

全身振动训练改善脑卒中后步行能力的Meta分析

刘健, 徐刚, 杜利民, 袁琳, 牟苇航, 赵澎*

天津市儿童医院(天津大学儿童医院)康复科/天津市儿科研究所/天津市儿童出生缺陷防治重点实验室, 天津

收稿日期: 2023年8月19日; 录用日期: 2023年9月14日; 发布日期: 2023年9月20日

摘要

目的: 采用Revman5.4版统计学软件评价全身振动训练(WBV)对脑卒中后步行能力的临床疗效。方法: 检索Web of Science、Scopus、PubMed、中国知网(CNKI)和万方医学网中关于全身振动训练在脑卒中患者中应用的随机对照试验, 数据库公开发表的关于全身振动训练治疗脑卒中后步行功能的随机对照试验文献。检索时限设置为从建库开始至2021年1月。结果: 本研究共纳入21篇文献, 共计1023例患者。经Meta分析发现, 全身振动训练对脑卒中后步幅、步长、负重时长和FMA (FugL-Meyer Assessment)的改善优于常规康复治疗组, 差异有统计学意义($P < 0.01$)。结论: 全身振动训练有利于改善脑卒中患者的步行能力, 提高自身运动功能, 可将WBV作为一种辅助干预手段来改善脑卒中患者的步行能力, 为了更好地验证WBV对脑卒中后步行功能的改善, 还需要进行更多高质量、大样本的RCT试验及长期随访。

关键词

全身振动训练, 脑卒中, 步行能力, Meta分析

Meta Analysis of Whole Body Vibration Training to Improve Walking Ability after Stroke

Jian Liu, Gang Xu, Limin Du, Lin Yuan, Weihang Mu, Peng Zhao*

Rehabilitation Department of Tianjin Children's Hospital (Tianjin University Children's Hospital)/Tianjin Institute of Pediatrics/Tianjin Key Laboratory for Prevention and Control of Birth Defects in Children, Tianjin

*通讯作者。

文章引用: 刘健, 徐刚, 杜利民, 袁琳, 牟苇航, 赵澎. 全身振动训练改善脑卒中后步行能力的 Meta 分析[J]. 临床医学进展, 2023, 13(9): 14944-14954. DOI: 10.12677/acm.2023.1392091

Abstract

Objective: To evaluate the clinical efficacy of whole body vibration training (WBV) on walking ability after stroke using Revman version 5.4 statistical software. **Method:** Retrieve randomized controlled trials on the application of whole body vibration training in stroke patients from Web of Science, Scopus, PubMed, China National Knowledge Infrastructure (CNKI), and Wanfang Medical Network, and publicly published literature on randomized controlled trials on the treatment of walking function after stroke using whole body vibration training in the database. The search deadline is from the establishment of the database to January 2021. **Result:** A total of 21 articles were included in this study, with a total of 1023 patients. Through meta-analysis, it was found that whole-body vibration training improved stride, stride length, weight bearing duration, and FMA (FugL Meyer Assessment) after stroke compared to the conventional rehabilitation treatment group, with statistically significant differences ($P < 0.01$). **Conclusion:** Whole body vibration training is beneficial for improving the walking ability and motor function of stroke patients. WBV can be used as an auxiliary intervention to improve the walking ability of stroke patients. In order to better verify the improvement of walking function after stroke by WBV, more high-quality, large-scale RCT trials and long-term follow-up are needed.

Keywords

Whole Body Vibration Training, Stroke, Walking Ability, Meta Analysis

Copyright © 2023 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

近年来, 脑卒中发病率呈逐年上升[1] [2]以及年轻化的趋势[3] [4], 给病人的生活质量和身心健康带来严重的影响。脑卒中后存活者致残率约 80% [5], 其中 85%脑卒中患者的首要康复目标是恢复步行能力[6]。大脑损伤或病变会导致高级中枢失去对低级中枢的调控, 从而产生肢体运动功能障碍和肌张力异常[7]影响步行能力[8]。步行能力的丧失或减退是大多数脑卒中患者出现的运动功能障碍。这种步行能力障碍表现为协调行为的障碍, 无法满足病人的日常生活需要, 降低生活质量[9] [10]。

采用下肢运动协调实验(Lower Extremity Motor Coordination Test (LEMOCOT))的测试中发现瘫痪下肢的平均得分在 8~12 分之间, 为健康个体预测值的 30% [9], Kênia K [10]等人采用下肢运动协调实验对比脑卒中患者与正常人的身体协调性发现, 脑卒中组失误均值 22 次, 缺陷率为 61%, 而健康受试者失误均值 6 次, 缺陷率为 17%。两组患者存在显著性的差异。因此, 通过改善步行能力提高患者活动能力、生活质量具有重要意义。

全身振动(the wholebody vibration, WBV) [11], 是通过机械振动和抗阻负荷作用于人体的训练方法[12], 相对于其它训练, WVB 具有简单易行、安全无创、省时显效、易于控制等优点[13], 且不受训练场地的限制。最开始的应用是应用于运动员的训练以及恢复方面[14], 是肌力训练的重要手段, 主要利用机械振动训练刺激引起肌肉强直性收缩, 促使瘫痪肌肉活动, 利用外源性刺激加速躯体运动, 以此改善肌肉与中枢神经系统功能[15] [16]。有研究表明, 全身振动训练可以改善本体感觉、平衡功能、降低肌张

力, 增强肌力、核心稳定性, 利于功能维持及提高[17]-[26]。

有报道显示, WBV 可改善脑卒中后步行能力[27] [28] [29] [30], 在一项随机对照试验的研究[28]中发现在对于脑卒中患者进行 WBV 的干预后, 平衡能力由 23.9 ± 14.8 提升到 44.3 ± 10.9 ; 巴塞尔指数 由 10.3 ± 3.1 提升到 17.1 ± 3.6 , 躯干控制能力由 75.0 ± 25.9 提升到 86.2 ± 17.4 , 移动指数由 5.3 ± 2.9 提升到 10.8 ± 3.9 , 移动功能由 1 提升到 4, 运动能力指数由 47.4 ± 28.7 提升到 65.7 ± 22.9 ; 身体感觉阈值由 4.56 降低为 4.31, 身体感觉更为灵敏, 在其他的一些研究中[29] [30], 其步行能力的相关数值也均有体现。而其他则认为不然[31] [32] [33]。本文希望通过纳入更多文献和结局指标, 探讨 WBV 对脑卒中后步行能力的疗效, 旨在为脑卒中后步行障碍的康复治疗提供更可靠的循证医学证据。

