

三维步态分析比较青年人与老年人双任务下步态特征的差异

<https://doi.org/10.3969/j.issn.2095-4344.2967>

杨凤娇^{1,2}, 王芾斌^{1,2,3}, 侯美金^{1,2}, 喻娇⁴, 李镇辉^{1,2}, 傅升星^{1,2}, 林紫玲^{1,2}, 刘本科^{1,2}

2095-4344.2967

投稿日期: 2020-03-11

送审日期: 2020-03-16

采用日期: 2020-05-13

在线日期: 2020-07-31

中图分类号:

R448; R318; R873

文章编号:

2095-4344(2021)03-00344-06

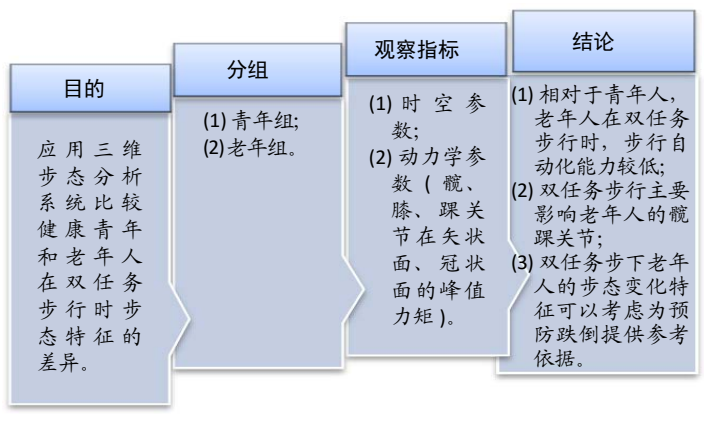
文献标识码: A

文章快速阅读:

文章特点一

△目前关于青、老年人群双任务步行的研究多局限于二维时空参数的比较,较少涉及动力学参数差异研究,此次研究结合了两组人群动力学参数的对比,以求较全面分析两组人群双任务下的步态特征;

△结果表明,与青年组比,老年组跨步长及右侧步长小,左侧髋外展肌力矩第二峰值高,左侧踝跖屈肌力矩及左右两侧的踝外翻肌力矩低。



文题释义:

双任务步行:即在步行的同时进行另外一项需要占用认知资源的任务。

三维步态分析:又称量化步态分析或计算机辅助的步态分析。是遵循生物力学基本原理、人体解剖及生理学等条件下,运用计算机辅助技术和红外摄像技术,检测、记录人体步行时特定时相下的躯干与关节运动或肌肉运动过程中的对地面作用力、关节力矩与关节做功、足底压力分布状态,胫骨相对股骨的运动以及步行活动过程中的氧气消耗程度等数据信息,通过与正常参考值范围进行比较以帮助确定异常关键因素和代偿变化,为临床诊断、决策、治疗及预后提供参考。

摘要

背景:双任务步行在日常生活中较为常见,且相对单任务更具挑战性,更有利于发现日常生活活动中潜在的步态异常,被广泛用来评估注意力分散时运动表现和步态控制的变化。

目的:应用三维步态分析系统比较健康青年和老年人在双任务步行时步态特征的差异,为预防老年人跌倒提供相关参考依据。

方法:青年组21例,年龄(24.57±2.27)岁,身高(1.64±0.08) m;老年组25例,年龄(62.72±2.39)岁,身高(1.60±0.07) m。两组受试者在进行平地步行任务的同时进行“100以内任意数字减1(倒数)”的计算任务。应用Motion Analysis三维运动分析系统及Visual 3D软件进行步态数据采集与分析,比较两组受试者执行双任务步行时步态时空参数及动力学参数的差异。

结果与结论:①时空参数:老年组跨步长小于青年组[(1.14±0.09) m vs. (1.20±0.07) m, $P < 0.05$]、右侧步长小于青年组[(0.57±0.04) m vs. (0.60±0.04) m, $P < 0.01$];②动力学参数:老年组左侧髋外展肌力矩第二峰值高于青年组[(0.94±0.1) Nm/kg vs. (0.86±0.16) Nm/kg, $P < 0.01$]、左侧踝跖屈肌力矩低于青年组[(1.27±0.11) Nm/kg vs. (1.35±0.15) Nm/kg, $P < 0.05$]、左右两侧的踝外翻肌力矩皆低于青年组[(0.31±0.14) Nm/kg vs. (0.45±0.16) Nm/kg, $P < 0.01$];③结果提示:相对于青年人,老年人在双任务步行时,步行自动化能力较低;双任务步行主要影响老年人的踝关节,可能与双任务步行对老年人挑战较大有关,使之采取了相应的代偿模式以保持稳定;双任务下老年人的步态变化特征可以考虑为预防跌倒提供参考依据。

关键词:双任务;步态分析;时空参数;动力学参数;青年人;老年人

缩略语:膝内收力矩: external knee adduction moment, EKAM; 髋外展肌力矩峰值: peak hip abductor moment, PHAM

Comparison of gait characteristics between young and elderly people under dual tasks using three-dimensional gait analysis

Yang Fengjiao^{1,2}, Wang Xiangbin^{1,2,3}, Hou Meijin^{1,2}, Yu Jiao⁴, Li Zhenhui^{1,2}, Fu Shengxing^{1,2}, Lin Ziling^{1,2}, Liu Benke^{1,2}

¹Fujian University of Traditional Chinese Medicine, Fuzhou 350122, Fujian Province, China; ²Key Laboratory of the Ministry of Education of Bone Injury and Sports Rehabilitation of Traditional Chinese Medicine, Fuzhou 350122, Fujian Province, China; ³Third People's Hospital Affiliated to Fujian University of Traditional Chinese Medicine, Fuzhou 350122, Fujian Province, China; ⁴Department of Rehabilitation Medicine, Longyan First Hospital, Fujian Medical University, Longyan 364000, Fujian Province, China

