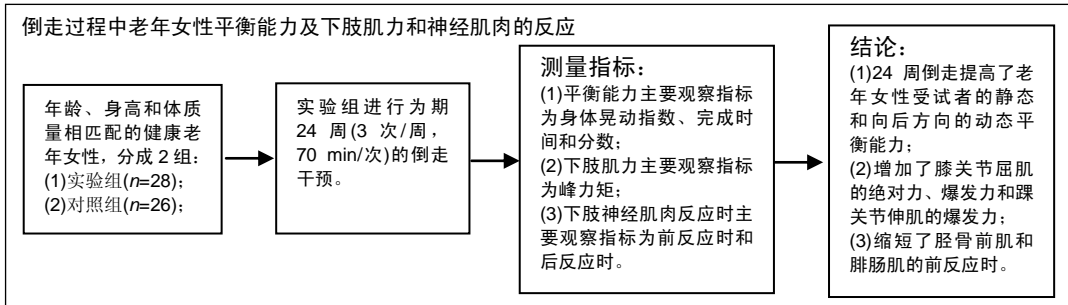


倒走过程中老年女性平衡能力及下肢肌力和神经肌肉的反应

巴洪冰¹, 程亮² (¹阿坝师范学院, 四川省汶川县 623002; ²四川省运动技术学院康复中心, 四川省成都市 610041)

DOI:10.3969/j.issn.2095-4344.0239 ORCID: 0000-0003-4105-1763(程亮)

文章快速阅读:



巴洪冰, 女, 1984年生, 黑龙江省拜泉县人, 汉族, 2011年成都体育学院毕业, 硕士, 讲师, 研究方向为运动生物力学。

通讯作者: 程亮, 硕士, 助理研究员, 四川省运动技术学院康复中心, 四川省成都市 610041

中图分类号:R318
文献标识码:A
稿件接受: 2018-03-07



文题释义:

身体晃动指数: 当受试者站立于测试平台上, 身体压力中心在各方向上有一定的移动, 设备通过计算左右前后方向移动轨迹和位移来确定受试者的身体晃动指数, 越小说明平衡稳定性越好。

峰力矩: 等速肌力测试指标之一, 能衡量测试关节在测试角度内最大力矩值, 能反映受试者该关节在相应角速度测试下的肌力水平。

摘要

背景: 目前缺乏较系统衡量倒走运动对老年女性身体姿势控制能力影响的报道。

目的: 探讨有规律的倒走运动对健康老年女性平衡能力、下肢肌力和下肢神经肌肉反应时的影响。为倒走运动提升老年姿势控制能力预防跌倒提供理论依据。

方法: 在2017年2月至3月在成都市武侯区庆安社区招募有健身意愿的健康老年女性, 经随机分组, 分为年龄、身高和体质量相匹配的实验组(n=28)和对照组(n=26)。实验组进行为期24周(3次/周, 70 min/次)的倒走干预。

结果与结论: 24周后, 与对照组相比, 实验组静态平衡测试的稳定坚硬平板闭眼站立身体晃动指数、海绵垫闭眼站立身体晃动指数减小, 动态平衡测试向后方向得分增加, 膝关节屈绝对力、爆发力和踝关节伸爆发力增加, 胫骨前肌及腓肠肌前反应时缩短。提示24周倒走能提高老年女性受试者的平衡能力, 增加下肢肌力, 缩短下肢神经肌肉反应时, 能有效提升老年人身体姿势控制能力。

关键词:

倒走; 老年女性; 姿势控制能力; 平衡能力; 肌力; 神经肌肉反应; 表面肌电; 跌倒; 组织工程

主题词:

老年人; 妇女; 体育运动; 组织工程

基金资助:

四川省教育厅资助项目(16ZB0385), 课题名称为倒走对老年女性下肢选择反应时和平衡能力的影响

Balance ability, muscle strength, and neuromuscular response of lower extremities in older adult women during backward exercise

Ba Hong-bing¹, Cheng Liang² (¹Aba Teachers University, Wenchuan 623002, Sichuan Province, China;

²Rehabilitation Center, Sichuan Sports Skills Institute, Chengdu 610041, Sichuan Province, China)

Abstract

BACKGROUND: There is a lack of systematic study concerning the impact of backward movement on the physical posture control in elderly women.

OBJECTIVE: To explore the effect of regular backward exercise on the balance, muscle strength and neuromuscular response latency of the lower extremities in healthy elderly women, so as to provide a theoretical basis for backward exercise improving the ability of controlling the posture to prevent falling in older adults.

