

基于磁共振成像技术探讨太极拳影响老年人 大脑结构和功能的研究进展*

郭安¹, 张博然², 王晓彤¹, 黄畅¹, 胡铂义¹,
杨云鹏¹, 吴挺超³, 张峰^{1**}

(1. 北京中医药大学针灸推拿学院 北京 100029; 2. 北京中医药大学体育教学部 北京 100029;
3. 成都市第二人民医院 成都 610021)

摘要:磁共振成像(Magnetic Resonance Imaging, MRI)技术能直观地展现脑网络的变化,可阐释太极拳重塑大脑结构和功能的中枢机制。本文通过收集利用MRI技术观察太极拳运动对脑网络影响的国内外研究,并从大脑结构和功能改变的角度进行梳理,结果发现太极拳可能通过重塑老年人的内侧颞叶、前额叶皮层的结构和功能,从而促进记忆功能、认知灵活性、抑制控制和工作记忆能力的提升,这可能是太极拳改善老年人记忆和认知控制的潜在中枢机制。然而,目前的研究存在样本量偏小、长期随访不足、运动强度难以评估等问题,后续有必要开展大样本、长时期的细化研究以进一步验证当前研究结果。

关键词:太极拳 磁共振成像 老年人 认知控制 研究进展

doi: 10.11842/wst.20221130008 中图分类号: R214 文献标识码: A

太极拳根源于中国传统文化,其发展融入了阴阳学说、五行学说以及经络学说等中医基础理论,强调天人合一、形神共养,是一种内外兼修、刚柔相济的中国传统拳术^[1]。太极拳作为武术气功的一种,历来强调调身,动作也较为复杂,要熟练完成一套功法,习练者不仅需要具备一定的动态平衡能力,在运动的过程中还要专注于身体姿势的协调,因此在长期的太极拳锻炼中,调心对大脑的调节作用不容忽视。内外环境的变化能够不断修改和重建大脑的结构和功能,这种可塑性为太极拳改善老年人认知控制能力与记忆能力提供了生理基础。随着现代脑成像技术的发展,结构磁共振成像(Structural MRI)和功能磁共振成像(fMRI)等技术被用于构建大脑结构和功能连接网络^[2],这有助于直观地展现太极拳运动对大脑不同脑区的影响,并推断其中枢响应机制。目前已有的研究表明,太极拳能对大脑灰质体积、功能连接、神经元活

动和脑电活动产生积极作用,从而改善老年人的记忆功能和认知控制^[3-5]。然而,目前研究纳入的文献数量与观测指标都较为有限,很难完整地总结太极拳对大脑结构和功能网络的重塑作用和潜在的中枢机制。

因此,本研究在既往研究的基础上对太极拳改善大脑结构和功能相关神经影像研究进行综述,旨在利用更加全面的神经影像学指标反映太极拳改善老年人执行控制能力,特别是在认知灵活性方面的优势,并推断其中枢机制,以期为后续更深入的研究提供思路。

1 资料与方法

1.1 检索策略

本文按照相关要求,运用计算机对利用MRI技术观察太极拳影响老年人脑结构和功能的相关文献

收稿日期:2022-11-30

修回日期:2023-08-26

* 四川省科学技术厅面上项目(2021JDRC0149):基于人工智能机器学习算法的太极拳对老年慢性腰痛中枢机制的影像学研究,负责人:张峰;
北京中医药大学青年项目(2022-JYB-JBZR-027):“AI太极”干预老年慢性疼痛康复效应及肠道菌群机制研究,负责人:张峰。

** 通讯作者:张峰,讲师,研究方向:太极拳效应的中枢整合机制研究。

进行了检索。其中,中文数据库为中国期刊全文数据库(CNKI),外文数据库为PubMed。中文检索式为(“太极”或“太极拳”)和(“MRI”或“磁共振成像”);英文检索式为(“tai chi”or“tai ji”)and(“MRI”),检索标题/摘要。所有数据库检索时间范围均为文献建库至2023年4月。

1.2 纳入标准

①公开发表的利用MRI技术观察太极拳运动影响大脑的随机对照试验(Randomized Controlled Trial, RCT)和横断面研究,并以中、英文发表;②研究对象为60岁以上的老年人;③治疗组干预措施为太极拳运动,流派不限;④结局指标中包含太极拳运动干预前后的认知功能变化。

