

· 临床研究 ·

双重任务行走步态分析预测短暂性脑缺血发作患者认知功能障碍的发生

王鑫 林春 周洪雨 徐池 王继兵

扬州大学临床医学院康复医学科, 扬州 225001

通信作者: 王鑫, Email: wx000805qm@yeah.net

【摘要】 目的 寻找简便易行且敏感、有效地预测短暂性脑缺血发作(TIA)患者认知功能障碍发生的方法,以便及时干预 TIA 患者认知功能障碍的发生和进展。**方法** 选取首次发病,且可独立自主行走的 TIA 患者 36 例[蒙特利尔认知评估量表(MoCA)评分不低于 26 分],设为 TIA 患者组;另选取年龄、性别及受教育年限与 TIA 患者组相匹配的正常受试者 36 例设为正常对照组。2 组受试者均于入组后当天进行 1 次双重任务行走步态分析,并于入组 12 个月后对 2 组受试者进行 MoCA 量表评定。采用 SPSS 22.0 版统计学软件进行数据分析,通过诊断试验验证步态参数预测认知功能障碍的可靠性,并计算接受者操作特性曲线(ROC)下面积。**结果** 入组后当天,异常步长的 TIA 患者的步长变异率分别与正常对照组和非异常步长的 TIA 患者比较,差异均有统计学意义($P<0.05$);异常平均步速的 TIA 患者的平均步速分别与正常对照组和非异常平均步速的 TIA 患者比较,差异均有统计学意义($P<0.05$)。入组后当天,正常对照组行双重任务步行时的计算正确率为(90.72±8.72)%,而 TIA 患者组中异常步态患者和非异常步态组患者的计算正确率均显著低于正常对照组,差异均有统计学意义($P<0.05$),且异常步态患者的计算正确率显著低于非异常步态组患者,差异均有统计学意义($P<0.05$)。入组 12 个月后,异常步态患者中 MoCA 评分<26 分的患者例数与非异常步态患者中 MoCA 评分<26 分的患者例数比较,差异有统计学意义($P<0.01$)。计算参数 ROC 曲线下面积得出,步态参数中的步长变异率和平均步速均可预测 12 个月后 TIA 患者认知功能障碍的发生,差异有统计学意义($P<0.01$)。**结论** 双重任务行走步态分析可有效地预测 TIA 患者认知功能障碍的发生,较 MoCA 测试可更早发现异常。

【关键词】 双重任务; 步态分析; 蒙特利尔认知评估量表; 认知功能障碍

基金项目:江苏省青年医学人才项目(QNRC2016339)

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2019.07.007

Gait analysis during dual-task walking predicts cognitive impairment after a transient ischemic attack

Wang Xin, Lin Chun, Zhou Hongyu, Xu Chi, Wang Jibing

Department of Rehabilitation Medicine, Clinical Medical College, Yangzhou University, Yangzhou 225001, China

Corresponding author: Xin Wang, Email: wx000805qm@yeah.net

【Abstract】 Objective To find a simple, sensitive and effective method to predict the occurrence of cognitive impairment in patients after a transient ischemic attack (TIA). **Methods** Thirty-six persons who had survived a first TIA and could walk independently were selected into a TIA group, with another 36 healthy counterparts chosen to form a control group. Those in both groups were given a gait analysis during dual-task walking at the outset and then assessed using the MoCA scale 12 months later. Statistical analyses were conducted to assess the reliability of gait parameters in predicting cognitive dysfunction, and the area under the receiver operating characteristics curve was calculated. **Results** On the day after enrollment the variation in step length among the TIA patients with an abnormal step length was compared with variation among the normal controls and among the TIA patients with non-abnormal step-size. The differences were significant. The average walking speed of the TIA patients with an abnormal average walking speed was significantly different from that of the control group and that of the TIA patients with non-abnormal average speed. On the day after enrolling, the accuracy rate of the control group in the dual-task walking test was significantly better than that of any of the TIA patients, and the accuracy rate of the TIA patients with an abnormal gait in the dual-task walking test was significantly lower than that of the patients with a non-abnormal gait. Twelve months later the number of patients whose MoCA scores were less than 26 in the abnormal gait group was compared with that in the normal gait group, and the difference was statistically significant. The area under the receiver operating characteristics curve suggests that both the incidence of step length variation and the average stepping speed could significantly predict the occurrence of cognitive dysfunction 12 months later. **Conclusion** Quantitative analysis of gait