¹福建中医药大学,福建省福州市 350122; ²中医骨伤及运动康复教育部重点实验室,福建省福州市 350122; ³福建中医药大学附属第三人民医院,福建省福州市 350122; ⁴福建医科大学附属龙岩第一医院康复医学科,福建省龙岩市 364000

第一作者:杨凤娇,女,1994年生,安徽省淮北市,汉族,福建中医药大学在读硕士,主要从事膝骨关节炎的基础与临床研究。

通讯作者:王芾斌,博士生导师,福建中医药大学康复医学院,福建省福州市 350122

<https://orcid.org/0000-0002-7576-0982>(杨凤娇); <https://orcid.org/0000-0002-1293-8755>(王芾斌)

基金资助:国家自然科学基金(81774384),项目负责人:王芾斌;福建省康复产业研究院开放课题(2015Y2001-55),项目负责人:王芾斌;福建省科技厅引导性项目(2017Y0046),项目负责人:王芾斌;福建中医药大学校级课题(X2017020),项目负责人:侯美金

引用本文:杨凤娇,王芾斌,侯美金,喻娇,李镇辉,傅升星,林紫玲,刘本科.三维步态分析比较青年人与老年人双任务下步态特征的差异[J].中国组织工程研究,2021,25(3):344-349.



Yang Fengjiao, Master candidate, Fujian University of Traditional Chinese Medicine, Fuzhou 350122, Fujian Province, China; Key Laboratory of the Ministry of Education of Bone Injury and Sports Rehabilitation of Traditional Chinese Medicine, Fuzhou 350122, Fujian Province, China

Corresponding author: Wang Xiangbin, Professor, Doctoral supervisor, Fujian University of Traditional Chinese Medicine, Fuzhou 350122, Fujian Province, China; Key Laboratory of the Ministry of Education of Bone Injury and Sports Rehabilitation of Traditional Chinese Medicine, Fuzhou 350122, Fujian Province, China; Third People's Hospital Affiliated to Fujian University of Traditional Chinese Medicine, Fuzhou 350122, Fujian Province, China

Abstract

BACKGROUND: Dual-task walking is more common in daily life, and more challenging than single-task walking. It is more conducive to find potential gait abnormalities in daily life activities. It is widely used to evaluate the changes in motor performance and gait control when attention is distracted.

OBJECTIVE: The three-dimensional gait analysis system was applied to compare the difference of gait characteristics under dual-task walking between healthy young people and elderly people so as to provide reference for preventing the elderly people from falling.

METHODS: In the youth group, there were 21 cases aged (24.57±2.27) years old and with the height of (1.64±0.08) m. In the elderly group, there were 25 cases aged (62.72±2.39) years old and with the height of (1.60±0.07) m. The two groups of subjects performed the calculation task of "minus 1 (reciprocal) starting from any number within 100" during level walking. Motion Analysis system and Visual 3D software were applied to collect and analyze the gait data. The differences of gait spatiotemporal and kinetic parameters between the two groups were compared when performing dual-task walking.

RESULTS AND CONCLUSION: (1) Spatiotemporal parameters: Compared with youth group, both stride length [(1.14±0.09) m vs. (1.20±0.07) m, $P < 0.05$] and right step length [(0.57±0.04) m vs. (0.60±0.04) m, $P < 0.01$] were smaller in the elderly group. (2) Kinetic parameters: Compared with the youth group, the left second peak hip abduction moment was higher [(0.94±0.1) Nm/kg vs. (0.86±0.16) Nm/kg, $P < 0.01$]; the left ankle plantar flexor moment was lower [(1.27±0.11) Nm/kg vs. (1.35±0.15) Nm/kg, $P < 0.05$]; and bilateral ankle valgus muscle moments were lower [(0.31±0.14) Nm/kg vs. (0.45±0.16) Nm/kg, $P < 0.01$; (0.38±0.15) Nm/kg vs. (0.51±0.14) Nm/kg, $P < 0.01$] in the elderly group. (3) These results suggest that the walking automation ability of the elderly group was lower than youth group during dual-task walking. Dual-task walking mainly affects the hip and ankle joints of the elderly, which may be related to the challenge of dual-task walking to the elderly so that they could adapt the corresponding compensatory mode to maintain stability. The characteristics of gait changes in the elderly under dual tasks can be considered as a reference for the prevention of falls.

Key words: dual task; gait analysis; spatiotemporal parameters; kinetic parameter; youth; elderly

Funding: the National Natural Science Foundation of China, No. 81774384; (to WXB); the Open Project of Fujian Rehabilitation Industry Research Institute, No. 2015Y2001-55 (to WXB); the Leading Project of Science and Technology Department of Fujian Province, No. 2017Y0046 (to WXB); the Management Project of Fujian University of Traditional Chinese Medicine, No. X2017020 (to HMJ)

How to cite this article: YANG FJ, WANG XB, HOU MJ, YU J, LI ZH, FU SX, LIN ZL, LIU BK. Comparison of gait characteristics between young and elderly people under dual tasks using three-dimensional gait analysis. *Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu.* 2021;25(3):344-349.

