

基于神经影像技术的太极拳改善老年人认知功能中枢机制的系统综述^{*}

刘天宇¹, 尹 涛², 曾 芳^{2**}

(1. 成都中医药大学体育健康学院/针灸脑科学研究中心 成都 611137;

2. 成都中医药大学针灸推拿学院/针灸脑科学研究中心 成都 611137)

摘 要:太极拳是一种融合意念冥想和躯体运动的典型身心运动,对老年群体认知功能有积极的改善作用。本研究采用系统综述的方法对基于神经影像技术的太极拳改善老年群体认知功能中枢机制的文献进行归纳总结,结果显示:长期太极拳锻炼可在一定程度上重塑老年人大脑结构并改善大脑功能,对认知记忆、执行控制、情绪调节等认知功能有明显的调节作用。对认知控制网络核心脑区前额叶的结构功能重塑可能是太极拳提高认知记忆能力的潜在中枢机制,对多个认知控制网络脑区的结构功能重塑是太极拳改善执行控制能力的重要途径。在后续研究中建议从研究对象的选择、样本量、扫描方法及任务态设计等方面提升研究设计质量,深入研究太极拳锻炼对老年群体的中枢作用。

关键词:太极拳 磁共振成像 神经影像 大脑可塑性 认知功能

doi: 10.11842/wst.20211009002 中图分类号: R247.3 文献标识码: A

太极拳是起源于中国古代的一种典型身心运动,其锻炼过程涉及导引吐纳、意念冥想和躯体运动。认知功能是一组包含感知觉、注意、记忆和思维活动的高级心理功能,大量临床研究结果显示,长期规律太极拳锻炼能有效改善老年群体的认知功能,增强其执行控制能力^[1],并能有效改善轻度认知功能障碍^[2]、痴呆^[3]、帕金森病^[4]患者临床症状。而随着神经影像技术的发展,越来越多的研究者开始从中枢神经系统结构和功能可塑性角度切入,探讨太极拳改善老年群体认知功能的效应机制^[5]。目前已有的多项随机对照试验和队列研究结果已经初步表明,长期规律太极拳锻炼可以在一定程度上影响老年群体大脑结构和功能重塑,改善患者认知功能。然而,不同研究间显示的太极拳对大脑结构功能的重塑模式具有较大差异。

因此,本研究参考既往神经影像研究系统评价实施方法^[6-7],对当前发表的太极拳改善老年群体认知功能相关神经影像研究进行系统综述,旨在从大脑结构和功能可塑性角度探讨长期太极拳锻炼改善认知记忆、执行控制、情绪调节等认知功能的中枢机制,并针对当前研究存在的不足,对后续研究设计提出展望。

1 资料与方法

1.1 文献检索

使用主题词加关键词分别对PubMed和CNKI数据库进行检索,检索时间限定为建库-2022年2月,具体检索词见表1。电子检索完成后使用Snowballing检索法对纳入文献和相关综述参考文献进行排查,补充符合条件的研究。文献检索结果使用EndNote软件进

收稿日期:2021-10-09

修回日期:2022-05-15

^{*} 国家教育部人文社会科学研究青年基金项目(19YJC890027):基于关键变量多变点分析的中医运动处方库的建设与应用研究,负责人:刘天宇;四川省科学技术厅科学普及项目(2020JDKP0038):基于老年群体健康促进的中医导引普及应用推广,负责人:刘天宇;四川中医药协同发展研究中心2020年度重点项目(2020WH010):文化传播视域下峨眉武术养生传承发展的困境和出路,负责人:李晖。

^{**} 通讯作者:曾芳,博士,教授,博士生导师,主要研究方向:针灸脑科学。

行管理。

1.2 文献筛选

在删除重复和明显不符合的文献之后,由两名审阅者独立对文章摘要及全文进行阅读评判,依据以下纳入排除标准确定文章是否纳入。若两名审阅者对文章是否纳入存在分歧,则由另外一名研究人员仔细阅读后最终评判。

纳入标准:①以太极拳为主要干预方式;②以磁共振成像(Magnetic Resonance Imaging, MRI)等神经影像技术手段为研究方法;③以大脑结构或功能活动为观察指标;④关注太极拳锻炼对认知功能的影响;⑤经同行评议的随机对照试验(Randomized Controlled Trial, RCT)、队列研究、病例对照研究、横断面研究等研究型论文。

排除标准:①以太极拳以外的其他功法为主要干预方式;②主要关注太极拳的其他方面功效;③研究结果中缺少对脑区名称、定位等神经影像结果关键信息的描述;④以功能连接、功能网络为观测指标;⑤会议论文、硕博学位论文、评论、综述以及系统评价;⑥重

