

单丝皮肤阈值测验在中枢神经系统损伤后触觉障碍评定中的应用

高明明^{1,2} 恽晓萍^{1,2} 何泽佳^{1,2} 张宇^{1,3} 周昊^{1,3}

¹首都医科大学康复医学院,北京 100068; ²中国康复研究中心康复评定科,北京 100068;

³中国康复研究中心神经内科,北京 100068

通信作者:恽晓萍,Email:xiaoping_yun@163.com

【摘要】 目的 观察单丝皮肤阈值测验在中枢神经系统损伤所致触觉障碍患者中应用的效果。**方法** 入组脑卒中及脊髓损伤患者各 30 例,对脑卒中患者双侧额部、面部、手掌及足背部以及脊髓损伤患者双侧 L₄、L₅、S₁ 部位的皮肤分别进行单丝阈值测验及棉签测试。初评结束后 1 周,对全部 60 例患者再进行一次与前一次单丝及棉签测试完全相同的测试,应用组内相关系数 (ICC) 对单丝及棉签的重测信度进行分析;应用诊断试验的一致性检验 (Kappa 值) 比较单丝与棉签检测结果之间的一致性;应用逐步多元线性回归分析对单丝触觉阈值与患者年龄、身高、性别、组别、损伤类型以及损伤部位之间的关系进行分析。**结果** ①单丝的重测信度良好 (ICC 为 0.74~0.95),均高于棉签 (ICC 为 0.60~0.83);②单丝与棉签之间的 Kappa 值为 0.550,表明两种测试结果的一致性较差;③多元线性回归分析结果显示,患者的损伤类型和损伤部位是触觉阈值的独立相关因素 ($R^2 = 0.471, P < 0.05$),而年龄、身高、性别、组别与触觉阈值之间无明显相关关系 ($P > 0.05$)。**结论** 单丝皮肤阈值测验的重测信度较高且优于传统棉签检测方法,适用于中枢神经系统损伤所致的触觉障碍。

【关键词】 触觉阈值; 定量感觉检测; 中枢神经系统

基金项目:中国康复研究中心青年科研专项基金(2014-Q5)

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2022.07.009

Application of the monofilament cutaneous threshold test in assessing impaired touch sensation caused by central nervous system injury

Gao Mingming^{1,2}, Yun Xiaoping^{1,2}, He Zejia^{1,2}, Zhang Yu^{1,3}, Zhou Hao^{1,3}

¹School of Rehabilitation Medicine, Capital Medical University, Beijing 100068; ²Department of Rehabilitation Evaluation, ³Department of Neurology, China Rehabilitation Research Center, Beijing 100068

Corresponding author: Yun Xiaoping, Email: xiaoping_yun@163.com

【Abstract】 Objective To test the utility of monofilament cutaneous threshold testing among patients with impaired touch sensation caused by central nervous system injury. **Methods** Thirty stroke survivors and 30 patients with spinal cord injury were recruited. Monofilament threshold testing and cotton wool tests were performed on the bilateral forehead, face, palms and dorsum of feet among the stroke survivors. Among those with a spinal cord injury both tests were performed on each side of the L₄, L₅ and S₁ vertebrae. One week later, all were retested. Intra-class correlation coefficients (ICCs) were used to quantify the test-retest reliability of the tests. Kappa values were calculated to determine the degree of agreement between them. Stepwise multiple linear regressions were evaluated to examine the relationship between touch perception thresholds and age, height, gender, type of injury and injured site. **Results** ①The ICC for the monofilament test was between 0.74 and 0.95, higher than that of the cotton wool test (ICC: 0.60 to 0.83). ②The kappa value between the monofilament and cotton wool tests was 0.550, indicating good agreement. ③The types of injury and injured sites were independent correlates of the touch perception thresholds, but there was no significant correlation between the touch perception thresholds and age, height, gender or group. **Conclusions** The monofilament cutaneous threshold test has good test-retest reliability, better than the cotton wool test. Therefore, it may be useful as a tool for assessing impaired touch sensation caused by central nervous system injury.

