

舞蹈训练中与动作学习关联的神经结构

——观看、构想、践行

叶 波

北京师范大学艺术与传媒学院, 北京
Email: xiaoyezi_wuzhe@qq.com

收稿日期: 2021年2月16日; 录用日期: 2021年3月10日; 发布日期: 2021年3月23日

摘 要

专业舞蹈训练既要求精湛的运动技艺, 又要求艺术审美的感染力。职业舞者既能够精确地重现包含复杂高难动作的大段编舞, 也能进行新颖的即兴创作。这为心理学以及神经科学研究提供了一个独特的用于研究复杂运动学习的受试者群体。既往研究表明: 舞蹈培训中运动学习过程的三个环节——观察动作、运动心像、执行动作会调用一个共享的“动作观察与虚拟”神经网络。本文回顾了近年来与舞蹈训练相关的功能性核磁共振成像与脑电图研究。结果发现舞蹈训练的动作学习会调用人脑中多个彼此重叠的运动、感觉、以及认知功能区域。在长期专项舞蹈训练造就精湛表演技艺的过程中, 多样、协调的运动任务所诱导的神经可塑性改变是其中不可或缺的基础。

关键词

舞蹈训练, 动作观察, 运动心像, 功能性神经影像检查, 神经可塑性

Neural Structures Associated with Movement Learning in Dance Training

—Observation, Imagery, Enactment

Bo Ye

School of Art and Communication, Beijing Normal University, Beijing
Email: xiaoyezi_wuzhe@qq.com

Received: Feb. 16th, 2021; accepted: Mar. 10th, 2021; published: Mar. 23rd, 2021

Abstract

Professional dance training demands the achievement of both motor expertise and esthetic appeal.

文章引用: 叶波(2021). 舞蹈训练中与动作学习关联的神经结构. *心理学进展*, 11(3), 713-720.
DOI: 10.12677/ap.2021.113081

Expert dancers are capable of both flawless performances of long sessions of choreography comprising complex and demanding movements, and creative improvisation, which made them a unique group of subjects for investigating brain plasticity changes caused by complex motor learning. The three facets of motor learning-action observation (AO), motor imagery (KMI), and movement execution have been shown to recruit a common “Action Observation and Visualization” network. Functional magnetic resonance imaging (fMRI) and Electroencephalography (EEG) studies related to dance training were reviewed. It was found that complex movements in dance learning recruit different motor, sensory and cognitive brain areas. Neuroplasticity changes associated with variegated and coordinated motor tasks in dance training underpin the expertise brought by long-term intensive training of the specific genres of dance. On the other hand, due to the motion artifact inevitably elicited by complex whole-body movement in the process of tomography imaging, the use of more ecologically valid dance material as stimuli in the functional neurology imaging study on movement execution is still unfeasible at present. Therefore, motor imagery invoked across multiple sensory modalities will still be employed as substitute for actual movement execution in the foreseeable future.

Keywords

Dance Training, Action Observation, Motor Imagery, Functional Neuroimaging Study, Neuroplasticity

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

舞蹈是一项历史悠久且普遍见于各民族与文化的身体语言。而专业舞蹈训练所造就的精湛技艺是常人通过正常身体发育、日常生活活动以及普通体育锻炼所无法达到的，只能通过长期反复的专业训练才能实现。舞蹈艺术家兼具高超动作技巧和美学感染力的身体造型与运动方式，显现出其在躯体感觉整合、动作学习、情感表达方面的种种出色之处。按照具身认知的观点，认知不能脱离身体媒介发生。在舞蹈学习中，大脑和身体对本来陌生的舞蹈动作通过针对性的动作学习达成有效地掌握；长期专注的舞蹈学习、排练、表演，又对身体施加反馈。专业舞者与新手舞者相比，身体上的种种过人之处昭示着：舞蹈训练可能带来神经系统中相关运动感觉回路的结构与功能性改变，使得舞者在神经可塑性研究方面成为有价值的研究对象。

