

文章编号: 1004-7220(2022)05-0851-06

不同任务介入对青年行走动态稳定性及 双任务成本的影响

刘鑫玥¹, 霍洪峰^{1,2}

(1. 河北师范大学 体育学院, 石家庄 050024; 2. 河北省人体运动生物信息测评重点实验室, 石家庄 050024)

摘要:目的 对比不同双任务行走时动态稳定性及双任务稳定性成本的差异。方法 利用三维运动捕捉系统采集 40 名受试者不同双任务行走时的运动学数据,并间接计算相关动态稳定性指标。采用单因素重复测量方差分析对比单任务行走与不同双任务行走步态参数及动态稳定性差异,采用双因素重复测量方差分析双任务类型(认知任务和运动任务)和任务负荷(简单任务和困难任务)对人体双任务稳定性成本的影响以及两者之间的交互作用。结果 与单任务相比,不同双任务介入时步速均降低($P<0.05$),步频和动态稳定性均增加($P<0.05$),在 2 倍运动负荷介入时步长小于单任务步行($P<0.05$),1 倍认知任务和 2 倍认知任务介入时步宽大于单任务步行($P<0.05$)。简单认知双任务稳定性成本大于简单运动双任务稳定性成本($P<0.05$),困难认知双任务稳定性成本小于困难运动双任务($P<0.05$),简单运动双任务稳定成本小于困难运动双任务($P<0.05$)。结论 与单任务行走相比,不同双任务的介入均会增加人体动态稳定性;对于双任务稳定性成本,不同任务类型以及不同任务负荷之间存在交互效应。当任务负荷较高时,认知任务的双任务成本较低,即认知任务的负向干扰幅度增大,会损害机体的动态姿势控制能力。当第 2 任务为运动任务时,较低负荷下对人体动态稳定性的负向干扰幅度增大,降低动态姿势控制能力。**关键词:** 双任务成本; 动态稳定性; 行走; 姿势控制能力

中图分类号: R 318.01 文献标志码: A

DOI: 10.16156/j.1004-7220.2022.05.013

Effects of Different Task Interventions on Dynamic Stability and Dual-Task Cost of Young Adults During Walking

LIU Xinyue¹, HUO Hongfeng^{1,2}

(1. College of Physical Education, Hebei Normal University, Shijiazhuang 050024, China; 2. Hebei Key Laboratory of Human Motion Bioinformation Assessment, Shijiazhuang 050024, China)

Abstract: **Objective** To compare the differences in dynamic stability and cost of dual-task stability during walking with different dual tasks. **Methods** Kinematics data of 40 subjects walking with different dual tasks were collected by three-dimensional (3D) motion capture system, and the related dynamic stability indexes were indirectly calculated. One-way repeated measures ANOVA was used to compare gait parameters and dynamic stability between single-task walking and different dual-task walking. Two-way repeated measures ANOVA was used to analyze the effects of dual-task types (cognitive tasks and motor tasks) and task loads (simple tasks and difficult tasks) on cost of human dual-task stability and the interaction between them. **Results** Compared with the single task, the pace under intervention of different dual tasks decreased ($P<0.05$), the pacing frequency and dynamic

收稿日期: 2022-04-05; 修回日期: 2022-04-29

基金项目: 河北省科技支撑项目(16275709), 河北省专业学位研究生教学案例建设项目(KCJSZ2020031)

通信作者: 霍洪峰, 高级实验师, 硕士生导师, E-mail: hhf413@163.com

stability increased ($P < 0.05$), the step length under intervention of double motor loads was smaller than that during single-task walking ($P < 0.05$), and the step length under intervention of a single cognitive task and double cognitive tasks was larger than that during single-task walking ($P < 0.05$). The stability cost of a simple cognitive task was higher than that of a simple motor task ($P < 0.05$), the stability cost of a difficult cognitive task was lower than that of a difficult motor task ($P < 0.05$), and the stability cost of a simple motor task was lower than that of a difficult motor task ($P < 0.05$). **Conclusions** Compared with single-task walking, the intervention of different dual tasks will increase dynamic stability of human body. For the stability cost of dual tasks, there are interaction effects among different task types and different task loads. When the task load is high, the dual-task cost of the cognitive task is low. Namely, the negative interference amplitude of the cognitive task increases, which will damage dynamic posture control ability of the body. When the second task is the motor task, the negative interference amplitude on dynamic stability of human body increases under a low load, which reduces dynamic posture control ability.