【Key words】 Tactile thresholds; Quantitative sensory testing; Central nervous system

Funding:Special Funds for Youth Research of the China Rehabilitation Research Center (2014-Q5)

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2022.07.009

单丝皮肤阈值测验 (Semmes-Weinstein monofilament cutaneous threshold test) 是触觉的定量检测方法, 目前, 该方法已广泛应用于糖尿病周围神经病变的相关研究^[1-10]、糖尿病氧化应激标记物的研究^[11]、糖尿病足及截肢的预防^[12-14]、痛觉异常及跌倒风险的检测^[15-16]等, 但将其应用于中枢神经系统疾病的有关报道尚较罕见。基于此, 本研究将该方法应用于脑卒中及脊髓损伤后触觉障碍的评定, 观察其重测信度, 并与传统测试方法(棉签)的检测结果进行比较, 分析触觉阈值与患者基本特征之间的相关性。

资料与方法

一、研究对象

入选标准: ①单侧肢体传导性感觉障碍的初次脑卒中^[17](包括脑出血及脑梗死)患者、胸段及腰段脊髓损伤^[6](包括完全性脊髓损伤及不完全性脊髓损伤)患者; ②年龄 ≥ 18 岁; ③病情稳定, 疾病症状不再进展持续 1 周以上; ④意识清晰, 可配合测试; ⑤均签署知情同意书。

排除标准: ①语言理解严重障碍, 不能配合测试者; ②严重单侧忽略患者; ③患有糖尿病或其它影响神经系统的疾病; ④被试肢体或部位有其它合并损伤。

选取 2015 年 5 月至 2018 年 3 月在北京博爱医院神经康复科、神经内科、脊髓损伤康复科、脊柱脊髓外科及脊柱脊髓功能重建科住院且符合上述标准的患者 60 例, 其中男 50 例, 女 10 例; 年龄 20~71 岁, 平均(43.38 \pm 12.98)岁; 身高 152~182 cm, 平均(169.97 \pm 6.49)cm; 病程 15~299 d。60 例患者中, 脑卒中 30 例(脑出血 28 例, 脑梗死 2 例), 脊髓损伤 30 例。脑卒中患者中, 病变部位均为基底节区, 其中丘脑损伤患者 3 例; 脊髓损伤患者中, 不完全性脊髓损伤患者 15 例、完全性脊髓损伤患者 15 例, 包括高处坠落伤 14 例、暴力伤 7 例、车祸伤 5 例以及其它原因造成的损伤 4 例, 其中胸段脊髓损伤 21 例, 腰段脊髓损伤 9 例。本研究获中国康复研究中心医学伦理委员会批准(批件号 2014-Q5)。

二、测试方法

所有测试均由具有丰富经验的医师进行, 在测试前向患者详细介绍测试过程, 确保患者可以配合。测试时室内保持安静, 室温约为 22~24 ℃。受试者坐在轮椅上完成全部测试。本测试包括应用 Semmes-Weinstein 单丝测试工具箱定量检测触觉以及应用棉签对触觉进行物理学方法检测两部分, 每例受试者在初评结束后 1 周进行复测, 同一测试者对全部 60 例受试者再进行一次与前一次单丝感觉测试及棉签检查完全相同的测试, 为本研究的重测分析提供数据。

1. 应用 Semmes-Weinstein 单丝测试工具箱进行定

量感觉测试: 应用美国 Rolyan 公司生产的 Semmes-Weinstein 单丝测试工具箱测定触觉, 单丝皮肤阈值测验^[18-19], 即采用不同直径的尼龙丝与被试皮肤接触, 通过皮肤对不同压力的反应测得触觉阈值; 该测试工具箱内共有 20 根单丝, 依编号顺序单丝直径逐渐增大, 其所对应的压力值也相应增加, 单丝编号及其所对应的压力值与检测意义详见表 1。

表 1 Semmes-Weinstein 单丝编号及其所对应的压力值与检测意义

单丝编号	平均力(g)	意义
1.65~2.83	0.0045~0.0677	正常
3.22~3.61	0.1660~0.4082	轻触觉减退
3.84~4.31	0.6958~2.0520	保护性感觉减退
4.56~6.65	3.6320~447.0000	保护性感觉丧失