2. 舞蹈动作学习涉及的皮质活动

2.1. 观看舞蹈动作

舞者常靠观看指导者的演示来掌握新的技术、学习新的编舞，并靠回看自己的动作查找不足、提高动作质量。在观看别人做动作时，尽管我们自己的肢体没动，但头脑中会虚拟类似的动作。有关这种观看和虚拟动作的研究受到了名为“镜神经元(mirror neuron)”理论(Rizzolatti & Craighero, 2004)的影响：我们学习新动作时，通过把观察到的他人示范动作映照成自己头脑中的动作表征来加以理解和掌握，因此该系统在通过观察进行动作学习的过程中发挥关键性的作用。该理论设想“动作观察网络”(action observation network, AON)位于初级运动区、运动前区(PMC)、运动辅助区(SMA)以及顶叶皮质，这些皮质区不仅在身体执行动作时激活，而且在观看他人动作或以心像(imagery)构想同样动作时也会激活(Lotze et al., 1999)。

镜神经元最早发现于食蟹猕猴, 后续研究证实人脑也存在该系统。譬如 Buccino 等(2001)以功能性核磁共振显像技术(fMRI)进行的一项研究发现受试者在观察其他人不同身体部位运动时, 其大脑运动前区和顶叶皮质中激活的部位与躯体特定部位运动器官之间, 有一一对应的位置编排(somatotopic organization)。而且, 镜神经元的活动只针对生命体的动作: 即观察他人手部动作能够引发皮质活动, 而观察机械手做同样动作则不能(Tai et al., 2004)。再有, 一项以人、猴、犬为对象的研究, 发现只有观察者观看属于其自身物种动作曲目库(motor repertoire)的动作时(譬如犬吠就不属于人的动作曲目库), 才会诱发其镜神经元活动, 否则就只能拍摄到视觉区皮质的活动。这提示人脑神经元系统的活化水平取决于所观察的动作与自身掌握的动作之间的符合程度(Buccino et al., 2004)。

和以上这些人脑镜像系统研究中所采用的简单动作(比如抬、落手指)相比, 舞蹈动作的复杂性远超前, 对人的动作观察、解析、模拟能力提出了更高的挑战。对舞者观看舞蹈表演时的脑部活动进行 fMRI 检查, 会为舞蹈训练如何影响人脑神经网络提供线索。Calvo-Merino 等(2005)的一项研究分设三组受试者: 专业芭蕾舞、专业卡波舞(capoeira)舞者、非舞者对照。在受试者先后观看多段芭蕾舞和卡波舞视频短片的同时以 fMRI 记录其大脑不同皮质区的活动, 结果发现专业舞者在观看自己掌握的舞种时(与陌生舞种相比), 其数个皮质区的活动更强, 这些区域包括双侧运动前区、顶内沟(intraparietalsulcus)、后颞上(posterior superior temporal)与顶叶、还有内侧前额(medial prefrontal)皮质、扣带回(cingulate gyrus), 以及海马旁回(parahippocampal gyrus)。而非舞者则没有呈现出这种差异。这提示当舞者观看动作时, 是依照其个人的动作曲目库(motor repertoire)来调用皮质区形成表征。其动作观察网络的神经元活动针对的是足以分辨舞蹈风格, 即更为抽象层次的动作编排。但有一个疑问是上述结果是否反映的只是舞者对本舞种动作在视觉方面的熟悉, 而非皮质运动区对身体技巧的熟稔呢? 为了进一步辨析该问题, Calvo-Merino 等(2006)又进行了一项 fMRI 研究: 尽管有些芭蕾动作专属于男性或女性舞者, 但全体芭蕾舞对两性的动作从视觉角度来讲都很熟悉。当男女舞者观看芭蕾舞短视频时, 当内容是两性都熟练掌握的动作时, 运动前区、顶叶、小脑等区域都记录到了明显的皮质活动, 当观看内容属于同性专属动作曲目库时(与观看异性专属动作曲目库时相比), 上述皮质区的活动更加强烈。由此显示舞者理解动作不仅靠视觉识别, 更是靠在运动觉方面的躯体感知。Cross 等(2009)在一组并非舞者的健康成人中进行了五日的舞蹈视频游戏的观看与动作学习, 前后对照的 fMRI 结果显示短暂的舞蹈训练就在动作观察网络中引起了神经元活动增加。以上这些 fMRI 研究提示运动前区与顶叶皮质在舞蹈观看过程中发挥重要作用。