while dual-task walking can effectively predict the occurrence of cognitive impairment in patients with TIA, and can detect abnormalities earlier than the MoCA scale test.

[Key words] Dual-task walking; Gait analysis; Montreal Cognitive Assessment; Cognition; Ischemia

Fund program: A Jiangsu Young Medical Talents project (No. QNRC2016339)

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2019.07.007

短暂性脑缺血发作 (Transient ischemic attack, TIA) 是指因颈动脉或椎-基底动脉系统发生短暂性血液供应不足和局灶性脑缺血所导致的突发、短暂性的神经功能障碍。以往的研究认为, TIA 是可逆的, 但随着研究的深入, 人们发现, TIA 并非完全可逆的, 部分患者会遗留认知功能障碍, 且如不能及时发现和干预, 则会严重影响患者的生活质量^[1]。TIA 患者早期认知功能障碍症状轻微, 常用的神经心理学筛查量表很难发现异常, 而将每位患者均进行认知功能的专项评定, 如注意力评定或记忆评定, 则会非常耗时、耗力, 患者也很难配合。因此, 寻找简便、易行, 且可敏感、有效地评估 TIA 患者认知功能障碍的方法, 以便及时干预认知功能障碍的发生和进展, 十分重要。

步行是日常生活中最普遍的运动形式。既往的研究认为, 步行是一种自动化过程, 但随着研究的深入发现, 步行需要多种因素共同协调才能完成, 而认知功能是重要的参与因素。步态分析是常用的评估受试者步态的方法, 常用的有印迹法、三维步态分析等方法, 其中印迹法简便易行, 不需要特殊的仪器, 只需在平坦的地面洒上白色粉末, 测试者有秒表记录即可。双重任务指的是被测试者同时完成两项任务, 这两项任务分别有各自的目标, 能够单独地被完成、单独地被测量。有研究显示, 双重任务操作相比于传统心理学测试的认知评估可更客观、高效地评估认知功能的水平^[2]。双重任务行走已被用于评估脑外伤、帕金森病等患者认知功能障碍^[2], 但鲜见将其应用于 TIA 患者认知功能障碍的评估和预测方面。本研究以 TIA 患者为研究对象, 探讨早期进行双重任务行走步态分析, 是否可以评估和预测 TIA 患者的认知功能, 以期为临床 TIA 患者的认知功能评估提供一个简便、易行且敏感性高的方法。

对象与方法

一、研究对象

(一) TIA 患者组的人选和排除标准

选取扬州地区 2016 年 1 月至 2016 年 12 月期间首发 TIA 患者为研究对象, TIA 的诊断依据我国第四次脑血管病学术会议中推荐的诊断标准进行诊断^[3], 同时经 MRI 和 CT 检查明确诊断。

入组标准: ①符合第四次脑血管病学术会议中推

荐的 TIA 的诊断标准^[3], 且为首次发病, 发病 24 h 后意识清楚, 未残留偏瘫等肢体功能障碍; ②高中以上学历 (受教育年限不少于 12 年); ③发病后 48~72 h 进行中文版蒙特利尔认知评估量表 (Montreal cognitive assessment, MoCA) 评估, 分值 ≥ 26 分, 12 个月后可再次进行 MoCA 量表评估; ④发病后 48~72 h 可独立自主行走, 并进行印迹法步态测试; ⑤患者及其家属知情同意, 且均签署知情同意书。

