



## 太极拳对老年人运动功能及相关脑区的影响——来自fNIRS的证据

汪敏加, 吴姝雅, 张纯, 税晓平, 张飞跃, 胡豪, 何本祥

## Effects of Tai Chi on Motor Function and Primary Motor Cortex in Older Adults——An fNIRS Study

### 引用本文:

汪敏加, 吴姝雅, 张纯, 等. 太极拳对老年人运动功能及相关脑区的影响——来自fNIRS的证据[J]. *上海体育大学学报*, 2025, 49(7): 63-74.

WANG Minjia, WU Shuya, ZHANG Chun, et al. Effects of Tai Chi on Motor Function and Primary Motor Cortex in Older Adults——An fNIRS Study[J]. *Journal of Shanghai University of Sport*, 2025, 49(7): 63-74.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.16099/j.sus.2024.07.19.0004>

### 您可能感兴趣的其他文章

#### Articles you may be interested in

#### 太极拳促进脑健康的循证医学证据与推进路径

Evidence-based Medicine Evidence and Implementation Path of Tai Chi Promoting Brain Health

*上海体育大学学报*. 2024, 48(4): 81-91

#### 太极拳健康智慧论绎

On the Health Wisdom in Tai Chi

*上海体育学院学报*. 2020, 44(7): 77-84

#### 12周惯性哑铃练习对轻度认知损害老年人的干预效果

Intervention Effects of 12-week Momentum-based Dumbbell Exercise on Older Adults with Mild Cognitive Impairment

*上海体育学院学报*. 2020, 44(5): 63-69, 80

#### 太极拳“耍拳”文化要义: 认识、实践与主体性关怀

Cultural Substance of "Shua Quan" in Tai Chi: Understanding, Practice and Subjective Care

*上海体育大学学报*. 2024, 48(4): 70-80

#### 基于等时替代模型的老年人久坐行为、体力活动与认知功能的关系

Relationships Between Sedentary Behavior, Physical Activity and Cognitive Function of the Elderly Based on Isochronous Substitution Model

*上海体育学院学报*. 2022, 46(8): 33-41

#### 体育锻炼延缓老年人认知衰退量效关系的专家共识

Expert Consensus on the Dose-Effect Relationship of Physical Exercise Delaying Cognitive Decline in the Elderly

*上海体育学院学报*. 2021, 45(1): 51-65, 77



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

## 原创成果

# 太极拳对老年人运动功能及相关脑区的影响

——来自 fNIRS 的证据

汪敏加<sup>1</sup>, 吴姝雅<sup>1</sup>, 张纯<sup>1</sup>, 税晓平<sup>2</sup>, 张飞跃<sup>1</sup>, 胡豪<sup>1</sup>, 何本祥<sup>3</sup>

(1. 成都体育学院 运动医学与健康学院, 四川 成都 610041; 2. 四川中医药高等专科学校 针灸推拿学院, 四川 绵阳 621000; 3. 四川省中医药科学院, 四川 成都 610041)

**摘要:** 目的 通过 fNIRS 技术探究 12 周太极拳运动改善老年人运动功能的潜在脑血流动力学机制。方法 将 34 名健康老年人随机分为太极拳组和对照组。太极拳组接受为期 12 周的太极拳干预, 对照组不接受任何干预。评估干预前后受试者的运动功能, 并采集步行任务态下运动相关脑区的血流动力学指标。结果 干预前后组内比较发现, 太极拳组的单足稳定性、Berg 平衡量表评分及计时起立行走测试结果较干预前均有明显改善 ( $P < 0.05$ ); 初级运动皮层 (M1)、运动前区-辅助运动区 (PMC-SMA) 的氧合血红蛋白浓度均较干预前明显升高 ( $P < 0.05$ )。干预后组间比较发现, 太极拳组 M1 和 PMC-SMA 脑区的氧合血红蛋白浓度显著高于对照组 ( $P < 0.05$ )。结论 12 周太极拳运动可显著改善老年人的运动功能及运动相关脑区的神经激活情况。

**关键词:** 太极拳; 老年人; 运动功能; 跌倒风险; fNIRS

**中图分类号:** G804.8 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5498(2025)07-0063-12 **DOI:** 10.16099/j.sus.2024.07.19.0004

国家统计局数据显示, 目前, 我国是世界上老年人口数量最多的国家。2021 年我国 65 岁及以上老年人口突破 2 亿人, 占总人口比重达 14.2%, 标志着我国已进入“老龄社会”<sup>[1]</sup>, 预计到 2050 年前后, 我国老年人口数将达到峰值 4.87 亿人, 占总人口的 34.9%<sup>[2]</sup>。

衰老会导致进行性骨骼肌萎缩和虚弱<sup>[3]</sup>, 由此引发的步态变化和平衡障碍是老年人跌倒最常见的原因之一, 通常会导致受伤、残疾、丧失独立性和生活质量受限<sup>[4]</sup>, 其中, 跌伤是世界非故意伤害死亡的第二大原因。世界卫生组织数据显示, 在致命的跌伤中, 60 岁以上成年人所占比例最大<sup>[5]</sup>。此外, 有调查研究<sup>[6-7]</sup>发现, 大约三分之一的社区居住老年人每年至少经历一次跌倒, 其中一半经历多次跌倒。研究<sup>[8]</sup>发现, 衰老引发的步态和平衡功能下降、感觉系统(视觉、听觉、触觉、前庭感觉及本体感觉)减退、中枢神经系统退变、

骨骼肌肉系统退变是引发跌倒的常见因素。也有研究<sup>[9]</sup>认为, 老年人跌倒风险的增加是由于感觉系统能力、神经功能、运动功能的下降和反应时间的增加, 导致控制系统延迟、平衡功能下降, 继而引发步态改变。

目前, 运动已被确定为一种预防和治疗策略, 以缓解衰老带来的有害变化<sup>[10-11]</sup>。在常规运动疗法中, 一些具有平衡和肌肉强化成分的运动干预已被证明可以减少跌倒<sup>[12]</sup>。Liu-Ambrose 等<sup>[13]</sup>对 70 岁以上有跌倒史的老年人进行了 12 个月的个性化家庭平衡和力量再训练, 与常规护理相比, 基于家庭的力量和平衡再训练锻炼计划显著降低了后续跌倒的发生率; Skelton 等<sup>[14]</sup>对居住在社区常跌倒的 65 岁以上女性进行为期 36 周的个性化平衡和力量干预, 发现其跌倒的可能性显著低于未进行干预者; Sadeghi 等<sup>[15]</sup>对 64 名居住在社区的老年男性分别进行为期 8 周的传统平衡训练和

收稿日期: 2024-07-19; 修回日期: 2024-12-16

基金项目: 四川省中医药管理局中医药科研专项课题面上项目资助课题(2023MS364); 四川省科技厅面上项目资助课题(2022NSFSC0667)

第一作者简介: 汪敏加(ORCID: 0000-0003-1451-3563), 女, 浙江嘉兴人, 成都体育学院教授, 博士, 硕士生导师; 研究方向: 老年康复、肌骨运动康复, E-mail: 349957217@qq.com

通信作者简介: 何本祥(ORCID: 0000-0002-0665-8861), 男, 安徽霍山人, 四川省中医药科学院教授, 博士, 博士生导师; 研究方向: 运动医学、中医骨伤科学, E-mail: 1210075193@qq.com

虚拟现实平衡训练,发现其均能有效改善腿部力量、平衡功能和功能活动性;Rydwik 等<sup>[16]</sup>对 42 名住院老年人进行 10 周的中等强度训练后发现,干预组的平衡性和活动能力明显改善,而对照组有所下降。然而,并不是所有类型的运动都能改善平衡,防止跌倒。有研究<sup>[17]</sup>使用 Meta 回归分析模型证明,包含平衡训练但不包括步行的运动项目以及更剧烈的运动强度对于预防老年人跌倒具有更好的效果。

太極拳是中國傳統拳術的一種,以“拳道合一”為終極旨歸,其本質是“一氣流行”的身心覺知狀態<sup>[18]</sup>。作為運動療法的一種,其特點是運動強度中等,運動節律放鬆緩慢,適合所有年齡階段人群,尤其適合老年人和慢性病患者<sup>[19-20]</sup>。多項研究表明,太極拳運動能有效改善神經退行性疾病患者的運動功能<sup>[21]</sup>、整體認知功能<sup>[22]</sup>和跌倒情況<sup>[23]</sup>。有研究<sup>[24]</sup>發現,超過 5 年的太極拳練習可以使老年人在上肢擾動狀態下具有更好的視覺空間能力與姿勢穩定性,降低老年人上肢擾動狀態下的跌倒風險。此外,有 Meta 分析結果<sup>[25]</sup>顯示,太極拳顯著降低了老年人跌倒的發生概率,提高了老年人的動態平衡能力。然而,太極拳訓練對大腦功能的影響機制,特別是在實時身體運動中對運動相關腦區的影響卻鮮有研究討論。