脑电图(Electroencephalography, EEG)是一种记录脑电波的电生理监测方法, 它测量的是众多锥体细胞兴奋时的突触后电位的同步总和, 不同频率的脑波对应不同的人体状态, 譬如 α 波记录于放松平静但清醒时; β 波的低频、中频和高频段分别记录于放松但精神集中、思考并处理接收到的外界讯息、激动或焦虑的状态下; 而 μ 波是在控制随意运动的大脑区域内大量锥体神经元发生电活动时的同步化波形。EEG 能提供精确至毫秒的时间分辨率。Orgs 等(2008)在专业舞者和对照组构成的一个样本中, 以 EEG 记录受试者在观看 6~12 s 舞蹈动作和日常生活动作短视频过程中的事件相关去同步化(event-related desynchronization, ERD), ERD 代表由动作观察系统对感觉运动区皮质的抑制。舞者在观看舞蹈动作时(与观察日常生活动作相比)显示出更明显的 ERD, 提示其动作观察系统的激活更加强烈, 而对照组则没有呈现如此差异。Amoruso 等(2014)在专业探戈舞者、新手探戈舞者、对舞蹈完全陌生的对照组构成的样本中, 分别记录受试者观看正确或带有不同程度错误的探戈短视频时的 EEG 活动, 从额-顶-枕叶发放的预判性神经元活动呈现显著的组间差异, 且与舞技精湛程度正相关。

综上所述, 在舞蹈学习的动作观察网络方面, fMRI 提供了精细的解剖结构分辨率, 而 EEG 提供了

事件相关的时间分辨率。专业舞者在观看熟悉的舞蹈动作时,其动作观察与模拟神经网络(特别是运动前区与顶叶)的活动强度既超过非舞者对照组,也超过新手舞者,其原因可能是舞者的既往训练形成了强化的动作表征。

2.2. 运动心像(Motor Imagery)

舞蹈心像是指舞者有意识地使用感官(视、听、触、运动、本体感觉等等),在脑海中勾勒出的一个表征。心像发生时可以不伴随,或伴随外在的身体动作。心像的内容可以是曾经真实经历过的,也可以是完全虚拟的动作、物品、事件、过程、或者感受(Overby & Dunn, 2011)。舞蹈心像常常被用于舞蹈课堂教学,也被用于创作编舞(Fink et al., 2009)。舞蹈训练可以强化运动觉心像(kinesthetic imagery),专业舞者与业余舞者相比,其心像更加复杂与逼真(Golomer et al., 2008)。有的教师建议为了减低繁重训练造成的身体负荷,特别是在伤病恢复期间,可以采用基于心像的替代性练习(Krasnow, 1997)。那么运动心像给舞者带来上述种种帮助的机制是什么?有研究提出运动心像是基于调用动作表征的模拟过程(Jeanerod, 2004)。由于以心像构想动作与实际执行动作所涉及的感觉运动神经网络有颇多重合,通过心像练习激活这些共享皮质区域,能够以促发(priming)的方式协助个体获得实际的运动技能(Adams et al., 2014)。有研究发现,舞者调用运动心像构想动作时,可以记录到其心率升高、肢体出现肌肉动作电位、若干皮质区域(包括运动前区,辅助运动区,顶叶,初级运动区)的高频段 β 波活动增加,这些皮质活动代表了堪比真实舞蹈表演中的高度专注状态(Blaser & Hökelmann, 2009)。另有研究者在单手序贯按下按钮任务中,令受试者先后进行相应的动作心像(MI)与该动作的实际执行(ME),以脑磁波图(Magnetoencephalography, MEG)记录其脑部神经活动,并同时以肌电图记录肌肉活动,结果显示 MI 与 ME 引发的脑部活动有重叠的皮质区分布,都覆盖了肢体对侧的初级运动区以及躯体感觉区,但是 MI 所引发的活动强度低于 ME,而且 ME 引发的活动显著更集中于对侧皮质(Krautner et al., 2014)。Cross 等(2006)令专业舞者在观看熟悉与陌生舞蹈短视频时在头脑中以心像构想相同动作,以 fMRI 检查其皮质活动。结果发现观看和构想舞步在运动前区和顶下小叶中都诱发了神经活动,而且活动强度与舞者对舞步的熟练度以及舞者对表演该舞步的自身能力评分正相关,同时动作的构想除了涉及上述两个皮质区,还引发了运动辅助区、颞上沟以及初级运动区皮质的激活。综上所述,动作的观看、心像甚至实际执行都会引发额、顶叶内若干重叠皮质区的神经活动,因此这几种行为都是基于彼此共享的一套动作表征系统。有研究通过记录双手手指敲击测验过程中受试者的 fMRI 影像,显示观看、构想、执行动作这三者所激活的皮质区呈现层级结构,即观看动作调用的皮质区包含于运动心像所调用的皮质区,而后者又被包含于实际执行动作所调用的皮质区(Macuga & Frey, 2012)。

