

脑卒中患者踝关节本体感觉的差异性研究

何泽佳 恽晓萍 宋桂芸 高明明 赵舒羽 张璞

中国康复研究中心康复评定科, 北京 100068

通信作者: 恽晓萍, Email: 15901285769@163.com

【摘要】 目的 探讨脑卒中患者在不同本体感觉测试下踝关节振动觉、位置觉及运动觉的差异。**方法** 选取存在本体感觉障碍的脑卒中患者 28 例(患者组)和健康志愿者 22 例(正常组),其中患者组按照卒中侧别,分为右侧脑卒中组(10 例)和左侧脑卒中组(18 组)。对患者组的健侧及患侧、正常组的优势侧及非优势侧,先后进行振动觉阈值测试、被动关节角度重置测试、主动关节角度重置测试、运动最小阈值测试,分析并比较健康志愿者与脑卒中患者之间、脑卒中患者患侧与健侧之间、左侧脑卒中患者与右侧脑卒中患者之间的本体感觉差异。**结果** 患者组患侧振动觉阈值 $[(28.91 \pm 22.53) \mu\text{m}]$,跖屈 $15^\circ [(5.49 \pm 5.39)^\circ]$ 和背伸 $5^\circ [(4.48 \pm 3.89)^\circ]$ 的被动位置觉绝对差值,跖屈 $15^\circ [(5.23 \pm 4.34)^\circ]$ 、跖屈 $30^\circ [(3.26 \pm 1.73)^\circ]$ 和背伸 $5^\circ [(4.97 \pm 3.48)^\circ]$ 的主动位置觉绝对差值,跖屈 $20^\circ [(11.21 \pm 15.57)^\circ]$ 、跖屈 $10^\circ [(7.47 \pm 8.40)^\circ]$ 和中立位 $0^\circ [(5.63 \pm 6.32)^\circ]$ 的运动觉阈值,均显著高于正常组($P < 0.05$)。患者组健侧振动觉阈值 $[(5.90 \pm 4.98) \mu\text{m}]$,跖屈 15° 的被动位置觉绝对差值 $[(3.75 \pm 2.04)^\circ]$,跖屈 15° 的主动位置觉绝对差值 $[(3.32 \pm 1.84)^\circ]$,跖屈 $20^\circ [(1.75 \pm 1.25)^\circ]$ 、跖屈 $10^\circ [(1.55 \pm 1.01)^\circ]$ 和中立位 $0^\circ [(1.38 \pm 0.98)^\circ]$ 的运动觉阈值,均显著高于正常组($P < 0.05$)。与左侧脑卒中组比较,右侧脑卒中组背伸 5° 的被动位置觉绝对差值 $[(8.52 \pm 5.13)^\circ]$ 较大($P < 0.05$)。**结论** 脑卒中患者患侧踝关节的振动觉、位置觉及运动觉均有不同程度的损害,其中以振动觉及运动觉损害相对较明显。脑卒中后健侧踝关节的振动觉、位置觉及运动觉也有轻度损害。右侧大脑半球损伤相对于左侧大脑半球损伤所致的本体感觉障碍可能更为严重。

【关键词】 本体感觉; 振动觉; 位置觉; 运动觉; 脑卒中

基金项目: 中国康复研究中心青年基金课题(No.2019zx-Q3)

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2023.07.005

Ankle proprioception after a stroke

He Zejia, Yun Xiaoping, Song Guiyun, Gao Mingming, Zhao Shuyu, Zhang Pu

Department of Rehabilitation Evaluation, Beijing Bo'ai Hospital, China Rehabilitation Research Center, Beijing 100068, China