越來越多的證據表明,在與年齡相關的運動控制下降中,整個大腦皮層都會出現與年齡相關的结构和功能變化。在結構上,與年輕人相比,衰老會使老年人大腦運動區灰質體積減小,尤其是在中央前回和腦後回;此外,白質的體積和質量也發生下降,白質含量的下降會影響大腦區域之間的功能連接<sup>[26]</sup>。既往研究<sup>[27]</sup>認為,在運動控制中,運動皮層起着主要作用,老年人運動能力下降可能是因為運動皮層突觸可塑性受損。初級運動皮層(M1)、運動前區—輔助運動區(PMC-SMA)等腦區作為組成運動皮層的主要區域,位於額葉上中央前回後部,在中央溝的正前方。M1 是主運動區,主管全身軀體運動、交叉支配肢體運動,並對精細動作進行功能定位<sup>[28]</sup>。SMA 是感覺運動網絡的關鍵樞紐,與 PMC 一起完成無意識運動控制過程中的運動指令編程,同時參與調節 M1 區運動輸出指令<sup>[29-30]</sup>。

近年來,功能性近紅外光譜(fNIRS)、功能磁共振成像(fMRI)和腦電圖(EEG)等成像技術在腦功能研究中得到了迅速發展,並越來越多地被應用於太極拳研究<sup>[31]</sup>。fNIRS 技術作為一種無創性光學成像技術,可

通過光學探頭貼附於組織表面以發射和接收近紅外光(650~1 000 nm)的方式測量氧合血紅蛋白(oxyhemoglobin, HbO<sub>2</sub>)和脫氧血紅蛋白(deoxyhemoglobin, HbR)的濃度變化,從而反映組織的血流動力學變化,並推斷大腦潛在的神經活動<sup>[32]</sup>。相較於 fMRI,對身體運動的低靈敏度和系統的便攜性使 fNIRS 適用於在運動任務或涉及步行的任務期間監測皮層血流動力學變化情況<sup>[33]</sup>。fMRI 研究發現,經過 12 周太極拳干預,顳葉內側、右側殼核、海馬和島葉的灰質體積顯著增加<sup>[34]</sup>,前額葉激活發生了顯著變化<sup>[35]</sup>,右側中央前回的同質性增加,同時左側輔助運動區的活动增加<sup>[35-36]</sup>。但關於太極拳影響老年人在完成動態任務中運動中樞的腦血流變化機制,目前尚不明確。

鑒於此,本文以健康老年人為研究對象,探究 12 周太極拳運動對老年人運動功能的改善效應,同時,使用便攜式 fNIRS 設備監測 M1 和 PMC-SMA 等運動相關腦區的神經激活情況,以探究其潛在的腦血流動力學機制。

## 1 研究對象與方法

### 1.1 研究設計

採用 2(組別:太極拳組、對照組)×2(時間:干預前、干預後)雙因素混合實驗設計,其中,組別為被試間因素,時間為被試內因素,因變量為運動功能評估指標和 M1、PMC-SMA 等運動相關腦區活動指標。使用 G\*Power 3.1 軟件估算樣本量,將效應大小設為 0.25,顯著性水平  $\alpha$  設為 0.05,功率設為 0.8,計算出樣本量至少為 34。

實驗過程由 3 個部分組成:干預前測試、12 周運動干預、干預後測試。干預前收集受試者基本情況(人口統計學和健康狀況特征),包括年齡、性別、身高、體重、身體質量指數(BMI)等。干預前和干預後的測試內容包括運動功能評估和腦血流動力學評估。使用 Berg 平衡量表、計時起立行走測試和 Biodex Balance 平衡能力測試評估運動功能;使用 fNIRS 同步監測步行任務態下大腦運動相關腦區的 HbO<sub>2</sub> 水平,以進行腦血流動力學評估。

### 1.2 研究對象

2022 年 1 月至 2023 年 10 月於成都市成華區跳蹬河社區、成都市武侯區羅浮社區等合作單位招募健康老年人 40 例,用隨機數字法將其分為太極拳組

(n=20)和对照组(n=20)。所有受试者在参与实验前均已被告知本次实验的目的、内容以及参与要求,表示本次参与测试属自主意愿后签署知情同意书。

太极拳组接受为期12周的太极拳运动干预,对照组保持原有生活方式不变。太极拳组有2人未按计划完成干预,主动提出退出,有1人因个人原因未参与干预后的评估;对照组有3人因个人原因未参与干预后的评估,最终有效受试者为34人。图1详细描述了各阶段受试者的人数及流失情况。本实验获得成都体育学院伦理委员会批准(成体伦理[2023]77号),并在中国临床试验注册中心注册(ChiCTR2300076963)。

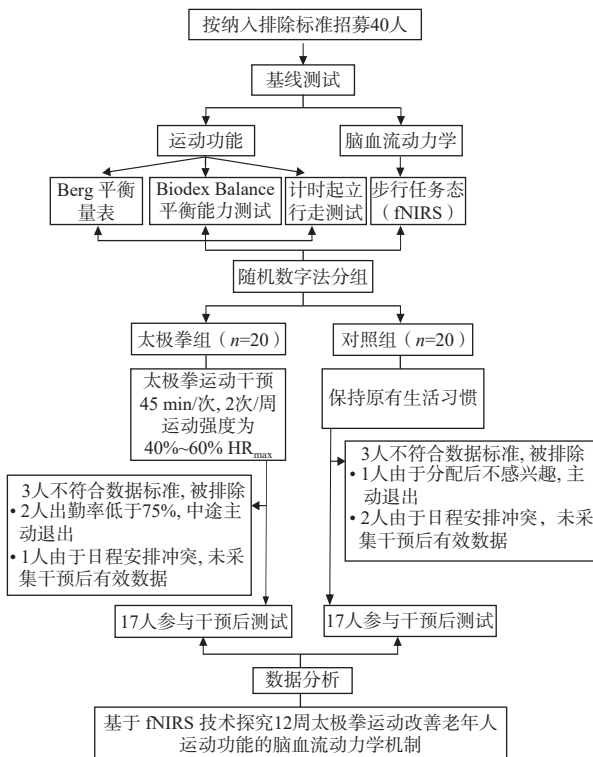


图1 实验流程

Figure 1 Flowchart of the experiment

纳入标准: ①年龄在60~88岁; ②MoCA评分≥26; ③能独立行走至少5 min; ④从未参加过太极拳练习。排除标准: ①患有认知功能障碍或精神类疾病; ②患有严重心、肺、肝、肾等疾病或癌症; ③因骨折、创伤、手术等原因不能无辅助站立、行走; ④正在练习太极拳。

质量控制: 在实验开展期间, 由养老院的护理人员每天监测并记录受试者的日常生活活动, 以确保除了太极拳组进行太极拳干预外, 2组人员的其他生活习惯均保持不变。

1.3 干预方案

实验共计14周, 前2周由1名专业武术教练员对

所有受试者进行太极拳培训, 通过分解动作, 熟悉动作名称和动作要领进行教学。动作标准参考2008版国家体育总局健身气功管理中心编制的《24式简化太极拳》, 全套动作分别为: 起势、左右野马分鬃、白鹤亮翅、左右搂膝拗步、手挥琵琶、左右倒卷肱、左揽雀尾、右揽雀尾、单鞭、云手、单鞭、高探马、右蹬脚、双峰贯耳、转身左蹬脚、左下势独立、右下势独立、左右穿梭、海底针、闪通臂、转身搬拦锤、如封似闭、十字手、收势。练习要点: ①身体集中, 加强姿势和运动控制; ②呼吸集中, 协调呼吸和运动; ③精神集中, 练习中配合冥想元素。

待受试者熟练掌握24式太极拳后, 进行为期12周的干预, 要求受试者跟随音乐和指令完成成套动作, 2次/周, 45 min/次, 运动强度为40%~60%HRmax, 干预流程如图2所示。在整个运动过程中受试者保持身体放松、呼吸通畅均匀, 可根据个人身体状况对难度大的动作进行调整。干预原则是训练舒畅, 肌肉稍感酸痛, 但无明显疲乏, 不影响日常生活活动。