2. 资料和方法

2.1. 文献纳入标准

1) 研究对象: 为明确诊断为成年脑卒中的患者。其中, 中文文献符合 1995 年中华医学会第 4 次全国脑血管病学术会议修订的各类脑血管疾病诊断要点[34]。

2) 研究类型: 为随机对照研究(randomized controlled trial, RCT), 无论是否采用盲法。文种限制为中、英文。

3) 干预措施: 治疗组采用全身振动训练, 对照组为空白对照, 或其他运动训练, 其余治疗两组基本相同。

4) 结局指标: 步幅、步长、负重时长以及 Fugl-Meyer Assessment (FMA)

2.2. 文献排除标准

① 回顾性研究; ② 综述、重复发表的文献; ③ 未提供主要结局指标或所提供数据不全面且索取无果。

2.3. 检索策略

计算机检索数据库包括: 检索 Web of Science、Scopus、PubMed、中国知网全文数据库(CNKI)、万方数据库(Wan Fang), 英文检索词包括“whole body vibration”、“vibration training”、“stroke”、“chronic stroke”、“hemiparesis”。中文检索词包括“全身振动训练”、“全身振动疗法”、“全身振动治疗”、“脑卒中”、“慢性脑卒中”、“偏瘫”、“中风”“振动训练”、检索采用主题词与自由词相结合的方式。

2.4. 文献筛选和资料提取

由 2 名研究者独立进行检索、筛选文献、按照预先设计的表格提取资料并交叉核对。如遇数据缺失、不完整的文献, 积极联系作者补充数据。如反复多次仍不能得到相关数据, 则予剔除。当出现分歧时, 讨论或与第 3 名研究者共同解决。提取的资料包括: 纳入研究的基本信息、研究对象的基本特征、干预措施、偏倚、风险评价的关键要素、结局指标。

2.5. 文献质量评价

2 名研究者采用 Cochrane 手册 5.1.0 版标准[27]独立对纳入文献进行综合评估, 并交叉核对结果: ① 随机方法是否正确; ② 分配是否隐藏; ③ 是否采用盲法; ④ 结果数据的完整性; ⑤ 是否选择性报告研究结果; ⑥ 其他偏倚。文献质量评价依照手册标准: “不清楚”或“低风险”或“高风险”。当出现分歧时, 讨论或与第 3 名研究者共同解决。

2.6. 统计学分析

采用 RevMan 5.4 版统计学软件进行数据的处理和评估。所有计量资料比较均采用干预后值或评分变化的标准化均数差(standardized mean difference, SMD)和 95%置信区间(confidence interval, CI)作为效应量指标。若 $P > 0.1$, $I^2 < 50\%$, 认为纳入研究间同质性好, 选择固定效应模型。若 $I^2 \geq 50\%$, 说明各研究的结果之间存在着统计学方面的异质性, 在排除明显临床和方法学异质性后, 采用随机效应模型分析。

3. 结果

3.1. 文献检索结果及方法质量评价

初步检索相关文献 1905 篇。经阅读初筛文献, 排除文献共 1863 篇; 经阅读全文精筛文献, 排除文献共 21 篇。最终纳入 21 篇文献。

其中, 中文 13 篇[35]-[46]英文 8 篇[47]-[54]。共包含 1023 例脑卒中患者(脑梗塞 449 例, 脑出血 449 例)。何雯雯[36]、李岩[38]未对振幅进行描述; 刘鑫鑫[41]未明确实验组与对照组的脑出血和脑梗的人数、振幅以及单次治疗时间, 王伟国[42]、Herren [49]、未对病程进行详细描述; 肖乐[43]未明确实验组与对照组的脑出血和脑梗的人数; 杨占宇[45]未明确实验组与对照组的脑出血和脑梗的人数、振幅 Yo-Han U [54]未明确实验组与对照组的脑出血和脑梗的人数、频率、振幅以及单次治疗时间; 其余均完整描述了预先设计的结局指标数据, 且具有可比性, 不存在测量性偏倚。