2.3. 实际的舞蹈动作

因为移动会在成像中造成伪影,所以前文所述的研究方法,特别是脑部断层扫描(MRI 就是其中之一)很难用于探测神经结构在实际的舞动中发生的结构或功能变化。但有些研究者尝试通过改变实验的设计来克服这一难题。Brown 等(2006)设计了一种装置,让受试的业余探戈舞者躺在正电子断层扫描(PET)机(被检查者在拍摄之前会摄入带有放射性示踪标记的葡萄糖,因为脑细胞活动时摄入大量葡萄糖满足能量需求,在显像过程中活跃的脑组织区域就会比不活跃的区域摄入更多放射示踪标记,从而在影像上得以凸现。),其双脚在一个 30 度倾斜平面上做探戈舞步(仅腿动,头不动)。结果显示当舞步和音乐达到和谐同步时,小脑呈现高代谢活动,在时间间隔一致的规律舞步中,基底节中的壳核呈现高代谢活动。但该方法显然无法用于研究全身的舞蹈动作。

Tachibana 等(2011)采用功能性近红外光谱法(fNIRS) (fNIRS 和 fMRI 一样都是靠脑血流中的氧和血红

素代谢动力学来测量脑部的神经活动, 尽管对空间结构的分辨率不如 MRI, 但它具有时间分辨率, 受运动伪影的干扰也较小)研究非舞者在进行一种舞蹈视频游戏时的脑部活动。结果发现在颞上回和顶上小叶出现的神经活动随游戏难度的增加而强化。在之后的一项方法基本相同的研究中, Ono 等(2014)发现额颞叶的氧和血红素代谢动力学预示了舞蹈模拟游戏中受试者的舞步精确度。Cruz-Garza 等(2014)以 EEG 方法研究接受过拉班动作解析(Laban Movement Analysis, LMA) (这是一种用于记录、解析各种各样的人体动作并将之形象化描述的符号系统和特殊语言)培训的舞者在以下三种全身动作中的脑神经活动: 1) 完全剥离表达性质的动作; 2) 无表达性动作的同时构想一种表达性动作的特质; 3) 具有表达性质的动作。其中后两种情况下所涉及的表达性动作特质是由 LMA 所定义的八种力效特质(effort quality)所构成。EEG 记录到了运动前区, 运动区和顶叶皮质的神经活动, 由机器学习算法根据 EEG 信号对舞蹈动作的表达性特质进行了较为精确符合其力效特质的分类。上述研究表明 PET、fNIRS、EEG 等方法可以用于真实舞蹈动作过程中的功能性神经活动研究, 并揭示了一个涉及舞蹈表演不同技术层面的多个脑区域构成的指挥网络。但也应看到, 研究中所采用的舞蹈动作是经过简化的, 与真实的舞蹈课堂教学以及舞台表演动作差距很大, 今后动作捕捉技术与上述神经电活动记录技术的结合可能成为该问题的尝试解决方向。

3. 舞蹈训练相关的神经可塑性改变

动作学习(Motor learning)是通过重复的练习和不断的反馈以获取并强化技能的过程(Newell, 1991)。神经可塑性(neuroplasticity)是指人体神经网络针对环境与自身的改变所呈现的功能与结构的适应性调整。反复进行的专项动作训练的神经活动会不断调用其对应的大脑区域, 从而带来神经可塑性方面的改变: 在相同动作任务中专业人员与非专业人员的神经影像研究表明: 前者完成任务所需激活的神经元活动少于后者, 这可能提示长期的训练令专业人员的神经结构发生了适应性变化, 导致任务相对容易, 需要调用的神经活动从而减少(Bar & DeSouza, 2016)