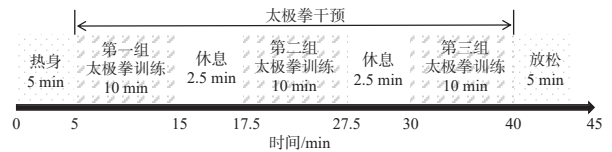


图2 太极拳干预流程

Figure 2 Flowchart of Tai Chi intervention

1.4 指标测试

1.4.1 运动功能评估

(1)Berg平衡量表。Berg平衡量表由14项组成: 由坐到站、独立站立、独立坐、由坐到站、床椅转移、闭眼站立、双足并拢站立、站立位上肢前伸、站立位从地拾物、转身向后看、转身1周、双足交替踏台阶、双足前后站、单腿站立。最高分56分, 最低分0分, 分数越高表示平衡能力越强。0~20分表示平衡功能差, 需要乘坐轮椅; 21~40分表示有一定平衡能力, 可在辅助下步行; 41~56分表示平衡功能较好, 可独立步行; <40分提示有跌倒的风险。

(2)计时起立行走测试(The Timed Up and Go test, TUG)。TUG是一种测量平衡能力与步态、预测跌倒风险的方法, 能评价受试者的身体表现, 并与功能活动能力和步态速度相关。测试者向受试者详细讲解测试的步骤和指令, 确保其清楚整个过程。具体测试过程: 受试者穿着舒适的平底鞋, 坐在有扶手的靠背椅子上

(椅高約 46 cm)。在離椅子 3 m 遠的地面上設置標誌線; 當測試者發出“開始”的指令後, 受試者從靠背椅上站起, 以正常步態向前走至標誌線處, 然後再走回到椅子前並轉身坐下, 身體靠到椅背上。測試過程中記錄者不能給予任何軀體的幫助, 但須密切注意並保障受試者的行走安全。測試者記錄受試者“背部離開椅背—一手扶椅子上站起—向前步行 3 m—轉彎—返回起始處—坐下(臀部觸到椅面)”所需要的时间<sup>[37]</sup>, 以 s 為單位。測試進行 3 次, 測試間隔休息 1 min, 以 3 次測試時間的平均值作為測試結果。

(3) Biodex Balance 平衡能力測試。Biodex Balance System(BBS)平衡系統是一種用於評估和訓練平衡能力的設備, 常用於康復、運動訓練和老年人護理等領域, 具體測試內容包括姿勢穩定度測試、穩定度極限測試、運動單腳穩定度測試以及跌倒風險測試 4 個方面。

① 姿勢穩定度測試。姿勢穩定即身體將重心維持在支撐面上而保持穩定的能力。評估受試者在直立姿勢下保持重心穩定的能力, 得分越低表示穩定性越好。測試指標包括中/外側穩定性指數(MLSI)、前/後穩定性指數(APSI)、總體穩定性指數(OSI)。

② 穩定度極限測試。穩定度極限即正常人站立時身體傾斜的最大角度。受試者在支撐基座內移動與控制重心至閃爍目標後快速回到原來的位置, 要求誤差尽可能小。包括總體、前、右前、左前、左、右、後、右後、左後等 9 個指數。

③ 運動單腳穩定度測試。單腳穩定度即單腳支撐站立情況下身體保持平衡的能力。受試者在支撐基座內單腳支撐測試持續 20 s, 分數越低越好, 本實驗重點分析優勢側。包括總穩定指數、前/後指數、中間/側向指數。

④ 跌倒風險測試。用於評估受試者跌倒的可能性。受試者在不穩定支撐基座內站立保持 20 s, 分數越低越好。

#### 1.4.2 fNIRS 數據採集及預處理

(1) fNIRS 數據採集。運用 NIRSport2(NIRX, 德國)設備測量健康老年人在步行任務下, M1、PMC-SMA 區域 HbO<sub>2</sub> 和 HbR 濃度的變化情況, 以 830 nm 波長和 780 nm 波長分別對 HbO<sub>2</sub> 和 HbR 進行數據採集, 採樣頻率為 3.91 Hz。fNIRS 設備由 8 個 LED 光源(Sources, S)和 8 個光电探測器(Detectors, D)組成, 共組成 20 個通道。光極帽定位參考 10-20 國際腦電定位系統, 光源與探測器的間隔距離為 3 cm, 光源與探測器距離的中點為 Ch 位置, 以確保可測量皮層下 2~

3 cm 的血氧信號。該設備通過固定片連接各通道, 並以探頭頂端橡膠帽固定探頭, 確保帽子上通道與頭部保持接觸, 示意受試者在測試全程保持靜止姿勢, 以最大程度減少接觸不良及運動偽影等的干擾。根據 Brodmann 分區劃分出 4 個感興趣腦區(Region of Interest, ROI): 左側 M1 包括 ch2、ch3、ch9; 右側 M1 包括 ch12、ch13、ch19; 左側 PMC-SMA 包括 ch1、ch4、ch5、ch6、ch10; 右側 PMC-SMA 包括 ch11、ch14、ch15、ch16、ch20。

步行任務態: 在安靜、光線充足的實驗室, 以 30 s 步行、30 s 休息交替進行的方式, 連續測試 5 min(圖 3)。任務過程中尽可能保持身體穩定, 避免頭部大幅晃動; 對於無運動平板使用經驗的受試者, 需事先適應再行測試。

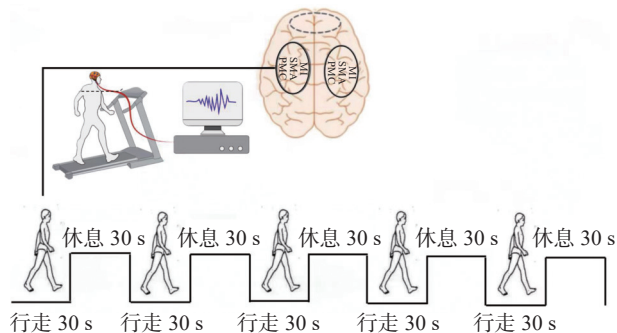


圖 3 步行任務態測試

Figure 3 Walking task state test diagram

(2) fNIRS 數據預處理。使用 NirsLAB(v201706) 軟件對 fNIRS 數據進行預處理。具體步驟如下: ① 去除漂移, 並用 0.01~0.20 Hz 帶通濾波器進行濾波, 減少高頻噪聲、心血管偽影及呼吸心跳等干擾; ② 將光譜測量與已知的血紅蛋白消光係數相結合, 根據修正的比爾-朗伯(Beer-Lambert)定律, 將血氧信號進行轉換, 使用一般線性模型(GLM)對每個通道進行個體水平分析, 將 fNIRS 數據與反映刺激方案設計回歸量的線性組合進行擬合, 計算 ROIs 中 HbO<sub>2</sub> 濃度的變化。以往研究<sup>[33]</sup>表明, HbO<sub>2</sub> 比 HbR 對運動的影響更敏感, 因此, 採用 HbO<sub>2</sub>( $\mu\text{mol/L}$ )的變化對皮層氧合水平的變化進行評估, 確定大腦運動相關腦區的神經活動水平。

#### 1.5 統計分析

採用 SPSS 26.0 軟件進行數據分析, 檢驗正態性, 定量數據以均數±標準差( $M\pm SD$ )表示。當數據符合正態分布時, 採用獨立樣本  $t$  檢驗分析基線數據; 採用 2(組別: 太極拳組、對照組)×2(時間: 前測、後測)的重

复测量方差分析来分析干预前后运动功能和 HbO<sub>2</sub> 浓度变化的影响。主效应显著时采用 Bonferroni 多重比较进行校正,任务间交互作用显著( $P<0.05$ )时采用简单效应分析;当数据不符合正态分布时,对其进行 Wilcoxon 符号秩检验。如不满足球形检验统计,采用 Green House Geisse 法进行矫正。采用 Spearman 相关分析来检验步行任务态下的脑皮层激活响应变化与运动功能表现之间的相关关系。设定  $P<0.05$  为有统计学差异。

## 2 研究结果与分析

### 2.1 干预前基线水平的同质性检验

干预前,对太极拳组和对照组的年龄、身高、体重、BMI、体成分等指标进行同质性检验,结果发现均无显著性差异(表 1),表明两组受试者在人口学指标上具有同质性。

表 1 两组受试者的基本信息( $\bar{x}\pm s$ )