METHODS: Healthy elderly female volunteers recruited in Qing'an community in Wuhou District, Chengdu were recruited between February and March 2017, and randomly divided into experimental group (n=28) and control group (n=26), which were matched in age, height and body mass. The experimental group was subjected to backward exercise (70 minutes/time), thrice weekly for 24 weeks.

RESULTS AND CONCLUSION: After 24 weeks, in the static balance test, there was a decrease in the Sway

Ba Hong-bing, Master, Lecturer, Aba Teachers University, Wenchuan 623002, Sichuan Province, China

Corresponding author: Cheng Liang, Master, Research associate, Rehabilitation Center, Sichuan Sports Skills Institute, Chengdu 610041, Sichuan Province, China

index in standing on a fixed platform/sponge mat with eyes closed. In the dynamic balance test, the score of backward was increased, the absolute/explosive force of knee joint flexion, and the force and explosive force of ankle joint extension were increased; the anterior response latency of tibialis anterior and gastrocnemius was reduced. To conclude, 24-week backward exercise can improve the balance ability of the elderly female subjects, enhance the muscle strength of lower extremities, and shorten the neuromuscular response latency of lower extremities, thus effectively promoting physical posture control.

Subject headings: Aged; Women; Sports; Tissue Engineering

Funding: the Project of Sichuan Provincial Education Department, No. 16ZB0385

0 引言 Introduction

目前中国已步入老年化社会,截止2017年底,老年人口已超过2.3亿^[1]。研究发现随着年龄增加,老年人的平衡能力逐渐下降,同时关节肌力衰退以及神经肌肉反应时间增加^[2],而这些因素会增加老年人跌倒的风险。跌倒会带来家庭和社会的负担,如高昂的医疗费用、身体损伤等。有研究认为有规律的健身能够改善老年人因增龄引起的平衡能力、肌力和神经肌肉反应时的下降,是预防跌倒的重要策略^[2-6]。多数研究探讨老年人进行规律健身后平衡能力和肌力的变化^[2-6],而对神经肌肉反应时的测量较少。另外,研究发现经常跌倒的老年人与无跌倒史的老年人下肢神经肌肉反应时有显著差异^[7]。Ballange等^[8]通过表面肌电分析人体肌肉在不同时间的活动,将神经肌肉反应时分为前反应时和后反应时。前反应时指人体通过外部感受器官接收到信号,将刺激输入大脑,最终做出判断的时间。一旦做出了判断,马上就进入第二个阶段为运动动作阶段,即后反应时。

倒走是老年人常见的运动方式,临床上已推荐倒走作为髌骨疼痛综合征、膝关节前交叉韧带损伤以及下腰痛的辅助疗法^[9-10]。韩东波等^[11]综述了目前国内外关于倒走运动生物力学的特征,认为倒走在增强受试者下肢肌力,改善平衡和促进下肢运动功能康复等方面有独特的效果。目前尚缺乏较系统的衡量倒走运动对老年人姿势控制能力(平衡能力、本体感觉、肌力以及神经肌肉反应时)因素的影响。作者所在团队前期研究比较了长期倒走和一般老年女性小腿肌群的选择反应时和平衡能力(开、闭眼单脚站立)的差异,发现长期倒走老年女性选择反应时和平衡能力更好^[12],但未进行纵向研究。张建^[13]认为16周的倒走改善了老年女性受试者静态平衡能力,但未测试动态平衡能力。另外倒走对老年人下肢肌力影响鲜有报道,有学者报道了倒走对下腰痛运动员腰部等速肌力影响,认为并不能改善腰部肌力^[14]。

鉴于此,此项研究假设定期的倒走对老年女性的平衡能力、下肢肌力和下肢神经肌肉反应时有积极影响,通过纵向研究和横向对比的方法,验证倒走运动能否提升老年人身体姿势控制能力。

1 对象和方法 Subjects and methods

1.1 设计 随机对照临床试验。

1.2 时间及地点 试验于2017年在四川省运动技术学院体能康复中心完成。

1.3 对象 于2017年2至3月走访成都市武侯区庆安社区,以广告或走访形式募集有健身意愿的健康老年女性。

纳入标准: ①60-70岁老年女性;②近2年未进行有规律的运动;③通过了健康体检(包含血常规、心血管疾病的筛查);④签订了知情同意书。

排除标准: ①正在进行其他形式的健身;②明显的下肢损伤;③心血管疾病;④长期服用药物;⑤近2年有跌倒史。

在试验初期有71例受试者被纳入,按照数字随机分配方法,分成实验组($n=35$)和对照组($n=36$)。但在试验初期、试验中期以及测试过程有17例受试者由于个人或其他原因退出,样本流失率为23.9%。最终实验组有28例,对照组有26例完成整个试验过程。受试者间年龄、身高和体质量差异无显著性意义($P > 0.05$)。