测试方法: 将单丝垂直皮肤表面缓慢下压(时长 1.5 s), 将单丝压弯后保持 1.5 s, 然后将单丝缓慢抬起(时长 1.5 s)。测试开始时, 使用编号为 2.83 的单丝进行检测, 询问患者是否能够感受到单丝接触, 如患者此时不能感受到触觉, 则依编号顺序逐渐增大单丝直径继续测试, 直到患者能够感受到触觉为止, 此时记录下患者可以感受到的单丝编号, 此即为该部位的触觉阈值(如患者存在感觉过敏, 则从直径最小的单丝开始检测)。每根单丝以 1.5 s 为间隔重复测试 3 次以确保结果的正确性^[20]。在数据分析时, 为了包括在测试期间没有引出感觉的测试部位数据, 将该部位的触觉阈值记录为最大单丝编号(6.65)。

患者的测试部位: 脑卒中患者, 分别测试双侧额部、面部、手掌及足背部的皮肤(如图 1 所示); 胸段及腰段脊髓损伤患者, 分别测试双侧 L₄(内踝)、L₅(足背第 3 跖趾关节)、S₁(足跟外侧)关键点部位的皮肤(详见图 2), 参考脊髓损伤神经分类国际标准 2011 年修订版^[6]。

2. 应用棉签进行物理学方法检测: 采用临床上常用的触觉检查方法进行检测, 令患者闭目, 检查者使用逐渐变细的棉签丝轻触患者的皮肤(棉签丝在皮肤表面划过不超过 1 cm)^[20], 让患者说出有无接触及接触的部位。首先, 在脑卒中患者未受累侧的面部或脊髓损伤患者的右侧面部进行检测, 将该触觉作为参考触觉(视为正常), 然后再对其它部位进行检测, 包括脑卒中患者的双侧额部、手掌、足背部和受累侧面部的皮肤以及脊髓损伤患者双侧 L₄、L₅、S₁ 部位的皮肤。通过这种方式, 受试者可以将其它测试部位的感觉与参考触觉相比较。采用 0~10 分法^[7,20]记录每一部位的触觉评分(即 0 分, 未测及; 1~9 分, 感觉减退; 10 分, 感觉正常), 让患者选择 0~10 中的某一数字作为检测结果并记录。

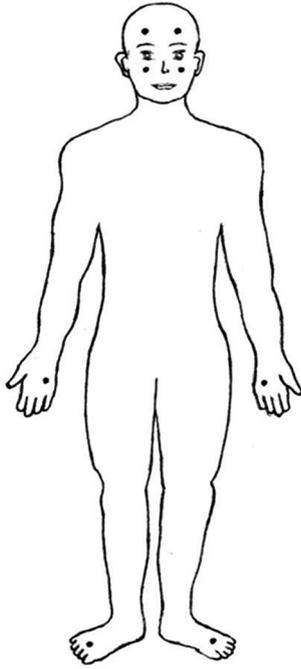
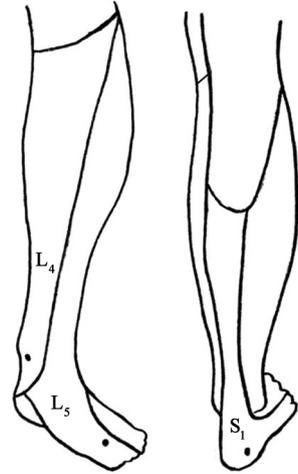


图 1 脑卒中患者单丝测试部位



注: L₄ 内踝, L₅ 足背第 3 跖趾关节, S₁ 足跟外侧

图 2 脊髓损伤患者单丝测试部位

三、统计学方法

使用 SPSS 17.0 版统计学软件包对所得数据进行统计学分析处理,符合正态分布的描述性统计资料用 $(\bar{x} \pm s)$ 表示,偏态分布的描述性统计资料用中位数 (P_{25}, P_{75}) 表示。应用组内相关系数 (intraclass correlation coefficient, ICC) 进行重测信度评估^[8],应用诊断试验的一致性检验 [Kappa 值及 95% 可靠区间 (confidence intervals, CI)]^[21] 比较单丝测试结果与棉签检查结果 (均为首次测试结果) 的一致性。应用逐步多元线性回归分析^[9] 对单丝检测结果与患者年龄、身高、性别、组别 (脑卒中或脊髓损伤)、损伤类型以及损