由于振动训练干预的特性, 大部分研究无法回避实施偏倚。文献筛选流程和结果见图 1, 纳入研究的质量评价结果见图 2; 纳入研究的基本特征见表 1。

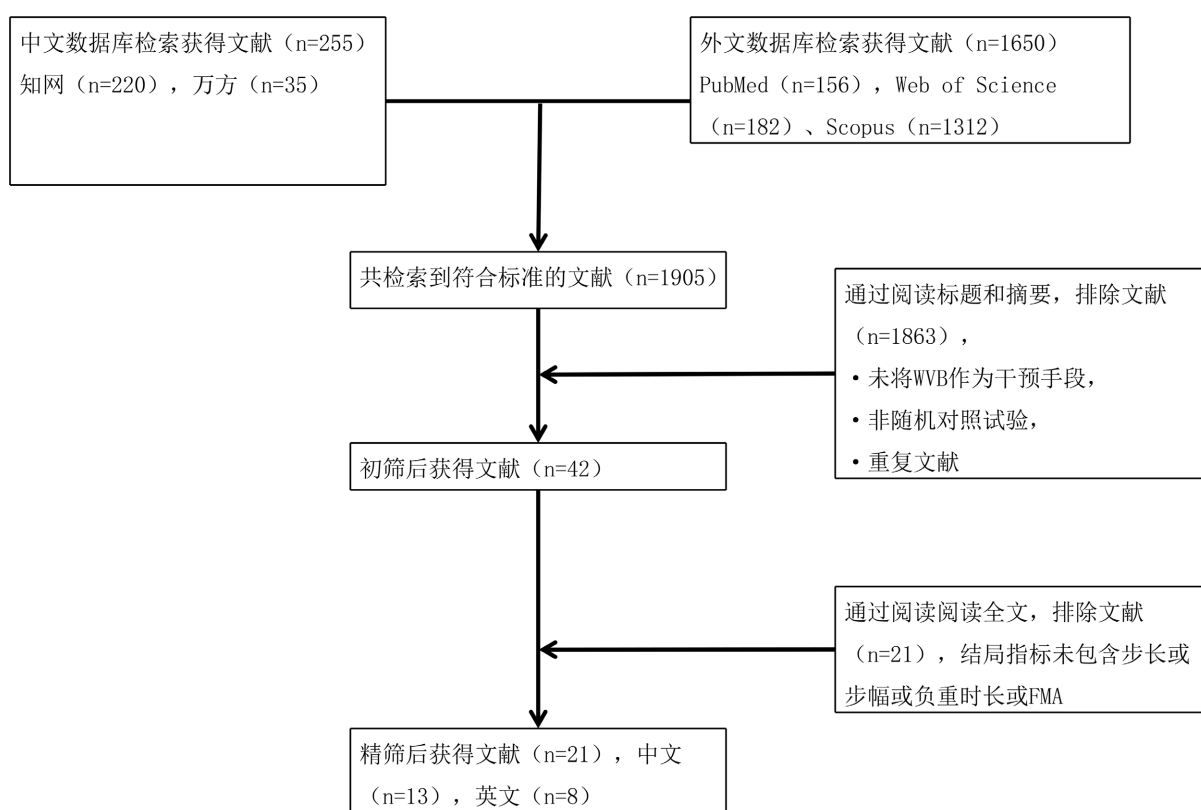


Figure 1. Literature screening process and results

图 1. 文献筛选流程及结果

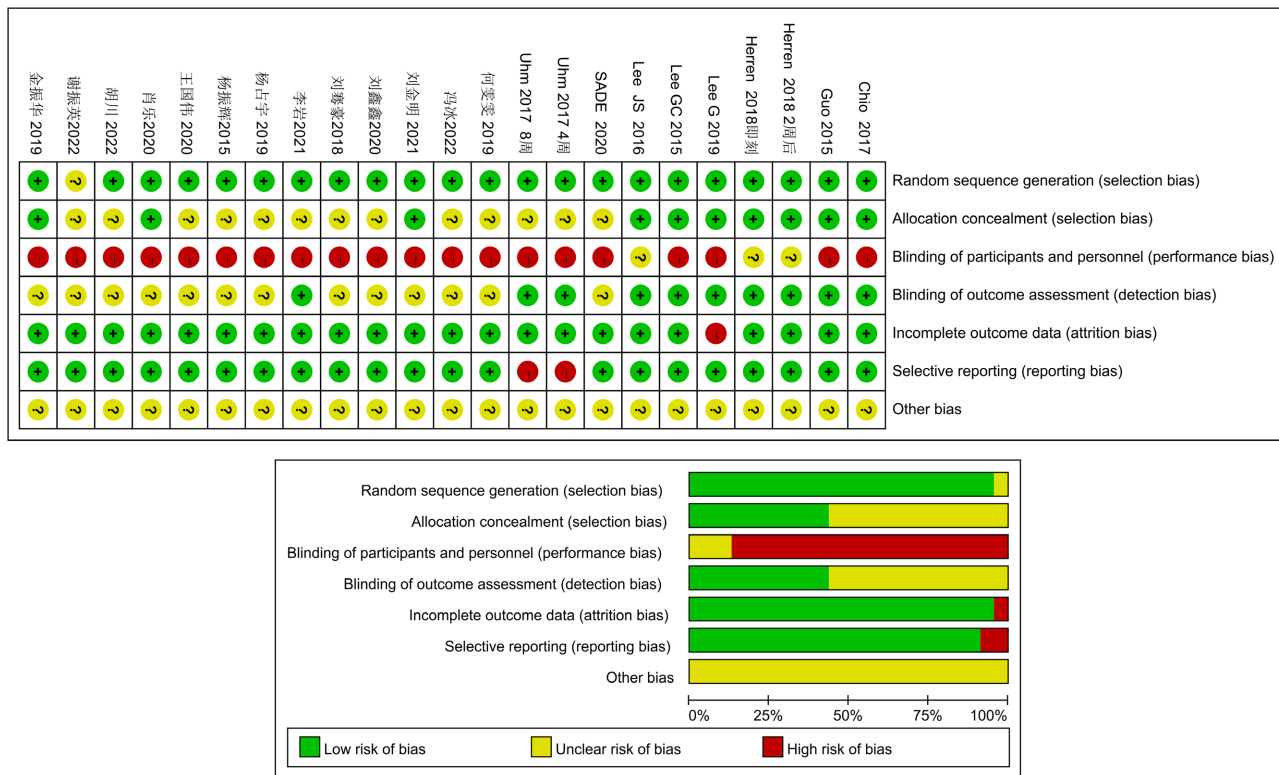


Figure 2. Quality evaluation of included literature
图 2. 纳入文献质量评价

3.2. Meta 分析结果

3.2.1. WBV 对步幅和步长的影响

对于步幅的研究中合并结果显示，试验组比对照组改善显著，差异具有统计学意义，但是存在异质性 $I^2 = 61%$ ，所以采用随机效应模型，总效应值为 0.72 [95% CI (0.47, 0.97), $P < 0.0001$]，见图 3。

对于患侧步长的研究中合并结果显示，试验组比对照组改善显著，差异具有统计学意义，但是存在异质性 $I^2 = 98%$ ，所以采用随机效应模型，总效应值为 0.08 [95% CI (0.03, 0.12), $P < 0.0001$]，见图 4。

3.2.2. WBV 对 FMA 的影响

10 篇文献报道了 FMA 的结果。试验组比对照组改善显著，差异具有统计学意义，但各研究间存在异质性 $I^2 = 90%$ ，所以采用随机效应模型，总效应值为 1.17, [95% CI (0.99, 1.35), $P < 0.0001$]，见图 5。

3.2.3. WBV 对负重时长的影响

4 篇文献报道了负重时长的结果。试验组比对照组改善显著，差异具有统计学意义，但各研究间存在异质性 $I^2 = 96%$ ，所以采用随机效应模型进行分析，总效应值为 0.37, [95% CI (0.07, 0.68), $P < 0.0001$]，见图 6。

4. 讨论

本研究结果显示，WBV 对脑卒中后步幅、步长、FAM、和单脚支撑的负重时长的改善优于常规康复治疗组。本研究纳入脑梗塞 402 例，脑出血 376 例，不同研究间，二者比例无显著差异。