1.4 方法

1.4.1 倒走干预 在专门的试验人员督促下,实验组进行有规律的倒走运动。锻炼方案:24周,3次/周,70 min/次,时间安排在早上7:00-8:10;锻炼地点:在四川省运动技术学院操场。锻炼强度参考Cheng等^[4]的研究,以中等强度为主,心率控制在 $(220-\text{年龄}) \times (55\%-65\%)$,每次锻炼结束受试者按颈动脉20 s,记录每分钟心率(平均心率95次/min),如小于或超出指定范围需告知试验人员,试验人员将记录该名受试者,在下次倒走时适当增加或减小运动强度。在整个试验过程,试验人员提醒受试者安全,如有受试者身体不适将停止锻炼。在整个24周,实验组和对照组在不改变既往生活方式前提下,确保所有受试者不再进行其他有规律的运动。每隔2周对受试者进行电话、微信或面谈形式的回访,了解她们生活情况。

1.4.2 平衡能力测试 采用美国Biodex平衡测试仪,在0周和24周对所有受试者的静态和动态平衡能力进行测试,参考林长地等^[6]研究方法,要求受试者穿袜子自然站立在测试平台。

静态平衡测试: 包含稳定坚硬平板闭眼站立、海绵垫睁眼站立和海绵垫闭眼站立。测试顺序随机,每项受试者双脚站立测试30 s,休息180 s。受试者在测试过程尽量保持身体不移动,如在30 s内有跌倒、睁眼、手扶栏杆或迈步行等情况均视为跌倒。衡量指标为身体晃动指数(当受试者站立于测试平台上,身体压力中心在各方向上有一定的移动,设备通过计算左右前后方向移动轨迹和位移来确定受试者的身体晃动指数),数值越小说明静态平衡能力越好。

动态平衡测试: 包含左右前后4个方向测试。受试者双

脚禁止发生移动或屈膝,通过改变身体位置使人体重心随机到达每个方位,各方位测试3次,间隙10 s,以第3次为准。衡量指标为完成时间和分数,完成时间越短,总分越高说明动态平衡能力越好。

1.4.3 下肢肌力测试 采用德国产IsoMed 2000等速肌力测试仪,在0周和24周对所有受试者优势侧膝和踝关节进行60(°)/s(5次)和180(°)/s(5次)屈伸模式的测试。测试前受试者完成15min的下肢热身和牵拉。测试时受试者膝关节测试取自然坐位,关节活动度为80°(膝关节打直为0°,屈10°-屈90°),用皮带固定上肢、髌和踝关节;受试者踝关节测试取仰卧位,关节活动度为45°(踝关节趾屈-15°-背屈30°),用皮带固定上肢、髌和膝关节。试验人员告知受试者测试流程,并让感受不同角速度的等速运动,在熟悉测试过程后进行测试。不同角速度测试间隙1 min。指标选择峰力矩(等速肌力测试指标之一,能衡量测试关节在运动角度内最大力矩值,能反映受试者关节的肌力水平。研究认为对于老年人群60(°)/s测试能反应绝对力,180(°)/s测试反应爆发力^[15-16])。

1.4.4 下肢神经肌肉反应时测试 采用芬兰产Maga Win T8通道表面肌电分析仪(采样频率1 000 Hz),在0周和24周对所有受试者优势侧胫骨前肌和腓肠肌的神经肌肉反应时进行测试(电极片采用欧姆龙一次性电极片,型号1-5)。参考作者团队前期研究要求受试者优势腿站立在一个可活动的木板上,系统设置会随机向左或向右倾斜15°^[12]。木板开始倾斜前记录受试者胫骨前肌和腓肠肌10 s静息状态数据,计算出测试肌肉的最大电位值。然后,试验人员按下控制木板倾斜的按钮,记录按钮即刻(a时刻)到测试肌肉电位达到3倍静息状态最大电位时刻(b时刻)直至动作结束时刻(c时刻),每名受试者测试3次取平均值。测试指标有前反应时(a时刻到b时刻)和后反应时(b时刻到c时刻)^[12]。