排除标准: ①心、肺、肾等重要脏器功能不全; ②既往有神经精神系统病史; ③既往有骨关节等运动系统疾病; ④既往有恶性肿瘤病史; ⑤既往有认知障碍或情感功能障碍的疾病。

选取扬州地区 2016 年 1 月至 2016 年 12 月在江苏省苏北人民医院康复医学科接受治疗且符合上述标准的 TIA 患者 36 例, 其中男 20 例, 女 16 例; 年龄 46~67 岁, 平均 (61.53 $\pm$ 4.50) 岁。

(二) 正常对照组的人选和排除标准

入组标准: ①意识清楚; ②高中以上学历 (受教育年限不少于 12 年); ③于体检后 48~72 h 进行中文版 MoCA 量表评估, 分值 ≥ 26 分, 12 个月后可再次进行 MoCA 量表评估; ④体检后 48~72 h, 可独立自主行走, 并进行印迹法步态测试; ⑤均签署知情同意书。

排除标准: ①心、肺、肾等重要脏器功能不全; ②既往有神经精神系统病史; ③既往有骨关节等运动系统疾病; ④既往有恶性肿瘤病史; ⑤既往有认知障碍或情感功能障碍的疾病。

选取 2016 年 1 月至 2016 年 12 月在江苏省苏北人民医院门诊进行体检且结果正常且符合上述标准的中老年受试者 36 例, 设为正常对照组, 其中男 20 例, 性 16 例; 年龄 47~67 岁, 平均年龄 (61.61 $\pm$ 4.69) 岁。

2 组受试者的年龄、性别和受教育年限组间比较, 差异均无统计学意义 ($P>0.05$) (表 1)。

表 1 2 组受试者一般资料

组别	例数	年龄 (岁, $\bar{x}\pm s$)	性别 (例)		受教育年限 (年, $\bar{x}\pm s$)
			男	女	
TIA 患者组	36	61.53 $\pm$ 4.50	24	12	12.77 $\pm$ 1.49
正常对照组	36	61.61 $\pm$ 4.69	24	12	12.52 $\pm$ 1.34

二、步态分析方法

2 组受试者均于入组后当天进行 1 次双重任务行

走步态分析(TIA 患者组在入组后即开始常规药物治疗和康复训练,连续治疗 12 个月中,正常对照组无药物治疗和康复训练)。采用印迹法进行双重任务行走步态分析,在 10 m 走道上平铺一层白色面粉,由 2 组受试者在正式测试前被告知和解释测试内容,并进行适应性行走,同时走道两边每隔 1 m 安排一名志愿者,以防止意外发生。正式测试时,受试者穿轻便衣服和舒适合脚的鞋子在走道上行走,一边直线行走,一边进行两位数加减计算(由一名测试者随机选择题目),要求受试者尽可能快地说出计算结果,直至完成 10 m 的步行。由一位研究人员统计受试者计算正确和错误的次数,一位研究人员记录受试者行走的时间和步长。去除前 1 m 加速和后 1 m 减速阶段的数据,取中间 8 米的步态数据进行分析,收集步态参数包括:步长变异率=(步长标准差/步长平均数)×100%、平均步速(m/min)=8 m/中间 8 m 步行所用时间^[4]。计算正确率=(计算正确数/总计算数)×100%。

TIA 患者中,步态参数步长变异率、平均步速与正常对照组数值相差(>或<)两个标准差(standard deviations,SD)以上则认为存在步态异常^[5]。根据以上标准,将 TIA 患者分为异常步态 TIA 患者(含异常步长 TIA 患者和异常平均步速 TIA 患者)和非异常步态 TIA 患者(含非异常步长 TIA 患者和非异常平均步速 TIA 患者)。根据步态具体参数不同,将 TIA 患者分为异常步长 TIA 患者和非异常步长 TIA 患者,以及异常平均步速 TIA 患者和非异常平均步速 TIA 患者。