1.3 排除标准

①以太极拳以外的其他功法为主要干预方式;②综述、方案、病例报告、评论和临床实践指南。不相关的数据和不可用的研究也被排除在外。

2 结果

2.1 文献检索结果

共检索出原始文献173篇,其中中文数据库54篇、外文数据库119篇。排除重复文献共49篇。经过阅读标题与摘要,排除文献81篇。阅读全文,排除无可供分析的认知功能结局的文献共12篇。最终共31项研究纳入分析,其中英文28篇,中文3篇。见图1。

2.2 文献基本情况

纳入的31项研究中29项为RCT,2项为横断面研究。RCT主要关注太极拳、八段锦和快走等运动形式或空白对照、常规护理对老年人脑结构和功能的影响,

太极拳干预周期4-16周不等,干预频率为每周3-5次,每次30-60 min。在横断面研究中,1项研究将长期进行太极拳锻炼的老年人群与平均年龄为22岁的普通健康人群进行比较,研究太极拳与大脑灰质之间的解剖学相关性;另一项研究则从局部一致性的角度比较长期太极拳锻炼的老年女性和普通健康同龄人群之间的差异。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,太极拳组平均年龄为50.24-65.28岁。研究最小单组样本量为8例,最大单组样本量为32例,太极拳组平均样本量为19例。

纳入文献中,共有7项研究采用基于种子点的功能连接(Seed-based functional connectivity, SFC)分析法、3项研究采用低频振幅/比率低频振幅(Amplitude/fractional amplitude of low frequency fluctuation, ALFF/fALFF)分析法和局部一致性(Regional homogeneity, ReHo)分析法、3项研究采用独立成分分析法(Independent component analysis, ICA)、2项研究采用局部一致性(Regional homogeneity, ReHo)分析法、2项研究采用图论分析法(Graph theoretical approaches, GTA)以及1项研究采用动态因果分析法(Granger causality analysis, GCA)。从纳入文献的发表年限来看,太极拳脑功能网络的研究方法逐渐从ReHo和SFC分析法向ICA、GTA和GCA分析法转变。见图2。

2.2.1 太极拳对大脑结构的影响

灰质是中枢神经系统的重要组成部分,由大量神经元构成,形成了极其复杂的神经回路,其在大脑的分布区域与记忆、情绪、感觉感知和自我控制等方面关系密切。大脑结构的改变常伴有灰质体积^[6]的改变,并且与大脑中神经元的数量和密度相关^[7]。这些

