于应对损伤,并且可与药物治疗相结合。

有报道指出,听觉形式是改善帕金森病患者步态最好的方式^[17]。多项研究报道,音乐节奏可以改善帕金森病患者步

态,提高肢体的协调性,改善姿势控制和平衡性^[18,19],而利用外部感觉诱发促进运动的可靠方法就是节奏性运动^[20]。节奏性听觉刺激(rhythmic auditory stimulation, RAS)是以使用节拍器促进步态的一种方法,患者开始被训练跟着节拍移动,随后速度逐渐从基线的 5%增加到 10%以完成更快的移动。Thaut 等^[21]首先观察到,与没有训练或者自己进行步行练习相比,RAS 训练 3 周后可以提高步行的速度、步幅和步频,进一步的研究也证实 RAS 在克服冻结步态、改善步行方面有积极作用^[17]。有学者提出,RAS 所涉及的神经可塑性机制可能是通过小脑活化的增加而尝试补偿从基底神经节到皮质运动前区的异常通路^[22]。

有 2 项研究显示 RAS 在疾病的进展期(晚期)的获益更大,表明 RAS 的功效与疾病阶段相关^[23,24]。Willems 等^[24]通过个体化改变 RAS 的节奏发现,当节奏(拍打速度)低于个人步频基线的 20%时,RAS 对步行没有益处,从而进一步说明改变 RAS 中的要素可对疾病产生不同的影响。

音乐疗法在意识障碍中的应用

关于意识障碍患者觉醒的评估是一个巨大的挑战,由于觉醒的表现因人而异,因此行为学的评估一直以来备受争议。音乐作为无需语言内容或语言处理的媒介,可以在意识受到严重损害时提供最佳的刺激,且当给予对患者具有个人意义的刺激时可使之产生最大的行为改变。听觉模式对于诱发意识反应尤为敏感,这种听觉模式包括了基于语言的刺激、混合语言刺激以及音乐刺激,而 O'Kelly 则更强调了音乐刺激比通常使用的评估工具中的听觉刺激更有效^[25]。

O'Kelly 等^[26]对 21 例无反应性觉醒综合征(unresponsive wakefulness syndrome, UWS)或微小意识状态(minimally conscious state, MCS)的患者应用音乐疗法,让患者聆听生动的优选音乐和与呼吸频率相似的即兴音乐(通常用于音乐治疗的程序)、不喜欢的音乐、白噪声和沉默,并与 20 例健康人进行对比,采用神经生理学和行为学研究对比 2 组受试的脑电图、心率、呼吸和行为学反应,方差分析检验结果表明,响应于优选音乐的健康受试者,其对应于唤醒和注意力的一系列显著反应,包括呼吸速率和跨频率带宽等的脑电图功率谱均有所增强,而在患者组内虽然生理反应数据呈现异质性,但事后分析显示,在优选音乐的干预下,6 例 UWS 和 4 例 MCS 患者额叶中线的 θ 波以及 3 例 UWS 和 4 例 MCS 受试者额叶 α 波振幅增加,且在沉默状态下相比,差异有统计学意义($P < 0.05$);行为学数据显示,优选音乐使 UWS 患者眨眼率显著增加,2 例 UWS 患者在 2 种音乐治疗过程中皆显示出可区分的特征性反应;结果还表明,音乐可以用于区分 UWS 和 MCS。然而,由于患者组的异质性,该研究可能被认为是一个案例研究,而不是系统的调查。

音乐疗法在癫痫中的应用

音乐对于癫痫患者的效果较为复杂。Lin 等^[27]对 58 例部分性发作的癫痫儿童给予莫扎特奏鸣曲刺激,并行连续 EEG 监测。结果显示 81%的患者中,发作间期痫样放电平均减少了 33%,尤以广泛性放电的患者减少最多,但还有 20%的患者的发作间期放电平均增加了 14%;而患儿的性别、智商、抗癫痫药

物的数量及对音乐的反应之间差异均无统计学意义($P < 0.05$)。发作间期放电的减少不依赖于警觉性或特定情绪反应的水平。Dastgheib 等^[28]通过荟萃分析发现 84%的患者在聆听莫扎特音乐后发作间期癫痫样放电显著减少,并且证实有较高智商的患者、广泛性放电或者局灶性放电以及特发性癫痫患者对于音乐治疗反应显著。