Key words: dual-task cost; dynamic stability; walking; posture control ability

在日常生活中行走时,人们经常需要面对同时执行多项任务的情况,例如一边走路一边交谈、行走时接打电话、推购物车选购商品等。这种常见的日常生活机制被定义为双任务步行,即在步行的同时完成一项认知任务或其他运动任务,以模拟日常生活中具有挑战性的情况,可以用于检查认知与姿势控制之间的相互作用^[1-3]。双任务步行时需要处理相互竞争任务之间的干扰和切换,对大脑注意力资源造成更大压力,容易暴露出早期的姿势控制障碍^[4]。根据每个次级任务所需的处理能力,与单独步行相比,同时执行双任务时通常会导致其中一项或两项任务的任务性能下降,该情况被称为双任务干扰。分别评估双任务步行时的步态和认知双任务干扰,可以揭示不同次级任务在干扰模式上的差异,间接量化跌倒风险^[5]。

双任务的干扰幅度可以通过双任务成本进行量化,该成本估算了同时执行两项任务与单独执行任务时相比性能提高或降低的量^[6-7]。近年来,双任务步行成本逐渐成为评价认知功能和跌倒风险预测的潜力性指标^[8-10]。Lee 等^[11]研究发现,高跌倒风险人群的步速双任务成本几乎是低风险人群的 2 倍。梁明前^[12]研究认为,步幅双任务成本和步频双任务成本可以更好地应用于老年人步态评估,双任务步态时空参数成本可以在一定程度上评价异常步态、预测跌倒风险,但无法客观反映出步态周期中特定阶段的姿势控制成本,故量化跌倒风险存在一定局限性^[13-14]。本文评估单任务行走与不同双任务行走时动态稳定性和双任务稳

定性成本的变化,研究假设:与单任务行走相比,双任务介入会增加人体动态稳定性,并且不同任务类型以及不同任务负荷下的双任务成本可能存在差异。

1 研究对象与方法

1.1 受试者

招募 40 名健康男性大学生作为实验对象,年龄(23.6 ± 1.2) 岁,身高(1.78 ± 0.03) m,身体质量指数(body mass index, BMI)为(22.74 ± 1.10) kg/m^2 ,优势侧均为右侧。纳入标准:① 年龄 20~25 岁;② 身体健康,上下肢肌力、肌张力正常,近半年内无上下肢损伤史和手术史,无动态姿势控制障碍;③ 意识清楚,无认知障碍,可以理解实验要求并顺利配合完成实验。排除标准:① 因上下肢骨折、畸形,疼痛或存在其他神经肌肉疾病,导致无法持水杯正常行走者;② 存在视觉、前庭觉、本体感觉障碍影响平衡能力者;③ 意识不清,存在精神障碍或智力障碍,无法配合完成实验。所有受试者在了解实验目的以及实验流程后均自愿参加实验,并签署知情同意书。本研究获得河北师范大学生物医学伦理委员会批准。

1.2 实验仪器

1.2.1 三维动作捕捉系统 8 镜头三维运动捕捉系统(像素 $2\ 352 \times 1\ 728$,采集频率 120 Hz, Motion 公司,美国),用于采集和分析处理受试者不同双任务行走时的运动学数据。

1.2.2 其他设备 标有清晰容量刻度(400 mL)

的玻璃水杯和随机数生成器 app,用来完成不同双任务行走时运动次级任务和认知次级任务的干预。

1.3 实验流程

在正式实验前,由实验人员向受试者说明实验内容及具体操作,通过踢足球确定好优势侧。受试者统一穿着实验室提供的无反光紧身衣和运动鞋,由1位专门的实验人员完成所有受试者标志点粘贴以及后续的认知任务和运动任务干预(见图1)。另一位实验人员调试实验仪器并准备采集数据。在做好准备工作后,通知受试者进入测试区域,站立在指定位置等待指令。实验测试包括如下3种任务形式。

① 单任务行走:在实验人员给出“开始”指令后,受试者在指定区域内自然行走,到达区域边缘时自动停止。

② 认知双任务步行:认知干预采用 n-back 听觉语言认知任务,在受试者行走同时由实验人员念出不明确数列长度的1串数字。简单认知任务行走时,受试者需在听到数列的同时开始行走,在数列结束后立刻回答出倒数第2个数字并停止步行;困难认知任务行走时,需立刻回答出倒数第3个数字,回答出正确答案算作1次有效数据;

