

·综述·

脑卒中后上肢和手感觉功能评定的研究进展*

何洁莹¹ 贾杰^{1,2}

脑卒中的发病率因世界人口的增长和老龄化而居高不下,尽管疾病的生存率已有所提升,但遗留的功能障碍仍给患者的家庭和社会带来了极大的负担^[1]。上肢功能在全身功能中占比60%,而手功能又占上肢功能的90%^[2]。约11%—85%的脑卒中患者存在上肢感觉功能障碍^[3],影响患者的运动控制能力和日常生活活动能力^[4]。感觉功能的重要性虽得到了广泛的认可,但在临床实践中却较少被提及^[5]。感觉评估主观性强,与患者的情绪、注意力及认知能力有关,并且不同评估者在评估过程中皮肤的接触、操作方法和评判标准均有所不同,导致结果干扰因素多,可比性较差。然而,在临床和科研中,标准规范的感觉评估是训练的基础,故本文就脑卒中后上肢与手的感觉功能评估方法展开综述。

1 感觉功能评估量表

1.1 诺丁汉感觉功能评价量表(Nottingham sensory assessment, NSA)

诺丁汉感觉功能评价量表由Lincoln等^[6]于1991年设计,其评估项目包括:温度觉、轻触觉、触觉定位、压觉、针刺觉、两点辨别觉、本体感觉和实体觉等。评估部位有肩、肘、腕、手、髌、膝、踝和足部,身体两侧相应的部位均需评估。Gaubert等^[7]对NSA的实体觉检查进行研究,发现其评估者间信度较好,可用于脑卒中患者的评估,但具体的评分标准可能还需要进一步修订。因NSA评估时间长且评估者间信度较差,改良诺丁汉感觉功能评价量表^[8](revision of the NSA, rNSA)在原量表基础上对健侧评估项目进行删减并增加中止评估项目的指标,然而经研究发现其评估者间信度仍较差。2006年,Stolk-Hornsveld等^[9],对rNSA进一步修订(Erasmus modification of the NSA, EmNSA),删除了温度觉测试,增加锐—钝辨别评估痛觉,并确定了触觉和锐—钝辨别检查的具体部位及本体感觉检查的起始位置,提高了量表大多数评估项目的信度,评估时间缩短到10—15min,使其便于在临床筛查中应用^[10]。

NSA是评估脑卒中患者感觉功能的标准量表,目前已广

泛应用于国外许多卒中研究中。杨宇琦等^[11]对NSA进行了汉化,并检验其信效度,但该量表尚未在我国临床工作中使用。

1.2 Rivermead 躯体感觉评定量表(the Rivermead assessment of somatosensory performance, RASP)

Rivermead 躯体感觉评定量表适用于各种神经系统疾病的感觉功能评定^[12],分为5个主要测试(针刺觉、定位觉、温度觉、触压觉、关节运动觉)和2个次要测试(精细触觉和两点辨别觉)。在10个身体部位分别进行6次测试,其中2次为“假”测试,此时假装给予患者刺激让其辨别,以提高结果的可信度。Busse等^[13]对RASP进行研究,提出可将量表中本体感觉和触觉的评价等级划分为“完好”、“正常”和“缺失”,并认为上肢仅需在手掌和拇指进行测试。若测试部位的某种感觉功能为完好或缺失时,则无需再对这一肢体的其他部位进行相同的测试,从而缩短了评估时间。Hillier等^[14]则认为,用RSAP评估本体感觉功能,评估者的直接接触会给患者带来一定的感觉输入,导致结果不够准确。

与其他评估量表相比,RASP有规范的评估流程和配套设计的评估设备,因此信度性较高,同样也是脑卒中后感觉功能的标准评估量表。但我国目前尚未对该量表汉化,亦无相关研究。