音乐治疗和情绪

情绪障碍和抑郁综合征是神经系统疾病中常见的并发症,在脑卒中、癫痫、多发性硬化和帕金森病患者中的发病率达 20%~50%^[29],情感淡漠和焦虑也是常见的神经精神症状。这些神经精神症状被认为对健康相关的生活质量有所影响,它们会增加认知障碍的发病率并使之加重^[30]。心理学因素是影响疾病恢复的一个重要因素,其关系到参与康复训练的积极性。音乐是一种可供选择的通过情绪管理以减轻抑郁和神经心理症状的替代方式。然而较少有探究音乐疗法在情绪领域的研究。有研究报道,音乐支持性疗法能减轻抑郁和疲劳,提高脑卒中患者的生活质量^[31]。相比聆听文字或听觉干预,在 2 个月的时间里日常听自选的音乐,可使患者在日后提高情绪及言语记忆,使注意力更加集中^[32]。更重要的是,音乐能诱发额叶和边缘系统灰质的增加并使之发生结构性改变^[33]。因此,音乐活动可能是一种调节情绪性反应的工具,由此可以克服不良情绪。

约 30%的帕金森病患者在临床上表现出显著的抑郁综合征,且抑郁患者发展为帕金森病的风险也在增加^[34]。Raglio 等^[34]综述报道,随着主动式音乐疗法干预时间的延长,帕金森病患者的生活质量得到提升,情绪有所改善,但由于临床上较少将即兴创作等音乐治疗的方法应用于此类患者,或者没有相关记录,因此资料相对缺乏。从情感的角度而言,创作、聆听音乐是一种强烈的刺激,这对于激活边缘系统和奖励系统起重要作用。Spina 等^[35]对帕金森病患者进行了持续 24 周(每周 1 次,每次 90 min)的音乐干预,包括音乐创作、唱歌跳舞,结果显示音乐治疗可以改善患者的情绪状态及认知功能,但在干预结束之后随着病情的发展,这种进步将随之消退,这也提示了持续进行音乐治疗的必要性。

主动式音乐疗法和被动式音乐疗法都能减少痴呆患者的抑郁情况,在调节情绪和改善认知方面也有一定的帮助。Chu 等^[36]对 104 例轻、中度痴呆患者的研究中证实,群体性音乐疗法可以改善痴呆患者的抑郁症,这种改善在治疗过程中显而易见,在治疗结束后 1 个月的随访中音乐治疗组的认知功能也有所改善,尤其是回忆功能。Nicholas 等^[37]对于阿尔茨海默病患者的研究中发现,相较于单纯对歌词的文字记忆,有音乐背景时患者能更好地记忆歌词。这提示音乐疗法可能更大程度地影响记忆形成的过程而非记忆本身。在其后续的研究^[38]中,进一步说明了音乐只能增强对一般信息的记忆,而对于加强特定信息的记忆仍待考证。

音乐疗法的作用机制

音乐疗法的作用机制尚不明确。音乐练习的水平似乎与整个运动区的灰质增加呈正相关^[39]。尽管如此,最近一项对严

格挑选的钢琴家所做的研究则展示了一个更复杂的模式,即随着音乐练习水平的增高,Lorenz 区周围和纹状体区的灰质密度降低,而涉及更高层次的加工区域(如右侧梭状回、右侧眶回中部以及左侧额前回)的灰质密度则增加^[40]。

由于音乐练习对听觉处理有积极影响,因此,有助于提高大脑结构的可塑性,如在运动系统中,联合音乐的运动可诱发皮质的听觉网络结构发生改变^[41]。此外,在纵向研究和横截面研究中观察到音乐练习可促使大脑灰质发生改变,与非音乐家相比,音乐家呈现出听觉皮质扩大,而且音乐家展现了更加发达的上纵束和弓状纤维束,这些纤维束联系了听觉皮质和 Broca 区^[42]。

音乐练习也可以通过白质的改变调节远距离区域间的连接强度。与非音乐家相比,专业钢琴家的胼胝体前部即主要的连接两个半球白质的纤维束更大^[43]。最近有报道,扩散张量成像显示,音乐家在左右半球的辅助运动区、皮质脊髓束及更为重要的听觉区和运动区之间有更强的白质连接^[22]。运动区和听觉区网络的强联系已经在进一步的功能影像研究中被证实,而非音乐家聆听音乐时也呈现出这种听觉-运动区的共激活^[44]。