三、认知功能评估

由于 2 组受试者均在入组前即进行了 MoCA 评定,且所有受试者的 MoCA 评分均≥26 分,因此本研究定于入组 12 个月对 2 组受试者进行 MoCA 评定。MoCA 量表用于评估 2 组患者的认知功能,该量表含 8 个项目,包括视空间和执行功能、注意力、命名、记忆力、抽象能力、语言、延迟回忆、定向能力,总分 30 分,<26 分为异常。

四、统计学方法

数据采用 SPSS 22.0 版统计学软件进行数据分析,计量资料采用($\bar{x} \pm s$)表示,并进行 *t* 检验,分类资料采用 Fisher's 精确概率法。通过诊断试验验证步态参数预测认知功能障碍的可靠性,并计算接受者操作特性曲线(receiver operating characteristic curve,ROC)下面积。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

一、2 组受试者入组后当天步态参数比较

入组后当天,TIA 患者组中有 10 例步态参数出现异常,其中非异常步长 32 例,非异常平均步速 28 例,

异常步长 4 例,异常平均步速 8 例(有 2 例患者平均步速和步长变异率均异常)。由表 2 和表 3 可以看出,异常步长的 TIA 患者的步长变异率分别与正常对照组和非异常步长的 TIA 患者比较,差异均有统计学意义($P < 0.05$),而正常对照组的步长变异率与非异常步长的 TIA 患者比较,差异并无统计学意义($P > 0.05$)。异常平均步速的 TIA 患者的平均步速分别与正常对照组和非异常平均步速的 TIA 患者比较,差异均有统计学意义($P < 0.05$),而正常对照组的平均步速与非异常平均步速的 TIA 患者比较,差异并无统计学意义($P > 0.05$)。

表 2 2 组受试者步长变异率比较(%, $\bar{x} \pm s$)

组别	例数	步长变异率
正常对照组	36	3.36±0.29
TIA 患者组		
非异常步长	32	3.68±0.24
异常步长	4	4.99±0.71 ^{ab}

注:与正常对照组比较,^a $P < 0.05$;与非异常步长 TIA 患者比较,^b $P < 0.05$

表 3 2 组受试者平均步速比较(m/min, $\bar{x} \pm s$)

组别	例数	平均步速
正常对照组	36	54.72±4.26
TIA 患者组		
非异常平均步速	28	52.91±3.94
异常平均步速	8	34.60±5.25 ^{ab}

注:与正常对照组比较,^a $P < 0.05$;与非异常平均步速 TIA 患者比较,^b $P < 0.05$

二、2 组受试者入组后当天双重任务时的计算正确率比较

入组后当天,正常对照组行双重任务步行时的计算正确率为(90.72±8.72)%,而 TIA 患者组中异常步态患者(含异常步长和异常平均步速)和非异常步态患者(含非异常步长和非异常平均步速)的计算正确率均显著低于正常对照组,差异均有统计学意义($P < 0.05$),且异常步态患者的计算正确率显著低于非异常步态组患者,差异均有统计学意义($P < 0.05$)(表 4)。

表 4 TIA 患者组和正常对照组计算正确率(%, $\bar{x} \pm s$)

组别	例数	计算正确率
正常对照组	36	90.72±8.72
TIA 患者组		
非异常步长	32	72.88±19.32 ^a
异常步长	4	20.80±10.40 ^{ab}
非异常平均步速	28	77.04±12.40 ^a
异常平均步速	8	35.38±27.79 ^{ac}