本研究的结果显示，WBV 对脑卒中后步幅、步长的改善优于传统康复治疗组，这与王卫宁[55]等的

Table 1. Basic characteristics of included literature
表 1. 纳入文献基本特征

序号	作者、年份	受试人数 (EG/CG)	平均年龄(岁)				病程				病因		对照组干预 方式	评估方法
			EG		CG		EG		CG		实验组 (脑梗塞/ 脑出血)	对照组 (脑梗塞/ 脑出血)		
			EG	CG	EG	CG	EG	CG						
1	Choi 2017	15/15	51.93 ± 8.35	53.67 ± 7.38	25.13 ± 9.25 m	22.53 ± 10.27 m	9/6	10/5	20~30	3	10 min	6	常规运动治疗	步幅, 步长, 单脚支撑
2	Guo 2015	15/15	53.8 ± 6.0	54.3 ± 6.8	66.9 ± 42.9	59.4 ± 61.4 d	10/5	12/3	6~10	4	80 min	8	常规运动治疗	FMA
3	Herren 2018	24/24	48.8 (42.5/55.1)	46.4 (41.4/51.4)	-	-	4/20	2/22	5	3	5 min	-	常规运动治疗	步长, 单脚支撑
4	Lee GC 2015	12/9	59.3 ± 13.2	56.0 ± 9.1	19.0 ± 9.1	18.0 ± 10.9 m	7/5	7/2	1~3	30	20 min	6	常规运动治疗	FMA
5	Lee G 2019	9/12	59.78 ± 5.78	61.25 ± 10.06	84.11 ± 10.76	98.42 ± 22.76	6/3	8/4	1~20	30	30 min	6	常规康复训练	步幅, 步长
6	Lee JS 2016	15/15	58.53 ± 11.83	60.24 ± 6.73	8.12 ± 4.95 m	6.71 ± 3.85 m	6/9	8/7	5~15	1~6	30 min	4	常规康复训练	FMA
7	SADE 2020	26/17	46.8 ± 15	51.6 ± 10	34.5 ± 25 m	35.5 ± 20 m	5/21	11/6	35~40	2	7 min	3	常规康复训练	步幅
8	Yo-Han U 2017	10/10	47.01 ± 3.21	49.12 ± 4.11	<90 d	<90 d	-	-	-	-	-	8	常规康复训练	步长
9	冯冰 2022	48/48	62.22 ± 5.32	62.22 ± 6.186	44.50 ± 7.06 d	45.50 ± 6.08d	26/22	25/23	15	5	3~5 min*9组	4	常规运动治疗	FMA
10	何雯雯 2019	22/21	59.9 ± 11.7	61.5 ± 11.9	48.86 ± 8.15	46.68 ± 8.15	11/11	11/10	12	-	15 min	6	常规运动治疗	步幅
11	胡川 2022	23/23	60.35 ± 11.63	62.42 ± 9.34	3.41 ± 1.48 m	3.23 ± 1.76 m	10/13	12/11	5~8	2	15 min	4	常规运动治疗	步长
12	金振华 2019	35/35	55.0 ± 4.8	55.0 ± 4.7	63.7 ± 6.0 d	63.5 ± 5.0	18/17	19/16	20	3	45 秒/组*9组	6	常规运动治疗	单脚支撑, 步长
13	李岩 2021	24/23	62.64 ± 7.02	61.92 ± 5.64	53.68 ± 8.88 d	53.28 ± 11.72 d	11/14	12/13	12	-	15 min	8	常规康复训练	步幅
14	刘金明 2021	48/48	55.11 ± 4.36	54.90 ± 4.72	2.05 ± 0.89 m	2.06 ± 0.91 m	19/29	25/23	12~20	2~4	9 min	6	常规康复训练	FMA
15	刘睿豪 2018	15/15	49.33 ± 7.34	50.93 ± 8.19	60.73 ± 11.93 d	61.53 ± 11.0 d	9/6	11/4	7	±4	10 min	4	常规康复训练	步长
16	刘鑫鑫 2020	20/20	55.15 ± 11.65	56.40 ± 10.92	2.60 ± 1.47 m	2.75 ± 1.77 m	-	-	25	-	-	4	常规康复训练	步幅
17	王伟国 2020	43/43	60.15 ± 7.87	59.83 ± 6.52	-	-	24/19	23/20	5月8日	2.5	19 min	12	常规康复训练	FMA
18	肖乐 2022	25/25	63.53 ± 5.26 d	63.62 ± 4.21	130.35 ± 18.37 d	125.33 ± 20.32 d	-	-	12	4	15 min	4	ESWT和假 WBV	步幅, FMA
19	谢振英 2022	43/43	63.51 ± 7.56	62.67 ± 7.28	3.36 ± 1.52 m	3.76 ± 1.32 m	20/23	22/21	20	4	6~13 min	8	常规康复训练	步长, FMA
20	杨占宇 2019	15/15	48.1 ± 11.8	46.7 ± 10.9	82.5 ± 16 d	84.5 ± 17 d	-	-	3~5	-	15 min	8	常规康复训练	FMA, 单脚支撑
21	杨振辉 2015	30/30	52.23 ± 10.32	53.43 ± 11.31	35.68 ± 5.86	33.13 ± 4.69 d	8/22	6/24	30	0.5	20 min	8	常规康复训练	FMA

注: 1) EG: 试验组, CG: 对照组; 2) 步幅、步长、负重时长、FMA (Fugl-Meyer Assessment)