1.3 Fugl-Meyer 量表感觉评定

Fugl-Meyer 量表是临床与科研工作中常用的量表,研究表明其运动功能评分部分具有很好的信效度^[15]。相比之下,感觉功能部分的研究较少,量表中也只包含了轻触觉和本体感觉这两种感觉的评估内容。Lin等^[16]经研究发现,Fugl-Meyer 量表的感覺功能评分存在天花板效应,不能很好地辨别患者是否存在感觉障碍,且在卒中后不同恢复时期的评定中仅表现出较为一般的有效性和敏感性。Sullivan等^[17]通过对评估者进行标准化方法的培训,发现其信度得到了提高。尽管如此,Fugl-Meyer 量表感觉部分用于临床工作中可能只适合对患者进行初步筛查,要想全面了解患者的感觉功能状况,还需在此基础上结合其他的评估方法。

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2021.11.024

*基金项目:国家重点研发计划项目(2018YFC2002300);国家自然科学基金创新研究群体项目(82021002);国家自然科学基金重大项目(91948302)

1 复旦大学附属华山医院康复医学科,上海市,200040; 2 通讯作者
第一作者简介:何洁莹,女,硕士研究生; 收稿日期:2020-02-03

2 体格检查

详细的体格检查能帮助医师了解患者的功能状况。感觉功能检查包括浅感觉、深感觉和复合感觉检查。浅感觉检查可分别用大头针、冷热水试管和棉签触碰患者皮肤,询问患者的感受来检查痛觉、温度觉和触觉。深感觉包括运动觉、位置觉和震动觉,在日常生活中与手的精细动作和运动协调密切相关^[18]。医师将患者的患侧肢体摆至某一位置,再令其用健侧肢体做出与之相同的姿势来检查位置觉;通过上下移动肢体远端关节,询问患者所感觉到的移动方向来评估运动觉^[19]。震动觉检查可用128Hz或256Hz的音叉震动后放在骨突处(如尺桡骨茎突、手指等),询问患者有无震动感。复合感觉涉及大脑的整合,在浅感觉和深感觉均为正常的情况下才需进行检查,包括实体觉、两点辨别觉和重量觉等。实体觉检查可将患者熟悉的日常物品置于患者手中,让他触摸后说出物品名称和特性。两点辨别觉通过专门的工具刺激患者的皮肤,评估时两点间距逐渐缩小,直到患者只能感觉到一点刺激为止^[20]。虽然体格检查主观性较强,但能快速筛查患者是否存在感觉障碍,为后续进一步的评估和治疗提供基础。

3 感觉评估测验

感觉评估测验利用仪器设备评估避免了直接接触患者,可以提供较为客观、定量的检查结果,更能准确地反映患者的感觉功能状况,在国外的研究中已广泛应用。但每种设备只能评估一种或两种感觉属性,使用时需针对不同的感觉功能选择相应的评估设备。

3.1 浅感觉评估

3.1.1 触觉评估: Semmes-Weinstein单丝检查法是国际上公认的触觉检查金标准。用不同粗细的单丝触碰患者的皮肤,并使单丝弯曲约1.5s,患者闭眼回答有无触感,记录患者能感受到的最细单丝纤维编号^[21]。Weinstein等^[22]于1993年研发了Semmes-Weinstein单丝的改进版本(Weinstein Enhanced Sensory Test, WEST),具体改进表现为单丝更加便携、坚固和稳定。

SWME具有操作简单,可重复性高的优点,已在临床和科研中广泛应用^[23]。但检查所需的测验重复次数多,因此需避免患者在评估中注意力下降或产生惯性回答,影响结果的准确性。此外,Haloua等^[24]发现在不同温度和湿度条件下, Semmes-Weinstein单丝的弯曲能力可能会发生变化,故评估时还需注意周围的环境条件。

3.1.2 痛温觉: 定量感觉检查(quantitative sensory testing, QST)可用于定量测定多种感觉阈值,包括温度觉(热觉、冷觉、热痛觉、冷痛觉)、压力痛觉、机械觉和振动觉。评估方法有水平法和极限法两种。较常使用的是极限法,测验时温度

逐渐增加或降低,直至患者感到热或冷的瞬间,按下按钮,记录此时的数值,重复测验三次取平均值作为患者的感觉阈值。为确保检查的安全,当温度达到0°C或50°C时,试验停止。脑卒中定量感觉检查主要用于卒中后中枢性疼痛和肩痛^[25-26]。QST操作简单,患者易于理解,可重复性高。不同的操作方法各有优缺点,采用极限法测定的阈值会高于实际值,因为包括了患者的反应时间。采用水平法虽可以得到更加精确的感觉阈值,但在长时间的评估过程中,患者可能会感到疲劳或注意力下降^[27-28]。因此需根据具体情况选用合适的方法评估。