类别	太极拳组	对照组	$P$
年龄/岁	69.50±10.24	65.33±5.83	0.149
身高/cm	157.40±7.61	157.64±6.18	0.922
体重/kg	61.31±9.17	56.51±6.23	0.080
体成分/%	0.29±0.09	0.29±0.06	0.998
BMI/(kg·m <sup>-2</sup> )	24.63±2.04	22.76±2.44	0.662

### 2.2 运动功能结果

#### 2.2.1 步行功能

通过对比干预前后两组受试者计时起立行走测试结果来评估其步行功能。采用 2(组别:太极拳组、对照组)×2(时间:前测、后测)的重复测量方差分析来分析干预前后计时起立行走测试结果的变化。结果显示:时间点具有主效应 [ $F(1,64)=6.031, P=0.017, \eta_p^2=0.086$ ],说明与干预前相比,太极拳组受试者 TUG 测试时间显著改善;组别无主效应( $P>0.05$ ),说明干预后太极拳组和对照组间无显著差异;时间点和组别之间不存在交互效应( $P>0.05$ )。

#### 2.2.2 平衡功能

通过 Berg 平衡量表和 Biodex Balance 平衡能力测试来评估干预前后两组受试者平衡功能的变化。由于 Berg 平衡量表评估的数据不符合正态分布,采用配对样本的 Wilcoxon 符号秩检验进行分析(表 2)。结果显示:干预后太极拳组( $Z=-2.307, P=0.021$ )的 Berg 平衡量表评分明显高于干预前,平衡功能得到了明显改

善;对照组干预后的平衡功能与干预前相比没有明显变化( $P>0.05$ )。

表 2 Wilcoxon 符号秩检验结果

测试名称	组别	中位数 (P25, P75)		秩和检验	
		前测	后测	$Z$	$P$
Berg平衡量表	太极拳组	54(48,56)	55(53,56)	-2.307	0.021
	对照组	54(54,55)	54(54,56)	-1.807	0.071

采用 2(组别:太极拳组、对照组)×2(时间:前测、后测)的重复测量方差分析来分析干预前后 Biodex Balance 平衡能力测试结果。结果显示,太极拳干预组的单足稳定性在干预后有显著提升 [ $F(1,64)=7.355, P=0.009, \eta_p^2=0.103$ ],其他结果没有明显变化( $P>0.05$ )。

### 2.3 fNIRS 结果

对两组受试者干预前后进行重复测量方差分析校正后的 HbO<sub>2</sub>, 结果(表 3、图 4)显示:5 条通道(ch3、ch9、ch10、ch12、ch20)干预后步行任务态下 HbO<sub>2</sub> 的  $\beta$  值均高于干预前,3 条通道(ch9、ch10、ch20)干预后

表 3 HbO<sub>2</sub> 重复测量方差分析结果

通道	MIN坐标			对应脑区	效应类型	$F$	$P$
	$X$	$Y$	$Z$				
ch3	-41	-14	67	左侧M1	时间	4.41	0.046
ch9	-62	-15	44	左侧M1	时间	5.01	0.034
					组别	12.40	0.001
ch10	-65	-1	26	左侧PMC-SMA	时间	5.29	0.029
					组别	8.99	0.006
ch12	29	-30	75	右侧M1	时间	6.82	0.015
ch20	68	-3	28	右侧PMC-SMA	时间	7.62	0.010
					组别	13.02	0.001

注:时间主效应代表干预前后的差异;组别主效应代表太极拳组和对照组的组间差异; $P<0.05$ 代表有统计学差异。

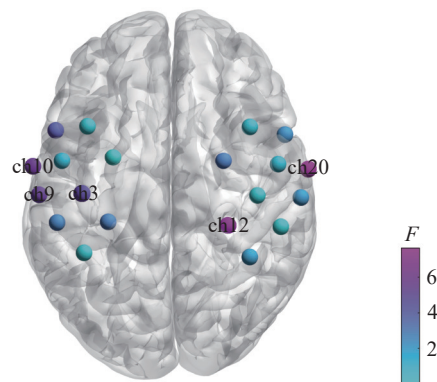


图 4 12 周太极拳干预对老年人 HbO<sub>2</sub> 信号的影响  
Figure 4 Effect of 12-weeks Tai Chi intervention on HbO<sub>2</sub> signaling in older adults

注:通道颜色代表 HbO<sub>2</sub> 重复测量方差分析  $F$  值。

步行任務態下  $\text{HbO}_2$  的  $\beta$  值太極拳組均高於對照組, 且組間差異具有統計學意義, 有顯著性變化的腦區主要包括左側 M1 和雙側 PMC-SMA。

## 2.4 運動功能表現與 $\text{HbO}_2$ 濃度之間的相关性

將兩組受試者的 TUG 測試結果、Berg 平衡量表得分、Biodex Balance 測試結果分別與步行任務態下各通道  $\text{HbO}_2$  濃度進行 Spearman 相關分析, 結果顯示:

太極拳組(圖 5)Berg 平衡量表得分與  $\text{HbO}_2$  濃度呈負相關, 其中位於左側 M1 區的 ch3( $r=-0.429$ ,  $P=0.018$ )和位於左側 PMC-SMA 區的 ch10( $r=-0.398$ ,  $P=0.029$ )均具有統計學意義; TUG 測試時間與  $\text{HbO}_2$  濃度呈負相關, 其中位於左側 M1 區的 ch9( $r=-0.559$ ,

$P=0.001$ )、位於右側 M1 區的 ch12( $r=-0.517$ ,  $P=0.003$ )和位於右側 PMC-SMA 區的 ch20( $r=-0.545$ ,  $P=0.002$ )均具有統計學意義; 單足穩定性總指數與  $\text{HbO}_2$  濃度在各通道均無顯著相关性。

對照組(圖 6)Berg 平衡量表得分與  $\text{HbO}_2$  濃度呈負相關, 位於左側 PMC-SMA 區的 ch10( $r=-0.855$ ,  $P<0.001$ )具有統計學意義; TUG 測試時間與  $\text{HbO}_2$  濃度呈負相關, 其中位於左側 M1 區的 ch3( $r=-0.780$ ,  $P<0.001$ )、位於左側 M1 區的 ch9( $r=-0.483$ ,  $P=0.007$ )、位於右側 M1 區的 ch12( $r=-0.587$ ,  $P=0.001$ )以及位於右側 PMC-SMA 區的 ch20( $r=-0.590$ ,  $P=0.001$ )均具有統計學意義; 單足穩定性總指數與  $\text{HbO}_2$  濃度在各通道均無顯著相关性。

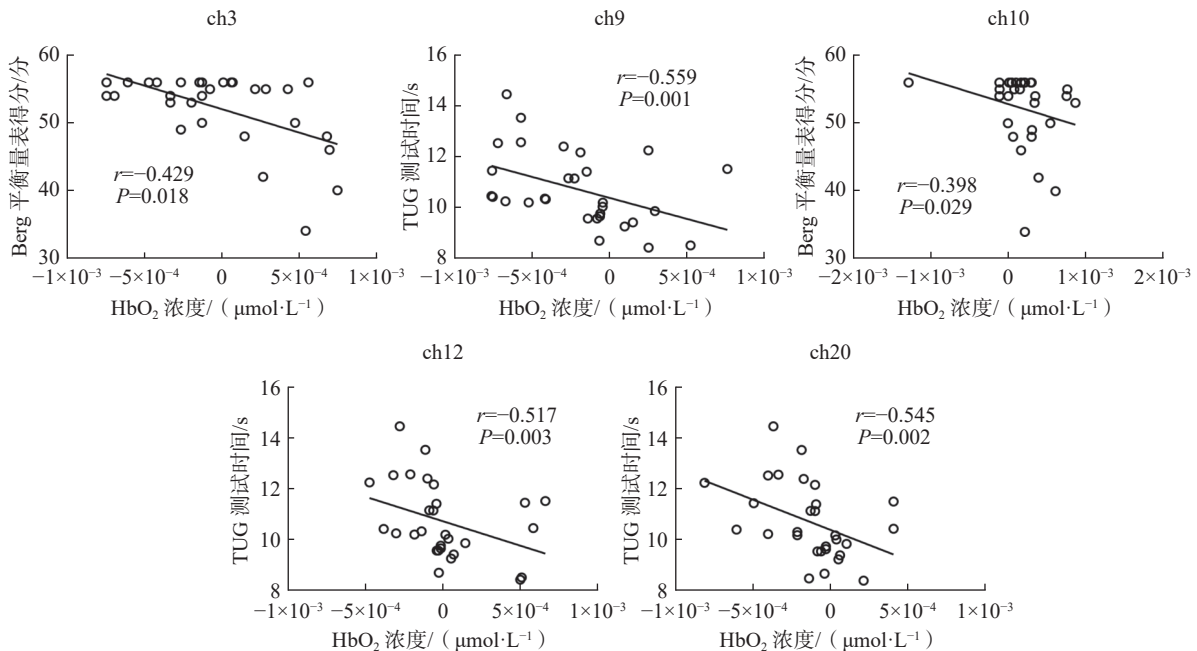


圖 5 太極拳組運動功能表現與  $\text{HbO}_2$  濃度的相关性

Figure 5 Correlation between motor function performance and  $\text{HbO}_2$  concentration in the Tai Chi group