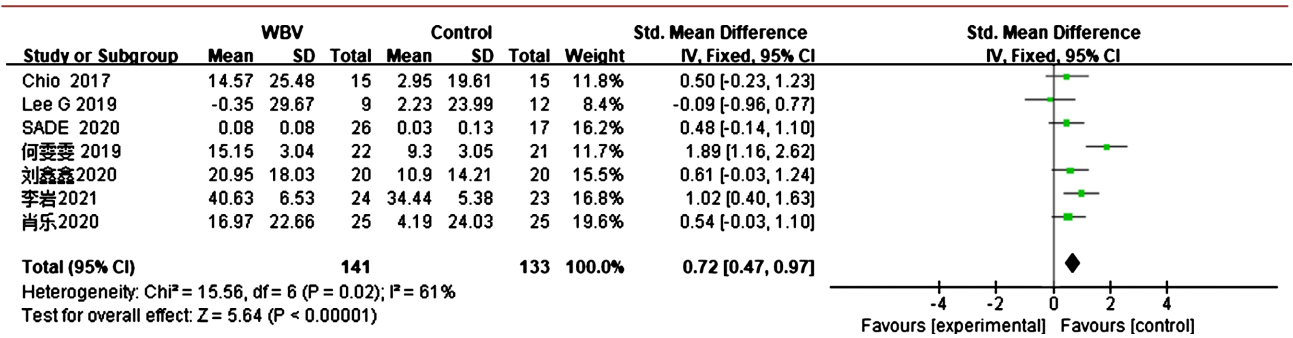


Figure 3. Step study results
 图 3. 步幅研究结果

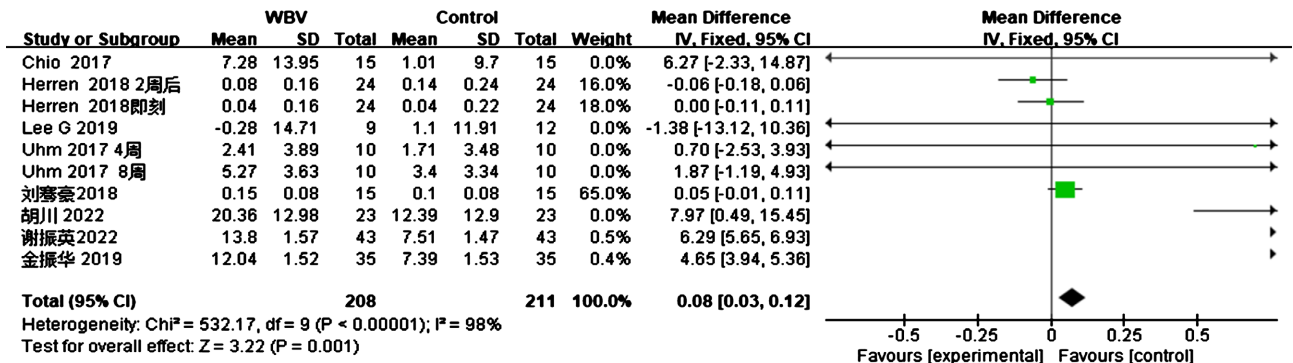


Figure 4. Research results of affected side step size
 图 4. 患侧步长研究结果

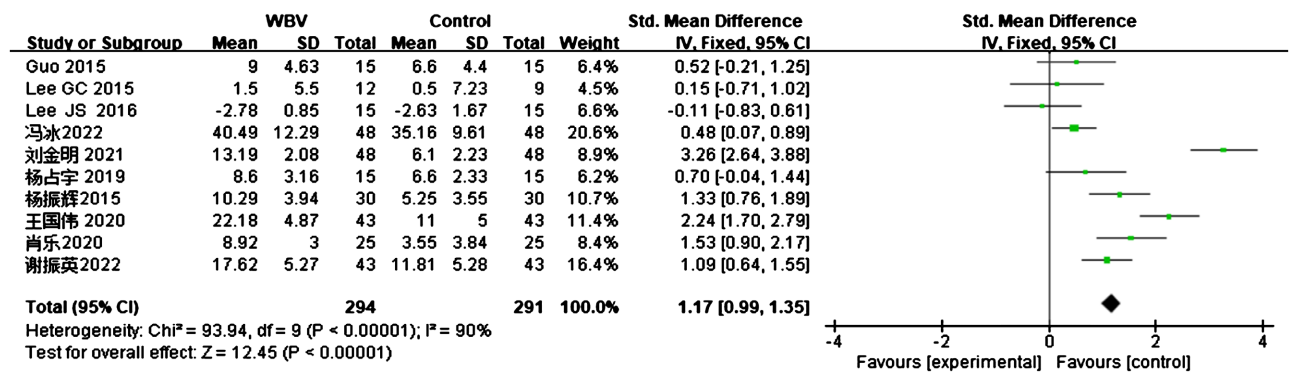


Figure 5. Fugl-Meyer Assessment (FMA) study results
 图 5. FMA 研究结果

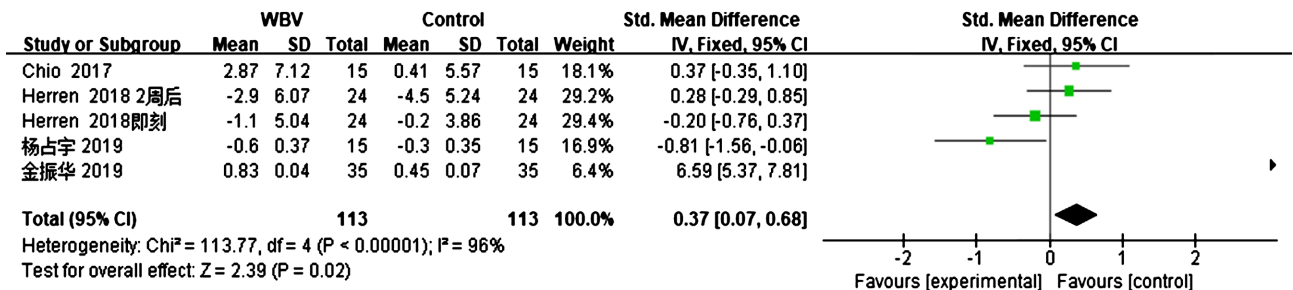


Figure 6. Research results on weight bearing duration
 图 6. 负重时长研究结果

研究结果一致。Won jae [47]等的研究同样表明 WBV 改善脑卒中后步幅、步长与对照组具有显著性差异。这表明 WBV 可以改善脑卒中患者的步态。其机制可能是 WBV 的治疗作用可能是通过机械振动来刺激肌梭、腱梭等本体感受器,诱发了有神经支配的骨骼肌的牵张反射,从而增强神经肌肉的功能[56]。目前,普遍认为,振动刺激可以对肌梭中 Ia 传入纤维产生刺激的作用,激活肌梭的兴奋性,引起梭外肌纤维反射性收缩,在阻力相同的情况下,募集更多运动单位参与收缩,使神经冲动的数量和同步性增强,提高神经系统的反应能力[18][57]。