1.5 主要观察指标 ①平衡能力主要观察指标为身体晃动指数、完成时间和分数;②下肢肌力主要观察指标为峰力矩;③下肢神经肌肉反应时主要观察指标为前反应时和后反应时。

1.6 统计学分析 采用SPSS 17.0对2组受试者0周和24周所有测试数据进行分析,结果以 $\bar{x}\pm s$ 表示。组内不同时间点(0周与24周)同指标采用配对样本 t 检验,组间相同时间点(0周或24周)同指标采用独立样本 t 检验。显著水平 $\alpha=0.05$ 。

2 结果 Results

2.1 受试者数量分析 在试验初期有71例受试者被纳入,实验组($n=35$)和对照组($n=36$)。但在试验初期、试验中期以及测试过程有17例受试者由于个人或其他原因退出,样本流失率为23.9%。最终实验组有28例,对照组有26例完成整个试验过程(图1)。

受试者基本信息见表1。

2.2 平衡能力测试结果 2组受试者平衡能力测试结果见表2。0周时2组受试者静态和动态平衡测试结果接近($P > 0.05$);24周时实验组静态平衡测试的稳定坚硬平板闭眼站立身体晃动指数较0周时显著减小19.8%($P < 0.01$),海绵垫闭眼站立身体晃动指数较0周时显著减小15.1%($P < 0.05$),动态平衡测试向后方向得分较0周时显著增加22.7%($P < 0.01$)。24周时与对照组相比,实验组受试者静态平衡测试的稳定坚硬平板闭眼站立和海绵垫闭眼站立身体晃动指数显著减小18.8%和11.8%($P < 0.05$),动态平衡测试向后方向得分显著增加28.1%($P < 0.01$)。

表1 受试者基本信息

Table 1 Baseline data of the participants

组别	年龄(岁)	身高(cm)	体质量(kg)
实验组($n=28$)	66.3±4.7	161.3±11.6	60.3±6.6
对照组($n=26$)	66.0±5.5	162.0±9.7	60.5±7.0

2.3 下肢肌力测试结果 2组受试者膝和踝关节不同角速度峰力矩测试结果见表3。0周时2组受试者膝和踝关节不同角速度测试结果接近($P > 0.05$);24周时实验组受试者膝关节屈绝对力和爆发力较0周时显著增加20.3%和20.8%($P < 0.01$),踝关节伸爆发力较0周时显著增加22.3%($P < 0.01$)。与对照组相比,实验组受试者24周时膝关节屈绝对力和爆发力显著增加25.2%和30.6%($P < 0.01$),膝关节伸爆发力显著增加17.2%($P < 0.05$)。踝关节伸爆发力显著增加29.0%($P < 0.01$)。

2.4 下肢神经肌肉反应时测试结果 2组受试者胫骨前肌和腓肠肌神经肌肉反应时测试结果见表4。0周时2组受试者胫骨前肌和腓肠肌神经肌肉反应时接近($P > 0.05$);24周时实验组受试者胫骨前肌前反应时较0周时显著缩短18.7%($P < 0.05$),腓肠肌前反应时较0周时显著缩短24.3%($P < 0.01$);与对照组相比,实验组受试者24周时胫骨前肌和腓肠肌前反应时显著缩短21.3%和22.7%($P < 0.01$)。

3 讨论 Discussion

3.1 平衡能力 作者采用BioDex平衡仪试图探讨定期倒走对老年女性静态和动态平衡能力的影响。其中静态平衡测试包括闭眼站立在稳定平面、睁眼站立在海绵垫上和闭眼站立在海绵垫上,其数值越大说明前庭整合能力越差^[17-26]。动态平衡测试受试者左右前后4个方向,得分越高,说明该方向上动态平衡能力越好。试验结果显示,受试者在稳定坚硬平板闭眼站立和海绵垫闭眼站立身体晃动指数显著减小19.8%和15.1%(静态平衡能力)。受试者向后方向得分显著增加22.7%(动态平衡能力)。