0 引言 Introduction

双任务步行,即在步行的同时进行另外一项需要占用认知资源的任务,如边走路边看手机、边走路边交谈等。相比于单任务步行,双任务步行更具挑战性,在日常生活中更为常见,更有利于发现日常生活活动中潜在的步态异常,被广泛用来评估注意力分散时运动表现和步态控制的变化^[1],对跌倒风险有较高的预测作用^[2],识别跌倒者的敏感性高达92.3%^[3]。随着年龄的增加,神经系统及骨骼肌肉运动功能下降,如感觉输入减少(视觉、听觉、本体感觉)或运动强度降低等,老年人步行时常表现为步速下降、步频缩短、步长和步幅减少^[4]、摆动时间缩短、单支撑及双支撑时间延长等步态特征变化^[5],这些变化可能为一种旨在增加肢体稳定性、避免跌倒的代偿策略^[6]。

最新的系统评价发现,跟单任务相比,双任务下健康老年人步速、步频降低,步幅时间及步态变异性增加^[7],但该评价仅局限于老年人群,并未同时对青年人的步态变化。目前有研究进行了青年及老年人群步态特征差异的探讨,发现在执行涉及3个不同工作记忆成分的双任务步行时,视觉空间画板的认知任务对步态的干扰更大,年龄对步长时间变异性、步长时间和步长的影响显著,老年人的步长时间变异性较年轻人更大,步长时间较长,步长较短,步宽较大,提示老年人在双任务状态下采取了更为谨慎的步态模式以保持肢体稳定^[8]。有研究与该研究结论相似,发现双任务步行条件下,与中青年人群相比,老年人的步速降低,步速变异性增加^[9]。青老年人的双任务步态有较明显的改变,这种改变与认知占用有关^[10-11],因容量共享模型理论认为,中枢处理能力是有限的,当2个任务共享相同的神经通路时,所需的注

意力资源可能超过大脑容量,故任务的性能可能下降^[12]。而步态参数的这些改变,可能也会使得关节负荷发生相应改变^[13]。

但目前双任务步行的研究多局限于二维时空参数的比较上^[7, 14],较少涉及动力学参数的研究。动力学参数即人体不同运动平面下(冠状面、矢状面、水平面)的关节负荷,如膝内收力矩(external knee adduction moment, EKAM),是膝关节冠状面所受压力负荷的反映,也是预测膝关节炎症进展和严重程度的可靠指标^[15]。动力学参数能更好地探讨步行过程中双任务情境对注意力资源分配提出挑战时下肢各关节的负荷改变,为后续研究双任务对非健康人群(如膝关节关节炎老年患者)的影响提供参考基础。现有研究中同时观察健康青年人和老年人在双任务步行时的步态特征变化并进行青老年之间比较的研究仍然较少,而分析对比健康青年人与老年人的步态特征差异,探讨年龄对双任务步行时的时空参数及其关节负荷的影响,提取特征性的步态参数,可提早为帮助制定康复方案、预防老年人跌倒风险提供依据。

综上所述,目前研究发现双任务步行条件下,同青年人相比,老年人步速降低、步长较短、步宽较大、步长时间较长,但相关研究大多集中在时空参数方面,而结合动力学参数的研究较为匮乏,尚不够较全面分析两组人群双任务步行下的步态特征。因步行时执行另一项任务会占用认知资源,且老年人群普遍认知能力下降,或许会导致健康老年组受试者的步态特征与健康青年人存在差异,可能表现在步行能力的降低及关节负荷的改变等方面。因此,该研究通过三维步态分析系统观察健康青年人和老年人双任务步行下时空参数及动力学参数的变化,探究年龄对双任务步行的影响,以期及早

期识别老年人的步态缺陷及预防跌倒提供生物力学依据。

1 对象和方法 Subjects and methods

1.1 设计 对比观察实验。

1.2 时间及地点 于2018年4月至8月在福建中医药大学三维运动分析实验室完成。

1.3 对象 该研究经福建中医药大学附属康复医院伦理委员会批准(伦理批件号:2017KY-006-01)。从福建省福州市鼓楼区各社区及福建中医药大学招募受试者。共招募合格受试者46例,其中健康老年人25例,健康青年人21例,所有合格受试者均完成课题测试。两组受试者的基线资料除年龄外,差异均无显著性意义($P > 0.05$),具有可比性。

1.3.1 纳入标准 ①年龄:青年组范围为20-30周岁,老年组范围为60-69周岁;②能自然行走,各关节活动正常;③近6个月无关节疼痛、外伤史^[16];④过去3年无跌倒史者^[17];⑤自愿参加此次测试并签署知情同意书者。

1.3.2 排除标准 ①存在可能引起步态异常的骨骼肌肉疾病或功能障碍患者,如偏瘫、截肢或视听力异常等^[18];②存在严重的心脑血管疾病及精神心理疾病的患者;③存在急性传染性疾病和严重肺结核者;④长期规律的中、高强度有氧运动(过去1年运动 ≥ 3 次/周, ≥ 150 min/周及重体力劳动者^[19]);⑤孕期及哺乳期妇女;⑥关节骨折或手术史者,如腰椎或膝关节手术史等;⑦身体结构存在明显异常者(如X型腿、O型腿、足弓异常等);⑧蒙特利尔认知评测(MOCA) < 26 分者^[20];⑨双下肢长度之差 > 2 cm者^[21];⑩对医用胶布及医用酒精过敏者。

1.4 测试仪器 运用8部红外摄像机(Eagle-4,美国,采样频率100 Hz)同步2块AMTI测力台(BP400600,美国,采样频率1500 Hz)的三维运动分析系统(Cortex 2.1, Motion Analysis Corporation,美国)进行数据采集。采用建模仿真分析软件(Visual 3D Professional V6, C-Motion Incorporation,美国)进行步态数据分析。