③ 运动双任务步行:运动干预采用手持装有不同容量水的水杯。简单运动任务行走时,受试者需在听到“开始”指令后,在优势侧手握持装有200 mL水的水杯的情况下自然行走,到达区域边界后自动停止步行。困难运动双任务行走时,需握持装有400 mL水的水杯步行,水杯中的水不洒出算作1次有效数据。



图1 实验场景

Fig.1 Set-up of the experiment

整个实验流程均在宽敞安静的实验室内完成,

不同双任务的实施顺序通过随机数生成器 app 完全随机生成,每种任务条件,测3次有效数据,取其平均值进行统计学分析。每完成1次步行测试,受试者需休息1 min。

1.4 数据处理与实验指标

运动学数据采用 Cortex 软件(Motion 公司,美国)进行处理,命名并识别29个标志点,建立 Helen Hayes 模型,补齐缺失帧,删除未命名点,截取出有效数据范围,采用 Butter-worth 四阶低通滤波(截断频率6 Hz)后导出所有标志点及身体重心的三维坐标以及身体重心速度。选取优势腿脚跟触地时刻数据进行分析,取3次有效数据计算平均值后进行统计学分析。

1.4.1 步态参数 ① 步速:身体重心速度;② 步长:优势腿脚跟触地时刻左右脚跟标志点坐标的前后方向距离;③ 步宽:优势腿脚跟触地时刻左右脚跟标志点坐标的左右方向距离;④ 步频:每分钟迈出的步数。

1.4.2 动态稳定性指标 动态稳定裕度(margins of stability, MOS):外推质心(center of mass, COM)与支撑基底面边缘之间的最短距离。MOS为负,表示人体处于不稳定状态;MOS绝对值越大,外推COM与支撑边缘距离越长,动态稳定性则越差。MOS的计算公式为:

$$\omega_0 = \sqrt{g/l}$$

$$CM = d_{COM} - v_{COM}/\omega_0 \quad (1)$$

$$MOS = B_{max} - CM$$

式中: ω_0 为人体倒置钟摆模型的固有频率; g 为重力加速度($1 g = 9.8 \text{ N/kg}$); l 为人体COM到地面的垂直距离; CM 为外推COM; d_{COM} 、 v_{COM} 分别表示某时刻COM的位移和速度;MOS为某时刻的动态稳定裕度; B_{max} 为支撑面某一方向的最大支撑边缘(本文采用非优势腿脚尖与脚跟标志点前后方向的中点坐标表示)。

双任务稳定性成本:人体行走动态稳定性被双任务干扰的程度可以用双任务成本来量化,即单任务到双任务的相对变化值(%)。其值为正值时,代表双任务动态稳定性能提高;值越小,性能越差,被正向干扰的幅度越小。计算公式为:

$$\text{双任务任务稳定性} = [(\text{单任务} - \text{双任务}) \div \text{单任务}] \times 100\% \quad (2)$$

1.5 统计学分析

统计学分析采用统计软件 SPSS 25.0,所有数据以平均值±标准差表示。采用 Shapiro-Wilk 法对数据进行正态分布检验。采用单因素重复测量方差分析(one-way repeated measures ANOVA)对比单任务行走与不同双任务行走步态参数及动态稳定性差异,采用双因素重复测量方差分析(two-way repeated measures ANOVA)双任务类型(认知任务和运动任务)和任务负荷(简单任务和困难任务)对人体双任务稳定性成本的影响以及两者之间的交互作用, $P<0.05$ 表示差异具有统计学意义。

表 1 不同双任务介入步态参数及动态稳定裕度

Tab. 1 Gait parameters and dynamic margins of stability for different dual task interventions

参数	单任务步行	1 倍认知负荷	2 倍认知负荷	1 倍运动负荷	2 倍运动负荷
步速/($m \cdot s^{-1}$)	1.28±0.09	1.18±0.06 ^a	1.14±0.14 ^a	1.21±0.07 ^a	1.10±0.06 ^a
步长/m	0.62±0.04	0.63±0.04	0.62±0.05	0.64±0.06	0.59±0.04 ^a
步宽/m	0.11±0.04	0.13±0.03 ^a	0.13±0.04 ^a	0.11±0.04	0.12±0.03
步频/($step \cdot min^{-1}$)	98.70±4.77	103.50±6.28 ^a	105.10±4.40 ^a	105.70±4.25 ^a	102.50±4.68 ^a
动态稳定裕度/m	-0.34±0.03	-0.30±0.02 ^a	-0.29±0.01 ^a	-0.32±0.03 ^a	-0.28±0.04 ^a