Rehfeld 等(2017)借助“基于体素的形态学分析”(voxel-based morphometry, VBM) (这是一种磁共振成像的自动分析技术, 可以对活体脑进行精确的形态学研究, 通过定量计算分析 MRI 中每个体素的脑灰质、白质密度或体积的变化来反映解剖结构的比较差异。)研究显示为期 18 个月的舞蹈训练和普通体能锻炼都导致了左侧海马部分区域, 包括 CA1、CA2 亚区与左侧胛下脚(subiculum)体积增大; 但只有舞蹈训练组呈现出左侧齿状回(dentate gyrus)以及右侧胛下脚的体积增大。这意味着舞蹈练习中各式各样生动的认知与感觉运动任务提供了更加多样化的刺激, 从而导致海马体积的进一步增大。相同研究组的另外两项研究同样发现了舞蹈训练干预导致了左侧中央沟前回与右脑旁海马回(parahippocampal) (Müller et al., 2017)以及扣带皮层(cingulate)、左侧运动辅助区、左脑额叶内侧回(medial frontal)、左脑岛叶(insula)、左脑颞上回(superiortemporal)、以及左脑中央沟后回(postcentral)灰质体积的显著增加(Rehfeld et al., 2018)。而且后一项研究还显示, 舞蹈训练(学习若干段编舞)与普通力量、耐力、柔韧训练相比, 受试者胼胝体(corpus callosum)增大更加显著。但值得注意的是, 这三项研究的受试者基线状况都是并非舞者的健康老年人, 干预的效果很可能是对年龄相关的神经组织退行性变的延缓或逆转, 与本文所讨论的从青少年阶段就开始的舞蹈训练有所不同, 仅能提供极为有限的参考价值。

在针对舞者的神经可塑性研究方面, Hänggi 等(2010)对 10 名职业芭蕾舞者和 10 名没有接受过舞蹈训练的对照组进行比较, 结果显示舞者的运动前区、运动辅助区、壳核灰质以及皮质脊髓束白质的容积都显著低于对照组。这一结果与其之前的运动训练导致运动区皮质容积增加的发现相矛盾(Jäncke et al., 2009)。其后的一项对比舞蹈家、音乐家、无相关训练的对照组的研究发现前两组的颞上回皮质的厚度都显著大于对照组(Karpati et al., 2017)。尤其是 Meier 等的研究(2016)显示职业芭蕾舞者与手球运动员相比, 其初级运动区对应足部的皮质容积显著高于后者, 这提示不同的运动方式所导致的神经可塑性改变。

Karpati 等(2018)又采用结构协方差(Structural covariance, SC)分析法对比舞者与对照组,发现舞者的左脑背外侧前额叶皮质(Dorsolateral prefrontal cortex, DLPFC)的皮质厚度与全脑平均皮质厚度的相关度低于对照组,而且该相关度越低的个体在舞蹈视频游戏任务中的成绩就越好。这提示该区域皮质厚度的改变可能是舞蹈训练诱发的神经可塑性改变。

此外, Nigmatullina 等(2015)针对芭蕾舞者对旋转的适应性进行研究,发现与对照组的划桨手相比,舞者在经历实验造成的颠簸和旋转之后,其前庭动眼反射(Vestibular-ocular reflex, VOR)以及眩晕感不仅持续时间更短,而且两者没有关联(而对照组的 VOR 反射和眩晕感持续时间大致相当)。VBM 成像显示舞者的前庭小脑(vestibular cerebellum)灰质密度低于对照组,而且越是擅长趾尖旋转(pirouette)的舞者,其灰质密度就越低。该研究显示芭蕾舞者除了使用“留头”的技巧来避免连续旋转造成的眩晕感之外,经年的旋转训练也让舞者的神经系统作出适应性改变,抑制来自内耳平衡接受器的信号。

Bar 等(2016)以专业芭蕾舞者为受试,令其学习一段新的编舞,并分别于排练 4 次、9 次,加登台表演场次达到 16 场与 36 场之后进行四次 fMRI 检查,第一次检查与第二、三次、四次检查的时间间隔分别为 1 周,7 周和 34 周。在 fMRI 检查过程中要求受试舞者随着伴奏音乐以心像构想对应的舞步。结果显示其运动辅助区与听觉皮质的神经活动在前 7 周之内随着编舞学习的深入而递增,但到 34 周时对应皮质区域的神经活动却比第 7 周时有所降低。但这并不代表上述感觉-运动任务中减少了对这些皮质区的调用,而是意味着这些区域的神经元随着动作学习的深入而变得更有效率,其机制可能是把待处理的信息构成组块(chunk) (Sakai et al., 2003)。