1.5 测试方法

1.5.1 放置荧光标记物 按照CAST方案的放置要求在受试者身上粘贴好各部位的荧光标记点(marker,直径为14 mm)^[22],位置如下:①头部标记:左右侧头前、头后点;②躯干标记:第七颈椎棘突、胸骨上切迹点,左右侧肩前、肩后、肩峰点;③上肢标记:左右侧肱骨内上髁、肱骨外上髁、桡骨茎突、尺骨茎突、第二掌指关节、上臂中部、前臂中部点;④骨盆标记:左右侧髂前上棘、髂嵴最高点、髂后上棘点;⑤下肢标记:左右侧股骨大转子、大腿中部、股骨内外上髁、小腿中部、内外踝、第5趾骨头背侧缘、第2趾骨头背侧缘、第1趾骨头背侧缘、足跟点。用弹力绷带固定大腿、小腿部位的荧光标记架(cluster)于双下肢外侧,作为运动过程中的动作追踪点,共计54个点,如图1所示。

1.5.2 步态数据采集 测试开始前先校准标定大地坐标系及8部摄影机的坐标位置后,再进行静态及动态(平地行走)数据的采集。步态数据采集前先让受试者熟悉走道后,要求



图注:按照CAST方案的要求放置54个荧光标记物

图1 | 贴点方案示意图

Figure 1 | Schematic diagram of markers

受试者以自觉舒适的速度在嵌有两块测力台的8 m走道上来回行走。受试者在进行单任务平地行走后,再进行连续从“100以内任意数字开始减1(倒数)”的双任务行走^[23]。实验者喊出100以内的任意某个数字,受试者听到此数字后即进行在该数字基础上减1的倒数。在进行双任务步行测试前,实验者给受试者详细讲解双任务的测试流程及要点,交代受试者当执行的计算任务答错时,受试者无需进行纠正,也无需停止步行,按照回答错误的数字继续向下执行减1的计算任务。每次测试均采集5组有效的步态数据。有效数据定义为:在每块测力台上仅有一只足的数据并且该足完整地踩在一块测力台上。数据采集过程中若marker掉落,则重新进行动、静态数据的采集。

1.6 主要观察指标

1.6.1 时空参数 两组受试者在双任务步行中步速、步宽、跨步长、左右侧的步长、步长时间、步行周期、支撑时间、摆动时间、步频、首次双支撑时间。

1.6.2 动力学参数 两组受试者在双任务步行中髋关节、膝关节、踝关节在矢状面、冠状面的峰值力矩。

1.7 数据处理与统计学分析

1.7.1 数据处理 将采集好的三维步态数据在Cortex中命名marker、三次样条插值法补齐缺失帧、滤波平滑(Butterworth,四阶6 Hz)后,导出文件(.c3d格式),再导入仿真建模分析软件(Visual 3D Professional V6, C-motion Inc,美国)进行骨骼静态模型的构建^[22],根据逆向动力学方法进行计算,最后将获得的数据指标导入MS excel进行整理。

1.7.2 统计学分析 采用SPSS 21.0进行统计分析。采用 $\bar{x} \pm s$ 对计量资料进行描述,如两组受试者下肢各关节的峰值力矩、时空参数等;计量资料符合正态分布者,采用两独立样本t检验;不符合正态分布者,则采用Mann-Whitney U检验;计数资料如两组受试者性别的比较,采用卡方检验。 $P < 0.05$ 认为差异有显著性意义。

2 结果 Results

2.1 老年组与青年组基线资料比较 两组受试者基线资料见表1,基线资料除年龄外,差异均无统计学意义($P > 0.05$),两组具有可比性。

2.2 老年组与青年组双任务下步态时空参数的比较 表2示,双任务下老年组跨步长小于青年组($P < 0.05$, effect size=0.744)、右侧步长小于青年组($P < 0.01$, effect size=0.750),其余参数如步速、步宽、左右侧步长时间、左右侧支撑时间、左右侧摆动时间等则未见统计学差异($P > 0.05$)。

表 1 | 研究对象基线资料

Table 1 | Baseline data of the research subjects

指标	青年组 (n=21)	老年组 (n=25)	t/Z/x ² 值	P 值
年龄 ($\bar{x}\pm s$, 岁)	24.57±2.27	62.72±2.39 [#]	-5.812	< 0.001
身高 ($\bar{x}\pm s$, m)	1.64±0.08	1.60±0.07 [#]	-1.836	0.066
体质量 ($\bar{x}\pm s$, kg)	55.94±8.16	57.3±5.84	0.656	0.515
性别 (男/女, n) ^{##}	8/13	9/16	0.022	0.883
利腿 (左/右, n) ^{##}	0/21	0/25	N/A	N/A

表注: [#] 表示数据不符合正态分布, 采用非参数检验; ^{##}: 计数资料, 采用卡方检验

表 2 | 青年及老年两组双任务下步态时空参数结果比较 (x̄±s)
Table 2 | Comparison of gait spatiotemporal parameters between the young and elderly groups under dual tasks

侧别	指标 (单位)	青年组	老年组	t/Z 值	P 值
左侧	步速 (m/s)	1.15±0.09	1.08±0.14	-1.764	0.078
	步宽 (m)	0.10±0.02	0.10±0.02	0.965	0.340
	跨步长 (m)	1.20±0.07	1.14±0.09	2.596	0.013
	步长 (m)	0.60±0.03 [#]	0.58±0.04 [#]	-0.871	0.384
	步长时间 (m/s)	0.53±0.03	0.55±0.06	-0.739	0.460
	支撑时间 (s)	0.65±0.04	0.68±0.08	-1.136	0.256
	摆动时间 (s)	0.40±0.02	0.41±0.05	-0.176	0.860
	步行周期 (s)	1.05±0.06	1.08±0.14	-0.199	0.843
	步频 (step/min)	114.20±6.39	111.32±12.02	-0.739	0.460
	首次双支撑时间 (s)	0.13±0.01	0.14±0.02	-1.607	0.115
右侧	步长 (m)	0.60±0.04	0.57±0.04	2.780	0.008
	步长时间 (s)	0.52±0.03	0.54±0.06	-0.585	0.559
	支撑时间 (s)	0.66±0.04	0.68±0.08	-1.18	0.238
	摆动时间 (s)	0.39±0.02	0.40±0.05	-0.551	0.581
	步行周期 (s)	1.06±0.07	1.07±0.14	-0.022	0.982
	步频 (step/min)	115.36±7.37	113.2±13.24	-0.143	0.886
	首次双支撑时间 (s)	0.13±0.01 [#]	0.14±0.02	-1.555	0.120