注:^a表示与单任务相比, $P<0.05$; $n=40$ 。

2.2 双任务成本

不同双任务介入时人体脚跟触地时刻双任务稳定性成本对比结果表明,脚跟触地时刻双任务稳定性成本在任务类型和任务负荷之间存在交互效应($P<0.05$)。简单认知双任务稳定性成本大于简单运动双任务稳定性成本($F=11.434, P<0.001$),困难认知双任务稳定性成本小于困难运动双任务($F=12.901, P<0.001$),任务负荷简单效应分析结果显示简单认知双任务稳定性成本小于困难认知双任务($F=1.208, P=0.275$),简单运动双任务稳定成本小于困难运动双任务($F=143.593, P<0.001$),见图 2、表 2。

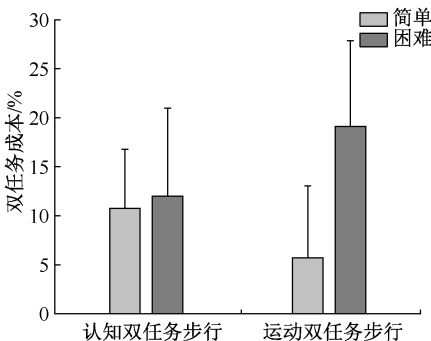


图 2 不同双任务介入双任务稳定性成本

Fig. 2 Stability costs of dual-task interventions for different dual tasks

2 结果

2.1 步态参数及动态稳定性指标

与单任务相比,不同双任务介入时步速均降低($P<0.05$),步频均增加($P<0.05$),动态稳定性均增加($P<0.05$),在 2 倍运动负荷介入时步长小于单任务步行($P<0.05$),认知任务和 1 倍运动任务介入步长大于单任务步行($P>0.05$),1 倍认知任务和 2 倍认知任务介入时步宽大于单任务步行($P<0.05$),运动双任务介入时步宽变化不具有统计学意义(见表 1)。

表 2 双任务稳定性成本的双因素重复测量方差分析($n=40$)

Tab. 2 Two-factor repeated measure ANOVA of dual-task stability costs

任务类型		负荷类型		交互效应	
<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
0.42	0.52	85.57	<0.001	59.23	<0.001

3 讨论

本文探究单任务行走与不同双任务行走时动态稳定性的差异以及不同双任务介入对双任务稳定性成本的影响。结果表明,与单任务相比,双任务的介入会导致人体步态模式改变和动态稳定性增加,不同双任务类型及负荷行走的稳定性成本也存在显著性差异,这验证了本文之前的研究假设。

应用生物力学原理以及运动学手段进行步态分析可以对比不同状态行走时的步态规律变化,揭示导致步态异常的关键环节和敏感因素,进一步指导康复训练计划制定,客观评估康复治疗效果。本文结果显示,与单任务相比,不同类型及负荷双任务的介入均会导致步速的降低和步频的增高。杨德洪等^[15]研究认为,步频变化可以间接引起步速改变。但 Osaki 等^[16]研究认为,步速和步频的变化涉

及不同的神经控制区域,变化趋势不存在直接联系。结合本研究结果,本文认为,在双任务步行下,杨德洪等^[15]的观点更具有说服力。步速是评价步行能力的可靠指标,双任务介入时,会与正常步态维持共同竞争有限的注意力资源,对于注意力资源分配自由的健康人而言,为了顺利完成第2任务,选择牺牲步行能力,采取降低步速的补偿策略。该结果与毛敏等^[17]的研究结果一致。步频变化主要通过脑干和脊髓控制,代表下肢神经肌肉的控制能力和协调能力^[18]。步频增加表明在双任务介入后,青年人的步态控制能力以及稳定性增加,提示在双任务介入时,机体可能会积极调动低位中枢的神经反射来控制人体行走稳定性。本文还探究了不同双任务介入对步长和步宽的影响。结果表明,相较于步速和步频,仅2倍负荷运动任务介入会引起步长的降低,步宽变化仅在认知任务介入时存在统计学差异。该结果提示,步速、步频等步态参数在双任务康复诊疗评估中可能会具有更好的敏感性,而步长、步宽等步态参数在实际应用时可能需要加入对任务类型和任务负荷的考虑。Wang等^[19]证明,双任务训练对步速和步频有显著的改善作用,这与本文的研究假设一致。步宽与人体的平衡能力有关^[20]。本文发现,与单任务步行相比,不同负荷认知任务介入会导致步宽增加,即认知任务的介入会干扰左右方向的平衡控制,机体通过增加步宽来维持左右方向的稳定,这也是机体对双任务干扰做出的另一步态模式补偿策略。步长与步态的自动控制水平相关,步长降低,表示步态的自动化水平下降,神经肌肉控制成分增加^[21]。本文结果显示,仅在2倍运动任务介入时,步长出现显著下降,表明机体需在受到一定强度运动负荷刺激后,才会积极调动更多的神经肌肉来主动控制步态,从而保证在其他任务干扰情况下机体仍能维持稳定状态。