Corresponding author: Yun Xiaoping, Email: 15901285769@163.com

【Abstract】 Objective To explore vibration, position and motion proprioception of the ankle joints after a stroke. **Methods** Twenty-eight stroke survivors with impaired ankle proprioception were divided into a right-side stroke group ($n = 18$) and a left-side stroke group ($n = 8$). Twenty-two healthy volunteers constituted a control group. Vibration perception thresholds, passive and active joint angle resetting, and motion minimum thresholds were quantified among the stroke survivors on both the healthy and the affected side. With the controls the dominant and non-dominant sides were used. The differences in proprioception between the healthy volunteers and the stroke patients, between the affected side and the healthy side of the stroke patients, and between left- and right-side stroke patients were analyzed and compared. **Results** Among the stroke survivors the vibration perception threshold on the affected side averaged $(28.91 \pm 22.53) \mu\text{m}$. The absolute difference in the perception of passive positioning was $(5.49 \pm 5.39)^\circ$ for 15° of plantar flexion and $(4.48 \pm 3.89)^\circ$ for 5° of dorsal extension. In active positioning plantar flexion was $(5.23 \pm 4.34)^\circ$ and for 30° of plantar flexion it was $(3.26 \pm 1.73)^\circ$. The 5° dorsal extension error was $(4.97 \pm 3.48)^\circ$. The motion perception thresholds between 20° of plantar flexion, 10° of plantar flexion and the neutral position were significantly higher, on average, than among the control group. The stroke group also had significantly higher motion perception thresholds than the control group. **Conclusion** The vibration, position, and motion sense of the ankle joint on a stroke survivor's affected side tend to be impaired, with the impairment of vibration and motion sensing tend to be more substantial. After stroke, there is also mild impairment of vibration, position and motion sensing in the healthy ankle joint. The impairment of proprioception caused by right

cerebral hemisphere injury may be more serious than that caused by injury on the left.

【Key words】 Proprioception; Vibration sensing; Position sensing; Kinaesthesia; Stroke
Funding: Youth Fund Project of the China Rehabilitation Research Center (No.2019zx-Q3)
DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2023.07.005

本体感觉又称深感觉,包括振动觉、位置觉及运动觉等,本体感受器主要分布在肌腱、韧带及关节囊上,主要感受振动、运动、位置、牵拉、速度及方向等刺激^[1]。脑卒中后感觉障碍的发生率高达 89%^[2],其中本体感觉障碍的发生率高达 69%^[3]。研究发现,右侧大脑半球损伤比左侧大脑半球损伤更容易出现本体感觉障碍^[4]。本体感觉障碍的患者因不能感知躯干肢体的运动和位置,易导致运动控制、协调、平衡、姿势等障碍,对患者的康复进程和预后有较大影响,其中踝关节本体感觉障碍是脑卒中后常见的感觉障碍之一^[5]。已有研究发现,踝关节本体感觉障碍可用于预测慢性脑卒中患者平衡障碍^[2],显示其可用于平衡、步态功能和踝关节损伤风险的评价。

本体感觉的检测方法可分为传统体格检查法、音叉检测法、角度阈值测量法、角度重建法、定量感觉检查法、本体感觉诱发电位检测法、事件相关电位法等^[6]。本研究对脑卒中患者进行踝关节振动觉阈值测试、被动关节角度重置测试、主动关节角度重置测试、运动最小阈值测试,旨在观察脑卒中后患者踝关节振动觉、位置觉及运动觉的变化,为脑卒中患者康复治疗方案的制订及疗效判断提供理论依据。

对象与方法

一、研究对象

患者组入选标准:①符合中华医学会神经病学分会脑血管病学组制订的《中国各类主要脑血管病诊断要点》中脑卒中的诊断标准^[7],并经头颅 CT 或 MRI 证实;②年龄 30~50 岁,右利手;③意识清楚,病情稳定,病程 3~6 个月,下肢 Brunnstrom 分期Ⅳ期及以上;④拇趾位置觉及运动觉检查,或音叉检测法结果提示患侧踝关节阳性者;⑤既往无踝关节扭伤史、骨折史,无糖尿病史;⑥无听理解、言语表达障碍,检查合作;⑦自愿参与研究,并签署知情同意书。患者组排除标准:①踝关节活动明显受限;②无法配合完成测试者;③患有精神心理障碍、理解障碍、失用症。

正常组入选标准:①年龄 30~50 岁,右利手;②既往无踝关节扭伤史、骨折史,无糖尿病史;③无听理解、言语表达障碍,检查合作;④自愿参与研究,并签署知情同意书。正常组排除标准:①踝关节活动明显受限;②无法配合完成测试者;③患有精神心理障碍、理解障碍、失用症。