表注: [#] 表示数据不符合正态分布, 采用非参数检验

2.3 老年组与青年组双任务下步态动力学参数的比较

表 3 示, 双任务下老年组左侧髋外展肌力矩第二峰值 (second peak hip abductor moment, PHAM2) 高于青年组 ($P < 0.01$, effect size=0.600)、左侧踝跖屈肌力矩低于青年组 ($P < 0.05$, effect size=0.608)、左右两侧踝外翻肌力矩低于青年组 ($P < 0.01$, effect size=0.931; $P < 0.01$, effect size=0.896), 其余参数如左右侧伸髋肌力矩、左右侧髋外展肌力矩第一峰值 (first peak hip abductor moment, PHAM1) 等未见统计学差异 ($P > 0.05$)。

3 讨论 Discussion

此次研究的目的是应用三维步态分析系统探讨正常老年和青年人在双任务下步态特征差异, 结果表明, 双任务步行中, 老年组与青年组相比: 跨步长、右侧步长较小 ($P < 0.05$), 其余时空参数则未见统计学差异 ($P > 0.05$); 左侧 PHAM2 较高、左侧踝跖屈肌力矩及左右两侧踝外翻肌力矩较低 ($P < 0.05$), 其余动力学参数未见统计学差异 ($P > 0.05$)。

3.1 老年组与青年组双任务下步态时空参数分析 最新研究发现, 与单任务相比, 双任务步行下青老年两组人群的步幅更短、步幅时间更长、步幅长度和步幅时间变异性更高, 年龄越大, 双任务步行下的步幅越短^[24]。此次研究结果示, 双任务步行时, 老年组受试者的跨步长及右步长均小于青年组, 这与以上研究结果具有一致性。跨步长是指行走时足跟着地

表 3 | 青年及老年两组双任务下步态动力学参数结果比较 (x̄±s, Nm/kg)

Table 3 | Comparison of gait kinetic parameters between the two groups under dual tasks

指标	青年组 (n=21)	老年组 (n=25)	t/Z 值	P 值
左侧髋关节				
伸髋肌力矩	0.49±0.08	0.52±0.13	-0.682	0.499
PHAM1	0.93±0.16	0.98±0.12	-1.203	0.236
PHAM2	0.86±0.16 [#]	0.94±0.10	-2.613	0.009
右侧髋关节				
伸髋肌力矩	0.53±0.10	0.53±0.14	0.122	0.903
PHAM1	0.94±0.16	0.98±0.14	-0.867	0.391
PHAM2	0.93±0.15 [#]	0.94±0.12	-1.070	0.285
左侧膝关节				
伸膝肌力矩	0.47±0.18 [#]	0.48±0.21	-0.121	0.903
EKAM1	0.40±0.09	0.42±0.13	-0.403	0.689
EKAM2	0.27±0.15 [#]	0.32±0.12	-1.841	0.066
右侧膝关节				
伸膝肌力矩	0.44±0.15	0.42±0.19	0.410	0.684
EKAM1	0.41±0.12	0.41±0.16	-0.014	0.989
EKAM2	0.23±0.12 [#]	0.27±0.16 [#]	-0.496	0.620
左侧踝关节				
踝跖屈肌力矩	1.35±0.15	1.27±0.11	2.289	0.027
踝外翻肌力矩	0.45±0.16	0.31±0.14	3.059	0.004
右侧踝关节				
踝跖屈肌力矩	1.35±0.12	1.28±0.11	1.955	0.057
踝外翻肌力矩	0.51±0.14	0.38±0.15	3.166	0.003

表注: [#] 表示数据不符合正态分布, 采用非参数检验。EKAM1: 膝内收力矩第一峰值; EKAM2: 膝内收力矩第二峰值; PHAM1: 髋外展肌力矩第一峰值; PHAM2: 髋外展肌力矩第二峰值

到该侧足跟再次着地所行进的距离, 又称步幅, 是步长的 2 倍^[25]。步长代表步行的自动化程度^[26], 步长较小说明双任务条件下老年人步行的自动化程度可能低于青年组。老年组右侧步长小于青年组, 左侧没有出现差异, 考虑到可能是两组受试者技术优势腿皆为右侧腿的缘故, 自动化程度对技术优势腿影响较大, 因此右侧步行自动化程度下降可能更明显。

相关文献报道, 单任务下, 青老年人群的步速、步频和步行时间均优于双任务下, 表明双任务对青老年的行走均有影响, 而老年人所受影响程度更大^[27]。多数研究发现老年人步速低于青年人^[28-29], 然而此次研究中两者步速、步频未出现统计学差异, 考虑可能因为连续减 1 的任务难度不高且具有节律性, 节律性受认知控制^[30], 对老年人群的影响更大, 而大多数研究发现老年人的步频低于青年人^[4, 29], 这种节律性的影响可能使得两组人群步频未见统计学差异。老年人群的步行自动化程度低, 节律性的听觉提示, 可能会促使老年人步速趋于一个可预测的固有规律^[31-32], 使得青老年两组受试者步速比较未见统计学差异。步宽与下肢支撑面积成正比, 与平衡功能紧密相关^[33], 此次研究中两组人群未见统计学差异, 可能跟老年组的平衡功能较好有关 (Berg 评分为 55.92±0.28)。摆动期和支撑期的时间参数差异与记忆衰退有关^[34], 两组未见统计学差异的原因考虑可能跟老年组良好的认知能力有关 (MOCA 评分 ≥ 26 分)。