3.2 深感觉评估

3.2.1 腕关节位置感觉测验(wrist position sense test, WPST): WPST由Carey等^[29]于1996年设计,利用简单的设备定量评估腕关节位置觉。设备上标有量角器刻度,将患者的手腕放在设备内的操作杆上,患者看不到腕关节在设备内的移动。检查者手动移动操作杆并控制速度到预先确定的20个腕关节屈伸角度。检查者每次移动后,患者再将自己感知到的位置角度指针和腕关节中点与食指的连线对齐,用20个评估角度的平均绝对误差来代表患者腕关节的本体感觉功能。

WPST具有较高的重测信度($r=0.88$ 和 0.92),操作简便,且评估所需要时间较短。但不同检查者移动杆的速度存在差异,可能会对结果产生影响。此外,腕关节的本体感觉功能并不能代表整个上肢,因此其他部位的本体感觉功能还需要另外用其他方法进行评估。

3.2.2 平板任务(Tablet Task): 由一个放置手的倾斜板和平板电脑组成,用于评估患者感知食指的位置觉能力。在闭眼状态下,患者的手被放在倾斜板上固定,四指分开,食指与水平线呈55°。待检患者将平板电脑放在手的上方固定好后,再嘱患者睁眼。电脑屏幕显示由斜线分隔开的两种不同颜色。斜线的起始角度与食指角度相差30°,询问患者所感知到的食指位置位于哪个颜色的区域中,根据患者的回答,分隔线的倾斜角度按照设置好的程序随之发生变化。如此反复,最后由计算机算出患者所感知到的食指指向位置。Block等^[30]用Tablet Task和临床中常用的评估手段(被动运动方向辨别和Fugl-Meyer量表),对16例脑卒中患者和16例健康成年人进行本体感觉评定。结果显示,与Fugl-Meyer量表相比,Tablet Task和被动运动方向辨别能更为敏感地辨别出患者轻微的本体感觉障碍,但被动运动方向辨别存在天花板效应。

Tablet Task操作简单且测验时间仅需2—3min,适用于临床。但目前Tablet Task评定都是在食指外展与水平线呈55°下完成^[30-31],其他角度或手指能否用此方法评估还需进一步研究。此外,在评估过程中患者需回答食指所在的颜色

区域,故在评估前应进行色觉检查。

3.2.3 智能化评估器械:近年来,许多研究者设计了可以定量评估本体感觉的设备,种类繁多,根据评估方法不同可大致分为三类^[18,29,32-34]。第一类是重复测试,将患肢固定在设备上,被动移动到预先设定的目标位置,回到起点后再以相同的速度移向先前的目标位置,当患者感知移动到目标位置时告诉评估者以停止移动,根据结果的变异性判定有无本体感觉功能障碍^[32]。第二类评估方法是比较测试,在每次试验中,患肢关节被移动到两个不同的角度,患者比较两次关节移动角度的大小,不同的设备对结果的计算方法不同^[18,33]。第三类是微小变动测试,设备以逐级递增或递减的力移动上肢,每次变化后都询问患者是否感觉到运动,以患者刚好能感受到移动的阈值来评估患者本体感觉功能是否下降^[34]。Elangovan等^[35]对27例健康成年人进行位置觉不同评估方法的比较,发现纯被动移动再令其比较的方法,会比患者主动重现姿势的评定结果来得更精确和灵敏,可能与主动运动跟患者感觉运动整合等相关功能有关。

本体感觉设备评估可以观察到患者细微的功能变化,便于监测治疗后感觉改善的程度。但器械评估也存在一定的局限性。首先,不同于人为评估的灵活性,器械的移动路线固定,研究中大多利用一个方向上的评定结果来判定整体的本体感觉功能,但Klein等^[36]发现上肢本体感觉在不同方向和姿势上的敏感性不同。其次,尽管研发的器械种类多样,但大多数研究尚处于探索阶段,研究的样本量较小。且由于设备价格昂贵,目前只能在研究中使用,尚不适用于临床实践中。