复发表的论文。

1.3 文献信息提取

从文献基本情况、研究设计、研究结果三个方面提取文献信息。其中文献基本情况包括论文作者、作者国籍、发表年份以及发表杂志;研究设计包括试验

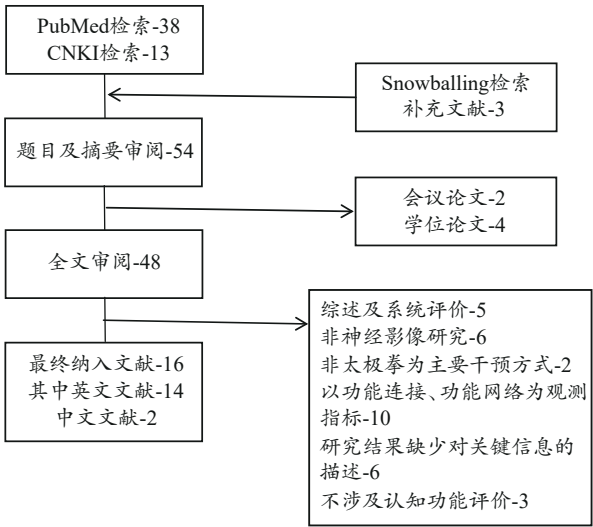


图1 文献筛选流程图

表1 PubMed及CNKI数据库文献检索策略

PubMed 检索策略	CNKI 检索策略
#1 Tai Ji[MeSH Terms]	
#2 Tai Ji [Title/Abstract]	
#3 Tai Chi[Title/Abstract]	
#4 Tai Chi Chuan[Title/Abstract]	
#5 Tai Ji Quan[Title/Abstract]	
#6 #1 OR #2 OR#3 OR #4 OR #5	
#7 Neuroimaging[MeSH Terms]	
#8 Magnetic Resonance Imaging[MeSH Terms]	
#9 Magnetic Resonance Imaging[Title/Abstract]	
#10 Diffusion Tensor Imaging[MeSH Terms]	
#11 Positron Emission Tomography Computed Tomography[MeSH Terms]	
#12 Tomography, Emission-Computed, Single-Photon[MeSH Terms]	
#13 Electroencephalography[MeSH Terms]	
#14 Magnetoencephalography[MeSH Terms]	
#15 Amplitude of Low Frequency Fluctuation[Title/Abstract]	
#16 Regional Homogeneity [Title/Abstract]	
#17 voxel-based morphometry [Title/Abstract]	
#18 #7 OR #8 OR #9 OR #10 OR #11 OR #12 OR #13 OR #14 OR #15 OR #16 OR #17	
#20 #6 AND #18	
	#1 SU='MRI'
	#2 SU='磁共振'
	#3 SU='正电子计算机断层成像'
	#4 SU='单光子发射计算机断层成像'
	#5 SU='脑电图'
	#6 SU='脑磁图'
	#7 AB='ALFF'
	#8 AB='ReHo'
	#9 #1 OR #2 OR#3 OR #4 OR #5 OR #6 OR #7 OR #8
	#10 SU='太极拳'
	#11 SU='太极'
	#12 #10 OR #11
	#13 #9 AND #12

设计类型、研究对象、样本量、干预方式及频率、临床评价指标、神经影像方法、影像模态、影像数据分析方法;研究结果包括临床结果、神经影像结果以及神经影像和临床指标的相关性分析结果。

文献信息提取由两名研究人员分别独立完成,并进行交叉核验。文献中有关上述内容的任何遗漏或疑问将通过联系作者解决。如果2周后仍未从作者处得到答复,则该条目以缺失标识。

2 研究结果

初步检索出中英文文献共51条,并使用Snowballing检索法补充3条文献。在审阅题目及摘要之后排除6条明显不符合的文献,在全文审查过程中排除32条文献。最终纳入16条文献,其中英文文献14条,中文文献2条^[8-23],纳入文献详细信息见下表(表2)。

文献筛选过程详见图1。

表2 纳入文献信息汇总

参考文献	国别 (地区)	研究目的	研究 类型	受试者(样本 量):年龄	太极拳操作 频率、周期	影像 模态	数据 分析 方法	临床/行为学 指标	临床结果	影像研究 结果	临床结果和 影像结果的 相关性
Chen et al. 2020, Arch Phys Med Rehabil	中国	比较长期太极拳锻炼者与 健康被试大脑功能专 业化的差异	横断面 研究	太极拳(22): 52.4±6.8 健康被试 (18):54.8± 6.8	太极拳锻 炼时间14 ±8年,85% 练习者每天 参加	静息态 -BOLD -fMRI	VMHC	注意力网络测 试(ANT)	ANT测试 结果组间 无差异	太极拳锻炼者额 中回VMHC更低	太极拳锻炼 时长与中央 前回和楔前叶 的VMHC呈负 相关
Yue et al. 2020, Healthcare.	中国	比较太极拳 和步行锻炼 对老年女性 大脑白质网 络的影响	横断面 研究	太极拳(20): 62.9±2.38 步行(22): 63.27±3.58	太极拳锻炼 时间>6年, 每周5次, 每次90 min	DTI	纤维追 踪、白质 网络	迷你精神状态 测试(MMSE) 蒙特利尔认知 评估(MoCA)2- block任务	太极拳组 2-block任 务中在反 应时间及 正确率优 于步行组	太极拳组标准网 络聚类系数及小 世界属性参数优 于步行组	受试者的小世 界属性(Sig- ma)与2-block 任务中反应时 间呈负相关, 与准确性得分 呈正相关
Adcock et al. 2020, Front Med.	瑞士	评估与常规 护理相比, 在家进行多 组分运动训 练对老年人 的身体和认 知功能以及 脑容量的 影响	RCT	多组分运动 (18):77.0± 6.4 常规护理 (19):70.9± 5.0	16周多组 分运动包括 太极拳、舞 蹈和认知游 戏,每周 3次,每次 30-40 min	3DT1	VBM	机体状态:步态 参数,功能性肌 肉力量,平衡, 有氧耐力;认知 功能:加工速 度,短期注意力 跨度,工作记 忆,抑制力,情 绪灵活性	多组分运 动组较常 规护理组 对工作记 忆提升更 为显著	两组患者前额叶 及海马灰质体积 均下降	
Yao et al. 2019, Res Sports Med.	中国	研究长期太 极拳练习对 脑白质微结 构变化的影 响以及这些 变化与运动 时间和技能 水平的关系	横断面 研究	太极拳(20): 60.3 久坐(25): 61.2	太极拳锻炼 时间1-15 年,平均 8.45年	DTI	FA+ VBM	/	/	太极拳组胼胝体 压部分数各向 异性大于久坐组	太极拳组胼胝 体压部分数各 向异性与训练 年及技能水平 排名呈显著正 相关