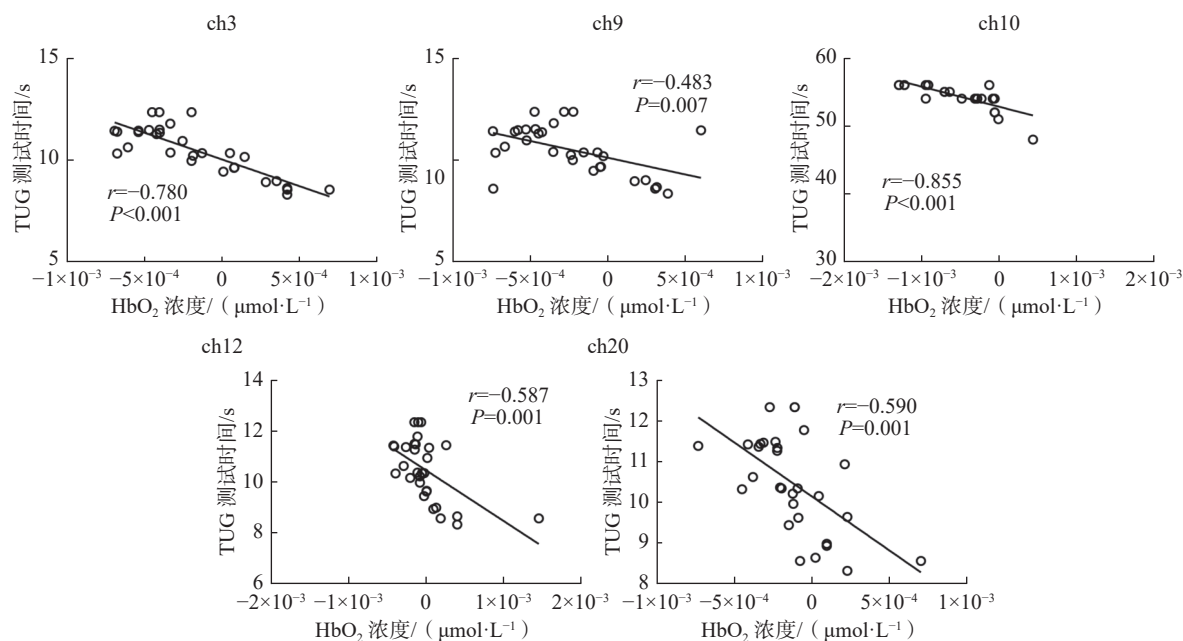
## 3 討論

### 3.1 太極拳對老年人運動功能的影響

為期 12 周的太極拳運動干預可以顯著改善健康老年人的運動功能。主要體現在干預後太極拳組 TUG 測試時間顯著短於干預前, 說明 12 周太極拳運動干預可以明顯改善健康老年人的步行能力; 此外, 雖然組別無主效應, 但干預後太極拳組用時比對照組短, 說明太極拳干預後太極拳組的步行能力存在一定的改善趨勢。同時, 太極拳組干預後 Berg 平衡量表評分明顯高

於干預前, 單足穩定性較干預前有明顯改善, 表明太極拳干預可以有效改善老年人的平衡功能。這與前人的結論一致, Penn 等<sup>[38]</sup>對 65 歲以上的老年人進行了為期 8 周的太極拳干預後發現, 無論是傳統太極拳運動還是個性化定制的太極拳訓練計劃, 都可以有效改善老年人的平衡功能和下肢力量。

本文使用的是 24 式簡化太極拳, 其中大多數招式的練習重點在於轉身、左右腿交替重心轉移、高低位置重心轉移, 如左右倒卷肱等動作有利於激活核心肌群, 可改善老年人軸向肌張力, 從而改善平衡功能和姿

图6 对照组运动功能表现与HbO<sub>2</sub>浓度的相关性Figure 6 Correlation between motor function performance and HbO<sub>2</sub> concentration in the control group

势稳定能力。另外,也有部分动作强调双下肢大腿力量支持和重心转移,如:左右野马分鬃等有利于锻炼老年人双下肢力量,改善其步行能力;而左右下势独立等动作需要单脚站立,并进行重心高低移动,有助于老年人锻炼单侧下肢力量,提高其单足稳定性,降低跌倒风险。有研究认为,太极拳作为一种身心运动<sup>[39]</sup>,可能是利用连续、弯曲和螺旋的身体运动结合呼吸控制来提高有氧能力、肌肉力量、平衡和运动控制能力<sup>[40]</sup>。朴美子等<sup>[41]</sup>对太极拳的动作特征进行定量研究,发现太极拳是需要在身体姿势不稳定的状态下协调身体各部位活动的全身运动,太极拳动作的缓慢运动和变化及单脚支撑(24式太极拳中,此时相占据1/3)等动作特征可以促进下肢肌肉的机能,同时提高下肢感受器的活性,以及对姿势变化的调节能力与灵活性。

太极拳运动可通过增强膝关节屈肌、伸肌和踝关节屈肌、伸肌等下肢肌肉力量来改善平衡功能。既往研究<sup>[42-43]</sup>发现,肌肉力量与平衡功能之间存在密切关系,老年人肌肉力量特别是腰背肌和下肢肌力呈现增龄性衰减递增趋势,下肢肌肉力量衰退会导致老年人稳定性和平衡性能力下降,强化核心肌群和下肢肌群的力量能够显著提升个体在动态和静态环境中对身体姿势的精确控制,以及快速调整重心以应对外界干扰的能力。有研究<sup>[44]</sup>分别招募锻炼太极拳5年以上和无规律运动经历的老年人,进行骨骼肌肉量及力量的

比较分析,发现长期太极拳锻炼可以有效延缓老年人骨骼肌含量和下肢肌肉力量的衰退。有研究<sup>[45]</sup>对65岁以上老年人进行3个月太极拳干预后发现,其可有效提高骨密度,增加下肢肌肉含量,并有助于改善下肢肌力。此外,还有研究<sup>[46]</sup>对比了太极拳和广场舞运动对老年女性的作用,发现相较于广场舞运动,太极拳锻炼更有助于改善中老年女性下肢绝对力量和静态平衡能力,这可能是因为24式太极拳强调对身体重心的控制,体现在单腿支撑和运动中重心在两腿间缓慢地移动,此时大腿股四头肌处于离心等张收缩状态,有助于改善下肢绝对力量;同时,太极拳运动中有许多单腿支撑的动作,与静态平衡的评价动作更相近,更有利于改善静态平衡表现。

太极拳也可能通过改善神经肌肉控制来改善平衡表现。众所周知,老年人的姿势控制能力会随着年龄增加而下降,而衰老导致的平衡功能下降与神经肌肉功能(如肌肉收缩特性和运动神经)的有害变化有关<sup>[47]</sup>,相较于常规运动方式,太极拳运动强调动静、虚实结合,强化交感神经支配,有助于改善神经肌肉控制。有研究<sup>[48]</sup>发现,长期规律太极拳练习可加快老年人肌肉反应速度,帮助其更好地保持姿势控制,这可能是因为太极拳动作中包含许多用于平衡控制的训练成分,如重心转移等。Tseng等<sup>[49]</sup>调查了长期锻炼太极拳者的膝关节肌肉激活模式,发现肌电图曲线显示,与正常步