目前倒走对老年女性平衡能力影响,采用方法为开、闭眼单脚站立时间(静态平衡能力)。Cambell等^[27]对60-70

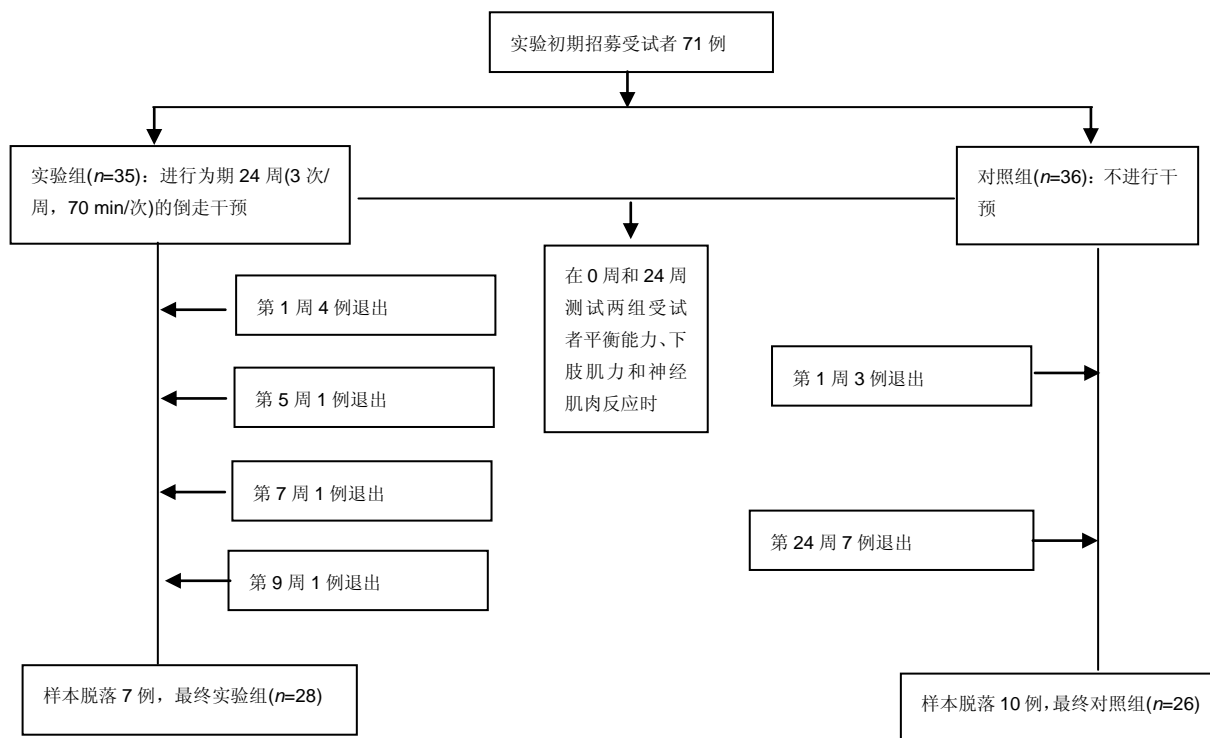


图 1 受试者分组干预流程图
Figure 1 Flow chart of the participant assignment

表 2 倒走对老年女性平衡能力的影响

Table 2 Effect of backward exercise on the balance ability in elderly women

指标	实验组(n=28)		对照组(n=26)	
	0周	24周	0周	24周
静态平衡测试身体晃动指数				
稳定坚硬平板闭眼站立	0.81±0.16	0.65±0.12 ^{bc}	0.79±0.19	0.80±0.22
海绵垫睁眼站立	0.98±0.28	0.94±0.26	0.99±0.16	0.95±0.23
海绵垫闭眼站立	2.12±0.62	1.80±0.45 ^{ac}	2.10±0.72	2.04±0.54
动态平衡测试				
时间(s)	27.9±7.3	26.2±9.3	28.1±5.8	27.5±8.1
前(分)	43.7±13.2	40.6±16.8	42.8±18.0	41.0±14.7
后(分)	43.1±16.8	52.9±12.3 ^{bd}	42.8±13.7	41.3±18.0
左(分)	45.6±13.2	45.3±17.1	45.2±14.7	44.0±16.3
右(分)	45.8±16.3	46.7±19.2	46.0±16.1	47.1±18.5

表注: 与 0 周相比, ^aP < 0.05, ^bP < 0.01; 与对照组相比, ^cP < 0.05, ^dP < 0.01。时间: 指完成动态测试的总时间, 越短说明动态平衡能力越好。

表 3 倒走对老年女性受试者膝和踝关节不同角速度峰力矩的影响

Table 3 Effect of backward exercise on the peak torque of knee and ankle joints at different angular velocities in elderly women