下转续表

续表

参考文献	国别 (地区)	研究目的	研究 类型	受试者(样本 量):年龄	太极拳操作 频率、周期	影像 模态	数据 分析 方法	临床/行为学 指标	临床结果	影像研究 结果	临床结果和 影像结果的 相关性
Liu, et al. 2019, Front Psychol.	中国	研究长期太极拳锻炼是否可以减缓灰质萎缩,并探索与情绪稳定性之间的可能联系	横断面研究	太极拳(31): 64.94 ± 2.37 健康对照(31): 64.06 ± 3.05	平均太极拳锻炼时间 9.98 ± 5.16 年,每天锻炼 66.36 ± 21.96 min	3DT1	VBM	贝克抑郁量表(BDI) NEO五因素量表(NEO-FFI) 五因素冥想问卷(FFMQ) 正念注意觉知量表(MAAS) Barratt冲动量表(BIS-11)	太极拳组 FFMQ 和 MAAS 得分较高,在连续冒险中表现出较高的冥想水平,较强的情绪稳定性和较小的冒险倾向	太极拳组左丘脑和海马的灰质体积较对照组大	丘脑灰质体积与 FFMQ 评分呈正相关,与情绪稳定呈负相关。海马灰质体积与神经质评分,情绪稳定和冒险倾向呈负相关
梅剑 et al. 2019, 中国运动医学杂志	中国	研究太极拳练习对老年人脑静息状态下 fALFF 影响	横断面研究	太极拳(20): 62.81 ± 3.02 步行(22): 63.55 ± 3.04	太极拳锻炼时间 > 6 年,每周 5 ± 1 次,每次 90 min	静息态 -BOLD -fMRI	fALFF	2-block 任务	太极拳组 2-block 任务中在反应时间及正确率优于步行组	太极拳组左侧额中回 fALFF 值大于步行组	太极拳组左侧额中回的 fALFF 值与 2-back 任务的反应时间呈显著正相关
吴雨嫣 et al. 2018, 磁共振成像	中国	探究太极运动者大脑的低频振幅与其情绪控制能力的关系	横断面研究	太极拳(26): 65.19 ± 2.3	平均太极拳锻炼时间 10.44 ± 5.48 年,每天平均运动时间 66.76 ± 20.51 min	静息态 -BOLD -fMRI	ALFF	五因素冥想问卷(FFMQ) 正念注意觉知量表(MAAS)	/	/	MAAS 得分与其额上回和额中回的 ALFF 值呈显著的负相关,情绪稳定性与额中回和额下回的 ALFF 值呈显著正相关
Wu et al. 2018, Front Aging Neurosci.	中国台湾	研究太极拳干预前后任务切换过程中前额叶大脑激活和行为表现的变化	RCT	太极拳(16): 64.9 ± 2.8 空白对照(11): 64.9 ± 3.2	12 周太极拳锻炼,每周 3 次,每次 60 min,	任务态 -BOLD -fMRI	基于一般线性模型的神经激活分析	Stroop 字色任务切换行为表现、肌肉力量、平衡功能、灵活性、心肺耐力	太极拳组任务切换错误次数减少,膝关节伸肌力量,四方步测试,6 min 步行距离和社交互动频率显著增加	太极拳组较空白对照在任务切换过程中左侧额上回、右侧额中回脑功能活动增加	左侧额上回、右侧额中回脑功能活动变化和任务切换过程错误率呈负相关

下转续表

续表

参考文献	国别 (地区)	研究目的	研究 类型	受试者(样本 量):年龄	太极拳操作 频率、周期	影像 模态	数据 分析 方法	临床/行为学 指标	临床结果	影像研究 结果	临床结果和 影像结果的 相关性
Port et al. 2018, Ex- plore.	巴西	比较老年太 极拳锻炼者 和水中有氧 运动从业者的认知功能和脑功能活动	病 例 对 照 研究	太极拳(8): 66.4 ± 4.9 水上有氧运 动(8): 66.4 ± 7.0	太 极 拳 锻 炼 时 间 > 3 年,每周 2次	任务态 -BOLD -fMRI	基于一般线性 模型的神经激 活分析	神经心理学测 试问卷 Stroop 字色 任务	神经心理 学测试问 卷结果组 间无差异	在 Stroop 字色任务 中,太极拳组较水 上有氧运动内侧 距状回皮层、外侧 枕叶皮层、枕极 大脑活动变化较水 上有氧运动组小。 在 N-back 任 务 中,太极拳组右侧 额极和额上回的大 脑活动变化较水 上有氧运动组小	/
Tao et al. 2017, Front Hum Neu- rosci.	中国	研究 3 个月 太极或八段 锦练习后, 老年人自发 大脑活动的 变化	RCT	太极拳(21): 62.38 ± 4.55 八段锦(16): 62.18 ± 3.79 空 白 对 照 (25): 59.76 ± 4.83	12 周太 极拳锻炼,每 周 5 次,每 次 60 min,	静息态 -BOLD -fMRI	fALFF	韦氏记忆 量表	太极拳组 较空白对 照记忆熵 及视觉再 现评分显 著增加	与空白对照组相 比,太极拳组右侧 背外侧前额叶及 双侧内侧前额叶 皮层 fALFF 显著 升高;太极拳和八 段 锦 组 无 显 著 差异	太极拳组右 侧背外侧前 额叶及双侧 内侧前额叶 皮 层 fALFF 变化和被试 记忆商呈显 著正相关
Tao et al. 2017, J Alzheim - ers Dis.	中国	研究并比较 12 周的太 极拳和八段 锦运动如何调 节老年人的 大脑结构和 记忆功能。	RCT	太极拳(21): 62.38 ± 4.55 八段锦(16): 62.18 ± 3.79 空 白 对 照 (24): 60.16 ± 4.6	12 周太 极拳锻炼,每 周 5 次,每 次 60 min,	3DT1	VBM	韦氏记忆量表	太极拳组 较空白对 照视觉再 现评分显 著增加	与空白对照组相 比,太极拳组左脑 岛,左壳核,左海 马/海马旁回,左 杏仁核和左颞下 回灰质体积显著 增加;太极拳和八 段 锦 组 无 显 著 差异	被试左壳核 和左海马的 灰质增加的 增加与记忆 商及视觉再 现评分呈显 著正相关
Wei et al. 2017, Front Psy- chol.	中国	研究身心运 动影响认知 控制的神经 基础	横 断 面 研究	太极拳(22): 52.4 ± 6.8 健 康 对 照 (18): 54.8 ± 6.8	太极拳锻 炼时间 14.6 ± 8.6 年,平均每 周锻炼 11.9 ± 5.1 h	静息态 -BOLD -fMRI	独立成 分分析 +fALFF	注意力网络测 试(ANT)	太极拳组 在 ANT 中 反应时间 较 对 照 组短	与对照组相比,太 极拳组的默认网 络、双侧前额叶网 络 fALFF 显著降 低,前扣带-背侧 前额叶-角回网 络 fALFF 有降低 趋势。	左侧前额叶 网 络 fALFF 和 ANT 任务 反应时间显 著相关,默认 网 络 fALFF 与联系强度 显著相关