动物实验发现,听音乐可使大鼠的脑内海马区 BDNF 及其受体 Trk β 增加,齿状回神经新生^[45]。研究发现,具有莫扎特效应的音乐中旋律起决定性作用,对于这一发现的一个合理的解释可能是由于相较于人类,大鼠可能不需要听到音乐所有的元素,而只需要得到其最重要的元素,即其旋律^[12]。换言之,音乐疗法的潜在机制可能是音乐旋律的周期性与大鼠和人类的某些生理性周期类似而得以发挥作用。

总结与展望

音乐疗法是一种无创、廉价、形式多样、易于被患者及其照顾者所接受的治疗手段,音乐诱发的神经塑性改变的神经机制仍不明确,但是有越来越多的证据表明音乐练习的积极作用,而这也证明音乐疗法可应用于神经康复领域。最近的研究显示,听音乐对于大多数人是有利的^[46],长期的音乐训练和相关的感觉运动技能学习是发育中的大脑及成人脑中神经可塑性变化的强烈刺激物,影响白质、灰质以及皮质和皮质下结构。被动式音乐疗法可以激活大部分奖赏系统^[47],亦可促进健康大脑和病理性大脑的神经塑性改变,但其具体作用机制仍需进一步研究。

参 考 文 献

[1] 叶琳娜. 音乐治疗的研究综述[J]. 求知导刊, 2015(1):51.
 [2] 孙长慧, 胡瑞萍, 白玉龙. 音乐疗法在言语康复中的应用进展[J]. 中国康复理论与实践, 2013, 19(7):623-625. DOI:10.3969/j.issn.1006-9771.2013.07.007.
 [3] Zatorre RJ, Chen JL, Penhune VB. When the brain plays music: auditory-motor interactions in music perception and production[J]. Nat Rev Neurosci, 2007, 8(7):547-558. DOI:10.1038/nrn2152.
 [4] Rathore SS, Hinn AR, Cooper LS, et al. Characterization of incident stroke signs and symptoms: findings from the atherosclerosis risk in communities study[J]. Stroke, 2002, 33(11):2718-2721. DOI:10.1161/01.STR.0000035286.87503.31.

[5] Zhang Y, Cai J, Zhang Y, et al. Improvement in stroke-induced motor dysfunction by music-supported therapy: a systematic review and meta-analysis[J]. Sci Rep, 2016, 6:38521. DOI:10.1038/srep38521.
 [6] Nascimento LR, de Oliveira CQ, Ada L, et al. Walking training with cueing of cadence improves walking speed and stride length after stroke more than walking training alone: a systematic review[J]. J Physiother, 2015, 61(1):10-15. DOI:10.1016/j.jphys.2014.11.015.
 [7] 宋涛, 许光旭, 龙丽华, 等. 音乐疗法对脑卒中偏瘫患者肢体运动功能的影响[J]. 中国医药指南, 2013(05):21-23.
 [8] Maegele M, Lippert-Gruener M, Ester-Bode T, et al. Reversal of neuromotor and cognitive dysfunction in an enriched environment combined with multimodal early onset stimulation after traumatic brain injury in rats[J]. J Neurotrauma, 2005, 22(7):772-782. DOI:10.1089/neu.2005.22.772.
 [9] Chikahisa S, Sei H, Morishima M, et al. Exposure to music in the perinatal period enhances learning performance and alters BDNF/TrkB signaling in mice as adults[J]. Behav Brain Res, 2006, 169(2):312-319. DOI:10.1016/j.bbr.2006.01.021.
 [10] Kim H, Lee MH, Chang HK, et al. Influence of prenatal noise and music on the spatial memory and neurogenesis in the hippocampus of developing rats[J]. Brain Dev, 2006, 28(2):109-114. DOI:10.1016/j.braindev.2005.05.008.
 [11] Sarkamo T, Tervaniemi M, Laitinen S, et al. Music listening enhances cognitive recovery and mood after middle cerebral artery stroke[J]. Brain, 2008, 131(Pt 3):866-876. DOI:10.1093/brain/awn013.
 [12] Xing Y, Xia Y, Kendrick K, et al. Mozart, Mozart rhythm and retrograde Mozart effects: evidences from behaviours and neurobiology bases[J]. Sci Rep, 2016, 6:18744. DOI:10.1038/srep18744.
 [13] Tomaino CM. Effective music therapy techniques in the treatment of nonfluent aphasia[J]. Ann N Y Acad Sci, 2012, 1252:312-317. DOI:10.1111/j.1749-6632.2012.06451.x.
 [14] 周惠嫦, 张益德. 旋律语调对重度感觉性失语的康复意义[J]. 现代康复, 2000, 4(10):1480-1481. DOI:10.3321/j.issn:1673-8225.2000.10.023
 [15] Kim SD, Allen NE, Canning CG, et al. Postural instability in patients with Parkinson's disease. Epidemiology, pathophysiology and management[J]. CNS Drugs, 2013, 27(2):97-112. DOI:10.1007/s40263-012-0012-3.
 [16] Stoessel AJ, Lehericy S, Strafella AP. Imaging insights into basal ganglia function, Parkinson's disease, and dystonia[J]. Lancet, 2014, 384(9942):532-544. DOI:10.1016/S0140-6736(14)60041-6.
 [17] Nombela C, Hughes LE, Owen AM, et al. Into the groove: can rhythm influence Parkinson's disease[J]. Neurosci Biobehav Rev, 2013, 37(10 Pt 2):2564-2570. DOI:10.1016/j.neubiorev.2013.08.003.
 [18] Raglio A. Music therapy interventions in Parkinson's disease: the state-of-the-art[J]. Front Neurol, 2015, 6:185. DOI:10.3389/fneur.2015.00185.
 [19] Benoit CE, Dalla BS, Farrugia N, et al. Musically cued gait-training improves both perceptual and motor timing in Parkinson's disease[J]. Front Hum Neurosci, 2014, 8:494. DOI:10.3389/fnhum.2014.00494.
 [20] Thaut MH, McIntosh GC, Hoemberg V. Neurobiological foundations of neurologic music therapy: rhythmic entrainment and the motor system[J]. Front Psychol, 2014, 5:1185. DOI:10.3389/fpsyg.2014.01185.
 [21] Thaut MH, McIntosh GC, Rice RR, et al. Rhythmic auditory stimula-