3.2 老年组与青年组双任务下步态动力学参数分析 髋关节周围的肌肉功能对于维持肢体稳定及控制步态十分重要, 尤其在肢体侧向平衡方面^[35], 控制稳定骨盆运动, 保证正常步行程序。表 3 结果示, 双任务下老年组左髋 PHAM2 高于青

年组,左右髌 PHAM1 及右侧 PHAM2 两组比较皆未见统计学差异。人体在日常动态活动过程中,髌外展肌的活动控制了躯体重心的左右晃动,具有维持动态稳定性的作用^[36-37]。双任务步行因额外进行着认知任务,而注意力资源有限,使得老年人在双任务条件下的步态稳定性低于单任务,相比青年人,双任务对老年人影响较大^[38-39],老年组稳定能力较弱,需要通过增加髌外展肌肌力来保证侧向稳定,髌外展肌肌力的增加使得步宽与青年人趋于一致。两组统计学差异主要体现在 PHAM2,即髌外展力矩第二峰值,考虑是因为 PHAM2 发生于人体步行时的支撑末期,即足蹬离地面期,即将进入摆动期状态,人体重心向上向前变化较大,躯体由稳定状态转换到失稳状态,加上双任务的干扰作用,肢体稳定性下降,因此老年组需要更大的髌外展力矩以应对失稳,从而维持肢体平衡以保证步行活动正常进行。此次研究 PHAM2 的差异主要体现在左侧,两组受试者皆为右侧利腿,双任务下老年组非优势侧的左侧支撑作用在左侧踝跖屈力矩减少的情况下,需要在支撑相末期即足蹬离时通过增大的左侧髌外展肌力矩来实现有效蹬离,但足着地时可能稳定性较好,对右侧髌外展力矩未表现出影响。双任务步行是否可以在后续作为训练老年人髌外展肌群,作为提高步行稳定性的康复方案的一部分,值得进一步探讨。

在行走过程中,地面反作用力作用于膝关节使其产生内翻趋势被称为膝内收力矩(EKAM),是冠状面地面反作用力与膝关节力臂的乘积。一个步行周期中 EKAM 有 2 个峰值,一般在支撑早期和支撑晚期产生^[40-41]。EKAM 是膝关节所受压力负荷的反映,也是预测膝骨性关节炎进展和严重程度的可靠指标^[42]。此次研究中,青年与老年两组受试者的左右双膝的 EKAM1 和 EKAM2 比较皆未见统计学差异,同时和两组受试者在矢状面屈伸膝肌力矩未见统计学差异的结果,说明此次研究的双任务步行下老年组膝关节承受的压力负荷较青年组尚无明显变化。另外此次研究纳入的老年人已筛除有骨骼肌肉疾病和认知障碍者,年龄均较轻,膝关节功能较好,可能因此未见明显统计学差异。

表 3 结果示,老年组左侧踝跖屈肌力矩低于青年组,而老年组受试者的右侧踝跖屈肌力矩与青年组未见统计学差异,这与相关研究结果即青老年两组双侧踝跖屈肌力的对比皆出现统计学差异不完全一致^[43-45],主要体现在该研究中青老年两组受试者出现一侧的踝跖屈肌力矩无统计学差异。随着年龄的增长,足跖屈肌的生理和生物力学性能降低,步行时额外的认知干扰,可能改变了步行的运动模式,导致老年人步行时这些肌肉的扭矩和力量比年轻人少^[43]。相关研究发现青年人与老年人以相同的步速行走时,老年人伸髌和伸膝肌群使用较多,踝跖屈肌使用较少^[43],与此次研究中老年组左侧踝跖屈肌力矩较青年组降低一致,可能左侧为非优势腿主要起肢体支撑作用^[46],对踝跖屈肌的影响较大有关。另外,两组右侧踝跖屈肌力矩未见统计学差异,可能与两组受试者均以右侧为技术优势腿,对踝跖屈影响较小有关。此次研究

中,双任务下老年组左右两侧踝外翻肌力矩均低于青年组,可能因为老年组踝跖屈肌的使用较少,踝跖屈肌的肌力减少使得踝外翻肌的肌力也下降,故踝外翻肌力矩较青年人低。且老年组右侧虽无踝跖屈力矩下降,仍出现踝外翻力矩的下降,是否此变化为踝策略改变的早期信号之一,值得探讨。踝跖屈与外翻肌群的训练可能可以作为老年人的康复方案选择。前述膝关节力矩无变化也可能与踝、髌的代偿作用有关。

此次研究尚存在不足之处:①未结合分析运动学参数,即下肢各关节的运动活动范围,运动学参数与时空及动力学参数紧密相关、相互影响,可帮助更为全面得探讨分析关节功能状况;②研究中虽未进行优势侧与非优势侧下肢的比较,但两组对比结果出现较多的左右侧差异,提示后续可以更深入研究两侧下肢在步行过程中的功能差异;③由于执行的计算任务存在节律性,可能会影响受试者的步行节奏,影响步态时空参数^[47-48];④未结合关注性别因素可能造成的相关影响。

结论:综上所述,双任务步行主要影响老年人的髌踝关节,可能与双任务步行对老年人挑战较大有关,使其采取了相应的代偿模式以保持稳定,建议老年人平时生活中加强对髌膝关节的功能锻炼;双任务步行下老年人步行自动化能力较低,提示可能会损害老年人的步行功能,增加跌倒风险,建议老年人日常生活中尽量避免步行时同时进行其他占用认知资源的活动;同时,双任务下老年人的步态变化特征可能考虑为预防跌倒提供一定参考依据。