Park [58]通过对 30 名脑卒中患者进行振动训练中发现,通过振动训练可以显著改善整个步态过程中的速度、步长、步频以及支撑时间,在有振动训练的干预时其步速为 50.22 ± 17.42 cm/s,步频为 79.26 ± 15.78 步/min,患侧步频时长为 0.87 ± 0.24 秒/步,健侧步频时长为 0.72 ± 0.19 秒/步,患侧步长为 38.42 ± 8.66 cm,跨步长为 69.11 ± 24.18 cm,双下肢支撑率为 36.80 ± 7.04 ,而没有干预时步速为 46.59 ± 15.09 cm/s,步频为 76.32 ± 13.12 步/min,患侧步频时长为 0.89 ± 0.22 秒/步,健侧步频时长为 0.75 ± 0.17 秒/步,患侧步长为 36.78 ± 7.76 cm,跨步长为 66.78 ± 22.65 cm,双下肢支撑率为 38.50 ± 7.23 。其中步速和步频的改变是因为足下垂以及再步行周期中点脚时足底屈肌无力在导致步态能力下降,当胫骨前肌和足底屈肌受到了振动刺激后步态产生了改善,下肢支持率的降低可被视为是平衡控制改善的替代标志,步频和步速速度的增加表明了两侧步长时间的减少,而双下肢支持率的降低意味着中风患者步态的连续性和平衡性的改善。

WBV 对 FMA 的影响较常规组有显著性差异。这与刘宝详[59]的研究结果一致,FMA (Fugl-Meyer) 评估量表是一种运动功能评定量表,分值越高代表恢复的越好。本文中的 FMA 的数值的提升可能与 WBV 能增强肌肉的力量和做功,产生了类似于力量训练所产生的神经肌肉适应的作用[60]有关,WBV 的训练可以提升脑卒中患者的下肢运动功能,但是对于振动训练对 FMA 的确切疗效需要在以后的研究中纳入更多的随机对照实验来进一步验证。

WBA 对负重时长的影响较常规组有显著性的差异。这与赵秦[11]的研究结果一致,由于患侧肢体的肌肉力量、张力和运动协调等障碍,使其出现步行时步态的不稳定,步速较慢,左右下肢关节运动角度和步态参数的不对称及耗能的增加等特征所以步行容易疲劳而不能长时间步行[61]。负重训练能对膝、踝关节产生挤压,刺激本体感受器,促进关节周围肌群收缩,从而改善下肢运动功能[62]。

本研究的不足之处在于:第一:本系统评价仅检索了部分中、英文数据库,及未进行临床试验注册平台检索,存在遗漏文献的可能;第二:纳入的各研究使用了不同的振动设备;第三:由于纳入文献数量较少,使得亚组分析和敏感性分析困难。

5. 结论

综上所述,WBV 组在步幅、步长的实验中其长度均要高于对照组,FMA 的评分结果以及单脚站立时长也均高于对照组,表明 WBV 训练有利于改善脑卒中患者的步行能力,提升其运动功能。为了更好地验证 WBV 对脑卒中后步行功能康复的疗效,还需要进行更多高质量、大样本的 RCT 试验及长期随访。

参考文献

- [1] 曹钊宏,常巧云,吴小花. 良肢位摆放应用于早期脑卒中偏瘫患者的临床效果分析[J]. 现代中西医结合杂志, 2017, 26(6): 676-678.
- [2] Tysnes, O.B. and Storstein, A. (2017) Epidemiology of Parkinson's Disease. *Journal of Neural Transmission*, **124**, 901-905. <https://doi.org/10.1007/s00702-017-1686-y>
- [3] 王陇德,王金环,彭斌,等. 《中国脑卒中防治报告 2016》概要[J]. 中国脑血管病杂志, 2017, 14(4): 217-224.
- [4] 毕齐,张鹏. 青年卒中的研究现状和展望[J]. 中国卒中杂志, 2012, 7(4): 260-263.

- [5] 倪朝民. 神经康复学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2008: 264-265.
- [6] Candelise, L., Gattinoni, M., Bersano, A., *et al.* (2007) Stroke-Unit Care for Acute Stroke Patients: An Observational Follow-up Study. *The Lancet*, **369**, 299-305. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(07\)60152-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(07)60152-4)
- [7] 汪钟立, 王翔, 励建安, 等. 脑卒中偏瘫患者躯干和下肢运动能力的预后分析[J]. 中国康复医学杂志, 2003, 18(5): 261-263.
- [8] Hornby, T.G., Campbell, D.D., Kahn, J.H., *et al.* (2008) Enhanced Gait-Related Improvements after Therapist- versus Robotic-Assisted Locomotor Training in Subjects with Chronic Stroke: A Randomized Controlled Study. *Stroke*, **39**, 1786-1792. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.107.504779>
- [9] Pinheiro, M.B., Scianni, A.A., Ada, L., Faria, C.D.C.M. and Teixeira Salmela, L.F. (2014) Reference Values and Psychometric Properties of the Lower Extremity Motor Coordination Test. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, **95**, 1490-1497. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2014.03.006>
- [10] Menezes, K.K.P., Nascimento, L.R., Pinheiro, M.B., *et al.* (2017) Lower-Limb Motor Coordination Is Significantly Impaired in Ambulatory People with Chronic Stroke: A Cross-Sectional Study. *Journal of Rehabilitation Medicine*, **49**, 322-326. <https://doi.org/10.2340/16501977-2215>
- [11] 赵秦, 魏慧, 王威, 等. 全身振动训练对脑卒中患者步态的影响[J]. 中国康复医学杂志, 2020, 35(6): 676-681.
- [12] Pleguezuelos, E., Perez, M.E., Guirao, L., *et al.* (2013) Effects of Whole Body Vibration Training in Patients with Severe Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *Respiratory Medicine*, **18**, 1028-1034. <https://doi.org/10.1111/resp.12122>
- [13] 卜淑敏, 韩天雨. 全身振动训练在运动训练和康复领域中的应用及研究进展[J]. 北京体育大学学报, 2014, 27(8): 65-70.
- [14] Nameni, F. (2012) Acute Effects of Whole-Body Vibration on Testosterone Responses in the Athlete and Non Athlete. *Journal of Science and Medicine in Sport*, **15**, S145-S146. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2012.11.352>
- [15] 金振华, 陈玲, 叶祥明. 全身振动训练对脑卒中患者下肢功能的效果[J]. 中国康复理论与实践, 2019, 25(3): 347-351.
- [16] 刘云, 苏小清, 李小洁. 运动想象结合全身振动训练对脑卒中病人肢体功能恢复及生活质量的影响[J]. 护理研究, 2019, 33(4): 714-717.
- [17] 谢羽婕, 郭声敏, 虞记华, 等. 不同振动方式对女性膝骨性关节炎患者本体感觉及运动功能的影响[J]. 中国康复医学杂志, 2018, 33(8): 940-944.
- [18] 朱娟, 许光旭, 张文通, 等. 全身振动刺激对脑卒中偏瘫患者步行效率的影响[J]. 中国康复, 2014, 29(6): 430-432.
- [19] Fontana, T.L., Richardson, C.A. and Stanton, W.R. (2005) The Effect of Weight-Bearing Exercise with Low Frequency, Whole Body Vibration on Lumbosacral Proprioception: A Pilot Study on Normal Subjects. *Australian Journal of Physiotherapy*, **51**, 259-263. [https://doi.org/10.1016/S0004-9514\(05\)70007-6](https://doi.org/10.1016/S0004-9514(05)70007-6)
- [20] Osawa, Y., Oguma, Y. and Ishii, N. (2013) The Effects of Whole-Body Vibration on Muscle Strength and Power: A Meta-Analysis. *Journal of Musculoskeletal & Neuronal Interactions*, **13**, 380-390.
- [21] Uhm, Y.H. and Yang, D.J. (2018) The Effects of Whole Body Vibration Combined Computerized Postural Control Training on the Lower Extremity Muscle Activity and Cerebral Cortex Activity in Stroke Patients. *Journal of Physical Therapy Science*, **30**, 300-303. <https://doi.org/10.1589/jpts.30.300>
- [22] Moriello, C., Finch, L. and Mayo, N.E. (2011) Relationship between Muscle Strength and Functional Walking Capacity among People with Stroke. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, **48**, 267-275.
- [23] Olney, S.J. and Richards, C. (1996) Hemiparetic Gait following Stroke. Part I: Characteristics. *Gait & Posture*, **4**, 136-148. [https://doi.org/10.1016/0966-6362\(96\)01063-6](https://doi.org/10.1016/0966-6362(96)01063-6)
- [24] Zheng, S.C., Zhu, S.W., Song, C.Z., *et al.* (2007) Effect of Early Reinforced Control Ability Training of the Trunk and Pelvis on the Motor Function of Patients with Stroke. *Chinese Journal of Rehabilitation Theory and Practice*, **13**, 716-717.
- [25] Alashram, A.R., Padua, E. and Annino, G. (2019) Effects of Whole-Body Vibration on Motor Impairments in Patients with Neurological Disorders: A Systematic Review. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, **98**, 1084-1098. <https://doi.org/10.1097/PHM.0000000000001252>
- [26] Miyara, K., Matsumoto, S., Uema, T., *et al.* (2018) Effect of Whole Body Vibration on Spasticity in Hemiplegic Legs of Patients with Stroke. *Topics in Stroke Rehabilitation*, **25**, 90-95. <https://doi.org/10.1080/10749357.2017.1389055>
- [27] Higgins, J.P.T., Green, S. and The Cochrane Collaboration (2011) Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions Version 5.1.0.