3.3 复合感觉评估

3.3.1 形状/纹理辨别测验(shape/texture identification test, STI-test™)及 STI²: STI-test™由Rosén等^[37]于1998年提出,可用于评估患者的形状觉和纹理觉(texture)。测验工具为6个圆盘,其中3个圆盘上有立方体,圆柱体和六边形物体,3个圆盘上有一个、两个和三个为一组呈现凸起的点。不同圆盘之间物体直径不同(15、8或5mm),或是点之间的间隔距离不同(15、8或4 mm)。物体直径越小或点之间的间隔越小,难度越高。在正式测试前,让患者用手指感受待会要触摸的物体。在评估时,先健侧后患侧,由易至难,每个难度下的3个答案都必须都回答正确,才能计为1分,并继续进行下一个难度的测试,最高分数为6分。

Linnertz等^[38]在STI-test™的基础上设计的新版本—STI²,改进之处为加深圆盘上纹理点的凹痕,以防止手指从插槽中滑出,同时令圆盘的表面更加光滑。与原始版本的仪器相比,STI²具有良好的效度,二者没有显著差异。

尽管STI-test™被证实在脑卒中和周围神经系统疾病患者中具有较好的信度^[37,39],但测验中触摸的物体直径和点之

间的距离较小,起始难度较大,因此功能障碍较为严重的患者不适合使用此方法评定。目前的研究^[39]也仅证实STI-test™在轻到中度脑卒中功能障碍患者中应用的可行性。

3.3.2 手部主动感觉测验(hand active sensation test, HASTe):是由Williams等^[40]设计用于评估重量觉和质地觉(texture)的测验,具有较高的敏感性、特异性和重测信度。

在评估开始前需进行示范操作,给患者物体A和物体B,并告诉他比较这两个物体的重量,再给患者物体A和物体C,比较这两者质地之间的区别。正式测验时需用到9种大小、形状相同,但重量和质地不同的物体。这些物体都有相应的编号,测试时根据评分表上的数字按顺序拿出。首先,让患者感受所给予物体的特征,接着在三个物体中找出与它具有相同重量或质地的匹配项。每次测验所用的物体,只有重量或质地不同,不会出现这两种属性都不相同的情况。患者需自行辨别是哪一种属性不同,评估者不可给予提示,回答时只需说出匹配的物体编号,而不用描述或解释选择的原因。每侧肢体需进行18次测验,先健侧后患侧,重量觉和质地觉各评估9次,总分18分,<13分则认为存在触觉功能障碍。

HASTe需要患者具备一定的运动能力,能够主动抓握和拿起物体。一次HASTe评估包含18次测验,每次测验流程相似,因此患者容易出现疲劳效应。然而,相比其他评估方法,HASTe所需的工具价格便宜,虽在市面上还无法购买,但容易用简单的材料组建^[41]。标准化的评估流程和价格优势,可能会让HASTe未来更多地被应用在临床和科研工作中。

3.3.3 纹理辨别测验(tactile discrimination test, TDT):由Carey等^[42]设计,可定量评估患者对纹理辨别的能力,已被用于多个研究中。测验方法为患者用手指触摸表面有凹凸峰的塑料板,每三个板为一组,其中两个板面上的凹凸峰间距是一样的,患者触摸后指出哪个塑料板上的凹凸峰间距与其他两个不同。每一组内,用于对比的塑料板放置的位置顺序,与其他两板板面相比是粗糙或是光滑,还有相差的程度都是随机的。检查者根据患者所能辨别的间隔差百分比计算出阈值。

TDT测验对患者手指施加在板面上的压力、移动的速度和来回重复的次数均不做控制,因此存在一定程度上的个体差异。此外,Carey等^[43]还用TDT测验对51例脑卒中患者进行评估,发现有47%的患者对侧手存在感觉减退,16%的患者损伤病灶同侧手存在感觉功能异常,提示脑卒中后“健侧”肢体可能也存在感觉功能障碍。

3.3.4 AsTex®板及SITAR系统:AsTex®也是一种用来评定患者对纹理辨别能力的凹凸槽塑料板,其特点是凹凸槽的宽度沿着板的边长而逐渐缩短。患者在评估时,将食指放在AsTex®板的粗糙表面最远端,以轻到中度的力在AsTex®板上缓慢滑动,直到感觉到表面为“光滑”时停止^[44]。