除了不同区域灰质的可塑性改变,其间的白质束连接密度以及功能性连接(Functional Connectivity, FC)也会随舞蹈训练发生适应性改变。皮质-基底节回路在舞蹈训练与表演中发挥重要作用,因为其控制身体的姿态、运动、以及动作选择(Nambu, 2004)。Li 等(2015)对现代舞专业舞者以及非舞者对照组进行了对比研究,发现在连接中央前回、中央后回和双侧壳核的皮质基底节回路中,舞者呈现出更大的白质束连接密度,并且在中间扣带回(middle cingulate)与双侧壳核之间,以及中央前回与中央后回之间呈现出强化的功能性连接。

为了进一步探讨舞蹈训练所带来的运动能力提高与这些神经可塑性改变之间的关联, Burzynska 等(2017)以大学舞蹈专业女生和与之匹配的对照组为受试,使用弥散张量成像(Diffusion Tensor Imaging, DTI), VBM, 安静状态与心像任务状态下的 fMRI, 认知能力评估, 以及 Dance Central 虚拟游戏以及平衡能力测试等多种方法对两组进行比较,青年舞者在 Dance Central 游戏以及平衡任务中胜出,但在认知能力方面未显差异,两组的皮层容积也没有差异,但是舞者在运动观察网络,以及动作学习网络的功能性连接方面呈现改变。作者认为舞蹈训练造成了舞者组在舞蹈技艺以及平衡力方面的优势,而且这些优势与 DTI 所呈现的功能性连接改变相关。

4. 结论

舞蹈学习需要舞者从视觉、听觉、本体感觉等多种感觉途径接收信息并加以整合,在神经系统中形成精确的动作表征,在动作的反复演练中不断接收自身与空间、舞伴、伴奏音乐互动带来的复杂反馈,从而修正自己的动作,使之臻于完善。其学习一段新编舞的开始阶段涉及动作处理的三方面:动作观察、运动心像、以及动作执行。动作观察网络、运动心像方面的功能性磁共振以及脑电图研究结果显示两者涉及共同的神经结构,且与动作执行所需调用的神经结构有所重叠。长期的专业舞蹈训练在培养超常的身体技艺的同时也诱发了相应的神经可塑性改变,例如:不同运动区之间更高效的功能性连接;旋转训练对眩晕感的抑制所伴随的前庭小脑皮质密度的减低,等等。当然、由于运动伪影的原因,功能性神经影像研究中所用的动作任务在当今乃至今后一段时间内都不能采用舞蹈课堂、排练、