行相比, 太極拳運動期間關節伸肌激活模式峰值更高, 關節肌肉協同收縮指數更高。

此外, 太極拳可通過提升本体感覺和前庭覺功能來改善老年人運動功能<sup>[50]</sup>。感覺系統在維持靜態平衡中起着重要作用, 維持老年人靜態平衡能力的主要是前庭覺, 其次是視覺和本體感覺, 本體感覺及前庭覺均會產生增齡性下降, 需要相互代償來控制姿勢<sup>[51]</sup>。有研究<sup>[51]</sup>對 60~85 歲老年人的靜態平衡能力進行對比分析, 發現有騎自行車和廣場舞運動習慣的人有更好的運動表現, 因為這些類型運動不僅可以增強各個部位的肌力, 同時需要視覺和前庭覺參與, 可以更好地改善平衡功能。相較於常規運動方式, 太極拳在促進功能性移動能力和平衡能力等方面更有效且更高效<sup>[52]</sup>。太極拳中身體轉動、重心轉移、肢體位置擺放等動作的反復練習可以有效刺激本体感受器。閔永蘭<sup>[53]</sup>對比了太極拳和健步走 2 種運動方式對老年人關節本体感覺的影響, 發現太極拳運動效果更佳。其原因主要為太極拳運動過程中身體重心和步伐的移動均十分清晰, 下肢常處於半屈狀態, 對於關節周圍的本體感受器起到有效的強化作用。

### 3.2 太極拳對老年人運動相關腦區的影響

為期 12 周的太極拳運動干預可以使步行任務態下左側 M1 和雙側 PMC-SMA 腦區激活程度明顯提升, 這與前人研究結果一致。此前, 有研究<sup>[35-36]</sup>發現在 12 周太極拳干預後, 前額葉激活發生了顯著變化, 同時左側 M1 腦區的活動增加。

以往研究<sup>[20]</sup>認為, 常規運動方式可以維持老化大腦皮層的微观結構、改善老化大腦的結構完整性並通過增強突觸可塑性重塑老化大腦。Rowley 等<sup>[54]</sup>通過比較 12 周自行車運動干預前後健康老年人大腦皮層微观結構的變化, 發現有氧運動可能通過減輕與年齡相關的髓磷脂損失來減緩老年人大腦皮層的微观結構衰退。Tarumi 等<sup>[55]</sup>比較中年有氧訓練成年人、中年久坐不動成年人和年輕久坐成年人之間的大腦結構, 發現在中年人中, 有氧訓練超過 10 年的人白質完整性高於同齡久坐不動的成年人, 與年輕人處於相似水平; 同時, 受過有氧運動訓練的中年人 M1 區的皮層厚度高於久坐不動的相似年齡組和年輕組。有橫斷面研究<sup>[56]</sup>採用經顱磁刺激技術探究經常參與運動鍛煉的老年人運動皮層興奮性和皮層內抑制的變化, 發現運動能夠誘發老年人 M1 皮層興奮性的持續增強, 增強

運動皮層突觸可塑性, 從而誘發大腦皮層功能性重組, 重塑老化大腦。

與常規運動療法相似的是, 進行長期太極拳運動也可能通過改變大腦運動皮層的結構和功能來抵消衰老對腦功能帶來的不利影響。有腦形態學檢測研究結果<sup>[57-58]</sup>顯示, 長期太極拳運動後特定腦區具有相似的皮層增厚模式, 如右前額葉皮層、左側顳上回、右前中溝以及中央前回, 中央前回的表面积和太極拳練習之間的顯著相關性表明, 太極拳運動可以增強相應處理運動相關信息的能力。

運動皮層有效的神經激活是人類迅速和穩定完成外部運動行為的前提。此前, 有研究<sup>[59]</sup>發現, 太極拳運動可誘導大腦左右前額葉、頂葉運動區和枕葉產生顯著激活, 認為其通過改善前額葉、運動區和枕葉在肌源性活動、交感神經活動和內皮細胞代謝活動中的聯繫, 激活神經環路, 進而改善運動功能。本文聚焦於與運動功能聯繫更密切的運動皮層, 基於腦血流動力學技術, 發現太極拳運動可能通過增強 M1 和 PMC-SMA 等運動相關腦區的神經激活, 改善神經—肌肉間的信息傳遞, 從而改善老年人的運動表現。

### 3.3 運動功能改善與腦區激活的相關性

無論是太極拳組還是對照組, 其 Berg 平衡量表得分均與左側 PMC-SMA 區的 HbO<sub>2</sub> 濃度呈負相關, TUG 測試結果與左側 M1 區、右側 M1 區的 ch12 以及右側 PMC-SMA 區的 HbO<sub>2</sub> 濃度呈負相關, 單足穩定性總指數與各腦區的 HbO<sub>2</sub> 濃度均無顯著相關性。這說明運動功能的改善與腦區激活程度的增加有關。這與前人研究結果一致。此前, 有研究<sup>[60]</sup>通過對帕金森病老年人進行有氧運動干預發現, 額頂葉網絡連接的增加與健康狀況的改善有關, 同時, 背外側前額葉皮層對右額頂網絡內的連接性貢獻更大, 這促進了帕金森病老年人健康狀況的改善。

大腦結構和功能的变化會影響運動表現。有研究<sup>[61]</sup>發現, 兒童有氧適能的增加與更大的背側紋狀體體積有關, 這也與認知控制的增強有關。同時, 體育活動水平也與大腦功能的变化有關<sup>[62]</sup>, 具體而言, 一項使用事件相關腦電位(ERPs)技術的腦電圖活動研究<sup>[63]</sup>發現, 在青春前期兒童中, 較高的有氧健身水平與神經認知過程效率的提升呈正相關(表現為反應速度加快及 P3 波幅增大)。隨着年齡的增長, 大腦會出現腦容量下降、白質體積減小等結構性變化, 工作記憶和抑制

控制等执行功能也出现下降。有研究<sup>[64]</sup>发现,健康老年人在进行模拟动态平衡时,从背侧运动前区到 SMA 的连接,以及左右两侧 SMA 前区的连接性均出现降低。这是因为 SMA 和运动前区在准备计划或复杂运动程序中最关键,更有可能促成需要更多前馈、更少自动平衡控制的平衡任务,因此,与模拟动态平衡这种外部触发的运动相比,内部驱动维持平衡期间 SMA 的激活会增加,如本文使用的步行任务。因此,本文也证明了脑区激活程度的增加与运动功能的改善相关,为脑功能改善促进运动功能提升提供了脑血流动力学证据。

此外,既往研究发现,运动健身对大脑结构和功能都有有益影响。在结构上,有研究<sup>[65-66]</sup>指出,儿童时期的体育锻炼可以优化大脑皮层的发育。一项使用 MRI 技术检验脑容量的研究<sup>[67]</sup>证明,进行低至中等强度有氧运动的成年人显示出与高阶加工、注意力控制和记忆有关的额叶区域的脑容量增加,说明运动可以增加健康成年人的脑容量。在功能上,多项研究证实,运动可以通过增加对任务表现至关重要的脑区的氧饱和度和血管生成,上调脑源性神经营养因子(BDNF)、胰岛素样生长因子(IGF-I)等<sup>[68-69]</sup>,减轻与正常衰老和阿尔茨海默病等病理状况有关的记忆和认知能力下降<sup>[70-71]</sup>。同时,运动还可以帮助维持小脑的功能<sup>[72]</sup>,这可能是运动改善平衡功能的原因之一。本文通过监测 M1 和 PMC-SMA 区等运动相关脑区的血氧水平,从脑区激活的角度验证了运动可以促进脑区激活程度的增加,为运动改善脑功能提供了脑血流动力学证据。

#### 4 结论与展望

12 周的太极拳运动可以改善老年人的平衡功能和步行能力,降低跌倒风险,同时可以有效提高左侧 M1 和双侧 PMC-SMA 脑区的神经激活水平。

局限与展望:①本文仅进行了 12 周的太极拳干预,未探究不同干预周期是否会带来不同的改善效应,后续可以进一步探究其量-效关系;②本文虽然关注了多个运动相关的脑区,但仅分析了各个脑区单独的神经激活情况,未来将继续探索不同脑区之间的功能连接,以期进一步探究太极拳改善运动功能的潜在脑机制;③本文仅探讨了太极拳对健康老年人的影响效果,限制了研究结果的推广,需要扩大研究人群以验证研究结果。

#### 作者贡献声明:

汪敏加:提出论文选题,指导实验设计,撰写、修改论文;  
吴姝雅:收集、分析实验数据,撰写、修改论文;  
张 纯:收集、分析实验数据,修改论文;  
税晓平:调研文献,修改论文;  
张飞跃:调研文献,核实数据;  
何本祥:审核、指导修改论文。