注:与正常对照组比较,^a $P < 0.05$;与非异常步长比较,^b $P < 0.05$;与非异常平均步速比较,^c $P < 0.05$

三、2 组受试者入组 12 个月后 MoCA 评分比较

入组 12 个月后,TIA 患者组共有 6 例再发 TIA 或脑梗死,其中异常步态患者组 4 例,非异常步态患者组 2 例,未出现死亡病例。异常步态的 10 例 TIA 患者中,有 8 例 MoCA 评分<26 分,其中异常平均步速 7 例,异常步长者 3 例;非异常步态的 26 例 TIA 患者中,有 4 例 MoCA 评分<26 分;正常对照组 MoCA 评分均≥26 分。经 Fisher's 精确概率法统计,异常步态患者中 MoCA 评分<26 分的例数与非异常步态患者中 MoCA 评分<26 分的例数比较,差异有统计学意义($P<0.01$)。

四、步态参数预测认知功能障碍的可靠性和敏感性

本研究通过诊断试验来验证步态参数预测认知功能障碍的可靠性,并计算参数 ROC 曲线下面积,表 5 和图 1 可见,步态参数中的步长变异率和平均步速均可预测 12 个月后 TIA 患者认知功能障碍的发生,差异有统计学意义($P<0.01$)。

表 5 步态参数与认知功能障碍发生的关系

步态参数	P 值	ROC 曲线下面积	95%CI
步长变异率	<0.01	0.962	0.898,1
平均步速	<0.01	0.910	0.796,1

注:步态参数中的步长变异率和平均步速均可预测 12 个月后 TIA 患者认知功能障碍的发生

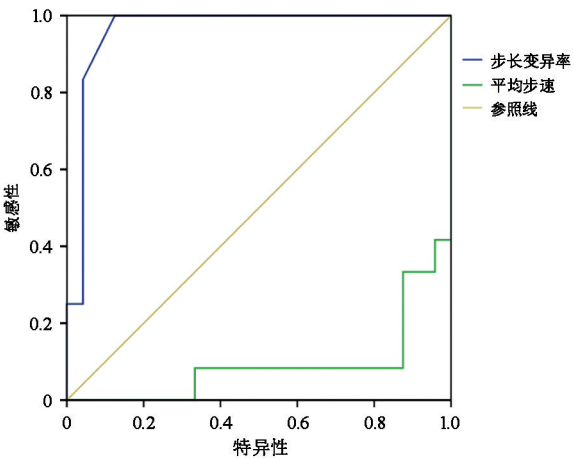


图 1 ROC 曲线图

讨 论

本研究结果显示,在疾病发生早期,以 MoCA 为测量工具,正常对照组和 TIA 患者组均属于“正常认知人群”,但 12 个月后,TIA 患者组认知功能障碍的发生率显著高于正常对照组,差异有统计学意义($P<0.05$),该结果提示,TIA 患者是认知功能障碍的高危人群,这与以往的研究结果一致^[1]。认知功能障碍严

重影响患者的生活质量,因此早期发现、早期干预就成为防治 TIA 患者发展成认知功能障碍患者的重要举措。

近年来,步行与认知功能的关系越来越受到关注。有人发现,异常步态可作为老年人群阿尔茨海默病发生的重要预测因素^[6],而帕金森病患者的步态障碍,不仅仅与肌张力有关,还与包括注意力在内的多项认知功能障碍有关^[7]。脑血管病患者发病后大多存在偏瘫症状,因此,早期并未太多关注脑血管病患者步态与认知功能之间的关系。随着脑血管病患者偏瘫症状改善,仍然有一部分患者步态无明显改善,脑血管病患者步态与认知功能之间的关系才开始受到关注。步行不是一个单纯的自动态行为,它仍需要认知功能的参与^[8]。研究发现,步行能力与执行功能、注意力等认知功能相关^[5,9]。执行功能是涉及将后皮质感觉系统的信息进行加工处理后输送到前皮质产生相应运动的一系列高级功能,包括行动(步行)的意图或开始、决策和控制行为等^[10]。注意力是一种由感官知觉驱动的动态功能,需要为特定的行为(步行)选择一个首要的刺激,同时忽略不必要的和无关的东西^[11]。任何习得性动作的执行(包括行走),都需要后皮质感觉系统的持续性信息输入,而这种持续性信息输入与之前获得性的运动功能相结合,保留有用信息,放弃无用信息,不断调整,最终优化习得性动作^[12]。研究表明,注意力与平均速度和步频相关,而执行功能主要与步长变异率有关^[13-14],因此本研究以平均速度和步长变异率为观测指标,以便较为全面地反映认知功能与步行之间的关系。