关节	角速度[°/s]	模式	实验组(n=28)		对照组(n=26)	
			0周	24周	0周	24周
膝	60	屈	23.1±7.6	27.8±11.3 ^{ac}	22.6±8.5	22.2±7.6
		伸	40.1±17.8	43.6±15.4	40.3±16.2	41.0±20.3
	180	屈	17.3±5.2	20.9±6.1 ^{ac}	16.8±4.5	16.0±3.2
		伸	33.7±14.7	36.1±17.0 ^b	32.7±13.3	30.8±19.0
踝	60	屈	13.6±5.7	14.2±3.6	13.0±4.7	13.3±4.1
		伸	24.2±8.0	25.4±11.6	23.9±7.5	25.0±12.4
	180	屈	11.7±2.4	11.5±2.9	11.1±3.2	10.8±3.5
		伸	25.1±11.2	30.7±14.8 ^{ac}	24.7±11.0	23.8±14.8

表注: 与 0 周相比, ^aP < 0.01; 与对照组相比, ^bP < 0.05, ^cP < 0.01。

表 4 倒走对老年女性下肢神经肌肉反应时的影响

($\bar{x} \pm s$, ms)

Table 4 Effect of backward exercise on the neuromuscular response latency of lower extremities in elderly women

肌肉	指标	实验组(n=28)		对照组(n=26)	
		0周	24周	0周	24周
胫骨前肌	前反应时	612.8±68.3	498.1±75.4 ^{bc}	620.4±78.1	633.0±61.0
	后反应时	466.3±82.1	449.2±76.7	453.7±102.7	470.0±95.6
腓肠肌	前反应时	610.7±136.3	462.5±61.9 ^{bc}	602.8±96.0	598.4±118.7
	后反应时	460.6±98.1	439.8±60.4	458.1±88.9	449.3±124.1

表注：与0周相比，^a $P < 0.05$ ，^b $P < 0.01$ ；与对照组相比，^c $P < 0.01$ 。

岁老年女性进行24周的倒走训练，显示单脚站立时间显著增加。Shigematsu等^[28]对60-80岁老年女性进行24周的倒走干预，发现身体素质以及静态平衡能力(单脚站立时间)不同程度显著改善，试验认为倒走会降低老年人跌倒的风险。作者所在团队在前期研究了平均具有11.2年倒走经验的老年女性静态平衡能力，显示开、闭眼单脚站立时间显著大于对照组^[12]。作者此项研究进一步拓展，认为24周倒走运动对受试者本体代偿以及前庭系统整合能力提升有积极作用，而对视觉信息传入影响不大。这与倒走特点有关，当受试者进行倒走运动时，相比正向走视觉帮助不大，人体主要依靠本体感觉以及前庭功能维持向后身体姿势控制能力。

上述研究分析了倒走对老年女性静态平衡能力影响，事实上动态平衡能力亦很重要。常书婉等^[2]认为老年人改善前后方向平衡能力更加不易(相比左右方向)，因为在日常生活中大量的运动是向前。如进行太极拳运动时很多动作是左右方向的对称运动，因此加以练习对左右方向平衡能力改善显著，而专门向后方向的健身运动较少。倒走弥补了人体向后运动的不足，试验结果显示倒走运动显著提高了受试者向后的动态平衡能力，这与姚鑫^[29]的研究不一致，该作者采用Footscan压力平板测试经过12周倒走的老年女性平衡能力，显示前后方向平衡能力改善不显著。此项试验与上述分歧的原因，作者分析可能与干预的时间不同有关。

3.2 下肢肌力 试验采用IsoMed 2000等速测试仪试图探讨定期倒走对老年女性下肢不同肌群绝对力和爆发力影响，发现受试者膝关节屈绝对力、爆发力和踝关节伸爆发力非常显著增加20.3%、20.8%和22.3%。

作者认为这与倒走特点有关，从动作的解剖学和力学分析，倒走主要是大腿后群和小腿后群肌参与做功。相比正向走，由于下肢运动方向、肌群参与收缩主次发生了变化，进而提高了受试者股后肌群和小腿后肌群的训练效应。但目前缺乏定期的倒走对老年女性下肢肌力影响的报道。Laufer等^[30]发现相比正向走，倒走能激活人体下肢肌肉更多的活性，对中枢神经会产生更多的刺激，这可能是倒走改善受试者肌力的内在机制。另外，作者发现有趣的结论：

实验组膝关节伸爆发力显著大于对照组17.2%，而实验组不同时间则没有变化，作者分析可能与增龄影响有关。

3.3 下肢神经肌肉反应时 试验采用Mega winT8表面肌电分析仪，试图探讨定期倒走对老年女性胫骨前肌和腓肠肌前后反应时的影响，发现受试者胫骨前肌和腓肠肌前反应时显著缩短18.7%和24.3%。而后反应时变化不显著。