伤部位之间的关系进行分析。用虚拟变量 (脑出血、脑梗死、完全性脊髓损伤或不完全性脊髓损伤) 代替损伤类型,以评估损伤类型;用虚拟变量 (基底节、胸段脊髓损伤或腰段脊髓损伤与马尾神经损伤及圆锥马尾损伤) 代替损伤部位,以评估损伤部位。 $P < 0.05$ 认为差异有统计学意义。

结 果

一、单丝测试结果与棉签感觉评分

Semmes-Weinstein 单丝检测所得触觉阈值与棉签测试得分 (包括首次检测与复测结果) 见表 2。对

表 2 Semmes-Weinstein 单丝检测所测触觉阈值与棉签测试得分

组别	部位	患	单丝		棉签	
			首次	第二次	首次	第二次
脑卒中 (n=30)	额部	健	4.05±1.27	4.17±1.31	6.73±3.10	7.23±2.62
		患	2.83(2.83,2.83)	2.83(2.83,3.32)	10.00(10.00,10.00)	10.00(10.00,10.00)
	面部	患	4.02±1.33	4.01±1.34	6.47±2.89	7.17±2.29
		健	2.83(2.83,2.83)	2.83(2.83,3.32)	10.00(10.00,10.00)	10.00(10.00,10.00)
	手掌	患	6.10(4.31,6.65)	5.40±1.20	1.00(0,4.50)	2.50(0,7.00)
		健	2.83(2.83,2.83)	3.03(2.83,3.22)	10.00(10.00,10.00)	10.00(10.00,10.00)
足背	患	5.52±1.15	5.62±1.01	2.80±3.21	3.63±3.49	
	健	2.83(2.83,3.22)	2.83(2.83,3.61)	10.00(10.00,10.00)	10.00(10.00,10.00)	
脊髓损伤 (n=30)	L ₄	左	5.61(4.15,6.65)	6.27(3.84,6.65)	0(0,5.25)	0(0,6.50)
		右	6.65(3.84,6.65)	6.65(3.61,6.65)	0(0,6.00)	0(0,6.25)
	L ₅	左	6.65(3.61,6.65)	6.27(3.61,6.65)	0(0,5.00)	0(0,6.00)
		右	6.65(3.61,6.65)	6.65(3.84,6.65)	0(0,5.75)	0(0,7.25)
	S ₁	左	6.65(3.84,6.65)	6.65(3.84,6.65)	0(0,2.50)	0(0,4.00)
		右	6.65(4.15,6.65)	6.65(4.02,6.65)	0(0,4.50)	0(0,5.00)

注:表中数值表示 $(\bar{x} \pm s)$ 或中位数 (P_{25}, P_{75})

30 例脑卒中患者进行双侧额部、面部、手掌及足背部检测,对 30 例脊髓损伤患者进行双侧 L₄、L₅、S₁ 关键点检测,共计 420 组数值。脑卒中患者中,15 例患者患侧部分检测部位的单丝未引出;脊髓损伤患者中,15 例完全性损伤患者全部检测部位的单丝均未引出,5 例不完全性损伤患者部分检测部位的单丝未引出。

二、重测信度

全部 60 例脑卒中及脊髓损伤患者均完成了 2 次完全相同的单丝阈值检测与棉签测试,通过对 60 例患者的重复测量,显示 Semmes-Weinstein 单丝的重测信度良好,各测试部位触觉阈值的 ICC 介于 0.74~0.95,均高于棉签的重测信度 (ICC 为 0.60~0.83),详见表 3。

三、一致性

将棉签测试得分的 10 分、7~9 分、4~6 分、1~3 分及 0 分,分别对应 Semmes-Weinstein 单丝阈值检测的 5 个阈值区间(表 1),计算得出 Kappa 值为 0.550 (95%CI 为 0.495~0.605, P<0.001),详见表 4,表明这 2 种测试结果的一致性较差。