Miller等^[44]对31例神经系统功能正常的人和22例脑卒中患者进行研究,证实AsTex[®]具有良好的重测信度(ICC分别为0.98和0.86)。但在评估过程中,同样也无法控制受试者手指施加在板上的压力和滑动的速度。

SITAR系统将AsTex[®]板与交互式桌面相结合,利用交互式桌面感应触摸的位置和力度,在评估过程中自动记录患者食指施加在AsTex[®]板上的力和感觉到表面为“光滑”的位置信息。患者可以根据SITAR屏幕上的视觉反馈调整自己触摸AsTex[®]板所用的力,并且通过检查者缓慢滑动木板来控制滑动速度^[45],使得评估结果更加准确、可靠。

AsTex[®]操作简单,且只需用到一块塑料板就能完成评定,已被应用于临床研究中。SITAR以智能化的装置为依托,能减少评估的误差,提供更准确的结果,未来可以进一步展开其在脑卒中患者与健康人群中应用的信效度的研究。

3.3.5 明尼苏达触觉功能评定(the Minnesota haptic function test):由Holst-Wolf等^[46]设计用于评估主动触觉,测验工

具为28个具有不同曲面弧度的塑料块,也可作为形状觉的评估测验。每次测试都拿出两个塑料块,一个作为参考块,一个作为对比块。在检测患者的触觉灵敏度时,参考块的表面都是平坦的,而对比块表面具有一定的弧度,患者用食指触摸后回答哪一个塑料块表面具有弧度,检查者记录在计算机中,利用软件的算法给出下一次测试所用的塑料块。这种方法可以快速检测出患者的感觉阈值。在敏锐度测验中,曲面中心高度为20mm的塑料块作为参考块,选择更弯曲或更平坦的塑料块作为对比块。

该试验较新,目前仅在健康成年人和9例疑有外周神经损伤的患者中测验,表现出较好的有效性和重测信度($r=0.93$)。在评估过程中,不控制患者食指移动的速度,但限制来回移动的次数,从而简化了评估流程,缩短时间。未来还需有更多相关的研究在大样本、中枢神经系统疾病患者中探讨该测验的信效度,以更好地推广应用。5种复合感觉的评估工具比较见表1。

表1 5种复合感觉评估工具比较

工具	评估的感觉	优点	缺点	参考文献
STI-test [™] 及STI [†]	形状觉和纹理觉	可用于脑卒中和周围神经系统疾病	难度较大,不适合功能障碍较重者	Rosén等 ^[37] ,Linnertz等 ^[38] ,Ekstrand等 ^[39]
HASTe	重量觉和质地觉	用简单的材料即可组建评估工具	易出现疲劳效应	Williams等 ^[40] ,Borstad等 ^[41]
TDT	纹理觉	操作方便	患者手指施加在板面上的压力、移动的速度和来回重复的次数均不做限制	Carey等 ^[42]
AsTex [®] 板及SITAR系统	纹理觉	AsTex [®] 板具有较好的实用性	SITAR系统目前研究较少	Miller等 ^[44] ,Hussain等 ^[45]
明尼苏达触觉功能评定	形状觉	操作简单,耗时短	测验较新,仅有小样本研究	Holst-Wolf等 ^[46]

4 神经电生理检查

用于感觉功能检查的神经电生理技术主要为躯体感觉诱发电位(somatosensory evoked potential,SEP),原理是通过电刺激或机械刺激躯体感觉神经末梢,在其特定感觉传导通路上检测生物电反应。相比脑功能成像方法,SEP是一种相对便宜且易于使用的技术。在上肢主要刺激正中神经。该方法可检测从外周到大脑中枢的感觉传导通路完整性,帮助定位传导通路的病变部位或病理变化,是一种客观、精确、敏感的检查^[47]。