选取 2020 年 8 月至 2022 年 8 月在中国康复研究中心就诊的存在本体感觉障碍的脑卒中患者 28 例,纳入患者组;选取本体感觉功能正常者 22 例(中国康复研究中心在职职工、患者家属及陪护人员),纳入正常组。两组受试者性别、平均年龄比较,差异无统计学意义($P>0.05$),具有可比性,详见表 1。患者组按照卒中侧别,分为右侧脑卒中组(10 例)和左侧脑卒中组(18 例),两组患者性别、平均年龄、平均病程比较,差异无统计学意义($P>0.05$),具有可比性,详见表 2。本研究获中国康复研究中心医学伦理学委员会审核批准(审批号 2019-33-1)。

表 1 两组受试者的一般资料

组别	例数	性别(例)		平均年龄 (岁, $\bar{x}\pm s$)	平均病程 (月, $\bar{x}\pm s$)
		男	女		
正常组	22	10	12	35.08 $\pm$ 12.98	—
患者组	28	18	10	42.52 $\pm$ 14.17	3.95 $\pm$ 2.66

表 2 不同卒中侧别组患者的一般资料

组别	例数	性别(例)		平均年龄 (岁, $\bar{x}\pm s$)	平均病程 (月, $\bar{x}\pm s$)
		男	女		
右侧脑卒中组	10	7	3	43.40 $\pm$ 14.31	3.80 $\pm$ 1.92
左侧脑卒中组	18	12	6	45.28 $\pm$ 14.96	3.18 $\pm$ 2.44

二、研究方法

本研究采用以色列产 VSA-3000 振动感觉测试仪进行振动觉阈值测定^[8-10],采用美国产等速测力计装置(BioDex 多关节肌力测试系统)进行主动位置觉、被动位置觉及运动觉测定^[11-15]。

1.振动觉阈值测试:受试者在安静、轻松的状态下接受检查,室温保持在(24 $\pm$ 2)℃,受试者取端坐位,并戴上眼罩,刺激部位为双足跟部骨性突起处,所有检查均由同一操作者完成。VSA-3000 振动感觉测试仪输出的刺激为振动频率 100 Hz 的正弦波,振动幅度变化范围为 0~130 μ m,变化速率为 0.8 μ m/s 递增。测试中,当受试者感觉到足跟部振动时,由操作者立即按下仪器按钮停止刺激,从而得到受试者的振动觉阈值,每个部位刺激 3 次,刺激间隔时间 3 s,控制变化率 <0.25 ,计算并记录受试者的平均振动觉阈值。

2.被动位置觉测试:受试者髋、膝关节角度大约维持在 45°屈曲位置,踝关节处于中立位(0°),并采用皮带固定关节。本研究将受试者的踝关节中立位设为起始角度,受试者戴眼罩,以尽可能避免视觉对本体感觉测试的潜在影响,选取 3 个目标角度:踝关节跖屈

15°、跖屈 30°、背伸 5°。被动地将受试者踝关节摆放至目标角度位置并停留 10 s,被动运动角速度设为 5°/s,要求受试者专心感觉各角度位置,再帮助受试者踝关节被动回到中立位。测试时,嘱受试者握住测试系统装置开关,在 BioDex 多关节肌力测试系统测试臂带动下,当受试者感觉踝关节到达设定角度时,按下“Stop”按钮,每个目标角度重复测试 3 次,记录目标角度和实测角度的绝对差值。

3.主动位置觉测试:受试者体位摆放及目标角度同被动位置觉测试。要求受试者从中立位(0°)主动将踝关节摆放至目标角度并停留 10 s,角速度设定为 300°/s,要求受试者专心感觉各角度位置,再帮助受试者踝关节主动回到中立位。测试时,在 BioDex 多关节肌力测试系统测试臂带动下,主动完成踝关节运动,当受试者感觉踝关节到达设定角度时,按下“Stop”按钮,每个目标角度重复测试 3 次,记录目标角度和实测角度的绝对差值。

4.运动最小阈值测试:受试者坐在测试椅上,髋、膝关节角度大约维持在 45°屈曲位置,踝关节处于中立位(0°),并采用皮带固定关节。受试者戴上眼罩,在告知受试者开始测试后的 3~10 s 内,随机利用伺服动力装置提供持续、缓慢的关节被动运动,被动运动角速度 0.25°/s,起始角度分别为:踝关节跖屈 20°、跖屈 10°、中立位 0°。顺时针和逆时针方向各运动测试 3 次,测量关节能够感知到的被动运动的运动阈值,即测量起始时的关节角度与受试者能够觉察到运动时的关节角度之差。受试者按下“Stop”按钮的角度与初始角