本研究结果显示,在执行双重任务步行时,TIA 患者组认知任务的计算正确率均显著性低于正常对照组,差异均有统计学意义($P<0.05$),异常步态 TIA 患者甚至显著低于非异常步态 TIA 患者,差异均有统计学意义($P<0.05$)。双重任务步行测试是指同时执行两个任务,即步行任务(首要任务)和认知任务(如本研究中的计算任务)。根据认知负荷理论,当任务所需认知负荷未超出机体拥有的认知资源时,会有足够的认知资源供使用,以确保任务顺利完成;但当任务所需认知负荷已超出机体拥有的认知资源时,任务就不能很准确地完成,因此双任务步态的改变比单任务步态的改变可更准确地反映轻度认知功能损害或认知功能损害早期受试者的认知功能^[15-16]。本研究结果提示,TIA 患者认知资源(或认知功能)较正常对照组有所下降,而异常步态组下降更为显著。但这种 TIA 患者认知功能的下降,不能被 MoCA 量表测试所察觉(量表分值均不低于 26 分),他们仍是“正常认知”人群,还处于认知功能损害早期。进一步研究结果显示,

12 个月后,正常对照组未出现 MoCA 量表分值低于 26 分者,但 TIA 患者非异常步态组和异常步态组均出现认知功能障碍患者,其中步态异常组 10 例患者中有 8 例低于 26 分;非步态异常组 26 例患者中有 4 例低于 26 分,步态异常组的认知功能障碍发生率显著高于非步态异常组 ($P < 0.01$),该结果提示,双重任务行走步态分析评估可比 MoCA 测试更早期、更敏感地预测 TIA 患者认知功能障碍的发生,即步态异常是 TIA 患者认知功能障碍发生的重要预测因素。

本研究结果还显示,平均速度和步长变异率均能预测 12 个月后 TIA 患者认知功能障碍的发生 ($P < 0.01$)。该结果提示,这两个步态参数在预测 TIA 患者的认知功能障碍的发生方面具有同样的可靠性和敏感性。这可能与平均速度相关联的注意力,以及与步长变异率相关的执行功能的主要功能脑区都在前额叶有关^[17-18]。

综上所述,双重任务行走步态分析可有效地预测 TIA 患者认知功能障碍的发生,较 MoCA 测试可更早发现异常。临床工作中,可充分利用这一简便、易行且敏感性高的评估方法对 TIA 患者的认知功能进行评估和预测,并进行早期的干预,以降低该人群认知功能障碍的发生率。不过,本研究仅限于能独立行走的 TIA 患者,且样本量较小,因此,本课题组将在下一步研究中,扩大样本量,全面观察双重任务行走步态分析与 TIA 患者认知功能之间的关系,以明确该方法的相关信效度。