Ballanger等^[8]早期的研究发现老年人在遇到不平衡状态时(相比年轻人)肌肉反应时更长(时间长20%)。Abdelaziem等^[9]认为年龄的增加或疾病的发生会导致人体神经肌肉反应功能的衰退，这是诱发老年人跌倒的因素之一。上述研究呈现了反应时下降的不良后果，特别与跌倒之间的关系。但并没有细化前后反应时，即运动视觉反应时(前反应时)和外周运动动作反应时(后反应时)分别有何变化。作者发现倒走并不能改善老年女性胫骨前肌和腓肠肌的后反应时。这与作者所在团体前期研究结果一致，具有长期倒走经验的老年女性的胫骨前肌和腓肠肌前反应时显著大于对照组，而后反应时差异无显著性意义^[12]。因而推测在遇到突发不平衡状态时，老年人经过大脑判断后支配下肢肌肉的反应时过长，可能与跌倒有着一定的关联，而倒走会改善这种局面。试验结果验证了部分假设，但研究仍存在局限性，未增加本体感觉测试，神经肌肉反应测试缺少大腿肌群，未增加性别对照等因素。是后续研究方向。

3.4 结论 24周有规律的倒走运动改善了老年女性姿势控制能力，表现为提高了静态和向后方向的动态平衡能力。增加了膝关节屈肌的绝对力、爆发力和踝关节伸肌的爆发力。缩短了胫骨前肌和腓肠肌的前反应时。

作者贡献：第一作者和通讯作者构思并设计试验，并与通讯作者共同分析文献资料，第一作者起草，经通讯作者审核，第一作者及通讯作者对本文负责。

经费支持：该文章接受了“四川省教育厅资助项目(16ZB0385)”的资助。但是所有作者声明，经费支持没有影响文章观点和对研究数据客观结果的统计分析及其报道。

利益冲突：所有作者共同认可文章无相关利益冲突。

伦理问题：临床试验研究的实施符合《赫尔辛基宣言》对人体研究的相关伦理要求。文章的撰写与编辑修改后文章遵守了《观察性临

床研究报告指南》(STROBE 指南)。参与试验的受试者为自愿参加, 所有受试者均对试验过程完全知情同意, 在充分了解本治疗方案的前提下签署“知情同意书”。

文章查重: 文章出版前已经过 CNKI 反剽窃文献检测系统进行 3 次查重。

文章外审: 文章经国内小同行外审专家双盲外审, 符合本刊发稿宗旨。

作者声明: 第一作者对研究和撰写的论文中出现的不端行为承担责任。论文中涉及的原始图片、数据(包括计算机数据库)记录及样本已按照有关规定保存、分享和销毁, 可接受核查。

文章版权: 文章出版前杂志已与全体作者授权人签署了版权相关协议。

开放获取声明: 这是一篇开放获取文章, 根据《知识共享许可协议》“署名-非商业性使用-相同方式共享3.0”条款, 在合理引用的情况下, 允许他人以非商业性目的基于原文内容编辑、调整和扩展, 同时允许任何用户阅读、下载、拷贝、传递、打印、检索、超级链接该文献, 并为之建立索引, 用作软件的输入数据或其它任何合法用途。

4 参考文献 References

[1] 彭希哲, 卢敏. 老年人口死亡概率时代变迁与老年定义的重新思考[J]. 人口与经济, 2017(2):1-10.

[2] 常书婉, 周继和, 洪友康, 等. 长期太极拳练习对老年女性平衡能力的影响[J]. 成都体育学院学报, 2014, 40(4):42-47.

[3] 邹魁, 程亮. 弹力带柔性抗阻训练对老年女性关节肌力和平衡能力的影响[J]. 中国老年学杂志, 2017, 37(18):4611-4612.

[4] Cheng L, Chang S, Li J, et al. Effects of different periods of Tai Chi exercise on the kinesthesia of the lower limb joints of elderly women. Res Sports Med. 2017;25(4):462-469.

[5] Chang S, Zhou J, Hong Y, et al. Effects of 24-week Tai Chi exercise on the knee and ankle proprioception of older women. Res Sports Med. 2016;24(1):84-93.

[6] 林长地, 程亮, 林晞. 全身振动训练对老年女性平衡能力和下肢关节肌力的影响[J]. 首都体育学院学报, 2015, 27(6):572-576.

[7] Arnold P, Vantieghem S, Gorus E, et al. Age-related differences in muscle recruitment and reaction-time performance. Exp Gerontol. 2015;70:125-130.