#### 参考文献

- [ 1 ] 英洁,宋佳莹,高传胜.人口老龄化、医疗卫生支出与就业:基于健康人力资本与技术水平的机制分析[J].西北人口,2024,45(3):79-91
- [ 2 ] 范成文,金育强,钟丽萍,等.发达国家老年人体育服务社会支持体系及对我国的启示[J].体育科学,2019,39(4):39-50
- [ 3 ] LIN J Q, NING S Q, LYU S W, et al. The effects of different types of Tai Chi exercises on preventing falls in older adults: A systematic review and network meta-analysis[J]. *Aging Clinical and Experimental Research*, 2024, 36(1): 65
- [ 4 ] HEPPLER R T, RICE C L. Innervation and neuromuscular control in ageing skeletal muscle[J]. *The Journal of Physiology*, 2016, 594(8): 1965-1978
- [ 5 ] World Health Organization. Step safely: Strategies for preventing and managing falls across the life-course[EB/OL]. [2024-06-29]. <https://www.who.int/publications/i/item/978924002191-4>
- [ 6 ] 李旭鸿,喻美鑫,范年春,等.不同步行增速策略对健康老年女性下肢关节动力学及其功能补偿机制的影响[J].体育科学,2020,40(8):65-73
- [ 7 ] MAO M, MERCER V S, LI F Z, et al. The effect of Tai Chi lower extremity exercise on the balance control of older adults in assistant living communities[J]. *BMC Complementary Medicine and Therapies*, 2024, 24(1): 112
- [ 8 ] 卞士荣,徐玉明,刘睿敏,等.太极拳干预老年人肌骨衰老的研究进展[J].武术研究,2024,9(4):74-77
- [ 9 ] GLORIOSO C, SIBILLE E. Between destiny and disease: Genetics and molecular pathways of human central nervous system aging[J]. *Progress in Neurobiology*, 2011, 93(2): 165-181
- [ 10 ] GALLOZA J, CASTILLO B, MICHEO W. Benefits of exercise in the older population[J]. *Physical Medicine and*

- Rehabilitation Clinics of North America, 2017, 28(4): 659-669
- [11] 潘瑋敏, 張志勇, 張麗梅. 科技創新賦能運動與健康促進的研究進展 [J]. 西安體育學院學報, 2025, 42(2): 142-151
- [12] HOWE T E, ROCHESTER L, NEIL F, et al. Exercise for improving balance in older people[J]. Cochrane Database of Systematic Reviews, 2011(11): CD004963
- [13] LIU-AMBROSE T, DAVIS J C, BEST J R, et al. Effect of a home-based exercise program on subsequent falls among community-dwelling high-risk older adults after a fall: A randomized clinical trial[J]. JAMA, 2019, 321(21): 2092-2100
- [14] SKELTON D, DINAN S, CAMPBELL M, et al. Tailored group exercise (falls management exercise: FaME) reduces falls in community-dwelling older frequent fallers (an RCT)[J]. Age and Ageing, 2005, 34(6): 636-639
- [15] SADEGHI H, JEHU D A, DANESHJOO A, et al. Effects of 8 weeks of balance training, virtual reality training, and combined exercise on lower limb muscle strength, balance, and functional mobility among older men: A randomized controlled trial[J]. Sports Health, 2021, 13(6): 606-612
- [16] RYDWIK E, LAMMES E, FRÄNDIN K, et al. Effects of a physical and nutritional intervention program for frail elderly people over age 75: A randomized controlled pilot treatment trial[J]. Aging Clinical and Experimental Research, 2008, 20(2): 159-170
- [17] SHERRINGTON C, WHITNEY J C, LORD S R, et al. Effective exercise for the prevention of falls: A systematic review and meta-analysis[J]. Journal of the American Geriatrics Society, 2008, 56(12): 2234-2243
- [18] 尹永佩, 姜傳銀. “氣本論”視角下太極拳本質: 着熟·懂勁·神明 [J]. 上海體育學院學報, 2019, 43(6): 104-110
- [19] FAN J, MCCANDLISS B D, SOMMER T, et al. Testing the efficiency and independence of attentional networks[J]. Journal of Cognitive Neuroscience, 2002, 14(3): 340-347
- [20] GOMES-NETO M, DURÃES A R, CONCEIÇÃO L S R, et al. Some types of exercise interventions are more effective than others in people with coronary heart disease: Systematic review and network meta-analysis[J]. Journal of Physiotherapy, 2024, 70(2): 106-114
- [21] TOLORAIA K, GSCHWANDTNER U, FUHR P. High-frequency multimodal training with a focus on Tai Chi in people with Parkinson's disease: A pilot study[J]. Frontiers in Aging Neuroscience, 2024, 16: 1335951
- [22] ITO K. Cognitively enhanced Tai Chi improved cognition vs. Tai Chi or stretching at 24 wk in older adults with MCI or memory concerns[J]. Annals of Internal Medicine, 2024, 177(3): JC34
- [23] ZHANG T, LI L, HONDZINSKI J M, et al. Tai Chi counteracts age-related somatosensation and postural control declines among older adults[J]. Journal of Exercise Science & Fitness, 2024, 22(2): 152-158
- [24] 邵珠峰, 宋祺鵬. 太極拳練習提高老年人上肢扰动状态下视觉空间能力与姿势稳定性的效果 [J]. 中国运动医学杂志, 2023, 42(2): 85-92
- [25] 李振瑞, 占超, 郭超阳, 等. 预防老年人跌倒的最佳太極拳運動量的 Meta 分析 [J]. 時珍國醫國藥, 2021, 32(2): 504-509
- [26] GREEN P E, RIDDING M C, HILL K D, et al. Supplementary motor area—primary motor cortex facilitation in younger but not older adults[J]. Neurobiology of Aging, 2018, 64: 85-91
- [27] OKANO A H, FONTES E B, MONTENEGRO R A, et al. Brain stimulation modulates the autonomic nervous system, rating of perceived exertion and performance during maximal exercise[J]. British Journal of Sports Medicine, 2015, 49(18): 1213-1218
- [28] BHATTACHARJEE S, KASHYAP R, ABUALAIT T, et al. The role of primary motor cortex: More than movement execution[J]. Journal of Motor Behavior, 2021, 53(2): 258-274
- [29] LIU J, CHEN L D, TU Y H, et al. Different exercise modalities relieve pain syndrome in patients with knee osteoarthritis and modulate the dorsolateral prefrontal cortex: A multiple mode MRI study[J]. Brain, Behavior, and Immunity, 2019, 82: 253-263
- [30] QUESSY S, CÔTÉ S L, HAMADJIDA A, et al. Modulatory effects of the ipsi and contralateral ventral premotor cortex (PMv) on the primary motor cortex (M1) outputs to intrinsic hand and forearm muscles in cebus apella[J]. Cerebral Cortex, 2016, 26(10): 3905-3920
- [31] WANG S L, LU S N. Brain functional connectivity in the resting state and the exercise state in elite Tai Chi Chuan athletes: An fNIRS study[J]. Frontiers in Human Neuroscience, 2022, 16: 913108
- [32] HUPPERT T J, HOGE R D, DIAMOND S G, et al. A temporal comparison of BOLD, ASL, and NIRS hemodynamic responses to motor stimuli in adult humans [J]. NeuroImage, 2006, 29(2): 368-382
- [33] PINTI P, TACHTSIDIS I, HAMILTON A, et al. The present and future use of functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) for cognitive neuroscience[J]. Annals of the New York Academy of Sciences, 2020, 1464(1): 5-29
- [34] 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[J]. Social Cognitive and Affective Neuroscience, 2019, 14(2): 217-224
- [35] 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[J]. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 2018, 10: 280
- [36] 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[J]. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 2016, 8: 25
- [37] YOO J E, JANG W, SHIN D W, et al. Timed up and go test and the risk of Parkinson's disease: A nation-wide retrospective cohort study[J]. *Movement Disorders*, 2020, 35(7): 1263-1267
- [38] PENN I W, SUNG W H, LIN C H, et al. Effects of individualized Tai-Chi on balance and lower-limb strength in older adults[J]. *BMC Geriatrics*, 2019, 19(1): 235
- [39] 闫民. 身体观视域下太极拳的哲学意蕴[J]. *体育科学*, 2015, 35(2): 90-95
- [40] LAN C, CHEN S Y, LAI J S, et al. Tai Chi Chuan in medicine and health promotion[J]. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2013, 2013(1): 502131
- [41] 朴美子, 金昌龙. 太极拳动作基本时空特征及其对平衡稳定性的作用[J]. *上海体育学院学报*, 2009, 33(1): 59-63
- [42] SKELTON D A, GREIG C A, DAVIES J M, et al. Strength, power and related functional ability of healthy people aged 65-89 years[J]. *Age and Ageing*, 1994, 23(5): 371-377
- [43] 周明, 彭楠, 黎春华, 等. 太极拳训练对老年人下肢骨骼肌肌力的影响趋势分析[J]. *中国康复医学杂志*, 2014, 29(11): 1050-1054
- [44] 姜成, 李旭鸿. 长期习练太极拳的老年人骨骼肌含量和力量研究[J]. *武术研究*, 2024, 9(6): 51-53
- [45] 井永法, 贾晓沛, 段玉铭, 等. 太极拳训练对老年人群下肢骨密度及肌力的影响[J]. *中医外治杂志*, 2022, 31(1): 64-65
- [46] 梁占歌, 汪美芳. 太极拳与广场舞锻炼对中老年女性下肢肌力与平衡能力的影响[J]. *中国运动医学杂志*, 2020, 39(4): 307-311
- [47] ZOU L Y, ZHANG Y J, LIU Y, et al. The effects of Tai Chi Chuan versus core stability training on lower-limb neuromuscular function in aging individuals with non-specific chronic lower back pain[J]. *Medicina*, 2019, 55(3): 60
- [48] XU D Q, LI J X, HONG Y L. Effect of regular Tai Chi and jogging exercise on neuromuscular reaction in older people[J]. *Age and Ageing*, 2005, 34(5): 439-444
- [49] TSENG S C, LIU W, FINLEY M, et al. Muscle activation profiles about the knee during Tai-Chi stepping movement compared to the normal gait step[J]. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 2007, 17(3): 372-380
- [50] 彭春政, 李红琴. 多模态功能训练对女大学生功能性踝关节不稳患者下肢肌力、本体感觉和动态平衡能力的影响[J]. *山东体育学院学报*, 2020, 36(1): 66-72
- [51] 常凤, 蔡维敏, 李彦龙. 运动与不运动老年人姿势平衡中的感觉交互作用研究[J]. *体育科技文献通报*, 2024, 32(2): 110-111
- [52] 李毅婷, 刘朦, 周开祥, 等. 对比太极和常规运动对健康老年人功能性移动能力和平衡功能影响的系统评价与Meta分析[C]//中国体育科学学会. 第十三届全国体育科学大会论文摘要集: 专题报告(运动医学分会), 2023: 3
- [53] 闫永兰. 太极拳运动对老年人膝关节本体感觉的影响[J]. *中国老年学杂志*, 2014, 34(21): 6174-6175
- [54] ROWLEY C D, BOCK N A, DEICHMANN R, et al. Exercise and microstructural changes in the motor cortex of older adults[J]. *European Journal of Neuroscience*, 2020, 51(7): 1711-1722
- [55] TARUMI T, TOMOTO T, REPSHAS J, et al. Midlife aerobic exercise and brain structural integrity: Associations with age and cardiorespiratory fitness[J]. *NeuroImage*, 2021, 225: 117512
- [56] 孟海江, 陈蕾, 王刚, 等. 不同形式运动锻炼老年人运动皮层突触可塑性的差异: 来自TMS的研究证据[J]. *心理学报*, 2023, 55(10): 1653-1661
- [57] LAZAR S W, KERR C E, WASSERMAN R H, et al. Meditation experience is associated with increased cortical thickness[J]. *Neuroreport*, 2005, 16(17): 1893-1897
- [58] WEI G X, XU T, FAN F M, et al. Can Taichi reshape the brain? A brain morphometry study[J]. *PLoS One*, 2013, 8(4): e61038
- [59] 谢晖. 基于近红外光谱法的太极拳训练对脑功能影响实验研究[D]. 济南: 山东大学, 2018: 35-36
- [60] JOHANSSON M E, CAMERON I G M, VAN DER KOLK N M, et al. Aerobic exercise alters brain function and structure in Parkinson's disease: A randomized controlled trial[J]. *Annals of Neurology*, 2022, 91(2): 203-216
- [61] CHADDOCK L, ERICKSON K I, PRAKASH R S, et al. Basal Ganglia volume is associated with aerobic fitness in preadolescent children[J]. *Developmental Neuroscience*, 2010, 32(3): 249-256
- [62] SIBLEY B A, ETNIER J L. The relationship between physical activity and cognition in children: A meta-analysis[J]. *Pediatric Exercise Science*, 2003, 15(3): 243-256
- [63] HILLMAN C H, KRAMER A F, BELOPOLSKY A V, et al. A cross-sectional examination of age and physical activity on performance and event-related brain potentials in a task switching paradigm[J]. *International Journal of Psychophysiology*, 2006, 59(1): 30-39
- [64] PASMEN E P, MCKEOWN M J, GARG S, et al. Brain connectivity during simulated balance in older adults with and without Parkinson's disease[J]. *NeuroImage. Clinical*, 2021, 30: 102676
- [65] HILLMAN C H, ERICKSON K I, KRAMER A F. Be