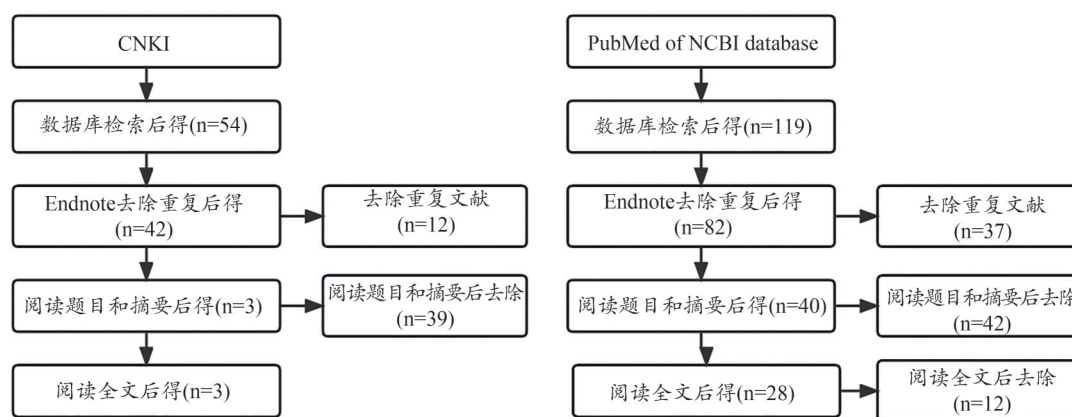


图1 文献检索及筛选流程图

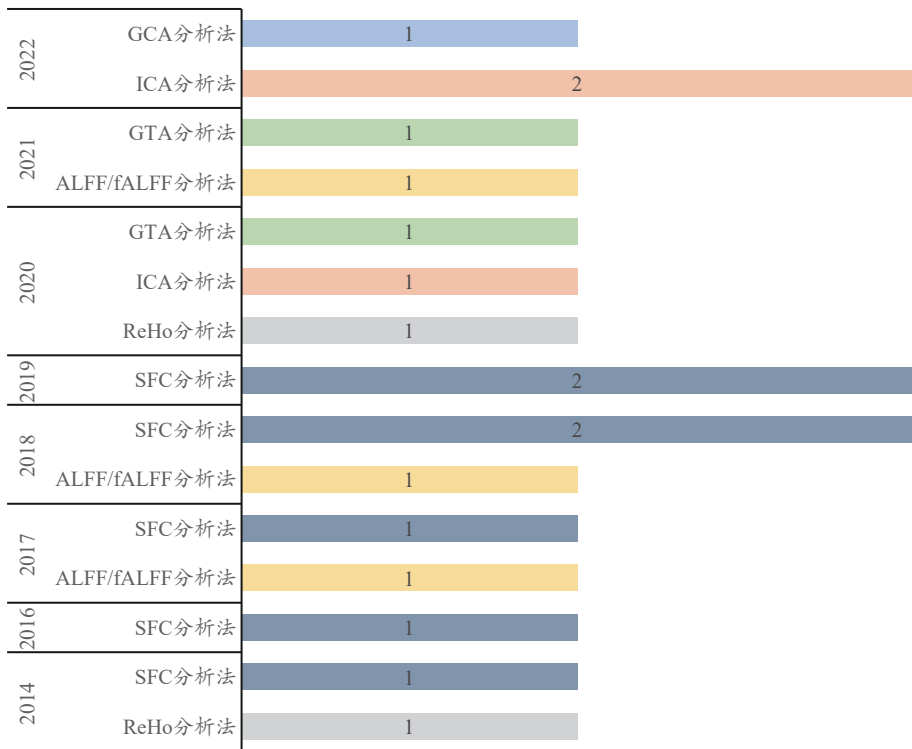


图2 历年研究采用的大脑功能分析方法

变化可能与突触的生长、神经元形态的改变和神经胶质细胞的增殖等细胞水平的机制有关,反映了神经元重塑的过程^[7]。因此,灰质体积已成为研究大脑结构可塑性的主要指标。

基于体素的形态学测量(Voxel-based morphometry, VBM)是一种在体素水平对脑MRI进行分析的技术,能定量计算局部灰质体积和密度的改变,从而精确地显示脑组织的形态学变化^[8]。一项结构磁共振研究发现,长期练习太极拳的老年女性在内侧颞叶、壳核和岛叶的灰质体积均有所增加,且与记忆商数和视觉再现评分呈正相关^[9]。还有研究发现,与一般有氧运动相比,8周的太极拳锻炼不仅能显著增加左侧颞上回和右侧颞中回的灰质体积,左侧楔前叶与枕中回的灰质体积也得到了增加^[10]。楔前叶与记忆回溯与自我认知等功能活动相关,其灰质厚度是青少年抑郁症的候选前瞻性生物标志物;而枕叶在记忆检索,尤其是联想记忆方面具有重要作用。一项横断面研究发现^[7],长期的太极拳训练可以使在右侧中央前回、岛环状沟、额内侧沟与左侧颞上回、梭状回和舌回沟的灰质体积明显增加。其中,左侧内侧枕颞沟和舌回沟的灰质体积与太极拳的练习强度呈正相关,提示灰质体积的增加可能与运动强度有关。也有研究发现,长期的

太极拳训练可以使颞中回和颞下回区域的灰质密度明显升高,其中,左侧海马的灰质密度与情景记忆呈正相关^[11]。内侧颞叶包括海马体和邻近的海马旁,主要参与记忆的检索和编码,且与情景记忆能力相关。因此,内侧颞叶灰质体积的增加对于记忆功能的改善尤为重要。太极拳运动通过增加部分脑区的灰质体积和密度重塑大脑结构,改善老年人的记忆能力,这与内侧颞叶灰质体积的增加关系密切。

2.2.2 太极拳对大脑功能的影响

在大脑连接的网络研究^[12]中,神经信息的整合和分离属性与大脑的网络社区与网络枢纽相对应。网络社区中的脑区之间紧密连接,并表现出强大的功能耦合,而不同社区之间的连接密度较低,并存在很少或不存在功能耦合,这促进了大脑的功能分离和专业化;网络枢纽则将不同网络社区相互连接,具有强大的全球功能耦合,以实现高效的信息交流和集成,这促进了大脑的功能整合。为了高效处理不同种类的认知任务,大脑会对功能分离和功能整合进行动态地调整^[13]。大脑的功能分离反映了大脑信息传输的效率^[14],其主要分析方法有ALFF/fALFF分析法和ReHo分析法。大脑的功能整合则分为功能连接和效应连接:功能连接反应了不同脑区之间的神经生理学联