四、单丝触觉阈值与患者基本特征的相关性分析 应用逐步多元线性回归分析对单丝触觉阈值与

脑卒中及脊髓损伤患者 (n = 60, 420 组数值) 的基本特征进行分析。以触觉阈值为因变量,患者的年龄、身高、性别、组别(脑卒中或脊髓损伤)、损伤类型(脑出血、脑梗死、完全性脊髓损伤或不完全性脊髓损伤)以及损伤部位(基底节、胸段脊髓损伤或腰段脊髓损伤与马尾神经损伤及圆锥马尾损伤)为自变量。结果显示,损伤类型(完全性脊髓损伤相对于其它类型)和损伤部位(腰段脊髓损伤与马尾神经损伤及圆锥马尾损伤相对于其它部位)是触觉阈值的独立相关因素 (R² = 0.471, P < 0.05),而患者的年龄、身高、性别、组别与单丝触觉阈值之间无明显相关关系 (P > 0.05),详见表 5。

讨 论

本研究将 Semmes-Weinstein 单丝检测结果与棉签测试结果进行比较,发现二者的一致性不高 (Kappa = 0.550)。产生这种结果的原因可能为:单丝测试工具箱内包含 20 根单丝,可以对患者触觉的损伤级别进行更细致的划分。本研究结果显示,脑卒中及脊髓损伤患者中, Semmes-Weinstein 单丝的重测信度良好 (ICC 为 0.74~0.95),这一结果与在健康受试者及周围神经系统损伤(糖尿病等)患者中的研究结果相一致^[22-26]。

表 3 Semmes-Weinstein 单丝检测所得触觉阈值与棉签得分的 ICC 值

组别	部位		ICC	
			单丝	棉签
脑卒中 (n = 30)	额部	左	0.74 (95% CI, 0.53~0.87)	0.60 (95% CI, 0.32~0.79)
		右	0.75 (95% CI, 0.54~0.87)	0.67 (95% CI, 0.41~0.83)
	面部	左	0.76 (95% CI, 0.56~0.88)	0.70 (95% CI, 0.47~0.85)
		右	0.87 (95% CI, 0.74~0.93)	0.65 (95% CI, 0.39~0.82)
	手掌	左	0.84 (95% CI, 0.69~0.92)	0.77 (95% CI, 0.58~0.88)
		右	0.85 (95% CI, 0.70~0.92)	0.75 (95% CI, 0.54~0.87)
	足背	左	0.87 (95% CI, 0.74~0.94)	0.79 (95% CI, 0.60~0.89)
		右	0.83 (95% CI, 0.68~0.92)	0.80 (95% CI, 0.63~0.90)
脊髓损伤 (n = 30)	L ₄	左	0.93 (95% CI, 0.85~0.96)	0.70 (95% CI, 0.46~0.85)
		右	0.93 (95% CI, 0.86~0.97)	0.83 (95% CI, 0.68~0.92)
	L ₅	左	0.95 (95% CI, 0.90~0.98)	0.76 (95% CI, 0.56~0.88)
		右	0.94 (95% CI, 0.89~0.97)	0.83 (95% CI, 0.68~0.92)
	S ₁	左	0.88 (95% CI, 0.76~0.94)	0.82 (95% CI, 0.66~0.91)
		右	0.94 (95% CI, 0.87~0.97)	0.78 (95% CI, 0.58~0.89)

表 4 Semmes-Weinstein 单丝与棉签检测结果的一致性比较

棉签	单丝					合计
	1.65~2.83	3.22~3.61	3.84~4.31	4.56~6.65	>6.65	
10 分	124	22	9	2	0	157
7~9 分	6	12	10	7	0	35
4~6 分	6	11	17	11	2	47
1~3 分	1	2	12	9	6	30
0 分	0	2	8	22	119	151
合计	137	49	56	51	127	420

注:Kappa 值为 0.550(95%CI 为 0.495~0.605, P<0.001)