度的绝对差值为绝对误差角度。

三、统计学方法

采用 SPSS 24.0 版统计学软件进行数据分析,所有数据均采用($\bar{x}\pm s$)形式表示。本研 究所得数据多为偏态分布,故各测试方法所得数据之间的相关性分析采用 Spearman 相关分析法。不同测试方法的组间差异分析采用两独立样本的非参数符号秩和检验, $P<0.05$ 表示差异有统计学意义。

结 果

一、患者组患侧与正常组踝关节本体感觉的差异

除跖屈 30°的被动位置觉绝对差值外,患者组患侧振动觉阈值,跖屈 15°和背伸 5°的被动位置觉绝对差值,跖屈 15°、跖屈 30°和背伸 5°的主动位置觉绝对差值,跖屈 20°、跖屈 10°和中立位 0°的运动觉阈值,均显著高于正常组,差异有统计学意义($P<0.05$)。详见表 3。

二、患者组健侧与正常组踝关节本体感觉的差异

除跖屈 30°、背伸 5°的主被动位置觉绝对差值外,患者组健侧振动觉阈值,跖屈 15°的被动位置觉绝对差值,跖屈 15°的主动位置觉绝对差值,跖屈 20°、跖屈 10°和中立位 0°的运动觉阈值,均显著高于正常组,差异有统计学意义($P<0.05$)。详见表 4。

三、不同卒中侧别组患者踝关节本体感觉的差异

与左侧脑卒中组比较,右侧脑卒中组背伸 5°的被动位置觉绝对差值较大,差异有统计学意义($P<0.05$)。详见表 5。

表 3 患者组患侧与正常组踝关节振动觉、位置觉和运动觉的差异($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	振动觉阈值 (μm)	被动位置觉绝对差值(°)			主动位置觉绝对差值(°)			运动觉阈值(°)		
			跖屈 15°	跖屈 30°	背伸 5°	跖屈 15°	跖屈 30°	背伸 5°	跖屈 20°	跖屈 10°	中立位 0°
患者组患侧	28	28.91±22.53 ^a	5.49±5.39 ^a	4.28±2.61	4.48±3.89 ^a	5.23±4.34 ^a	3.26±1.73 ^a	4.97±3.48 ^a	11.21±15.57 ^a	7.47±8.40 ^a	5.63±6.32 ^a
正常组	28	2.78±0.89	2.03±0.70	4.89±3.00	1.79±1.34	2.10±1.30	2.08±1.53	1.78±1.40	0.93±0.48	0.84±0.47	0.80±0.30

注:与正常组比较,^a $P<0.05$

表 4 患者组健侧与正常组踝关节振动觉、位置觉和运动觉的差异($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	振动觉阈值 (μm)	被动位置觉绝对差值(°)			主动位置觉绝对差值(°)			运动觉阈值(°)		
			跖屈 15°	跖屈 30°	背伸 5°	跖屈 15°	跖屈 30°	背伸 5°	跖屈 20°	跖屈 10°	中立位 0°
患者组健侧	28	5.90±4.98 ^a	3.75±2.04 ^a	5.11±3.17	2.56±1.69	3.32±1.84 ^a	2.16±1.53	3.37±2.60	1.75±1.25 ^a	1.55±1.01 ^a	1.38±0.98 ^a
正常组	28	2.78±0.89	2.03±0.70	4.89±3.00	1.79±1.34	2.10±1.30	2.08±1.53	1.78±1.40	0.93±0.48	0.84±0.47	0.80±0.30

注:与正常组比较,^a $P<0.05$

表 5 不同卒中侧别组患者踝关节振动觉、位置觉和运动觉的差异($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	振动觉阈值 (μm)	被动位置觉绝对差值(°)			主动位置觉绝对差值(°)			运动觉阈值(°)		
			跖屈 15°	跖屈 30°	背伸 5°	跖屈 15°	跖屈 30°	背伸 5°	跖屈 20°	跖屈 10°	中立位 0°
右侧脑卒中组	10	31.2±19.72	5.50±4.59	3.16±0.89	8.52±5.13 ^a	4.34±2.05	4.66±2.34	6.02±4.61	13.20±15.99	13.20±15.99	9.00±8.15
左侧脑卒中组	18	26.0±13.84	5.05±5.36	4.26±2.54	3.27±2.20	5.70±5.12	2.95±1.26	4.31±2.66	26.00±13.84	8.64±12.38	6.09±6.83