系,其分析方法包括SFC分析法、ICA分析法和GTA分析法^[15];效应连接则能进一步描述脑区之间连接的方向性和连接强度^[16],如GCA分析法。以下从静息态fMRI分析方法综述太极拳锻炼对脑功能网络的影响,为今后的相关研究提供参考。

ALFF通过BOLD信号反映大脑神经元自发活动的强度,fALFF则将特定频段上(0.01–0.1 Hz)的ALFF值与整个频段上ALFF值相比,降低了非特异性信号成分,并增加对自发脑活动的区域敏感性,从而更好地衡量静息态DMN的活动^[17]。一项随机对照试验使用fMRI观察太极拳训练后老年人任务转换表现与前额叶激活程度的相关性^[18]。结果发现,与电话咨询组相比,太极组在任务切换中降低错误率的同时,其左侧额上回和右侧额中回(双侧背外侧前额叶皮层)的激活程度分别为略有增加和具有增加的趋势。还有研究表明,12周的太极拳运动增加了背外侧前额叶皮层0.01–0.027 Hz频段和0.01–0.08 Hz频段的fALFF值,且背外侧前额叶皮层fALFF值的变化与视觉再现评分呈显著的正相关^[19]。

ReHo分析法是一种利用肯德尔和谐系数(Kendall's coefficient of concordance, KCC)检测静息态相邻脑区同步性的方法,其水平能反映局部神经元活动的时间同步程度^[20]。一项纳入42名健康老年女性的横断面研究显示,与步行相比,长期的太极拳习练者在颞叶(包括梭状回、左海马体和海马旁回)的ReHo值更高,且与延迟任务记忆之间存在显著的正相关^[11]。相关研究表明,太极拳对不同脑区的ReHo值的影响也不同^[21]。与健康对照组相比,经验丰富的太极拳习练者在右侧中央后回的ReHo值明显增加,而在左侧前扣带回和右侧背外侧前额叶皮层的ReHo值明显降低;且中央后回中ReHo值的增加与太极拳练习的经验呈正相关,左侧前扣带回的ReHo值降低和右侧中央后回的ReHo值增加都预示需要注意网络测试成绩的提高。左侧前扣带回和右侧背外侧前额叶皮层局部一致性的降低,可能表明执行控制相关皮质的功能趋于专业化;相比之下,与处理初级感觉运动信息直接相关的中央后回在功能一致性方面有所增强,可能反映了太极拳对躯体感觉和躯体运动的整合功能有所改善。

SFC分析法以感兴趣区(Region of interest)为种子点,计算感兴趣区与全脑的功能连接度^[22],也就是静息

态功能连接性(Resting-state functional connectivity, rsFC)。静息态功能连接性指大脑中功能相似的区域间存在显著的时间同步性,这项指标可以量化脑区之间的功能整合程度^[5]。有研究显示,太极拳运动后双侧海马和内侧前额叶皮层之间的FC值显著升高,并且与受试者记忆功能改善显著相关^[23]。还有人对于太极拳和八段锦对DMN的调控作用进行了更加深入的研究。结果发现,与健康对照组相比,太极拳组增加了后扣带回、右侧壳核和尾状核之间的FC值,且壳核和尾状核FC值的变化与记忆商呈正相关,八段锦组则减少了内侧前额叶皮层、眶额回和壳核之间的FC值;与八段锦组相比,太极拳组中内侧前额叶皮层、右侧壳核和尾状核之间的FC值升高更加显著,这可能反映了太极拳涉及的动作比八段锦更加复杂^[24]。这些结果表明太极拳和八段锦训练都可以调节DMN,但调节的途径有所不同。也有研究发现,太极拳对大脑静息态功能连接的调节并非只有增强作用。Liu等^[25]的研究显示,与对照组相比,长期的太极拳训练会降低背外侧前额叶皮层和额中回之间的FC值,但会表现出更强的情绪调节能力。

ICA分析法将fMRI数据在时间方向上的序列分解为独立成分的线性组合,并将每个成分视为一个稳定的脑功能网络,常用于考察功能连接在个体间的差异^[26]。Yue等^[27]的研究招募了20名长期练习太极拳和22名长期步行的老年女性,并对其进行fMRI扫描,使用ICA对采集的数据进行分析。结果显示,在静息状态下太极拳组内侧前额叶皮层的激活水平低于步行组,但太极组在楔前叶、枕中回、左辅助运动区的功能连接与DMN的激活水平平均高于步行组。