[8] Ballanger B, Boulinguez P. EMG as a key tool to assess motor lateralization and hand reaction time asymmetries. J Neurosci Methods. 2009;179(1):85-89.

[9] Abdel-Aziem AA, El-Basatiny HM. Effectiveness of backward walking training on walking ability in children with hemiparetic cerebral palsy: a randomized controlled trial. Clin Rehabil. 2017;31(6):790-797.

[10] Kim CY, Lee JS, Kim HD. Comparison of the Effect of Lateral and Backward Walking Training on Walking Function in Patients with Poststroke Hemiplegia: A Pilot Randomized Controlled Trial. Am J Phys Med Rehabil. 2017;96(2):61-67.

[11] 韩东波, 徐冬青. 倒走运动的生物力学特性的研究进展[J]. 中国康复医学杂志, 2011, 26(10):990-993.

[12] 巴洪冰. 倒走对老年女性下肢选择反应时和平衡能力的影响[J]. 中国老年学杂志, 2017, 37(14):3356-3357.

[13] 张建. 16周倒走对老年女性静态平衡能力的影响[J]. 中国老年学杂志, 2016, 36(8):1970-1971.

[14] Kim SH, Yoon YB. Effect of Backward Walking on Isokinetic Muscular Function, Low Back Pain Index and Lumbosacral Angle in Unilateral Exercise Athletes. Indian J Sci Technol. 2016;9(25):1-6.

[15] 杨蕾, 程亮. 8w振动训练对老年女性下肢关节肌力和耐力的影响[J]. 中国老年学杂志, 2015, 35(5):1250-1252.

[16] 卢澎涛. 不同频率全身振动训练对老年女性骨密度及下肢肌力的影响[J]. 山东体育学院学报, 2016, 32(6):89-94.

[17] 李旭龙, 纪仲秋. 太极拳和健美操锻炼对大学生静态平衡能力的影响[J]. 中国运动医学杂志, 2013, 32(7):591-595, 600.

[18] 赵龙飞, 张油福, 国伟, 等. 在校大学生静态平衡能力的相关性及影响因素[J]. 体育科研, 2017, 38(2):74-77.

[19] 刘建国, 汪美群, 郭素英, 等. 静态姿势图在良性阵发性位置性眩晕中感觉结构变化研究[J]. 中华耳科学杂志, 2016, 14(4):464-468.

[20] 王璟, 周玉娟, 余菁, 等. 优势偏向在外周性眩晕患者前庭功能评估中的意义[J]. 中华耳鼻咽喉头颈外科杂志, 2017, 52(3):200-204.

[21] 计莉, 孙勃, 彭新, 等. 良性阵发性位置性眩晕患者的静态平衡功能特点研究[J]. 中国听力语言康复科学杂志, 2016, 14(3):207-211.

[22] 曹春婷, 李琪, 刘媛媛, 等. 头-眼运动训练视频在前庭康复中的应用[J]. 中国耳鼻咽喉头颈外科, 2017, 24(5):245-247.

[23] 李广周, 何本祥, 刘建宇, 等. 长期有规律锻炼对女大学生静态平衡能力的影响[J]. 重庆三峡学院学报, 2016, 32(3):107-111.

[24] 郝凤霞, 刘铮, 刘丽志, 等. 悬吊训练干预对少年聋哑症患者平衡能力的影响[J]. 河北师范大学学报(自然科学版), 2016(1):88-92.

[25] 张彪, 刘鸿宇, 武俊英, 等. 感觉整合模式对偏瘫患者维持平衡的作用[J]. 中国康复医学杂志, 2016, 31(9):973-978.

[26] 吴雪萍, 闻一鸣, 孟杰. 坐位振动训练对下肢运动功能障碍者平衡功能的影响[J]. 河南师范大学学报(自然版), 2017(4):118-124.

[27] Campbell AJ, Robertson MC, Gardner MM, et al. Randomised controlled trial of a general practice programme of home based exercise to prevent falls in elderly women. BMJ. 1997;315(7115):1065-1069.

[28] Shigematsu R, Okura T. A novel exercise for improving lower-extremity functional fitness in the elderly. Aging Clin Exp Res. 2006;18(3):242-248.

[29] 姚鑫. 健身反向走对老年女性平衡能力的影响[J]. 山东体育学院学报, 2008, 24(10):59-61.

[30] Laufer Y. Effect of age on characteristics of forward and backward gait at preferred and accelerated walking speed. J Gerontol A Biol Sci Med Sci. 2005;60(5):627-632.