参 考 文 献

- [1] Bivard A, Lillicrap T, Maréchal B, et al. Transient ischemic attack results in delayed brain atrophy and cognitive decline[J]. Stroke, 2018, 49(2):384-390. DOI: 10.1161/STROKEAHA.117.019276.
- [2] Zhou H, Sabbagh M, Wyman R, et al. Instrumented trail-making task to differentiate persons with no cognitive impairment, amnesic mild cognitive impairment, and Alzheimer disease: a proof of concept study[J]. Gerontology, 2017, 63(2):189-200. DOI: 10.1159/000452309.
- [3] 中华神经内科学会, 中华神经外科学会. 各类脑血管疾病的诊断要点[J]. 中华神经科杂志, 1996, 29(6):379-381.
- [4] Rao AK, Uddin J, Gillman A, et al. Cognitive motor interference during dual-task gait in essential tremor[J]. Gait Posture, 2013, 38(3):403-409. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2013.01.006.
- [5] Wang X, Wang QM, Meng Z, et al. Gait disorder as a predictor of spatial learning and memory impairment in aged mice[J]. PeerJ, 2017, 5:e2854. DOI: 10.7717/peerj.2854.
- [6] Verghese J, Lipton RB, Hall CB, et al. Abnormality of gait as a predictor of non-Alzheimer's dementia[J]. N Engl J Med, 2002, 347(22):1761-1768. DOI 10.1056/NEJMoa020441.
- [7] Lord S, Galna B, Coleman S, et al. Cognition and gait show a selective pattern of association dominated by phenotype in incident Parkinson's disease[J]. Front Aging Neurosci, 2014, 6:249. DOI: 10.3389/fnagi.2014.00249.
- [8] LeMonda BC, Mahoney JR, Verghese J, et al. The association between high neuroticism-low extraversion and dual-task performance during walking while talking in non-demented older adults[J]. J Int Neuropsychol Soc, 2015, 21:519-530. DOI 10.1017/S1355617715000570.
- [9] Dalton C, Sciadras R, Nantel J. Executive function is necessary for the regulation of the stepping activity when stepping in place in older adults[J]. Aging Clin Exp Res, 2015, 28(5):909-915. DOI 10.1007/s40520-015-0499-9.
- [10] Honan CA, McDonald S, Gowland A, et al. Deficits in comprehension of speech acts after TBI: the role of theory of mind and executive function[J]. Brain Lang, 2015, 150:69-79. DOI 10.1016/j.bandl.2015.08.007.
- [11] Olk B, Peschke C, Hilgetag CC. Attention and control of manual responses in cognitive conflict: findings from TMS perturbation studies[J]. Neuropsychologia, 2015, 74:7-20. DOI: 10.1016/j.neuropsychologia.2015.02.008.
- [12] Yuan TF, Hou G. The effects of stress on glutamatergic transmission in the brain[J]. Mol Neurobiol, 2015, 51:1139-1143. DOI 10.1007/s12035-014-8783-9.
- [13] Akl A, Mihailidis A. Estimating in-home walking speed distributions for unobtrusive detection of mild cognitive impairment in older adults[J]. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc, 2015, 5175-5178. DOI: 10.1109/EMBC.2015.7319557.
- [14] Verghese J, Holtzer R, Lipton RB, et al. Quantitative gait markers and incident fall risk in older adults[J]. J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 2009, 64:896-901. DOI 10.1093/gerona/64.9.896.
- [15] Schulze C, Newell BR. Taking the easy way out? Increasing implementation effort reduces probability maximizing under cognitive load[J]. Mem Cognit, 2016, 44(5):806-818. DOI: 10.3758/s13421-016-0595-x.
- [16] Haji FA, Khan R, Regehr G, et al. Measuring cognitive load during simulation-based psychomotor skills training: sensitivity of secondary-task performance and subjective ratings[J]. Adv Health Sci Educ Theory Pract, 2015, 20(5):1237-1253. DOI: 10.1007/s10459-015-9599-8.
- [17] Bloem B, Poorthuis RB, Mansvelder HD. Cholinergic modulation of the medial prefrontal cortex: the role of nicotinic receptors in attention and regulation of neuronal activity[J]. Front Neural Circuits, 2014, 8(17):1-16. DOI: 10.3389/fncir.2014.00017.
- [18] Ueda R, Yanagisawa K, Ashida H, et al. Executive control and faithfulness: only long-term romantic relationships require prefrontal control[J]. Exp Brain Res, 2018, 236(3):821-828. DOI: 10.1007/s00221-018-5181-y.

(修回日期:2019-05-23)

(本文编辑:阮仕衡)