GTA分析法能评估脑网络内部和不同脑网络之间信息处理的效率,有助于展示脑网络各个方面的拓扑结构。人脑是一个结构功能复杂的神经网络,近年来基于图论理论,研究者们发现利用MRI数据构建的脑功能网络具有很多重要的拓扑性质^[28],并把这些性质分为全局属性和节点属性。全局属性包括小世界属性(Small-worldness)、聚类系数(Clustering coefficient)、全局效率(Global efficiency)和局部效率(Local efficiency)等;节点属性包括节点聚类系数(Nodal clustering coefficient)、节点全局效率(Nodal global efficiency)和节点局部效率(Nodal local efficiency)等。有研究结果显示,太极拳训练显著提高了脑功能网络

的局部效率、双侧嗅皮质和左侧丘脑的节点聚类系数、右侧楔前叶和双侧后扣带回的节点全局效率、左侧丘脑和右侧嗅皮质的节点局部效率,显著降低了左侧颞下回的节点聚类系数;且左侧丘脑节点聚类系数与认知灵活性呈显著的正相关^[14]。在上述研究结果中,局部效率与节点聚类系数的上升,反映了大脑功能分离水平的提高,促进大脑功能的专业化。Yue等^[29]对老年女性脑白质网络的研究发现,太极组的小世界属性(Sigma)显著高于步行组,且在2-block任务中与反应时间呈负相关,与准确性得分呈正相关;在聚类系数和局部效率方面,太极组虽有提升,但与步行组相比无显著性差异。

3 结果

本文基于MRI技术根据不同分析方法探讨了太极拳对老年人大脑结构和功能网络的重塑作用。结果发现,在结构方面,太极拳主要增加内侧颞叶、壳核、岛叶、楔前叶和枕叶的灰质体积和密度。在功能分离方面,双侧背外侧前额叶的fALFF得到增加;颞叶和右侧中央后回的ReHo得到增加,而左侧前扣带回和右侧背外侧前额叶的ReHo降低。在功能整合方面,双侧海马和内侧前额叶之间、后扣带回、右侧壳核和尾状核之间以及楔前叶、枕中回、左辅助运动区的功能连接显著升高;脑功能网络的局部效率得到提升,双侧嗅皮质和左侧丘脑的节点聚合系数得到提高。

4 讨论

认知控制,也被称为执行功能,指个体在信息加工的过程中自上而下地分配认知资源,同时抑制分心物的干扰,从而顺利地完成任务,其核心成分包括认知灵活性、抑制控制和工作记忆^[30]。研究显示,老年人存在认知控制的损伤和认知灵活性的下降,即表现为无法根据情境灵活地调整加工方式,而更倾向于依赖自上而下的注意加工^[31]。因此,与自上而下加工相关的脑区激活程度会增加,如前额叶和后顶叶(额顶控制网络);而与自下而上加工相关的脑区激活程度会下降,如双侧扣带回皮层、右额下回和双侧纹状体。信息加工方式的改变与脑功能和结构紧密相关,随着年龄的增长,灰质的体积会减少,不同脑区的激活程度和功能连接性都会发生改变,从而影响老年人

的认知灵活性。

当前的研究结果显示,长期的太极拳运动对前额叶皮层的灰质体积,背外侧前额叶皮层的激活程度,双侧海马、右侧壳核、尾状核与内侧前额叶皮层之间的功能连接性,以及左侧丘脑的节点聚类系数均表现为正向的增强作用,这提示了太极拳对自上而下和自下而上注意加工的改善。同时,太极组内侧前额叶皮层较低的激活水平、左侧前扣带回和右侧背外侧前额叶皮层ReHo的下降、背外侧前额叶皮层和额中回之间功能连接性的下降可能提示老年人认知灵活性的恢复,即能更加灵活地调节注意加工方式,减少老年人对自上而下加工的依赖,最终表现为局部前额叶皮层激活水平、ReHo和功能连接性的选择性降低。前额叶皮层参与外部环境信息与内部表征的整合,并在冲突解决的过程中控制自上而下的注意加工,是默认模式网络的主要枢纽^[23]。有研究指出,认知灵活性、抑制控制、工作记忆等认知控制子成分均与前额叶皮层的功能活动相关^[30]。因此,对前额叶结构和功能的选择性调节可能是太极拳改善老年人的自上而下和自下而上注意加工,以及根据需要灵活调节注意加工方式的潜在中枢机制。