- tion in gait training for Parkinson's disease patients[J]. *Mov Disord*, 1996, 11(2): 193-200. DOI:10.1002/mds.870110213.
- [22] Francois C, Grau-Sanchez J, Duarte E, et al. Musical training as an alternative and effective method for neuro-education and neuro-rehabilitation[J]. *Front Psychol*, 2015, 6: 475. DOI:10.3389/fpsyg.2015.00475.
- [23] Arias P, Cudeiro J. Effects of rhythmic sensory stimulation (auditory, visual) on gait in Parkinson's disease patients[J]. *Exp Brain Res*, 2008, 186(4): 589-601. DOI:10.1007/s00221-007-1263-y.
- [24] Willems AM, Nieuwboer A, Chavret F, et al. The use of rhythmic auditory cues to influence gait in patients with Parkinson's disease, the differential effect for freezers and non-freezers, an explorative study [J]. *Disabil Rehabil*, 2006, 28(11): 721-728. DOI: 10.1080/09638280500386569.
- [25] O'Kelly J, Magee WL. The complementary role of music therapy in the detection of awareness in disorders of consciousness: an audit of concurrent SMART and MATADOC assessments[J]. *Neuropsychol Rehabil*, 2013, 23(2): 287-298. DOI:10.1080/09602011.2012.753395.
- [26] O'Kelly J, James L, Palaniappan R, et al. Neurophysiological and behavioral responses to music therapy in vegetative and minimally conscious states[J]. *Front Hum Neurosci*, 2013, 7: 884. DOI:10.3389/fnhum.2013.00884.
- [27] Lin LC, Lee WT, Wu HC, et al. Mozart K.448 and epileptiform discharges: effect of ratio of lower to higher harmonics[J]. *Epilepsy Res*, 2010, 89(2-3): 238-245. DOI:10.1016/j.eplepsyres.2010.01.007.
- [28] Dastgheib SS, Layegh P, Sadeghi R, et al. The effects of Mozart's music on interictal activity in epileptic patients: systematic review and meta-analysis of the literature[J]. *Curr Neurol Neurosci Rep*, 2014, 14(1): 420. DOI:10.1007/s11910-013-0420-x.
- [29] Caeiro L, Ferro JM, Costa J. Apathy secondary to stroke: a systematic review and meta-analysis[J]. *Cerebrovasc Dis*, 2013, 35(1): 23-39. DOI:10.1159/000346076.
- [30] Ayerle B, Ayis S, Wolfe CD, et al. Natural history, predictors and outcomes of depression after stroke: systematic review and meta-analysis[J]. *Br J Psychiatry*, 2013, 202(1): 14-21. DOI:10.1192/bjp.bp.111.107664.
- [31] Van Vugt FT, Ritter J, Rollnik JD, et al. Music-supported motor training after stroke reveals no superiority of synchronization in group therapy[J]. *Front Hum Neurosci*, 2014, 8: 315. DOI:10.3389/fnhum.2014.00315.
- [32] Sarkamo T, Tervaniemi M, Laitinen S, et al. Music listening enhances cognitive recovery and mood after middle cerebral artery stroke [J]. *Brain*, 2008, 131(Pt 3): 866-876. DOI:10.1093/brain/awn013.
- [33] Sarkamo T, Ripolles P, Vepsäläinen H, et al. Structural changes induced by daily music listening in the recovering brain after middle cerebral artery stroke: a voxel-based morphometry study [J]. *Front Hum Neurosci*, 2014, 8: 245. DOI:10.3389/fnhum.2014.00245.