注:与左侧脑卒中组比较,^a $P<0.05$

讨 论

本研究结果显示,相较于健康受试者,脑卒中患者偏瘫侧踝关节的振动觉和运动觉阈值明显较高,主动及被动关节角度绝对误差显著增大,表明存在本体感觉障碍的脑卒中患者的踝关节振动觉、位置觉及运动觉均有不同程度的损害,其中以振动觉和运动觉损害相对较明显。因此,在脑卒中患者踝关节本体感觉训练的过程中,要注意多种本体感觉内容的训练,除常规的主、被动活动关节挤压和牵张等手法训练外,还可以增加振动觉的训练。已有研究报道,振动可以引起较强的本体感觉刺激,有利于脑卒中皮质兴奋性、神经可塑性和运动功能的改善^[16]。

脑卒中后引起不同程度本体感觉障碍的原因,可能是由于本体感受器受损以及感觉传导通路受损。脑卒中后异常的运动模式和肌张力的异常增高或降低,会引起踝关节的变形、粘连、挛缩、损伤等,从而使分布在关节囊、韧带及跗骨窦内的肌梭、高尔基腱感受器、Pacinian 小体、Ruffini 感受器等受到不同程度的损害^[17],而不同的感受器损伤会引起不同的本体感觉障碍。同时本研究结果发现,相对于位置觉来说,振动觉和运动觉的损害更为明显,考虑与运动觉能更敏感地反映本体感觉有关。此外,脑卒中后感觉传导通路的损伤会引起中枢神经系统的整合异常,大脑皮质不能准确有效地接受、选择和处理不同的本体感觉信息,从而导致振动觉、位置觉及运动觉障碍。Kenzie 等^[18]研究发现,丘脑病变、内囊后脚病变、初级体感皮质和后顶叶皮质病变的脑卒中患者,存在不同程度的位置觉及运动觉损伤;此外,位置觉和运动觉损伤程度的不同,提示本体感觉的这两个成分之间可能存在分离。有学者还发现,同一患者不同方法的踝关节本体感觉评分之间的一致性很弱,表明控制不同本体感觉的神经机制可能存在差异^[11]。然而,目前有关病变位置与特定本体感觉障碍之间关系的研究仍然较少,尚待进一步探索。

本研究结果还显示,脑卒中患者非偏瘫侧踝关节的振动觉及运动觉阈值与正常组之间也存在显著性差异,目标角度为踝背伸 15° 时的主动及被动关节角度绝对差值与正常组之间也存在显著性差异,表明脑卒中患者非偏瘫侧踝关节也存在一定程度的本体感觉障碍。本研究这一结果与付孝翠等^[19]、Pan 等^[20]的研究结论一致,即脑卒中患者非偏瘫侧下肢也存在一定程度的本体感觉障碍。

有研究发现,踝关节周围肌肉疲劳会导致相应关节的本体感觉减弱,使关节损伤风险增加^[21]。肌肉疲劳引发关节位置觉变弱的原因可能与关节周围

肌肉疲劳会导致关节周围软组织紧张度下降,引发关节松弛,进而导致关节位置觉变弱有关^[22-23]。此外,也有学者认为,关节本体感觉的减弱可能与疲劳导致肌肉内感受器的感受信息传入异常有关^[24]。除此之外,Pan 等^[20]认为脑卒中后双侧踝关节本体感觉障碍,与本体感觉通路的神经解剖学有关。双侧运动前皮质和皮质下区域以及对侧感觉运动皮质均参与本体感觉处理,因而一侧大脑半球的损伤会引起双侧本体感觉障碍^[25]。

在临床工作中,脑卒中患者及家属,甚至治疗师,往往更多关注于运动功能障碍,而忽视本体感觉功能障碍,尤其脑卒中患者非偏瘫侧肢体的本体感觉功能障碍。而非偏瘫侧的功能活动情况与患侧肢体功能恢复、日常生活能力密切相关,因此,在脑卒中患者的康复过程中,不仅要重视偏瘫侧肢体本体感觉功能的评估与训练,对非偏瘫侧进行积极的本体感觉训练也是十分重要的。