作者贡献:试验设计由通讯作者和第一作者完成,试验实施及论文写作由第一作者完成,通讯作者负责试验改进、监督课题实施及论文修改等,协助试验实施、经费管理与报销、文献收集等则由其他作者完成。

经费支持:该文章接受了“国家自然科学基金(81774384)、福建省康复产业研究院开放课题(2015Y2001-55)、福建省科技厅引导性项目(2017Y0046)及福建中医药大学校级课题(X2017020)”的资助。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:文章的全部作者声明,在课题研究和文章撰写过程中不存在利益冲突。

机构伦理问题:该临床研究的实施符合《赫尔辛基宣言》和福建中医药大学附属康复医院伦理委员会的批准(伦理批件号:2017KY-006-01)。

知情同意问题:受试者自愿签署知情同意书。

写作指南:该研究遵守《观察性临床研究报告指南》(STROBE 指南)。

文章查重:文章出版前已经过专业反剽窃文献检测系统进行 3 次查重。

文章外审:文章经小同行外审专家双盲外审,同行评议认为文章符合期刊发稿宗旨。

生物统计学声明:该文统计学方法已经福建中医药大学相关生物统计学专家审核。

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 4.0”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] MUIR-HUNTER SW, WITTWER JE. Dual-task testing to predict falls in community-dwelling older adults: a systematic review. *Physiotherapy*. 2016; 102(1):29-40.
- [2] LUNDIN-OLSSON L, NYBERG L, GUSTAFSON Y. "Stops walking when talking" as a predictor of falls in elderly people. *Lancet*.1997;349(9052):617.
- [3] COMMANDEUR D, KLIMSTRA MD, MACDONALD S, et al. Difference scores between single-task and dual-task gait measures are better than clinical measures for detection of fall-risk in community-dwelling older adults. *Gait Posture*.2018;66:155-159.
- [4] HERSENS N, VERBECQUE E, HALLEMANS A, et al. Do spatiotemporal parameters and gait variability differ across the lifespan of healthy adults? A systematic review. *Gait Posture*.2018;64: 181-190.
- [5] 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.
- [6] ABOUTORABI A, ARAZPOUR M, BAHRAMIZADEH M, et al. The effect of aging on gait parameters in able-bodied older subjects: a literature review. *Aging Clin Exp Res*.2016;28(3): 393-405.
- [7] SMITH E, CUSACK T, CUNNINGHAM C, et al. The Influence of a Cognitive Dual Task on the Gait Parameters of Healthy Older Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Aging and Physical Activity*. 2017; 25(4):671-686.
- [8] QU X. Age-related cognitive task effects on gait characteristics: do different working memory components make a difference?. *J Neuroeng Rehabil*.2014;11:149.
- [9] HOLLMAN J H, KOVASH FM, KUBIK JJ, et al. Age-related differences in spatiotemporal markers of gait stability during dual task walking. *Gait Posture*.2007;26(1):113-119.
- [10] STUART S, ALCOCK L, ROCHESTER L, et al. Monitoring multiple cortical regions during walking in young and older adults: Dual-task response and comparison challenges. *Int J Psychophysiol*. 2019;135:63-72.
- [11] KICKERT L, VUILLERME N, VAN CAMPEN J P, et al. The relationship between gait dynamics and future cognitive decline: a prospective pilot study in geriatric patients. *Int Psychogeriatr*.2018;30(9):1301-1309.
- [12] TOMBU M, JOLICOEUR P. A central capacity sharing model of dual-task performance. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*.2003;29(1):3-18.
- [13] MCGRATH R L, ZIEGLER ML, PIRES-FERNANDES M, et al. The effect of stride length on lower extremity joint kinetics at various gait speeds. *PLoS One*.2019;14(2):e200862.
- [14] KO SU, JEROME GJ, SIMONSICK EM, et al. Differential associations between dual-task walking abilities and usual gait patterns in healthy older adults-Results from the Baltimore Longitudinal Study of Aging. *Gait Posture*.2018;63:63-67.
- [15] MOYER RF, RATNESWARAN A, BEIER F, et al. Osteoarthritis year in review 2014: mechanics--basic and clinical studies in osteoarthritis. *Osteoarthritis Cartilage*.2014;22(12):1989-2002.
- [16] PAQUETTE MR, ZHANG S, MILNER CE, et al. Effects of increased step width on frontal plane knee biomechanics in healthy older adults during stair descent. *Knee*.2014;21(4):821-826.
- [17] SONG Q, TIAN X, WONG D, et al. Effects of Tai Chi Exercise on body stability among the elderly during stair descent under different levels of illumination. *Res Sports Med*.2017;25(2):197-208.
- [18] DEMURA T, DEMURA S, UCHIYAMA M, et al. Examination of factors affecting gait properties in healthy older adults: focusing on knee extension strength, visual acuity, and knee joint pain. *J Geriatr Phys Ther*.2014;37(2):52-57.
- [19] GUADAGNIN E C, DA RE, MOTA CB, et al. Effects of regular exercise and dual tasking on spatial and temporal parameters of obstacle negotiation in elderly women. *Gait Posture*.2015;42(3):251-256.
- [20] ALARCON R, NALPAS B, PELLETIER S, et al. MoCA as a Screening Tool of Neuropsychological Deficits in Alcohol-Dependent Patients. *Alcohol Clin Exp Res*.2015;39(6):1042-1048.
- [21] AIONA M, DO KP, EMARA K, et al. Gait patterns in children with limb length discrepancy. *J Pediatr Orthop*.2015;35(3):280-284.
- [22] CAPPOZZO A, CATANI F, CROCE U D, et al. Position and orientation in space of bones during movement: anatomical frame definition and determination[J]. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 1995;10(4):171-178.