下转续表

续表

参考文献	国别 (地区)	研究目的	研究 类型	受试者(样本 量):年龄	太极拳操作 频率、周期	影像 模态	数据 分析 方法	临床/行为学 指标	临床结果	影像研究 结果	临床结果和 影像结果的 相关性
Zheng et al. 2015, Neural Plast.	中国	研究认知-心理-生理干预相结合对大脑功能活动的可塑性	RCT	干 预 组 (17): 68.59 ± 5.65 空 白 对 照 (17): 71.65 ± 4.00	6周认知-心理-生理综合干预,包括认知干预,太极拳运动和团体咨询,每周3次	静息态 -BOLD -fMRI	ReHo	蒙特利尔认知评估(MoCA)、配对联想学习测试(PALT)、数字广度测试、追踪制作测试(TMT)、Stroop测验、类别流畅度测验(CFT)、医疗结局研究简表(MOS SF-36)、社会支持评级量表(SSRS)、生活满意度量表(SWLS)、福感指数(IWB)	干预组 PALT、 MOS SF-36亚领域、SSRS改善较对照组更为显著	相较于对照组,干预组左额上回、左侧小脑后叶ReHo显著升高,但左额中回ReHo降低	干预组左额上回ReHo变化与CFT的变化显著正相关,右额中回ReHo变化与PALT总分的变化呈负相关
Yin et al. 2014, Sci Rep.	中国	评估认知-心理-生理综合干预对老年人脑功能活动的影响	RCT	干 预 组 (17): 68.59 ± 5.65 空 白 对 照 (17): 71.65 ± 4.00	6周认知-心理-生理综合干预,包括认知干预,太极拳运动和团体咨询,每周3次	静息态 -BOLD -fMRI	ALFF	蒙特利尔认知评估(MoCA)、联想学习测试(PALT)、数字广度测试、追踪制作测试(TMT)、类别流畅度测验(CFT)、医疗结局研究简表(MOS SF-36)、社会支持评级量表(SSRS)、生活满意度量表(SWLS)、幸福指数(IWB)	干预组 PALT、 MOS SF-36亚领域、SSRS改善较对照组更为显著	相较于对照组,干预组右额中回、左上额回和左小脑前叶的ALFF升高	干预组右额中回的ALFF增加与TMT和SWLS的改变显著相关。左小脑前叶ALFF的增加与社会支持的变化显著相关
Wei et al. 2014, Front Aging Neurosci.	中国	研究太极拳对健康人脑内在构架的影响及其与行为表现的关联	横 断 面 研究	太 极 拳 (22): 52.4 ± 6.8 健 康 对 照 (18): 54.8 ± 6.8	太极拳锻炼时间 14.6 ± 8.6 年,每周锻炼8-14 h	静息态 -BOLD -fMRI	ReHo	注意力网络测试(ANT)	太极拳组在ANT中反应时间较对照组短	太极拳练习者的左前扣带回和右额上回皮质ReHo显著降低,右中后回ReHo显著升高	ANT右中央后回的ReHo与太极拳练习时间、年龄呈正相关,与ANT反应时间呈负相关;左前扣带回ReHo与ANT准确率显著的负相关

下转续表

续表

参考文献	国别 (地区)	研究目的	研究 类型	受试者(样本 量):年龄	太极拳操作 频率、周期	影像 模态	数据 分析 方法	临床/行为学 指标	临床结果	影像研究 结果	临床结果和 影像结果的 相关性
Wei et al. 2013, PLoS One.	中国	研究经验丰富的太极拳从业者和健康对照大脑结构差异	横断面研究	太极拳(22):52±6 健康对照(18):54±6	太极拳锻炼时间14±8年,每次30到90min,大多数人数(85%)每天进行1次	3DT1	SBM、VBM	注意力网络测试(ANT)	太极拳组在ANT中反应时间较对照组短	与对照组相比,太极拳组颞上回,左侧内侧面枕颞沟和舌沟,以及前脑岛,中央前回和右额中沟皮层厚度增厚	左枕颞沟和舌沟的皮层厚度与太极拳练习强度之间呈正相关