以及演出中的真实复杂动作，而只能用运动心像任务进行替代。故此我们的舞蹈课堂教学中要对运动心像予以重视。

参考文献

- Adams, D., Ashford, K. J., & Jackson, R. C. (2014). Priming to Promote Fluent Motor Skill Execution: Exploring Attentional Demands. *Journal of Sport & Exercise Psychology, 36*, 366-374. <https://doi.org/10.1123/jsep.2013-0085>
- Amoruso, L., Sedeño, L., Huepe, D., Tomio, A., Kamienkowski, J., & Hurtado, E. (2014). Time to Tango: Expertise and Contextual Anticipation during Action Observation. *NeuroImage, 98*, 366-385. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2014.05.005>
- Bar, R. J., & DeSouza, J. F. X. (2016). Tracking Plasticity: Effects of Long-Term Rehearsal in Expert Dancers Encoding Music to Movement. *PLoS ONE, 11*, e0147731. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0147731>
- Blaser, P., & Hökelmann, A. (2009). Mental Reproduction of a Dance Choreography and Its Effects on Physiological Fatigue in Dancers. *Journal of Human Sport and Exercise, 4*, 129-141. <https://doi.org/10.4100/jhse.2009.42.06>
- Brown, S., Martinez, M. J., & Parsons, L. M. (2006). The Neural Basis of Human Dance. *Cerebral Cortex, 16*, 1157-1167. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhj057>
- Buccino, G., Binkofski, F., Fink, G. R., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V., Seitz, R. J., Zilles, K., Rizzolatti, G., & Freund, H. J. (2001). Action Observation Activates Premotor and Parietal areas in a Somatotopic Manner: An fMRI Study. *European Journal of Neuroscience, 13*, 400-404. <https://doi.org/10.1046/j.1460-9568.2001.01385.x>
- Buccino, G., Lui, F., Canessa, N., Patteri, I., Lagravinese, G., Benuzzi, F., Porro, C. A., & Rizzolatti, G. (2004). Neural Circuits Involved in the Recognition of Actions Performed by Non-Conspecifics: An FMRI Study. *Journal of Cognitive Neuroscience, 16*, 114-126. <https://doi.org/10.1162/089892904322755601>
- Burzynska, A. Z., Finc, K., Taylor, B. K., Knecht, A. M., & Kramer, A. F. (2017). The Dancing Brain: Structural and Functional Signatures of Expert Dance Training. *Frontier in Human Neuroscience, 11*, 566. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00566>
- Calvo-Merino, B., Glaser, D. E., Grèzes, J., Passingham, R. E., & Haggard, P. (2005). Action Observation and Acquired Motor Skills: An fMRI Study with Expert Dancers. *Cerebral Cortex, 15*, 1243-1249. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhi007>
- Calvo-Merino, B., Grèzes, J., Glaser, D. E., Passingham, R. E., & Haggard, P. (2006). Seeing or Doing? Influence of Visual and Motor Familiarity in Action Observation. *Current Biology, 16*, 1905-1910. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2006.07.065>
- Cross, E. S., de C Hamilton, A. F., & Grafton, S. T. (2006). Building a Motor Simulation de Novo: Observation of Dance by Dancers. *NeuroImage, 31*, 1257-1267. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2006.01.033>
- Cross, E. S., Kraemer, D. J. M., de C Hamilton, A. F., Kelley, W. M., & Grafton, S. T. (2009). Sensitivity of the Action Observation Network to Physical and Observational Learning. *Cerebral Cortex, 19*, 315-326. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhn083>
- Cruz-Garza, J. G., Hernandez, Z. R., Nepaul, S., Bradley, K. K., & Contreras-Vidal, J. L. (2014). Neural Decoding of Expressive Human Movement from Scalp Electroencephalography (EEG). *Frontier in Human Neuroscience, 8*, 188. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00188>
- Fink, A., Graif, B., & Neubauer, A. C. (2009). Brain Correlates Underlying Creative Thinking: EEG Alpha Activity in Professional vs. Novice Dancers. *NeuroImage, 46*, 854-862. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2009.02.036>
- Golomer, E., Bouillette, A., Mertz, C., & Keller, J. (2008). Effects of Mental Imagery Styles on Shoulder and Hip Rotations during Preparation of Pirouettes. *Journal of Motor Behavior, 40*, 281-290. <https://doi.org/10.3200/JMBR.40.4.281-290>
- Hänggi, J., Koeneke, S., Bezzola, L., & Jäncke, L. (2010). Structural Neuroplasticity in the Sensorimotor Network of Professional Female Ballet Dancers. *Human Brain Mapping, 31*, 1196-1206. <https://doi.org/10.1002/hbm.20928>
- Jäncke, L., Koeneke, S., Hoppe, A., Rominger, C., & Hänggi, J. (2009). The Architecture of the Golfer's Brain. *PLoS ONE, 4*, e4785. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0004785>
- Jeannerod, M. (2004). Actions from Within. *International Journal of Sport and Exercise Psychology, 2*, 376-402. <https://doi.org/10.1080/1612197X.2004.9671752>
- Karpati, F. J., Giacosa, C., Foster, N. E. V., Penhune, V. B., & Hyde, K. L. (2017). Dance and Music Share Gray Matter Structural Correlates. *Brain Research, 1657*, 62-73. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2016.11.029>
- Karpati, F. J., Giacosa, C., Foster, N. E. V., Penhune, V. B., & Hyde, K. L. (2018). Structural Covariance Analysis Reveals Differences between Dancers and Untrained Controls. *Frontier in Human Neuroscience, 12*, 373. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2018.00373>