同时执行两项任务是日常生活中常见的情景,例如散步时谈话、拎包步行等。多个任务同时执行会增加大脑注意力资源负担,导致其中一项任务或两项任务性能下降,会增加跌倒风险。动态稳定性是反映动态姿势控制的直观指标,双任务下动态稳定性和稳定性成本的评估可以提高跌倒风险预测的敏感性^[22]。本文结果显示,与单任务行走相比,不同类型和不同负荷双任务介入均会增强动态稳

定性。朱婷等^[23]研究发现,双任务介入后姿势控制增强可能是因为其他任务的介入,转移姿势控制本身的注意力资源,提高姿势控制的自动化水平,阻止更多的纠错行为。结合上述步态参数结果,本文认为,在双任务步行时,第2任务介入会激发机体的自我保护机制,通过认知资源的灵活分配,诱导出更快更强的神经肌肉主动控制,迅速调整步态模式来保证机体动态姿势稳定,这也是机体对外界干扰做出的运动应激措施。对于老年人和神经系统功能障碍患者,认知能力受损,神经肌肉支配不足,在双任务步行时,无法快速诱发出有效的保护机制,从而增加跌倒风险^[24]。另外,通过步长可以看出机体的自动化水平相对降低,提示双任务介入会提高机体姿势控制自动化水平的假设还需要进一步探究。双任务稳定性成本可以量化不同双任务介入时对动态姿势控制的干扰幅度。本文发现,在任务负荷较高时,认知任务的双任务成本较低,即认知任务的负向干扰幅度增大,会损害机体的动态姿势控制能力。Nonnekes等^[25]研究证实,在双任务行走时,双任务成本的产生是注意力资源相互竞争导致其中某项任务无法做好充足准备的结果。在任务负荷较高时,认知任务的完成需要占用更多的注意力资源,争夺了姿势控制本身所需的注意力资源,导致姿势控制能力受损,动态稳定性负向干扰增大。另外,本文还探究了双任务负荷的简单效应。结果表明,低负荷运动任务对动态稳定性的负向干扰幅度更大。毛敏等^[17]研究认为,运动任务的介入会增加机体的动态稳定性。这与本研究结果不一致,可能是因为运动任务负荷设置差异导致结果出现偏倚。低负荷运动任务对机体刺激较小,不足以诱发出机体的保护机制,未能反射性增强机体稳定性,但运动任务的介入仍会争夺部分注意力资源,认知资源需在维持运动任务和步行之间来回切换,也会损害机体的稳定性。另外,当任务负荷较简单时,对于认知资源充足的青年人而言,可能会更加专注第2任务的完成,忽略“稳定优先”策略,从而导致动态稳定性负向干扰增大。

4 结论

与单任务行走相比,不同双任务的介入均会增加人体动态稳定性;对于双任务稳定性成本,不同

任务类型以及不同任务负荷之间存在交互效应。当任务负荷较高时,认知任务的双任务成本较低,即认知任务的负向干扰幅度增大,会损害机体的动态姿势控制能力。当第2任务为运动任务时,较低负荷下对人体动态稳定性的负向干扰幅度增大,降低动态姿势控制能力。

参考文献:

- [1] VITORIO R, HASEGAWA N, CARLSON-KUHTA P, *et al.* Dual-task costs of quantitative gait parameters while walking and turning in people with Parkinson's disease: Beyond gait speed [J]. *J Parkinsons Dis*, 2021, 11(2): 653-664.
- [2] ZAK M, KRUPNIK S, BROLA W, *et al.* Functional capacity and dual-task cost in the institutionalized older adults, both affected and unaffected by mild cognitive impairment [J]. *Eur Rev Aging Phys Act*, 2021, 18(1): 16.
- [3] PLUMMER P, ALTMANN L, FELD J, *et al.* Attentional prioritization in dual-task walking: Effects of stroke, environment, and instructed focus [J]. *Gait Posture*, 2020, 79: 3-9.
- [4] JAYAKODY O, BRESLIN M, STUART K, *et al.* The associations between dual-task walking under three different interference conditions and cognitive function [J]. *Gait Posture*, 2020, 82: 174-180.
- [5] FALLAHTAFTI F, BORON JB, VENEMA DM, *et al.* Task specificity impacts dual-task interference in older adults [J]. *Aging Clin Exp Res*, 2021, 33(3): 581-587.
- [6] SCHNEIDER N, DAGAN M, KATZ R, *et al.* Combining transcranial direct current stimulation with a motor-cognitive task: The impact on dual-task walking costs in older adults [J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2021, 18(1): 23.
- [7] BELUR P, HSIAO D, MYERS PS, *et al.* Dual-task costs of texting while walking forward and backward are greater for older adults than younger adults [J]. *Hum Mov Sci*, 2020, 71: 102619.
- [8] LIU-AMBROSE T, KATARYNYCH LA, ASHE MC, *et al.* Dual-task gait performance among community-dwelling senior women: The role of balance confidence and executive functions [J]. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 2009, 64(9): 975-982.
- [9] HALL CD, ECHT KV, WOLF SL, *et al.* Cognitive and motor mechanisms underlying older adults' ability to divide attention while walking [J]. *Phys Ther*, 2011, 91(7): 1039-1050.
- [10] BEAUCHET O, DUBOST V, GONTHIER R, *et al.* Dual-task-related gait changes in transitionally frail older adults: The type of the walking-associated cognitive task matters [J]. *Gerontology*, 2005, 51(1): 48-52.
- [11] LEE J, PARK S. Effects of a priority-based dual task on gait velocity and variability in older adults with mild cognitive impairment [J]. *J Exerc Rehabil*, 2018, 14(6): 993-997.
- [12] 梁明前. 老年人运动及认知双任务步行的步态时空参数及双任务成本研究[D]. 广州: 暨南大学, 2020.
- [13] DE SOUZA FA, MANCINI M, CARLSON-KUHTA P, *et al.* Dual task interference on postural sway, postural transitions and gait in people with Parkinson's disease and freezing of gait [J]. *Gait Posture*, 2017, 56:76-81.
- [14] PETERSON DS, FLING BW, MANCINI M, *et al.* Dual-task interference and brain structural connectivity in people with Parkinson's disease who freeze [J]. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 2015, 86(7): 786-792.
- [15] 杨德洪, 吴雪萍. 全身振动训练对脑瘫患者的干预效果 [J]. *上海体育学院学报*, 2018, 42(2): 100-108.
- [16] OSAKI Y, KUNIN M, COHEN B, *et al.* Relative contribution of walking velocity and stepping frequency to the neural control of locomotion [J]. *Exp Brain Res*, 2008, 185(1): 121-135.
- [17] 毛敏, 邵珠峰, 孙威, 等. 双任务模式下楼梯时步态速度对动态步态稳定性的影响 [J]. *山东体育学院学报*, 2021, 37(2): 95-101.
- [18] 赵依双, 公维军, 范小伟, 等. 双任务步行对缺血性卒中患者步态参数影响的研究 [J]. *中国卒中杂志*, 2021, 16(10): 1006-1010.
- [19] WANG XQ, PI YL, CHEN BL, *et al.* Cognitive motor interference for gait and balance in stroke: A systematic review and meta-analysis [J]. *Eur J Neurol*, 2015, 22(3): 537-555.
- [20] 李威, 曾祥斌, 章荣, 等. 核心稳定性训练对脑卒中偏瘫患者步态时空参数和对称性参数的影响 [J]. *中国康复医学杂志*, 2014, 29(9): 816-822.
- [21] 杨凤娇, 王芾斌, 侯美金, 等. 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.
- [22] FINO PC, MANCINI M, CURTZE C, *et al.* Gait stability has phase-dependent dual-task costs in Parkinson's disease [J]. *Front Neurol*, 2018, 9: 373.
- [23] 朱婷, 安丙辰, 梁贞文, 等. 认知对姿势控制能力影响的研究进展 [J]. *中华老年病研究电子杂志*, 2015, 2(1): 35-38.
- [24] BOCK O. Dual-task costs while walking increase in old age for some, but not for other tasks: An experimental study of healthy young and elderly persons [J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2008, 5: 27.
- [25] NONNEKES J, DIBILIO V, BARTHEL C, *et al.* Understanding the dual-task costs of walking: A StartReact study [J]. *Exp Brain Res*, 2020, 238(5): 1359-1364.