注:VMHC: Voxel-Mirrored Homotopic Connectivity, 体素镜像同伦连接; DTI: Diffusion Tensor Image, 弥散张量成像; 3DT1: Three-dimensional T1-weighted imaging, 三维T1加权成像; BOLD-fMRI: Blood Oxygen Level-Dependent functional Magnetic Resonance Imaging, 血氧水平依赖脑功能磁共振成像; VBM: Voxel-Based Morphometry, 基于体素的形态测量; FA: fractional anisotropy, 各向异性分数; fALFF: fractional amplitude of low frequency fluctuations, 低频振幅分数; ReHo: Regional Homogeneity, 局部一致性; ALFF: amplitude of low frequency fluctuations, 低频振幅; SBM: Surface-Based Morphometry, 基于表面的形态测量。

2.1 文献基本情况

纳入的16项研究发表年限从2013–2020年。除瑞士、巴西各1项以外,其余14项研究均由中国研究者领衔发表(含中国台湾1项)。14篇英文文献中,有11篇发表于《Frontiers in Aging Neuroscience》、《Journal of Alzheimers Disease》等JCR 2区及以上的权威期刊。这说明近年来国际上对于太极拳神经影像研究的关注度和认可度高,基于神经影像技术手段从大脑结构功能可塑性角度探讨太极拳改善认知功能的效应机制是当前太极拳研究的重要关注点。

16项研究中,6项为RCT,9项为横断面研究,1项为病例对照研究。RCT主要关注太极拳与八段锦等其他运动形式或空白对照、常规护理对老年群体认知功能及大脑可塑性的影响,太极拳干预周期从6–16周不等,干预频率为每周3次或5次。9项横断面研究分别从长期规律太极拳锻炼人群和长期步行锻炼人群比较、长期规律太极拳锻炼人群和普通健康同龄人比较、不同水平太极拳从业者与久坐人群比较三个角度研究太极拳对大脑结构和功能的影响。1项病例对照研究关注了从事太极拳和水上有氧运动锻炼的人群在执行认知任务时脑功能活动的变化差异。研究对象方面,所有研究纳入被试均为50岁以上的中老年健康人群,太极拳组平均年龄从52.4–77岁。研究最小单组样本量为8例,最大单组样本量为31例,太极拳组平均样本量为20例。

当前开展的16项研究均以MRI为扫描手段,其中

功能磁共振(Functional MRI, fMRI)研究10项,结构磁共振(Structural MRI, sMRI)研究6项(包括灰质结构研究4项、白质结构研究2项);10项fMRI研究中,8项采用了静息态设计,2项研究采用任务态设计,均使用Stroop字色任务评价扫描过程中被试的认知和反应能力。

研究主要选择了注意力网络测试、韦氏记忆量表、蒙特利尔认知评估得分、精神情绪状态评分等作为临床评价指标,从多个维度评价老年群体认知功能。

2.2 太极拳锻炼可有效重塑老年群体大脑结构

多项研究证据表明,太极拳可以有效重塑老年群体大脑结构,包括影响灰质体积、皮层厚度、白质结构以及白质网络拓扑属性^[8–9,12,14,19–20]。除1项以太极拳+舞蹈训练+认知游戏为干预方式的研究发现16周太极拳锻炼后被试额叶及海马灰质体积减少以外^[9],其余研究结果均表明规律太极拳锻炼能引起认知、执行控制相关脑区灰质体积及皮层厚度的增加。相较于空白对照,12周规律太极拳锻炼后健康老年人脑岛、壳核、海马/海马旁回、杏仁核、颞下回等区域灰质体积显著增加,且海马、壳核灰质体积增加和被试记忆商及视觉再现评分变化呈显著正相关^[14]。并且,相较于同龄健康对照,长期太极拳锻炼者海马、丘脑灰质体积增大^[20],前脑岛、中央前回、额中沟、颞上回、内侧枕颞沟、舌沟皮层厚度增厚^[19],并且丘脑灰质体积与冥想水平、情绪稳定显著相关,海马灰质体积与神经质评分,

情绪稳定和冒险倾向显著相关。而来自白质的研究结果则显示,相较于长期步行锻炼的人群,长期从事太极拳练习的人群具有更优化的白质网络信息传递效率^[8]。这一系列证据表明,长期规律太极拳锻炼可以显著重塑大脑结构,尤其是对脑岛、海马/海马旁回、丘脑、前额叶、颞叶皮层等认知控制网络脑区灰质结构具有显著的正向增强作用。

2.3 太极拳锻炼可有效调节老年群体大脑功能活动

除对大脑的结构重塑以外,规律太极拳运动还能有效影响被试脑功能活动,包括重塑大脑自发功能活动和脑功能活动局部一致性^[13,15-18,21-23]。3项RCT研究^[15-17]分析发现,相较于健康空白对照,规律太极拳锻炼6周或12周之后,健康被试右侧额中回、左侧额上回、右侧背外侧前额叶、双侧内侧前额叶等前额叶区域以及左侧小脑前叶局部自发活动增强,左侧额上回、左侧小脑后叶局部一致性增高,左侧额中回局部一致性降低;且内侧、背外侧前额叶自发活动增强与被试记忆商提高呈显著正相关,右侧额中回自发活动增强与被试执行功能以及生活满意度量表呈显著正相关,左侧额上回局部一致性与被试认知功能呈显著正相关。同样,这种太极拳锻炼导致的脑功能活动重塑在多项横断面研究中也均被证实^[18,21-22]。如研究发现相较于规律有氧运动锻炼的被试,长期规律太极拳锻炼者左侧额中回自发活动升高^[22],右侧中央后回局部一致性增高^[18],而吴雨嫣等^[21]的研究还进一步指出,被试额中回和额下回的自发活动与其在风险决策过程中情绪控制能力显著相关,额上回、额中回自发活动与其正念注意觉知评分显著相关。这些结果提示,规律太极拳锻炼可以有效重塑大脑功能活动,正向调节前额叶和颞叶皮层功能活动,且这种自发功能活动和脑功能活动一致性的增强还与被试的认知记忆、执行控制、情绪调节功能显著相关。然而也有研究发现长期规律太极拳锻炼者相较于普通健康被试存在默认网络、双侧前额叶网络的自发活动降低^[15]。但值得注意的是,该研究结果是在未经多重比较校正的统计阈值下获得的。既往研究认为,神经影像研究中使用未经校正的阈值,假阳性可能超过70%^[24]。因此,对于该研究结果应当慎重看待。