表 5 触觉阈值与脑卒中及脊髓损伤患者基本特征的多元回归分析结果

多元回归分析	β	t 值	P 值
引入变量			
(常数项)	-	55.725	<0.001
损伤类型(完全性脊髓损伤相对于其它类型)	0.689	19.264	<0.001
损伤部位(腰段脊髓损伤与马尾神经损伤及圆锥马尾损伤相对于其它部位)	0.072	2.008	0.045
剔除变量			
年龄	-0.021	-0.573	0.567
身高	-0.015	-0.414	0.679
性别	-0.031	-0.848	0.397
组别	-0.054	-0.929	0.353
损伤类型(脑出血相对于其它类型)	0.009	0.174	0.862
损伤类型(脑梗死相对于其它类型)	-0.065	-1.817	0.070
损伤部位(胸段脊髓损伤相对于其它部位)	0.050	0.929	0.353

本研究首次对棉签的重测信度进行了研究,结果显示棉签的 ICC 值(0.60~0.83)均低于 Semmes-Weinstein 单丝,提示单丝阈值检测方法的信度优于棉签。以往有关糖尿病周围神经病变的研究显示, Semmes-Weinstein 单丝的灵敏度为 57%~93%, 特异度为 75%~100%, 阳性预测值为 84%~100%, 阴性预测值为 36%~94%^[27-28], 因此, Semmes-Weinstein 单丝相较棉签而言测试结果更加准确,故与棉签的检测结果存在较大差异。本研究与 Rheeder 等^[29]的研究结果(Kappa=0.21)基本一致。

本研究发现,脊髓丘脑束损伤的严重程度与触觉阈值明显相关,这一结果的可能原因是由于完全性脊髓损伤患者下肢感觉丧失,所以测试显示无反应,因此可能会增加相关性。此外,患者的损伤部位(腰段脊髓损伤与马尾神经损伤及圆锥马尾损伤相对于其它部位)与触觉阈值也具有明显的相关关系,产生这种结果可能的原因是,由于腰段脊髓损伤患者共 3 例,其中有 2 例是不完全性损伤,马尾神经损伤及圆锥马尾损伤的患者均为不完全性损伤患者,且这些患者的最低正常感觉平面距离本研究的检测部位(L₄、L₅、S₁)较近,因此可能会出现多个检测部位的阈值均为触觉正常阈值(2.83)的情况,从而相对增加了相关性。

本研究结果还显示, Semmes-Weinstein 单丝阈值与性别无明显相关关系,此与 Ricci^[30]的研究结果相一致;但 Komiyama 等^[31]的研究却显示,触觉阈值与种族和性别有明显相关关系,这与本研究不符,产生这一结果的可能原因是,本研究入组的患者中男性比例较高(男 50 例,女 10 例),由于男、女性比例不均导致在进行数据分析时女性患者的数据相对较少,从而不能反映性别因素对结果所造成的真实影响,因此可在今后的研究中对性别比例加以均衡。

综上所述, Semmes-Weinstein 单丝皮肤阈值测验的重测信度较高且优于传统棉签检测方法,适用于中

枢神经系统损伤所致的触觉障碍,可以作为增加美国脊髓损伤协会损伤分级敏感度及分辨率的潜在检查手段之一,为定量感觉检测的临床应用开辟了新的思路。在未来的研究中,将进一步扩大样本量,观察触觉传导通路不同损伤层面的特征性改变,并在有条件的综合医院将单丝皮肤阈值测验进行推广应用,使其成为现有检查方法的有益补充。