从调身的角度来看,太极拳动作柔和缓慢、舒展流畅,能调节呼吸、调畅气血、提高有氧能力和肌肉力量,是一种强度适中的有氧代谢运动^[32-33]。目前的研究表明,有氧运动对抑郁症患者的工作记忆产生积极影响^[34]。从调心的角度来看,太极拳在运动的过程中强调形神合一,即外在的技击动作与内在意图的协调统一,在外做到“肩与跨合,肘与膝合,手与足合”,在内做到“心与意合,意与气合,气与力合”。习练者既要细心体会一招一式中刚柔、进退、开合、屈伸的阴阳变化,也要追求全套动作的衔接流畅,气势连贯,这无疑锻炼了习练者的注意力与抵抗外界干扰刺激的能力,从而提高大脑的抑制控制能力。此外,习练者在不同招式间灵活地转换呼吸节律与身体重心,调节气机的升降出入,使得体内阴阳二气各司其职、平衡运转,这对大脑认知灵活性的提升也有正向促进作用。

从大脑形态学改变的角度来看,长期的太极拳运动能显著增加老年人内侧颞叶的灰质体积和密度,并且与记忆商数、视觉再现评分和情景记忆能力呈正相关。有研究指出,这些脑区形态结构的改变与有氧运动及冥想的大脑研究结果具有一致性^[7],因此有理由

推测太极拳改善大脑结构的潜在机制可能与有氧运动及冥想练习相重叠,这也侧面反映出太极拳运动中调身、调息和调心操作对改善老年人脑结构和记忆功能的重要性。

年龄是造成认知功能障碍的重要因素,随着我国老龄化的不断加深,老年人认知功能障碍相关疾病受到人们的广泛关注^[35]。多项研究表明,年龄超过70岁、无社会参与活动以及存在抑郁症状等是造成认知功能障碍的危险因素^[35-37],如果不采取积极的防治手段,这类疾病将严重损害老年人的生存质量,并给家庭和社会带来了沉重的经济负担。身心锻炼对老年人的认知功能有积极影响,尤其是太极拳运动^[38]。与一般有氧运动相比,太极拳能显著增加左侧枕中回的灰质体积^[10],对默认模式网络、感觉运动网络和视觉网络的激活水平更高^[27],这表明太极拳激发大脑可塑性的优势;与瑜伽相比,太极拳对老年人的整体认知有更加积极的影响^[39]。太极拳动作缓慢、强度适中,能增进老年人的社会参与度,改善大脑的认知控制,是一项适宜于老龄人群的身心运动。并且,太极拳在我国有一定群众基础,对运动场地和经济水平都没有过高要求,具备可接受性、可行性和经济性^[35],易于大范围推广,这为患有轻度认知障碍、痴呆、抑郁症及记忆功能减退等老年人群疾病的预防和康复提供了新的思路^[40]。

目前研究中仍存在以下不足:①由于神经影像学禁忌症(例如,植入物等)的原因,目前研究的样本量

偏小;②4-16周的锻炼时间较短,难以评估太极拳的长期效应;③太极拳将调身与调心相结合,动作较为缓慢,因此即使两组每天锻炼的时间相同,对照组的运动强度也可能远高于太极拳组,这会使研究结果产生偏差;④在有些研究中,太极组与对照组的受教育程度相差较大,这可能对大脑结构和认知能力产生影响。因此,未来的研究可以从以下方面展开:①开展大样本量的研究来进一步证实研究结果;②进行更长时间的锻炼或长期随访来评估太极拳对人脑的长期效应;③针对太极拳组与对照组的运动强度进行研究分析,证明二者的运动强度相似,以增加研究结果的可靠性;④对可能影响研究结果的干扰因素如性别、年龄和受教育程度等严格控制,以减小误差。

综上所述,从大脑结构的角度来看,太极拳与内侧颞叶灰质体积与密度的增加关系密切,这可能是太极拳改善老年人记忆功能的有效途径;从大脑功能的角度来看,太极拳的整个运动过程涉及较为复杂的身体姿势和动作记忆,因此习练者会将注意力集中于动作的转换和呼吸的节律上,并逐渐减少思维活动,抑制不相关信息的干扰,从而正向重塑执行控制网络脑区,尤其是前额叶皮层的结构和功能,最终促进了认知灵活性、抑制控制和工作记忆等认知控制能力的恢复。相对于一般有氧运动或身心锻炼,太极拳对于老年的记忆功能和认知控制功能的影响具有更积极的效果,具有可接受性与可行性,是一种有效的预防和延缓认知功能衰退的方法。