除静息态fMRI研究以外,还有2项研究采用了任务态的试验设计方案研究太极拳如何重塑大脑功能活动。其中一项研究结果证实在12周规律太极拳

锻炼之后,被试在任务切换过程中表现出更低的错误率,以及在任务执行过程中左侧额上回、右侧额中回功能活动的增加,且左侧额上回、右侧额中回功能活动信号的改变和错误率呈负相关^[10]。而另一项研究还指出长期规律太极拳锻炼者相较于长期水上有氧运动锻炼者,在执行注意任务时,表现出内侧距状回皮层、外侧枕叶皮层、枕极、额极、以及额上回功能活动的改变^[11]。两项研究中任务执行过程中额叶皮层的活化差异可能和任务设计以及对照的选择有关。

3 讨论

本研究从大脑结构和功能可塑性角度对太极拳锻炼改善老年群体认知功能进行了系统综述。研究结果提示,长期规律性太极拳锻炼能够有效改善患者认知记忆、执行控制、情绪调节等认知功能,并在一定程度上正向重塑前额叶、颞叶、脑岛、海马、丘脑、前扣带回等认知控制网络脑区的结构和功能。该结果从大脑可塑性的角度提供了阐释太极拳如何改善老年群体认知记忆、执行控制功能的新见解。

3.1 对认知控制网络核心脑区前额叶的结构功能重塑可能是太极拳提高认知记忆能力的潜在中枢机制

额叶皮层,尤其是前额叶皮层是与人类认知、记忆、情感密切相关的重要脑区,主要负责个体认知行为、决策制定、自我表达、记忆编码和检索以及情感感知等功能^[25-27]。研究显示,阿尔兹海默症患者和轻度认知功能障碍患者均表现出前额叶灰质体积的降低以及脑功能活动的下降,且前额叶结构功能的损伤和患者认知记忆能力下降密切相关^[28-29]。当前的研究结果提示,长期规律太极拳锻炼能够有效改善老年群体认知功能、增强记忆力、减少情绪波动,并对前额叶灰质体积和自发功能活动表现出正向的增强作用。太极拳作为一种典型的身心运动,在强调躯体运动的同时,还要求训练者配以意念冥想,以达到身心合一的境界。冥想和有氧运动对认知功能的正向影响已被广泛证实^[30-32],作为意念冥想和有氧运动的有机结合,太极拳在提高老年群体的认知、记忆和决策能力以及正向调节前额叶结构和功能活动等方面更具潜在优势。对前额叶结构功能的重塑可能是太极拳改善认知记忆,延缓衰老的潜在中枢机制。

3.2 对多个认知控制网络脑区的结构功能重塑可能是太极拳改善执行控制能力的重要途径

不仅是前额叶皮层,规律太极拳运动还被发现能够重塑脑岛、海马/海马旁回、丘脑、前扣带回、颞叶等多个认知控制网络脑区结构和功能。认知控制网络负责人体主动目标计划和维持、任务灵活性、工作记忆、注意力和任务执行^[33-34],随着年龄的增加,人类执行控制功能下降,认知控制网络功能活动及网络间的功能连接也显著降低^[35]。而长期规律太极拳锻炼能有效正向重塑老年群体脑岛、海马/海马旁回、丘脑、前扣带回、颞叶等认知控制网络相关脑区结构和功能,并显著提高任务反应速度、减少反应时间、降低任务执行过程中犯错的概率。这说明太极拳运动对老年群体认知控制网络结构和功能活动的正向重塑,有助于增强其对任务刺激的应答反映并提高执行控制能力。

3.3 对后续研究的展望

当前发表的这16项研究从大脑结构和功能可塑性角度提供了阐释太极拳改善健康老年群体认知功能中枢效应机制的初步研究证据。然而,作为一个发展不足10年的新兴领域,当前研究设计尚存在许多不足,如研究对象的选择、样本量的大小、扫描方法及任务态设计等。本研究在借鉴其他补充替代医学研究领域经验的基础上^[36-38],对后续太极拳改善认知的中枢机制研究设计进行展望。一是研究对象的选择。当前研究纳入的被试全部为健康人群。太极拳作为一种典型的身心运动,不仅具有养身保健的功效,同时还能够防病治病^[39-40]。因此,后续研究可选择轻度