- Kraeutner, S., Gionfriddo, A., Bardouille, T., & Boe, S. (2014). Motor Imagery-Based Brain Activity Parallels That of Motor Execution: Evidence from Magnetic Source Imaging of Cortical Oscillations. *Brain Research*, 1588, 81-91. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2014.09.001>
- Krasnow, D. (1997). C-I Training: The Merger of Conditioning and Imagery as an Alternative Training Methodology for Dance. *Medical Problems of Performing Artists*, 12, 3-8.
- Li, G., He, H., Huang, M., Zhang, X., Lu, J., Lai, Y. et al. (2015). Identifying Enhanced Cortico-Basal Ganglia Loops Associated with Prolonged Dance Training. *Scientific Reports*, 5, Article No. 10271. <https://doi.org/10.1038/srep10271>
- Lotze, M., Montoya, P., Erb, M., Hülsmann, E., Flor, E., Klose, U., Birbaumer, N., & Grodd, W. (1999). Activation of Cortical and Cerebellar Motor Areas during Executed and Imagined Hand Movements: An fMRI Study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 11, 491-501. <https://doi.org/10.1162/089892999563553>
- Macuga, K. L., & Frey, S. H. (2012). Neural Representations Involved in Observed, Imagined, and Imitated Actions Are Dissociable and Hierarchically Organized. *NeuroImage*, 59, 2798-2807. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.09.083>
- Meier, J., Topka, M. S., & Hänggi, J. (2016). Differences in Cortical Representation and Structural Connectivity of Hands and Feet between Professional Handball Players and Ballet Dancers. *Neural Plasticity*, 2016, Article ID: 6817397. <https://doi.org/10.1155/2016/6817397>
- Müller, P., Rehfeld, K., Schmicker, M., Hökelmann, A., Dordevic, M., Lessmann, V., Brigadski, T., & Kaufmann, J. (2017). Evolution of Neuroplasticity in Response to Physical Activity in Old Age: The Case of Dancing. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 9, 56. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2017.00056>
- Nambu, A. (2004). A New Dynamic Model of the Cortico-Basal Ganglia Loop. *Progress in Brain Research*, 143, 461-466. [https://doi.org/10.1016/S0079-6123\(03\)43043-4](https://doi.org/10.1016/S0079-6123(03)43043-4)
- Newell, K. (1991). Motor Skill Acquisition. *Annual Review of Psychology*, 42, 213-237. <https://doi.org/10.1146/annurev.ps.42.020191.001241>
- Nigmatullina, Y., Hellyer, P. J., Parashkev Nachev, P., Sharp, D. J., & Seemungal, B. M. (2015). The Neuroanatomical Correlates of Training-Related Perceptuo-Reflex Uncoupling in Dancers. *Cerebral Cortex*, 25, 554-562. <https://doi.org/10.1093/cercor/bht266>
- Ono, Y., Nomoto, Y., & Tanaka, S. (2014). Frontotemporal Oxyhemoglobin Dynamics Predict Performance Accuracy of Dance Simulation Gameplay: Temporal Characteristics of Top-Down and Bottom-Up Cortical Activities. *NeuroImage*, 85, 461-470. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.05.071>
- Orgs, G., Dombrowski, J. H., Heil, M., & Osmann, P. J. (2008). Expertise in Dance Modulates Alpha/Beta Event-Related Desynchronization during Action Observation. *European Journal of Neuroscience*, 27, 3380-3384. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2008.06271.x>
- Overby, L. Y., & Dunn, J. (2011). The History and Research of Dance Imagery: Implications for Teachers. *The IADMS Bulletin for Teachers*, 3, 9-11.
- Rehfeld, K., Eders, A., Ekkelmann, A., Lessmann, V., Kaufmann, J., Brigadski, T., & Müller, N. (2018). Dance Training Is Superior to Repetitive Physical Exercise in Inducing Brain Plasticity in the Elderly. *PLoS ONE*, 13, e0196636. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196636>
- Rehfeld, K., Müller, P., Aye, N., Schmicker, M., Dordevic, M., Kaufmann, J., Hökelmann, A., & Müller, N. G. (2017). Dancing or Fitness Sport? The Effects of Two Training Programs on Hippocampal Plasticity and Balance Abilities in Healthy Seniors. *Frontiers in Human Science*, 11, 305. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00305>
- Rizzolatti, G., & Craighero, L. (2004). The Mirror-Neuron System. *Annual Review Neuroscience*, 27, 169-192. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.27.070203.144230>
- Sakai, K., Kitaguchi, K., & Hikosaka, O. (2003). Chunking during Human Visuomotor Sequence Learning. *Experimental Brain Research*, 152, 229-242. <https://doi.org/10.1007/s00221-003-1548-8>
- Tachibana, A., Noah, A. J., & Bronner, S. (2011). Parietal and Temporal Activity during a Multimodal Dance Video Game: An fNIRS Study. *Neuroscience Letter*, 503, 125-130. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2011.08.023>
- Tai, Y. F., Scherfler, C., Brooks, D. J., Sawamoto, N., & Castiello, U. (2004). The Human Premotor Cortex Is "Mirror" Only for Biological Actions. *Current Biology*, 14, 117-120. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2004.01.005>