有研究发现脑卒中后早期的SEP评估结果与预后有着密切关系^[48-50]。Haupt^[48]等在缺血性卒中患者发病后第1、2天即进行上肢正中神经SEPs检测,将得到的结果与作为早期预后评定的改良Rankin量表第7—10天的得分进行分析,发现SEPs是缺血性卒中早期预后的可靠指标,结合生化指标和临床评估工具可以弥补其灵敏度低的缺陷。

5 小结

感觉障碍是脑卒中后常见的功能障碍之一。在运动功能损伤较重时,感觉障碍对患者日常活动和参与的影响常常被忽视。随着运动功能的恢复,感觉功能的重要性逐渐突显,影响患者精细动作的完成和运动的控制^[51-52]。有研究发现,一部分脑卒中患者在病灶同侧肢体也存在部分感觉减退,因此对“健侧”肢体进行评估也是必要的^[53-54]。

感觉评估量表操作方便,在临床和科研中都应用广泛,但主观性强且仅把各个感觉简单地评定为正常、减退或缺失,不能监测到患者细微的功能变化,因此较适合作为早期的感觉功能筛查工具。目前,汉化的感觉评估量表还较少,未来可进一步研究其信效度以推广应用。体格检查在临床中最常使用,能快速了解患者的整体感觉功能状况,但缺乏客观性。许多学者设计了针对各类感觉的评估测验,其特点是测验仪器设备和流程标准规范,提高了评估的敏感性和特

异性,已应用于科研中。本体感觉智能化评定器械实现了结果的定量转化,数据客观、精确,但价格昂贵且评定方向单一,目前还只停留在研究层面,相信未来对其进一步简化与研究后,能为临床工作提供更多的便利与价值。

参考文献

- [1] Katan M, Luft A. Global burden of stroke[J]. *Seminars in Neurology*, 2018, 38(2):208—211.
- [2] 贾杰. 脑卒中后手功能康复现状[J]. *老年医学与保健*, 2015, 21(3):129—131.
- [3] Meyer S, Karttunen AH, Thijs V, et al. How do somatosensory deficits in the arm and hand relate to upper limb impairment, activity, and participation problems after stroke? a systematic review[J]. *Physical Therapy*, 2014, 94(9):1220—1231.
- [4] Carlsson H, Gard G, Brogårdh C, et al. Upper-limb sensory impairments after stroke: Self-reported experiences of daily life and rehabilitation[J]. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 2018, 50(1):45—51.
- [5] Cahill LS, Lannin NA, Mak-Yuen YYK, et al. Changing practice in the assessment and treatment of somatosensory loss in stroke survivors: protocol for a knowledge translation study[J]. *BMC Health Services Research*, 2018, 18(1):34—38.
- [6] Lincoln NB, Crow JL, Jackson JM, et al. The unreliability of sensory assessments[J]. *Clinical Rehabilitation*, 1991, 5(4):273—282.
- [7] Gaubert CS, Mockett SP. Inter-rater reliability of the Nottingham method of stereognosis assessment[J]. *Clinical Rehabilitation*, 2000, 14(2):153—159.
- [8] Lincoln NB, Jackson JM, Adams SA. Reliability and revision of the Nottingham Sensory Assessment for stroke patients[J]. *Physiotherapy*, 1998, 84(8):358—365.
- [9] Stolk-Hornsveld F, Crow JL, Hendriks EP, et al. The erasmus MC modifications to the (revised) Nottingham sensory assessment: a reliable somatosensory assessment measure for patients with intracranial disorders[J]. *Clinical Rehabilitation*, 2006, 20(2):160—172.
- [10] Connell LA, Tyson SF. Measures of sensation in neurological conditions: a systematic review[J]. *Clinical Rehabilitation*, 2012, 26(1):68—80.
- [11] 杨宇琦, 崔利华, 山磊, 等. 改良诺丁汉感觉功能评价量表(NSA)的汉化及评定脑卒中后感觉功能的信度效度研究[C]//北京: 第七届北京国际康复论坛, 2012.
- [12] Winward CE, Halligan PW, Wade DT. The Rivermead assessment of somatosensory performance (RASP): standardization and reliability data[J]. *Clinical Rehabilitation*, 2002, 16(5):523—533.