本研究结果还发现,右侧脑卒中组在目标角度为背伸 5° 时的被动关节角度绝对差值显著大于左侧脑卒中组。同时,本研究结果也显示,虽然差异无统计学意义,但是右侧脑卒中患者的振动觉阈值及运动觉阈值均普遍高于左侧脑卒中患者。因此本研究认为,相对于左侧大脑半球损伤来说,右侧大脑半球损伤后所致的本体感觉障碍可能更为严重。Iandolo 等^[26-27]的研究结果发现,右侧大脑半球在本体感觉的加工过程中具有较强的优势,健康成年人在踝关节位置重测任务中的表现与右侧顶叶皮质区域的神活动相关,主要脑区包括初级体感皮质和上顶叶皮质。Naito 等^[28]的研究也发现,右侧大脑半球在肢体运动感觉中占主导地位。所以在右侧大脑半球损伤后,左侧肢体的运动觉及位置觉等与空间关系整合有关的功能会更容易受损,在临床诊疗中,有关右侧脑卒中患者的本体感觉情况更应予以重视。

本研究存在一定的局限性,如研究样本量较小,仅选取了病程 3~6 个月的患者,未选取不同病程的脑卒中患者进行分组比较等。今后研究需进一步扩大样本量,并采用本体感觉定量评价方法对不同病程患者开展随访观察。

参 考 文 献

- [1] Héroux ME, Butler AA, Robertson LS, et al. Proprioception: a new look at an old concept [J]. J Appl Physiol, 2022, 132(3): 811-814. DOI: 10.1152/jappphysiol.00809.2021.
- [2] Cho J, Kim H. Ankle proprioception deficit is the strongest factor predicting balance impairment in patients with chronic stroke [J]. Arch Rehabil Res Clin Transl, 2021, 3(4): 100165. DOI: 10.1016/j.arct.2021.100165.