- [23] AL-YAHYA E, DAWES H, SMITH L, et al. Cognitive motor interference while walking: a systematic review and meta-analysis. *Neurosci Biobehav Rev*. 2011;35(3):715-728.
- [24] BONETTI LV, HASSAN SA, KASAWARA KT, et al. The effect of mental tracking task on spatiotemporal gait parameters in healthy younger and middle- and older aged participants during dual tasking. *Exp Brain Res*. 2019;237(12): 3123-3132.
- [25] 黄萍, 钟慧敏, 陈博, 等. 正常青年人三维步态: 时空及运动学和运动力学参数分析 [J]. *中国组织工程研究*, 2015,19(24):3882-3888.
- [26] A G, US N. The effect of age on variability in gait. *J Gerontol*.1984;39(6): 662-666.
- [27] 刘立, 张庭然, 罗炯, 等. 老年人与年轻人双任务下阶梯行走步态特征比较 [J]. *中国康复理论与实践*, 2020,26(3):285-290.
- [28] PRIEST AW, SALAMON KB, HOLLMAN JH. Age-related differences in dual task walking: a cross sectional study. *J Neuroeng Rehabil*.2008;5:29.
- [29] AGNER S, BERNET J, BRULHART Y, et al. Spatiotemporal gait parameters during dual task walking in need of care elderly and young adults. A cross-sectional study. *Z Gerontol Geriatr*. 2015;48(8):740-746.
- [30] KIM SJ, CHO SR, YOO GE. The Applicability of Rhythm-Motor Tasks to a New Dual Task Paradigm for Older Adults. *Front Neurol*.2017;8:671.
- [31] DUCHARME SW, SANDS CJ, MOORE CC, et al. Changes to gait speed and the walk ratio with rhythmic auditory cuing. *Gait Posture*.2018;66:255-259.
- [32] EIKEMA DJ, FORRESTER LW, WHITALL J. Manipulating the stride length/stride velocity relationship of walking using a treadmill and rhythmic auditory cueing in non-disabled older individuals. A short-term feasibility study. *Gait Posture*.2014;40(4):712-714.
- [33] HEITMANN DK, GOSSMAN MR, SHADDEAU SA, et al. Balance performance and step width in noninstitutionalized, elderly, female fallers and nonfallers. *Phys Ther*.1989;69(11):923-931.
- [34] VERGHESE J, WANG C, LIPTON RB, et al. Quantitative gait dysfunction and risk of cognitive decline and dementia. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2007; 78(9):929-935.
- [35] ARVIN M, VAN DIEEN J H, FABER GS, et al. Hip abductor neuromuscular capacity: A limiting factor in mediolateral balance control in older adults?. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2016;37:27-33.
- [36] PORTO JM, FREIRE JR, BOCARDE L, et al. Contribution of hip abductor-adductor muscles on static and dynamic balance of community-dwelling older adults. *Aging Clin Exp Res*. 2019;31(5): 621-627.
- [37] DAVIS LA, ALLEN SP, HAMILTON LD, et al. Differences in postural sway among healthy adults are associated with the ability to perform steady contractions with leg muscles. *Exp Brain Res*. 2020;238(2):487-497.
- [38] ROGAN S, TAEYMANS J, BANGERTER C, et al. Influence of single and dual tasks on gait stability and gait speed in the elderly : An explorative study. *Z Gerontol Geriatr*.2019;52(1):23-27.
- [39] NIEBOROWSKA V, LAU ST, CAMPOS J, et al. Effects of Age on Dual-Task Walking While Listening. *J Mot Behav*.2019;51(4):416-427.
- [40] SIMIC M, HINMAN RS, WRIGLEY TV, et al. Gait modification strategies for altering medial knee joint load: a systematic review. *Arthritis Care Res (Hoboken)*.2011;63(3):405-426.
- [41] FUKAYA T, MUTSUZAKI H, MORI K. Relations between external moment and movement of the knee joint during the stance phase in patients with severe knee osteoarthritis. *J Orthop*. 2019;16(1): 101-104.
- [42] KITO N, SHINKODA K, YAMASAKI T, et al. Contribution of knee adduction moment impulse to pain and disability in Japanese women with medial knee osteoarthritis. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2010;25(9):914-919.
- [43] DEVITA P, HORTOBAGYI T. Age causes a redistribution of joint torques and powers during gait. *J Appl Physiol (1985)*. 2000;88(5):1804-1811.
- [44] JUDGE J O, UNDERWOOD M, GENNOSA T. Exercise to improve gait velocity in older persons. *Arch Phys Med Rehabil*.1993;74(4):400-406.
- [45] KERRIGAN D C, TODD M K, DELLA C U, et al. Biomechanical gait alterations independent of speed in the healthy elderly: evidence for specific limiting impairments. *Arch Phys Med Rehabil*. 1998;79(3):317-322.
- [46] PETERS M. Footedness: asymmetries in foot preference and skill and neuropsychological assessment of foot movement. *Psychol Bull*.1988; 103(2):179-192.
- [47] HIRASHIMA K, HIGUCHI Y, IMAOKA M, et al. Dual-tasking over an extended walking distance is associated with falls among community-dwelling older adults. *Clin Interv Aging*.2015;10:643-648.
- [48] KRIBUS-SHMIEL L, ZEILIG G, SOKOLOVSKI B, et al. How many strides are required for a reliable estimation of temporal gait parameters? Implementation of a new algorithm on the phase coordination index. *PLoS One*.2018;13(2):e192049.