- [34] Raglio A, Attardo L, Gontero G, et al. Effects of music and music therapy on mood in neurological patients [J]. *World J Psychiatry*, 2015, 5(1): 68-78. DOI:10.5498/wjp.v5.i1.68.
- [35] Spina E, Barone P, Mosca LL, et al. Music therapy for motor and nonmotor symptoms of Parkinson's disease: a prospective, randomized, controlled, single-blinded study[J]. *J Am Geriatr Soc*, 2016, 64(9): e36-e39. DOI:10.1111/jgs.14295.
- [36] Chu H, Yang CY, Lin Y, et al. The impact of group music therapy on depression and cognition in elderly persons with dementia: a randomized controlled study [J]. *Biol Res Nurs*, 2014, 16(2): 209-217. DOI:10.1177/1099800413485410.
- [37] Simmons-Stern NR, Budson AE, Ally BA. Music as a memory enhancer in patients with Alzheimer's disease[J]. *Neuropsychologia*, 2010, 48(10): 3164-3167. DOI:10.1016/j.neuropsychologia.2010.04.033.
- [38] Simmons-Stern NR, Deason RG, Brandler BJ, et al. Music-based memory enhancement in Alzheimer's disease: promise and limitations [J]. *Neuropsychologia*, 2012, 50(14): 3295-3303. DOI: 10.1016/j.neuropsychologia.2012.09.019.
- [39] Gaser C, Schlaug G. Brain structures differ between musicians and non-musicians[J]. *J Neurosci*, 2003, 23(27): 9240-9245. DOI: 10.1016/S1053-8119(01)92488-7.
- [40] James CE, Oechslin MS, van de Ville D, et al. Musical training intensity yields opposite effects on grey matter density in cognitive versus sensorimotor networks[J]. *Brain Struct Funct*, 2014, 219(1): 353-366. DOI:10.1007/s00429-013-0504-z.
- [41] Hyde KL, Lerch J, Norton A, et al. Musical training shapes structural brain development[J]. *J Neurosci*, 2009, 29(10): 3019-3025. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.5118-08.2009.
- [42] Halwani GF, Loui P, Ruber T, et al. Effects of practice and experience on the arcuate fasciculus: comparing singers, instrumentalists, and non-musicians[J]. *Front Psychol*, 2011, 2: 156. DOI:10.3389/fpsyg.2011.00156.
- [43] Schlaug G, Jancke L, Huang Y, et al. Increased corpus callosum size in musicians[J]. *Neuropsychologia*, 1995, 33(8): 1047-1055. DOI: 10.1016/0028-3932(95)00045-5.
- [44] Baumann S, Koeneke S, Schmidt C F, et al. A network for audio-motor coordination in skilled pianists and non-musicians[J]. *Brain Res*, 2007, 1161: 65-78. DOI:10.1016/j.brainres.2007.05.045.
- [45] Lee SM, Kim BK, Kim TW, et al. Music application alleviates short-term memory impairments through increasing cell proliferation in the hippocampus of valproic acid-induced autistic rat pups [J]. *J Exerc Rehabil*, 2016, 12(3): 148-155. DOI:10.12965/jer.1632638.319.
- [46] Mas-Herrero E, Zatorre RJ, Rodríguez-Fornells A, et al. Dissociation between musical and monetary reward responses in specific musical anhedonia[J]. *Curr Biol*, 2014, 24(6): 699-704. DOI:10.1016/j.cub.2014.01.068.
- [47] Salimpoor VN, van den Bosch I, Kovacevic N, et al. Interactions between the nucleus accumbens and auditory cortices predict music reward value[J]. *Science*, 2013, 340(6129): 216-219. DOI:10.1126/science.1231059.

(修回日期:2017-09-12)

(本文编辑:汪玲)