- [3] Findlater SE, Mazerolle EL, Pike GB, et al. Proprioception and motor performance after stroke: an examination of diffusion properties in sensory and motor pathways[J]. Hum Brain Mapp, 2019, 40(10): 2995-3009. DOI: 10.1002/hbm.24574.
- [4] Chilvers MJ, Hawe RL, Scott SH, et al. Investigating the neuroanatomy underlying proprioception using a stroke model[J]. J Neurol Sci, 2021, 4430: 120029. DOI: 10.1016/j.jns.2021.120029.
- [5] Duclos NC, Maynard L, Abbas D, et al. Hemispheric specificity for proprioception: postural control of standing following right or left hemisphere damage during ankle tendon vibration[J]. Brain Res, 2015, 1625: 159-170. DOI: 10.1016/j.brainres.2015.08.043.
- [6] 宋江华, 元小冬, 周立富, 等. 本体感觉测量方法相关研究进展[J]. 现代电生理学杂志, 2017, 24(1): 24-27. DOI: 10.3969/j.issn.1672-0458.2017.01.008.
- [7] 中华医学会神经病学分会, 中华医学会神经病学分会脑血管病学组. 中国各类主要脑血管病诊断要点 2019[J]. 中华神经科杂志, 2019, 52(9): 710-715. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1006-7876.2019.09.003.
- [8] Newsome SD, Wang JI, Kang JY, et al. Quantitative measures detect sensory and motor impairments in multiple sclerosis[J]. J Neurol Sci, 2011, 305(1-2): 103-111. DOI: 10.1016/j.jns.2011.03.003.
- [9] Bril V, Perkins BA. Comparison of vibration perception thresholds obtained with the neurothesiometer and the CASE IV and relationship to nerve conduction studies[J]. Diabet Med, 2002, 19(8): 661-666. DOI: 10.1046/j.1464-5491.2002.00759.x.
- [10] Gao M, Yun X, Zhang T. VSA-3000: a quantitative vibration sensation testing device for patients with central nervous system injury[J]. Front Neurol, 2020, 11: 936. DOI: 10.3389/fneur.2020.00936.
- [11] Lee MJ, Kilbreath SL, Refshauge KM. Movement detection at the ankle following stroke is poor[J]. Aust J Physiother, 2005, 51(1): 19-24. DOI: 10.1016/S0004-9514(05)70049-0.
- [12] Mohammadi R, Khorasgani MA, Tabatabaei M, et al. Effects of elastic therapeutic taping on joint position sense of the ankle in stroke survivors[J]. Am J Phys Med Rehabil, 2019, 98(9): 830-834. DOI: 10.1097/PHM.0000000000001191.
- [13] 魏铭一, 李晓琳, 刘宇飞. 等速肌力测试技术在踝关节中的应用进展[J]. 体育科技文献通报, 2022, 20(4): 222-224. DOI: 10.19379/j.cnki.issn.1005-0256.2022.04.062.
- [14] Whittier TT, Bandera V. Innovative methods measure the neural correlates of proprioception in multiple sclerosis[J]. J Neurophysiol, 2020, 124(4): 1007-1009. DOI: 10.1152/jn.00223.2020.
- [15] 李林, 纪仲秋, 李艳霞, 等. 关节角度重置法、运动最小阈值测量法和力量重现法的相关研究[J]. 天津体育学院学报, 2016, 31(1): 36-40. DOI: 10.13297/j.cnki.issn1005-0000.2016.01.007.
- [16] Franc SL, Bonan I, Fleury M, et al. Visual feedback improves movement illusions induced by tendon vibration after chronic stroke[J]. J Neuroeng Rehabil, 2021, 18(1): 156. DOI: 10.1186/s12984-021-00948-7.
- [17] Røijezon U, Clark NC, Treleven J. Proprioception in musculoskeletal rehabilitation. Part 1: basic science and principles of assessment and clinical interventions[J]. Man Ther, 2015, 20(3): 368-377. DOI: 10.1016/j.math.2015.01.008.
- [18] Kenzie JM, Semrau JA, Findlater SE, et al. Anatomical correlates of proprioceptive impairments following acute stroke: a case series[J]. J Neurol Sci, 2014, 342(1-2): 52-61. DOI: 10.1016/j.jns.2014.04.025.
- [19] 付孝翠. 脑卒中患者膝关节本体感觉功能评估[D]. 宁夏: 宁夏医科大学, 2019.
- [20] Pan L, Xu D, Wang W, et al. Assessing bilateral ankle proprioceptive acuity in stroke survivors: an exploratory study[J]. Front Neurol, 2022, 13: 929310. DOI: 10.3389/fneur.2022.929310.
- [21] 温子星, 徐欣, 瞿强, 等. 向心/离心肌肉疲劳对踝关节本体感觉及平衡能力的影响[J]. 中国运动医学杂志, 2020, 39(1): 21-25. DOI: 10.3969/j.issn.1000-6710.2020.01.003.
- [22] Nicholettos A, Barcellona MG, Morrissey MC. The immediate effects of open kinetic chain knee extensor exercise at different loads on knee anterior laxity in the uninjured[J]. Knee, 2013, 20(6): 500-504. DOI: 10.1016/j.knee.2012.10.014.
- [23] 郭琪. 局部肌肉疲劳对踝关节本体感觉的影响[J]. 运动人体科学, 2021, 11(1): 28-30. DOI: 10.16655/j.cnki.2095-2813.2002-9754-6526.
- [24] Hiemstra LA, Lo IK, Fowler PJ. Effect of fatigue on knee proprioception: implications for dynamic stabilization[J]. J Orthop Sports Phys Ther, 2001, 31(10): 598-605. DOI: 10.2519/jospt.2001.31.10.598.
- [25] Osumi M, Sumitani M, Otake Y, et al. A hypothetical explanatory sensorimotor model of bilateral limb interference[J]. Med Hypotheses, 2019, 122: 89-91. DOI: 10.1016/j.mehy.2018.10.025.
- [26] Iandolo R, Bellini A, Saiote C, et al. Neural correlates of lower limbs proprioception: an fMRI study of foot position matching[J]. Hum Brain Mapp, 2018, 39(5): 1929-1944. DOI: 10.1002/hbm.23972.
- [27] Iandolo R, Bommarito G, Falcitano L, et al. Position sense deficits at the lower limbs in early multiple sclerosis: clinical and neural correlates[J]. Neurorehabil Neural Repair, 2020, 34(3): 260-270. DOI: 10.1177/1545968320902126.
- [28] Naito E, Roland PE, Grefkes C, et al. Dominance of the right hemisphere and role of area 2 in human kinesthesia[J]. J Neurophysiol, 2005, 93(2): 1020-1034. DOI: 10.1152/jn.00637.2004.

(修回日期: 2023-04-24)

(本文编辑: 凌 琛)