参 考 文 献

- [1] Pritchard N, Edwards K, Russell AW, et al. Corneal confocal microscopy predicts 4-year incident peripheral neuropathy in type 1 diabetes [J]. *Diabetes Care*, 2015, 38(4): 671-675. DOI: 10.2337/dc14-2114.
- [2] Mendez MM, Folgado J, Tormo C, et al. Altered glutathione system is associated with the presence of distal symmetric peripheral polyneuropathy in type 2 diabetic subjects [J]. *J Diabetes Complications*, 2015, 29(7): 923-927. DOI: 10.1016/j.jdiacomp.2015.05.023.
- [3] Kamei N, Yamane K, Nakanishi S, et al. Effectiveness of Semmes-Weinstein monofilament examination for diabetic peripheral neuropathy screening [J]. *J Diabetes Complications*, 2005, 19(1): 47-53. DOI: 10.1016/j.jdiacomp.2003.12.006.
- [4] Miscio G, Guastamacchia G, Brunani A, et al. Obesity and peripheral neuropathy risk: a dangerous liaison [J]. *J Peripher Nerv Syst*, 2005, 10(4): 354-358. DOI: 10.1111/j.1085-9489.2005.00047.x.
- [5] Brown JJ, Pribesh SL, Baskette KG, et al. A comparison of screening tools for the early detection of peripheral neuropathy in adults with and without type 2 diabetes [J]. *J Diabetes Res*, 2017, 2017(1): 1-11. DOI: 10.1155/2017/1467213.
- [6] Kirshblum SC, Burns SP, Biering-Sorensen F, et al. International standards for neurological classification of spinal cord injury (revised 2011) [J]. *J Spinal Cord Med*, 2011, 34(6): 535-546. DOI: 10.1179/204577211X13207446293695.
- [7] Felix ER, Widerström-Noga EG. Reliability and validity of quantitative sensory testing in persons with spinal cord injury and neuropathic pain [J]. *J Rehabil Res Dev*, 2009, 46(1): 69-83. DOI: 10.1682/JRRD.2008.04.0058.
- [8] Shrout PE, Fleiss JL. Intraclass correlations: uses in assessing rater