参考文献

- 1 张建国,唐纯志,孔令朔.太极拳运动对老年人认知功能影响的系统评价与Meta分析.中医杂志,2017,58(17):1473-1477.
- 2 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.
- 3 Pan Z J, Su X W, Fang Q, et al. The effects of Tai Chi intervention on healthy elderly by means of neuroimaging and EEG: A systematic review. *Front Aging Neurosci*, 2018, 10:110.
- 4 王雅君,徐姝蕊,刘娇.太极拳训练脑效应机制研究进展.康复学报,2022,32(2):177-182.
- 5 薛晨,李雨谿,钟冬灵,等.基于神经电生理技术和脑成像技术探讨太极拳对老年人认知功能影响的研究进展.生物医学工程学杂志,2022,39(4):826-832.
- 6 司飞飞,孙黎,安莉,等.注意缺陷多动障碍及共患学习困难儿童大脑灰质、白质和全脑体积磁共振成像研究.中国心理卫生杂志,2016,30(3):179-184.
- 7 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.
- 8 沈善昌,姜兴岳.基于体素的形态学测量在认知障碍相关疾病中的研究进展.磁共振成像,2019,10(11):851-854.
- 9 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.
- 10 Cui L, Yin H C, Lyu S J, et al. Tai Chi Chuan vs general aerobic exercise in brain plasticity: A multimodal MRI study. *Sci Rep*, 2019, 9: 17264.
- 11 Yue C L, Yu Q, Zhang Y J, et al. Regular Tai Chi practice is associated with improved memory as well as structural and functional alterations of the Hippocampus in the elderly. *Front Aging Neurosci*, 2020, 12: 586770.