- <https://www.science-open.com/document?vid=232a3a89-d32f-4a3b-9e2b-a475c37ea0ae>
- [28] Van Nes, I.J., Latour, H., Schils, F., *et al.* (2006) Long-Term Effects of 6-Week Whole-Body Vibration on Balance Recovery and Activities of Daily Living in the Postacute Phase of Stroke: A Randomized, Controlled Trial. *Stroke*, **37**, 2331-2335. <https://doi.org/10.1161/01.STR.0000236494.62957.f3>
- [29] Lau, R.W., Yip, S.P. and Pang, M.Y. (2012) Whole-Body Vibration Has No Effect on Neuromotor Function and Falls in Chronic Stroke. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, **44**, 1409-1418. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31824e4f8c>
- [30] Brogårdh, C., Flansbjerg, U.B. and Lexell, J. (2012) No Specific Effect of Whole-Body Vibration Training in Chronic Stroke: A Double-Blind Randomized Controlled Study. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, **93**, 253-258. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2011.09.005>
- [31] Chan, K.S., Liu, C.W., Chen, T.W., *et al.* (2012) Effects of a Single Session of Whole Body Vibration on Ankle Plantarflexion Spasticity and Gait Performance in Patients with Chronic Stroke: A Randomized Controlled Trial. *Clinical Rehabilitation*, **26**, 1087-1095. <https://doi.org/10.1177/0269215512446314>
- [32] Marin, P.J., Ferrero, C.M., Menéndez, H., *et al.* (2013) Effects of Whole-Body Vibration on Muscle Architecture, Muscle Strength, and Balance in Stroke Patients: A Randomized Controlled Trial. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, **92**, 881-888. <https://doi.org/10.1097/PHM.0b013e318292336c>
- [33] Pang, M.Y., Lau, R.W. and Yip, S.P. (2013) The Effects of Whole-Body Vibration Therapy on Bone Turnover, Muscle Strength, Motor Function, and Spasticity in Chronic Stroke: A Randomized Controlled Trial. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*, **49**, 439-450. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2013\)er-0620](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2013)er-0620)
- [34] 中华神经科学会, 中华神经外科学会. 各类脑血管疾病诊断要点[J]. 中华神经科杂志, 1996, 29(6): 379-380.
- [35] 冯兵, 史静琴, 杨斌, 潘晶晶, 宋振华. 全身振动训练结合躯干控制训练在脑卒中患者康复治疗中的应用效果[J]. 广西医学, 2022, 44(20): 2438-2441.
- [36] 何雯雯, 傅建明, 李岩, 李辉, 史岩. 全身振动训练对脑卒中患者膝过伸的疗效分析[J]. 中国康复医学杂志, 2019, 34(2): 207-209.
- [37] 胡川, 杨晓, 顾莹, 刘敏, 王欣. 全身振动训练对脑卒中后偏瘫病人步行功能的影响[J]. 中西医结合心脑血管病杂志, 2022, 20(2): 337-340.
- [38] 李岩, 何雯雯, 董燕飞, 李辉, 傅建明, 姚云海, 劳方金, 孙亚. 全身振动训练对脑卒中偏瘫患者本体感觉及平衡功能的影响[J]. 中国康复医学杂志, 2021, 36(6): 709-712.
- [39] 刘金明, 王国军, 于利国, 马艳. 虚拟现实技术联合交替垂直振动训练改善脑卒中恢复期患者平衡功能和步行能力[J]. 神经损伤与功能重建, 2021, 16(7): 419-422. <https://doi.org/10.16780/j.cnki.sjssngcj.20210047>
- [40] 刘骞豪, 郝道剑, 梁英姿, 张香玉, 郭钢花, 许灵玲, 虞璐. 髂腰肌拉伸振动训练对脑卒中患者步行能力的影响[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2018, 40(7): 491-494.
- [41] 刘鑫鑫, 张盘德, 董安石, 刘震. 全身振动训练对脑卒中偏瘫患者下肢肌张力及步行功能的影响[J]. 中国现代药物应用, 2020, 14(19): 4-7. <https://doi.org/10.14164/j.cnki.cn11-5581/r.2020.19.002>
- [42] 王伟国, 吴华. 全身振动训练对脑卒中偏瘫患者临床效果及平衡功能的影响[J]. 中国基层医药, 2020, 27(4): 394-397.
- [43] 肖乐, 刘超, 李元, 邓炎尧, 谢冰, 林芳波, 肖豪. 体外冲击波治疗联合全身振动对脑卒中偏瘫患者下肢痉挛及平衡步态的影响[J]. 中南大学学报(医学版), 2022, 47(6): 755-761.
- [44] 谢振英, 胡雪萍, 陆建芳. 振动训练结合常规康复训练对脑卒中偏瘫患者的影响[J]. 护理实践与研究, 2022, 19(13): 1961-1965.
- [45] 杨占宇, 周学梅, 龙青燕, 王旻嫔, 黄彝, 郭艳萍, 陈林海, 巨积辉. 全身振动治疗仪结合弹力带针对膝关节训练改善脑卒中患者步行能力的研究[J]. 中华脑科疾病与康复杂志(电子版), 2019, 9(2): 96-100.
- [46] 杨振辉, 王俊, 刘四文. 全身振动训练对脑卒中偏瘫患者下肢功能的影响[J]. 中国伤残医学, 2015, 23(19): 19-20.
- [47] Wonjae, C., Han, D., Junesun, K., *et al.* (2017) Whole-Body Vibration Combined with Treadmill Training Improves Walking Performance in Post-Stroke Patients: A Randomized Controlled Trial. *Medical Science Monitor*, **23**, 4918-4925. <https://doi.org/10.12659/MSM.904474>
- [48] Guo, C., Xun, M., *et al.* (2015) Whole Body Vibration Training Improves Walking Performance of Stroke Patients with Knee Hyperextension: A Randomized Controlled Pilot Study. *CNS & Neurological Disorders-Drug Targets*, **14**, 1110-1115. <https://doi.org/10.2174/187152731566615111124937>
- [49] Herren, K., Schmid, S., Rogan, S. and Radlinger, L. (2018) Effects of Stochastic Resonance Whole-Body Vibration in Individuals with Unilateral Brain Lesion: A Single-Blind Randomized Controlled Trial: Whole-Body Vibration and