- smart, exercise your heart: Exercise effects on brain and cognition[J]. *Nature Reviews. Neuroscience*, 2008, 9(1): 58-65
- [66] TARKKA I M, HAUTASAARI P, PESONEN H, et al. Long-term physical activity may modify brain structure and function: Studies in young healthy twins[J]. *Journal of Physical Activity & Health*, 2019, 16(8): 637-643
- [67] COLCOMBE S J, ERICKSON K I, SCALF P E, et al. Aerobic exercise training increases brain volume in aging humans[J]. *The Journals of Gerontology: Series A*, 2006, 61(11): 1166-1170
- [68] PLOUGHMAN M. Exercise is brain food: The effects of physical activity on cognitive function[J]. *Developmental Neurorehabilitation*, 2008, 11(3): 236-240
- [69] CABRAL D F, RICE J, MORRIS T P, et al. Exercise for brain health: An investigation into the underlying mechanisms guided by dose[J]. *Neurotherapeutics*, 2019, 16(3): 580-599
- [70] COLCOMBE S J, KRAMER A F, ERICKSON K I, et al. Cardiovascular fitness, cortical plasticity, and aging[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2004, 101(9): 3316-3321
- [71] COLCOMBE S, KRAMER A F. Fitness effects on the cognitive function of older adults: A meta-analytic study[J]. *Psychological Science*, 2003, 14(2): 125-130
- [72] CARRO E, TREJO J L, BUSIGUINA S, et al. Circulating insulin-like growth factor I mediates the protective effects of physical exercise against brain insults of different etiology and anatomy[J]. *The Journal of Neuroscience*, 2001, 21(15): 5678-5684

## Effects of Tai Chi on Motor Function and Primary Motor Cortex in Older Adults: An fNIRS Study

WANG Minjia<sup>1</sup>, WU Shuya<sup>1</sup>, ZHANG Chun<sup>1</sup>, SHUI Xiaoping<sup>2</sup>, ZHANG Feiyue<sup>1</sup>, HU Hao<sup>1</sup>, HE Benxiang<sup>3</sup>

**Abstract: Objective** The aim of this study was to investigate the underlying cerebral hemodynamic mechanisms of 12 weeks of Tai Chi exercise to improve motor function in older adults by fNIRS technique. **Methods** Thirty-four healthy older adults were randomized into a Tai Chi group and a control group. The Tai Chi group received a 12-week Tai Chi intervention, and the control group did not receive any intervention. The subjects' motor functions were assessed before and after the experiment and hemodynamic indices of motor-related brain regions in the walking task state were collected. **Results** In the within-group comparison before and after the intervention, the results of unipedal stability, Berg scale score and timed rise and walk test in the Tai Chi group were significantly improved compared with the pre-intervention ( $P < 0.05$ ); the oxygenated hemoglobin concentration in the primary motor cortex (M1) and the premotor area-assisted motor area (PMC-SMA) were all significantly increased compared with the pre-intervention ( $P < 0.05$ ). In the post-intervention inter-group comparison, the oxygenated hemoglobin concentrations in the M1 and PMC-SMA brain regions of the Tai Chi group were significantly higher than those of the control group ( $P < 0.05$ ). **Conclusion** 12 weeks of Tai Chi exercise significantly improved the motor function and neural activation of motor-related brain regions in older adults.

**Keywords:** Tai Chi; older adult; motor function; fall risk; fNIRS

**Authors' addresses:** 1. School of Sports Medicine and Health, Chengdu Sport University, Chengdu 610041, Sichuan, China; 2. School of Acupuncture-Moxibustion and Tuina, Sichuan College of Traditional Chinese Medicine, Mianyang 621000, Sichuan, China; 3. Sichuan Academy of Traditional Chinese Medicine Sciences, Chengdu 610041, Sichuan, China