- reliability[J]. *Psychol Bull*, 1979, 86(2):420-428. DOI:10.1037/0033-2909.86.2.420.
- [9] Strotmeyer ES, de Rekeneire N, Schwartz AV, et al. The relationship of reduced peripheral nerve function and diabetes with physical performance in older white and black adults: the Health, Aging, and Body Composition (Health ABC) study[J]. *Diabetes Care*, 2008, 31(9):1767-1772. DOI:10.2337/dc08-0433.
- [10] Olaiya MT, Hanson RL, Kavena KG, et al. Use of graded Semmes Weinstein monofilament testing for ascertaining peripheral neuropathy in people with and without diabetes[J]. *Diabetes Res Clin Pract*, 2019, 151:1-10. DOI:10.1016/j.diabres.2019.03.029.
- [11] Martínez-Hervás S, Méndez MM, Folgado J, et al. Altered Semmes-Weinstein monofilament test results are associated with oxidative stress markers in type 2 diabetic subjects[J]. *J Transl Med*, 2017, 15(1):187-199. DOI:10.1186/s12967-017-1291-8.
- [12] Olmos PR, Cataland S, O'Dorisio TM, et al. The Semmes-Weinstein monofilament as a potential predictor of foot ulceration in patients with noninsulin-dependent diabetes[J]. *Am J Med Sci*, 1995, 309(2):76-82. DOI:10.1097/00000441-199502000-00004.
- [13] Slater RA, Koren S, Ramot Y, et al. Interpreting the results of the Semmes-Weinstein monofilament test; accounting for false-positive answers in the international consensus on the diabetic foot protocol by a new model[J]. *Diabetes Metab Res Rev*, 2014, 30(1):77-80. DOI:10.1002/dmrr.2465.
- [14] Mayfield JA, Sugarman JR. The use of the Semmes-Weinstein monofilament and other threshold tests for preventing foot ulceration and amputation in persons with diabetes[J]. *J Fam Pract*, 2000, 49(11 Suppl):S17-S29.
- [15] Maracle EC, Hung LY, Fell SI, et al. A comparison of the sensitivity of brush allodynia and Semmes-Weinstein monofilament testing in the detection of allodynia within regions of secondary hyperalgesia in Humans[J]. *Pain Pract*, 2017, 17(1):16-24. DOI:10.1111/papr.12418.
- [16] Carrer P, Trevisan C, Curreri C, et al. Semmes-Weinstein monofilament examination for predicting physical performance and the risk of falls in older people: results of the Pro.V.A. longitudinal study[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2018, 99(1):137-143. DOI:10.1016/j.apmr.2017.08.480.
- [17] World Health Organization. Cerebrovascular disorders: a clinical and research classification[M]. Geneva:WHO Offset Publication No.43, 1978.
- [18] Landerholm ÅH, Hansson PT. The perception threshold counterpart to dynamic and static mechanical allodynia assessed using von Frey filaments in peripheral neuropathic pain patients[J]. *Scand J Pain*, 2011, 2(1):9-16. DOI:10.1016/j.sjpain.2010.08.001.
- [19] Van der Cruyssen F, van Tiegheem L, Croonenborghs TM, et al. Orofacial quantitative sensory testing: Current evidence and future perspectives[J]. *Eur J Pain*, 2020, 24(8):1425-1439. DOI:10.1002/ejp.1611.
- [20] Zhang JW, Wang Q, Wang XF, et al. Sensory thresholds at different sites of the foot: a valuable reference for neurologic examinations[J]. *Spinal Cord*, 2017, 55(4):396-398. DOI:10.1038/sc.2016.167.
- [21] Löfstedt RM, Vanleeuwen JA. Evaluation of a commercially available luteinizing hormone test for its ability to distinguish between ovariectomized and sexually intact bitches[J]. *J Am Vet Med Assoc*, 2002, 220(9):1331-1335. DOI:10.2460/javma.2002.220.1331.
- [22] Collins S, Visscher P, de Vet HC, et al. Reliability of the Semmes Weinstein Monofilaments to measure coetaneous sensibility in the feet of healthy subjects[J]. *Disabil Rehabil*, 2010, 32(24):2019-2027. DOI:10.3109/09638281003797406.
- [23] Cham MB, Mohseni-Bandpei MA, Bahramizadeh M, et al. Reliability of Semmes-Weinstein monofilaments and tuning fork on pressure and vibration sensation measurements in diabetic patients[J]. *Iran Rehabil J*, 2019, 17(1):1-8. DOI:10.32598/irj.17.1.1.
- [24] Mawdsley RH, Behm-Pugh AT, Campbell JD, et al. Reliability of measurements with Semmes-Weinstein monofilaments in individuals with diabetes[J]. *Phys Occup Ther Geriatr*, 2004, 22(3):19-36. DOI:10.1300/j148v22n03_02.
- [25] Van Brakel WH, Khawas IB, Guring KS, et al. Intra- and inter-tester reliability of sensibility testing in leprosy[J]. *Int J Lepr Other Mycobact Dis*, 1996, 64(3):287-298. DOI:10.1016/S0046-8177(96)90236-1.
- [26] Snyder BA, Munter AD, Houston MN, et al. Interrater and intrarater reliability of the semmes-weinstein monofilament 4-2-1 stepping algorithm[J]. *Muscle Nerve*, 2016, 53(6):918-924. DOI:10.1002/mus.24944.
- [27] Feng Y, Schlösser FJ, Sumpio BE. The Semmes-Weinstein monofilament examination as a screening tool for diabetic peripheral neuropathy[J]. *J Vasc Surg*, 2009, 50(3):675-682. DOI:10.1016/j.jvs.2009.05.017.
- [28] Dros J, Wewerinke A, Bindels PJ, et al. Accuracy of monofilament testing to diagnose peripheral neuropathy: a systematic review[J]. *Ann Fam Med*, 2009, 7(6):555-558. DOI:10.1370/afm.1016.
- [29] Rheeder P, van Wyk JT, Hokken JW, et al. Monofilament assessment of neuropathy in a community diabetes clinic[J]. *S Afr Med J*, 2002, 92(9):715-719. DOI:10.1016/0005-2760(92)90143-J.
- [30] Ricci PT. Possible interaction between vibration thresholds by sex and motor dominance in the index finger and big toe[J]. *Percept Mot Skills*, 1997, 85(3 Pt 1):1091-1098. DOI:10.2466/pms.1997.85.3.1091.
- [31] Komiyama O, Kawara M, de Laat A. Ethnic differences regarding tactile and pain thresholds in the trigeminal region[J]. *J Pain*, 2007, 8(4):363-369. DOI:10.1016/j.jpain.2006.12.002.

(修回日期:2022-03-26)

(本文编辑:汪玲)