认知障碍、痴呆等认知功能异常患者作为研究对象,在病理状态进一步探讨太极拳改善认知的中枢机制。二是样本量的选择。当前研究最大单组样本量为31例,平均单组样本量为20例。根据Chen等^[41]的最新研究,当神经影像学单组样本量大于40例时,研究结果可以保持稳定。因此,后续研究很有必要进一步增加样本量,以提升研究结果的稳定性和可靠性。三是扫描方式的选择。当前研究全部采用了sMRI或者fMRI的扫描方法,且以静息态扫描为主。由于MRI扫描的低时间分辨率和低生态效度特征,无法实现对太极拳运动过程中大脑响应特征的实时监测。而近年来兴起的近红外光谱成像(Functional near-infrared spectroscopy, fNIRS)很好的弥补了这一缺陷,它可以实现对人体运动过程的在体、实时、无创监测^[42],将有望成为揭示太极拳中枢效应机制的新方法。另外,由于fNIRS具有更高生态效度,后续可以设计更为复杂的认知执行或太极拳运动任务,有针对性地阐释太极拳改善认知功能的中枢效应机制,并进一步提升太极拳研究水平。

综上,本研究采用系统综述的方法,回顾了当前基于神经影像技术的太极拳改善老年群体认知功能中枢机制的研究现状,发现对前额叶、脑岛、海马/海马旁回、丘脑、前扣带回、颞叶等认知控制网络结构和功能的正向重塑可能是太极拳改善老年群体认知记忆、执行控制、情绪调节能力的潜在中枢机制。此外,针对当前研究存在的不足,本研究还从研究对象、样本量、扫描方法及任务态设计进行展望,以期促进后续太极拳研究水平的提升。

参考文献

- 1 Zheng W, Xiang Y Q, Ungvari G S, et al. Tai Chi for mild cognitive impairment: A systematic review. *Psychogeriatrics*, 2017, 17(6): 514-516.
- 2 Sungkarat S, Boripuntakul S, Kumfu S, et al. Tai Chi improves cognition and plasma BDNF in older adults with mild cognitive impairment: A randomized controlled trial. *Neurorehabil Neural Repair*, 2018, 32(2):142-149.
- 3 Huang N Y, Li W J, Rong X J, et al. Effects of a modified Tai Chi program on older people with mild dementia: A randomized controlled trial. *J Alzheimers Dis*, 2019, 72(3):947-956.
- 4 Li F Z, Harmer P, Fitzgerald K, et al. Tai Chi and postural stability in patients with Parkinson's disease. *N Engl J Med*, 2012, 366(6): 511-519.
- 5 Yu A P, Tam B T, Lai C W, et al. Revealing the neural mechanisms underlying the beneficial effects of Tai Chi: A neuroimaging perspective. *Am J Chin Med*, 2018, 46(2):231-259.
- 6 Bagherzadeh-Azbari S. Neuroimaging insights into the link between depression and insomnia: A systematic review. *J Affect Disord*, 2019, 258:133-143.
- 7 Zilverstand A, et al. Neuroimaging impaired response inhibition and salience attribution in human drug addiction: A systematic review. *Neuron*, 2018, 98(5):886-903.
- 8 Yue C L, Zou L Y, Mei J, et al. Tai Chi training evokes significant changes in brain white matter network in older women. *Healthcare*