- Neuromuscular Function. *Rehabilitation Research and Practice*, **2018**, Article ID: 9319258. <https://doi.org/10.1155/2018/9319258>
- [50] Lee, G.C. (2015) Does Whole-Body Vibration Training in the Horizontal Direction Have Effects on Motor Function and Balance of Chronic Stroke Survivors? A Preliminary Study. *Journal of Physical Therapy Science*, **27**, 1133-1136. <https://doi.org/10.1589/jpts.27.1133>
- [51] Lee, G.C. (2019) Whole-Body Vibration in Horizontal Direction for Stroke Rehabilitation: A Randomized Controlled Trial. *Medical Science Monitor*, **25**, 1621-1628. <https://doi.org/10.12659/MSM.912589>
- [52] Lee, J.S., Kim, C.Y. and Kim, H.D. (2016) Short-Term Effects of Whole-Body Vibration Combined with Task-Related Training on Upper Extremity Function, Spasticity, and Grip Strength in Subjects with Poststroke Hemiplegia: A Pilot Randomized Controlled Trial. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, **95**, 608-617. <https://doi.org/10.1097/PHM.0000000000000454>
- [53] Sade, I., Cekmece, C., Inanir, M., et al. (2019) The Effect of Whole Body Vibration Treatment on Balance and Gait in Patients with Stroke. *Nöro Psikiyatri Arşivi*, **57**, 308-311. <https://doi.org/10.29399/npa.23380>
- [54] Uhm, Y.H. and Yang, D.J. (2017) The Effects of Whole Body Vibration Combined Biofeedback Postural Control Training on the Balance Ability and Gait Ability in Stroke Patients. *Journal of Physical Therapy Science*, **29**, 2022-2025. <https://doi.org/10.1589/jpts.29.2022>
- [55] 王卫宁. 全身振动训练对脑卒中恢复期患者膝关节控制能力的影响[D]: [硕士学位论文]. 上海: 上海体育学院, 2020. <https://doi.org/10.27315/d.cnki.gstyx.2020.000450>
- [56] 张丽, 瓮长水. 全身振动训练在老年康复领域应用的研究进展[J]. 中国康复理论与实践, 2015, 21(2): 163-167.
- [57] 龙耀斌, 曹锡忠. 振动训练对脑卒中偏瘫患者下肢肌张力和运动功能的影响[J]. 中国康复医学杂志, 2016, 31(10): 1099-1103.
- [58] Park, J.M., Lim, H.S. and Song, C.H. (2015) The Effect of External Cues with Vibratory Stimulation on Spatiotemporal Gait Parameters in Chronic Stroke Patients. *Journal of Physical Therapy Science*, **27**, 377-381. <https://doi.org/10.1589/jpts.27.377>
- [59] 刘宝祥, 刘敏, 王欣, 胡川, 潘同亮. 下肢负重振动联合悬吊治疗对脑卒中后 Pusher 综合征的疗效观察[J]. 中国康复, 2023, 38(4): 213-216.
- [60] Cardinale, M. and Lim, J. (2003) Electromyography Activity of Vastus Lateralis Muscle during Whole-Body Vibrations of Different Frequencies. *Journal of Strength and Conditioning Research*, **17**, 621-624. <https://doi.org/10.1519/00124278-200308000-00032>
- [61] 毛玉璠, 李乐, 陈正宏, 等. 脑卒中患者步行能力与下肢三维运动学及动力学相性分析[J]. 中国康复医学杂志, 2012, 27(5): 442-447.
- [62] 陈佩顺, 黄臻, 陈淑贤. 早期关节负重训练对脑卒中患者运动功能的影响[J]. 神经损伤与功能重建, 2007, 2(1): 21-22.