- [13] Busse M, Tyson SF. How many body locations need to be tested when assessing sensation after stroke? An investigation of redundancy in the Rivermead assessment of somatosensory performance[J]. *Clinical Rehabilitation*, 2009, 23(1):91—95.
- [14] Hillier S, Immink M, Thewlis D. Assessing proprioception: a systematic review of possibilities[J]. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 2015, 29(10):933—949.
- [15] Hernández ED, Galeano CP, Barbosa NE, et al. Intra- and inter-rater reliability of Fugl-Meyer Assessment of upper extremity in stroke[J]. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 2019, 51(9):652—659.
- [16] Lin J, Hsueh I, Sheu C, et al. Psychometric properties of the sensory scale of the Fugl-Meyer Assessment in stroke patients[J]. *Clinical Rehabilitation*, 2004, 18(4):391—397.
- [17] Sullivan KJ, Tilson JK, Cen SY, et al. Fugl-Meyer Assessment of sensorimotor function after stroke[J]. *Stroke*, 2011, 42(2):427—432.
- [18] Rinderknecht MD, Lamercy O, Raible V, et al. Reliability, validity, and clinical feasibility of a rapid and objective assessment of post-stroke deficits in hand proprioception [J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2018,15(1):47.
- [19] Hillier S, Immink M, Thewlis D. Assessing proprioception [J]. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 2015, 29(10):933—949.
- [20] 杨宇琦, 张通. 脑卒中后的感觉障碍研究进展[C]//北京: 北京地区神经内科学术年会, 2010.
- [21] McCartney JL. Somatosensory changes after penetrating brain wounds in man[J]. *Psychosomatics*, 1960, 1(6):362—363.
- [22] Weinstein S. Fifty years of somatosensory research: from the Semmes-Weinstein monofilaments to the Weinstein enhanced sensory test[J]. *J Hand Ther*, 1993,6(1):11—22, 50.
- [23] Bell-Krotoski J, Tomancik E. The repeatability of testing with Semmes-Weinstein monofilaments[J]. *The Journal of Hand Surgery*, 1987, 12(1):155—161.
- [24] Haloua MH, Sierevelt I, Theuvenet WJ. Semmes-Weinstein monofilaments: influence of temperature, humidity, and age[J]. *The Journal of Hand Surgery*, 2011, 36(7):1191—1196.
- [25] Lindgren I, Ekstrand E, Brogårdh C. Measurement variability of quantitative sensory testing in persons with post-stroke shoulder pain[J]. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 2016, 48(5):435—441.
- [26] Krause T, Asseger S, Geisler F, et al. Chronic sensory stroke with and without central pain is associated with bilaterally distributed sensory abnormalities as detected by quantitative sensory testing[J]. *Pain*, 2016,157(1):194—202.