- (Basel), 2020, 8(1):57.
- 9 Adcock M, Fankhauser M, Post J, *et al.* Effects of an In-home multicomponent exergame training on physical functions, cognition, and brain volume of older adults: A randomized controlled trial. *Front Med (Lausanne)*, 2019, 6:321.
 - 10 Wu M T, Tang P F, Goh J O S, *et al.* Task-switching performance improvements after Tai Chi Chuan training are associated with greater prefrontal activation in older adults. *Front Aging Neurosci*, 2018, 10:280.
 - 11 Port A P, Santaella D F, Lacerda S S, *et al.* Cognition and brain function in elderly Tai Chi practitioners: A case-control study. *Explore (NY)*, 2018, 14(5):352–356.
 - 12 Yao J, Song Q P, Zhang K, *et al.* The effect of Tai Chi practice on brain white matter structure: A diffusion tensor magnetic resonance imaging study. *Res Sports Med*, 2019, 27(1):121–130.
 - 13 Tao J, Chen X L, Liu J, *et al.* Tai Chi Chuan and Baduanjin mind-body training changes resting-state low-frequency fluctuations in the frontal lobe of older adults: A resting-state fMRI study. *Front Hum Neurosci*, 2017, 11:514.
 - 14 Tao J, Liu J, Liu W L, *et al.* Tai Chi Chuan and Baduanjin increase grey matter volume in older adults: A brain imaging study. *J Alzheimers Dis*, 2017, 60(2):389–400.
 - 15 Wei G X, Gong Z Q, Yang Z, *et al.* Mind-body practice changes fractional amplitude of low frequency fluctuations in intrinsic control networks. *Front Psychol*, 2017, 8:1049.
 - 16 Zheng Z W, Zhu X Y, Yin S F, *et al.* Combined cognitive-psychological-physical intervention induces reorganization of intrinsic functional brain architecture in older adults. *Neural Plast*, 2015, 2015: 713104.
 - 17 Yin S F, Zhu X Y, Li R, *et al.* Intervention-induced enhancement in intrinsic brain activity in healthy older adults. *Sci Rep*, 2014, 4:7309.
 - 18 Wei G X, Dong H M, Yang Z, *et al.* Tai Chi Chuan optimizes the functional organization of the intrinsic human brain architecture in older adults. *Front Aging Neurosci*, 2014, 6:74.
 - 19 Wei G X, Xu T, Fan F M, *et al.* Can Taichi reshape the brain? A brain morphometry study. *PLoS One*, 2013, 8(4):e61038.
 - 20 Liu S J, Li L, Liu Z Y, *et al.* Long-term Tai Chi experience promotes emotional stability and slows gray matter atrophy for Elders. *Front Psychol*, 2019, 10:91.
 - 21 吴雨嫣, 刘志远, 杨光, 等. 太极运动者前额叶的低频振幅能预测其情绪控制能力: 一项静息态研究. 磁共振成像, 2018, 9(12):936–942.
 - 22 梅剑, 杨子燚, 陈爽, 等. 杨氏太极拳习练者静息状态下比率低频振幅及工作记忆特征. 中国运动医学杂志, 2019, 38(6):449–453.
 - 23 Chen L Z, Yuan X, Zhang Y, *et al.* Brain functional specialization is enhanced among Tai Chi Chuan practitioners. *Arch Phys Med Rehabil*, 2020, 101(7):1176–1182.
 - 24 Eklund A, Nichols T E, Knutsson H. Cluster failure: Why fMRI inferences for spatial extent have inflated false-positive rates. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 2016, 113(28):7900–7905.
 - 25 Hiser J. The multifaceted role of the ventromedial prefrontal cortex in emotion, decision making, social cognition, and psychopathology. *Biol Psychiatry*, 2018, 83(8):638–647.
 - 26 Euston D R, Gruber A J, McNaughton B L. The role of medial prefrontal cortex in memory and decision making. *Neuron*, 2012, 76(6): 1057–1070.
 - 27 Bicks L K, Koike H, Akbarian S, *et al.* Prefrontal cortex and social cognition in mouse and man. *Front Psychol*, 2015, 6:1805.
 - 28 Colangeli S, Boccia M, Verde P, *et al.* Cognitive reserve in healthy aging and Alzheimer's disease: A Meta-analysis of fMRI studies. *Am J Alzheimers Dis Other Dement*, 2016, 31(5):443–449.
 - 29 Haeger A, Costa A S, Schulz J B, *et al.* Cerebral changes improved by physical activity during cognitive decline: A systematic review on MRI studies. *Neuroimage Clin*, 2019, 23:101933.
 - 30 Deepeshwar S, Vinchurkar S A, Visweswaraiiah N K, *et al.* Hemodynamic responses on prefrontal cortex related to meditation and attentional task. *Front Syst Neurosci*, 2014, 8:252.
 - 31 Moriarty T, Bourbeau K, Bellovary B, *et al.* Exercise intensity influences prefrontal cortex oxygenation during cognitive testing. *ehav Sci (Basel)*, 2019, 9(8):83.
 - 32 Silveira R. Prefrontal cortex asymmetry and psychological responses to exercise: A systematic review. *Physiol Behav*, 2019, 208:112580.
 - 33 Yang Z, Oathes D J, Linn K A, *et al.* Cognitive behavioral therapy is associated with enhanced cognitive control network activity in major depression and posttraumatic stress disorder. *Biol Psychiatry Cogn Neurosci Neuroimaging*, 2018, 3(4):311–319.
 - 34 Breukelaar I A, Antees C, Grieve S M, *et al.* Cognitive control network anatomy correlates with neurocognitive behavior: A longitudinal study. *Hum Brain Mapp*, 2017, 38(2):631–643.
 - 35 Anderson J A E, Campbell K L, Amer T, *et al.* Timing is everything: Age differences in the cognitive control network are modulated by time of day. *Psychol Aging*, 2014, 29(3):648–657.
 - 36 He Z X, Hou L K, Sun R R, *et al.* The status of the acupuncture mechanism study based on PET/PET-CT technique: Design and quality control. *Evid Based Complement Alternat Med*, 2019, 2019: 9062924.
 - 37 Teng Y K, Yang S, Chen Y, *et al.* Review of clinical trials on the effects of Tai Chi practice on primary hypertension: The Current state of study design and quality control. *Evid Based Complement Alternat Med*, 2020, 2020:6637489.
 - 38 Qiu K, Jing M M, Sun R R, *et al.* The status of the quality control in acupuncture-neuroimaging studies. *Evid Based Complement Alternat Med*, 2016, 2016:3685785.
 - 39 陈李圳, 景向红, 代金刚. 太极拳和八段锦缓解慢性疼痛机制的研究进展. 中医杂志, 2021, 62(2):173–178.
 - 40 薛文传, 杨建营, 徐亚奎, 等. 健身养生太极拳研究. 体育学刊, 2021, 28(1):45–49.
 - 41 Chen X, Lu B, Yan C G. Reproducibility of R-fMRI metrics on the impact of different strategies for multiple comparison correction and

sample sizes. *Hum Brain Mapp*, 2018, 39(1):300–318.

42 Zhang Y F, Shi W, Wang H, *et al.* The impact of acute exercise on

implicit cognitive reappraisal in association with left dorsolateral prefrontal activation: A fNIRS study. *Behav Brain Res*, 2021, 406:113233.

The Underlying Central Mechanism of Tai Chi Improving Cognitive and Motor Function: A System Review of Neuroimaging Studies

Liu Tianyu¹, Yin Tao², Zeng Fang²

(1. Sports and Health School/Acupuncture and Brain Science Research Center, Chengdu University of Traditional Chinese Medicine, Chengdu 611137, China; 2. The Acupuncture and Tuina School/Acupuncture and Brain Science Research Center, Chengdu University of Traditional Chinese Medicine, Chengdu 610075, China)

Abstract: Tai Chi is a typical mind–body practice that merges meditation and aerobic exercise, which can effectively improve the cognitive function of the elderly. In the present review, we summarized the literatures of Tai Chi in improving cognitive function of the elderly based on neuroimaging technology, so as to explore the central mechanism of long–term Tai Chi exercise to improve the cognitive functions of the elderly, such as cognitive memory, executive control, and emotional regulation. Moreover, in view of the shortcomings of the current research, we propose a prospect for the follow–up research designs.

Keywords: Tai Chi, Magnetic resonance imaging, Neuroimaging, Brain plasticity, Cognition function

(责任编辑: 李青)