- 12 Sporns O. Network attributes for segregation and integration in the human brain. *Curr Opin Neurobiol*, 2013, 23(2):162-171.
- 13 Wang R, Liu M X, Cheng X H, *et al*. Segregation, integration, and balance of large-scale resting brain networks configure different cognitive abilities. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 2021, 118(23):e2022288118.
- 14 Cui L, Tao S, Yin H C, *et al*. Tai Chi Chuan alters brain functional network plasticity and promotes cognitive flexibility. *Front Psychol*, 2021, 12:665419.
- 15 谢玉洁, 曾倩, 王林嘉, 等. fMRI技术在基于临床针刺镇痛机制研究领域的文献计量学分析及评述. *世界科学技术-中医药现代化*, 2020, 22(3):881-890.
- 16 冀俊忠, 邹爱笑, 刘金铎. 基于功能磁共振成像的人脑效应连接网络识别方法综述. *自动化学报*, 2021, 47(2):278-296.
- 17 崔阳阳, 梁怀彬, 朱千, 等. 基于低频振幅分数和度中心性的躯体症状障碍静息态回行功能成像研究. *磁共振成像*, 2021, 12(7):51-54.
- 18 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.
- 19 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.
- 20 赵宾宾, 李晶, 胡广旭. 10~16岁首发精神分裂症患者局部脑区功能同步性与幻听症状相关性研究. *罕少疾病杂志*, 2023, 30(3):74-76.
- 21 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.
- 22 魏晓雅, 石广霞, 张娜, 等. 针刺治疗坐骨神经痛的功能磁共振成像研究进展. *中华中医药杂志*, 2022, 37(7):3969-3972.
- 23 Tao J, Liu J, Egorova N, *et al*. Increased Hippocampus-medial prefrontal cortex resting-state functional connectivity and memory function after Tai Chi Chuan practice in elder adults. *Front Aging Neurosci*, 2016, 8:25.
- 24 Liu J, Tao J, Liu W L, *et al*. Different modulation effects of Tai Chi Chuan and Baduanjin on resting-state functional connectivity of the default mode network in older adults. *Social Soc Cogn Affect Neurosci*, 2019, 14(2):217-224.
- 25 Liu Z Y, Wu Y Y, Li L, *et al*. Functional connectivity within the executive control network mediates the effects of long-term Tai Chi exercise on Elders' emotion regulation. *Front Aging Neurosci*, 2018, 10:315.
- 26 Wu B, Pal S, Kang J, *et al*. Distributional independent component analysis for diverse neuroimaging modalities. *Biometrics*, 2022, 78(3):1092-1105.
- 27 Yue C L, Zhang Y J, Jian M, *et al*. Differential effects of Tai Chi Chuan (motor-cognitive training) and walking on brain networks: A resting-state fMRI study in Chinese women aged 60. *Healthcare (Basel)*, 2020, 8(1):67.
- 28 Mheich A, Wendling F, Hassan M. Brain network similarity: Methods and applications. *Netw Neurosci*, 2020, 4(3):507-527.
- 29 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*, 2020, 8(1):57.
- 30 齐玥, 杨国春, 付迪, 等. 认知控制发展神经科学: 未来路径与布局. *中国科学(生命科学)*, 2021, (6):634-646.
- 31 吴瑕, 钟希苹, 姜云鹏. 不同搜索情境下老化对自上而下注意加工的影响. *心理发展与教育*, 2022, 38(1):26-34.
- 32 高嘉良, 陈光, 李海霞, 等. 以太极拳为主的中医传统运动在心脏康复中的作用. *中医杂志*, 2021, 62(3):199-204.
- 33 肖战说, 胡佩, 汪九重, 等. 从中医理论探讨太极拳治疗失眠的原理. *世界睡眠医学杂志*, 2017, 4(6):393-396.
- 34 Imboden C, Gerber M, Beck J, *et al*. Aerobic exercise or stretching as add-on to inpatient treatment of depression: Similar antidepressant effects on depressive symptoms and larger effects on working memory for aerobic exercise alone. *J Affect Disord*, 2020, 276:866-876.
- 35 韦慧燕, 刘乐, 杨光媚, 等. 我国老年人认知功能障碍现状及其影响因素. *医学与社会*, 2022, 35(2):55-59.
- 36 廖婷婷, 林立丰, 徐浩锋, 等. 广东省老年人认知功能障碍现状及其影响因素分析. *现代预防医学*, 2022, 49(1):107-109.
- 37 刘东祺, 李荣梅, 张美琪, 等. 沈阳市社区老年人认知功能障碍现状及影响因素分析. *护理研究*, 2020, 34(13):2390-2393.
- 38 Wu C X, Yi Q, Zheng X Y, *et al*. Effects of mind-body exercises on cognitive function in older adults: A meta-analysis. *J Am Geriatr Soc*, 2019, 67(4):749-758.
- 39 Chan J S Y, Deng K F, Wu J M, *et al*. Effects of meditation and mind-body exercises on older adults' cognitive performance: A meta-analysis. *Gerontologist*, 2019, 59(6):e782-e790.
- 40 Li F, Wang L, Qin Y, *et al*. Combined Tai Chi and cognitive interventions for older adults with or without cognitive impairment: A meta-analysis and systematic review. *Complement Ther Med*, 2022, 67:102833.

Research Progress of Tai Chi's Influence on Brain Structure and Function of the Elderly Based on Magnetic Resonance Imaging Technology

Wu An¹, Zhang Boran², Wang Xiaotong¹, Huang Chang¹, Hu Boyi¹,
Yang Yunpeng¹, Wu Tingchao³, Zhang Feng¹

(1. School of Acupuncture-Moxibustion and Tuina, Beijing University of Chinese Medicine, Beijing 100029,

*China ; 2. Department of Physical Education, Beijing University of Chinese Medicine, Beijing 100029, China ;
3. Chengdu Second People's Hospital, Chengdu 610021, China)*

Abstract: Magnetic Resonance Imaging (MRI) technology can directly show the changes of brain network and explain the central mechanism of Tai Chi remodeling of brain structure and function. In this paper, we collected the domestic and foreign research on the influence of Tai Chi movement on the brain network by using MRI technology, and combed it from the perspective of brain structure and function changes. The results revealed that Tai Chi may promote memory function, cognitive flexibility, inhibitory control, and working memory capacity by remodeling the structure and function of the medial temporal lobe and prefrontal cortex in older adults, which may be a potential central mechanism for Tai Chi to improve memory and cognitive control in the elderly. However, there are some problems in the current research, such as small sample size, insufficient long-term follow-up, and difficult evaluation of exercise intensity. It is necessary to carry out large-sample and long-term detailed research to further verify the current research results.

Keywords: Tai Chi, Magnetic resonance imaging (MRI), Older adults, Cognitive control, Research progress

(责任编辑: 刘玥辰)