- [27] 苏军, 叶赞亚, 严韬, 等. 脑卒中患者感觉障碍的定量感觉检查及其影响因素分析[J]. 现代实用医学, 2019, 31(7): 966—967.
- [28] 刘杰, 杨晓秋. 定量感觉检查在神经病理性疼痛的应用研究进展[J]. 中国疼痛医学杂志, 2017, 23(10):768—773.
- [29] Carey LM, Oke LE, Matyas TA. Impaired limb position sense after stroke: A quantitative test for clinical use[J]. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 1996, 77(12):1271—1278.
- [30] Block HJ, Mirdamadi JL, Ryckman S, et al. A Tablet-based tool for accurate measurement of hand proprioception after stroke[J]. Journal of Neurologic Physical Therapy, 2019, 43(2):106—116.
- [31] Hoseini N, Sexton BM, Kurtz K, et al. Adaptive staircase measurement of hand proprioception[J]. PLoS One, 2015, 10(8):e135757.
- [32] Cherpín A, Kager S, Budhota A, et al. A preliminary study on the relationship between proprioceptive deficits and motor functions in chronic stroke patients[C]. United States:IEEE, 2019.
- [33] Cappello L, Elangovan N, Contu S, et al. Robot-aided assessment of wrist proprioception[J]. Front Hum Neurosci, 2015, 9:198.
- [34] Mrotek LA, Bengtson M, Stoeckmann T, et al. The arm movement detection (AMD) test: a fast robotic test of proprioceptive acuity in the arm[J]. Journal of Neuro Engineering and Rehabilitation, 2017, 14(1):64.
- [35] Elangovan N, Herrmann A, Konczak J. Assessing proprioceptive function: evaluating joint position matching methods against psychophysical thresholds[J]. Phys Ther, 2014, 94(4):553—561.
- [36] Klein J, Whitsell B, Artemiadis PK, et al. Perception of arm position in three-dimensional space[J]. Front Hum Neurosci, 2018, 12:331.
- [37] Rosén B, Lundborg G. A new tactile gnosis instrument in sensibility testing[J]. Journal of Hand Therapy, 1998, 11(4):251—257.
- [38] Linnertz P, Prieto EJ, Rosen B. Shape-texture-identification-STI-A test for tactile gnosis: Concurrent validity of STI(2)[J]. J Hand Ther, 2019, 32(4):470—475.
- [39] Ekstrand E, Lexell J, Brogardh C. Test-retest reliability of the shape/texture identification test(TM) in people with chronic stroke[J]. Clin Rehabil, 2016, 30(11):1120—1127.
- [40] Williams PS, Basso DM, Case-Smith J, et al. Development of the Hand Active Sensation Test: reliability and validity[J]. Arch Phys Med Rehabil, 2006, 87(11):1471—1477.
- [41] Borstad A, Altenburger A, Hannigan A, et al. Design, fabrication, and administration of the Hand Active Sensation Test (HASTE)[J]. Journal of Visualized Experiments, 2015,(103):1—8.
- [42] Carey LM, Oke LE, Matyas TA. Impaired touch discrimination after stroke: a quantitative test[J]. Neurorehabilitation and Neural Repair, 1997, 11(4):219—232.
- [43] Carey LM, Matyas TA. Frequency of discriminative sensory loss in the hand after stroke in a rehabilitation setting[J]. Journal of Rehabilitation Medicine, 2011, 43(3):257—263.
- [44] Miller KJ, Phillips BA, Martin CL, et al. The AsTex®: clinimetric properties of a new tool for evaluating hand sensation following stroke[J]. Clin Rehabil, 2009, 23(12):1104—1115.
- [45] Hussain A, Balasubramanian S, Roach N, et al. SITAR: a system for independent task-oriented assessment and rehabilitation[J]. Journal of Rehabilitation and Assistive Technologies Engineering, 2017, 4:1814383771.
- [46] Holst-Wolf J, Tseng YT, Konczak J. The Minnesota haptic function test[J]. Front Psychol, 2019, 10:818.
- [47] Macerollo A, Brown MJN, Kilner JM, et al. Neurophysiological changes measured using somatosensory evoked potentials[J]. Trends in Neurosciences, 2018, 41(5):294—310.
- [48] Haupt WF, Chopan G, Sobesky J, et al. Prognostic value of somatosensory evoked potentials, neuron-specific enolase, and S100 for short-term outcome in ischemic stroke [J]. J Neurophysiol, 2016, 115(3):1273—1278.
- [49] Osama A, Abo Hagar A, Elkholy S, et al. Central post-stroke pain: predictors and relationship with magnetic resonance imaging and somatosensory evoked potentials[J]. The Egyptian Journal of Neurology, Psychiatry and Neurosurgery, 2018, 54(1):40—47.
- [50] 张巧俊, 向莉, 颜虹, 等. 躯体感觉诱发电位早期预测脑卒中预后的价值[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2010, 32(11): 835—839.
- [51] Carey LM, Matyas TA, Baum C. Effects of somatosensory impairment on participation after stroke[J]. Am J Occup Ther, 2018, 72(3):7203205100p1—7203205100p10.
- [52] Meyer S, De Bruyn N, Krumlinde-Sundholm L, et al. Associations between sensorimotor impairments in the upper limb at 1 week and 6 months after stroke[J]. Journal of Neurologic Physical Therapy, 2016, 40(3):186—195.
- [53] Turville M L, Matyas TA, Blennerhassett JM, et al. Initial severity of somatosensory impairment influences response to upper limb sensory retraining post-stroke[M]. Netherlands: IOS Press, 2018.
- [54] Kessner SS, Schlemm E, Cheng B, et al. Somatosensory deficits after ischemic stroke[J]. Stroke, 2019, 50(5):1116.