

Brunnstrom 六期评估法在脑卒中偏瘫康复中的应用价值和局限性

吴远¹ 高强^{1,2}

脑卒中会导致患者的运动、感觉、言语、认知、情感及活动参与等功能受限^[1]。其中,偏侧身体的无力和随意运动不全等运动功能障碍被称为偏瘫,其表现包括患侧身体肌电的兴奋性下降、共同运动模式出现和运动较少产生的关节活动受限等^[2],以及因此导致的患侧肩痛和肩关节半脱位^[3]。患者在活动中会表现出上肢够物能力障碍、手功能障碍、步行功能障碍。多种量表可以被用来评估脑卒中偏瘫,以反映患者的功能状况、评价预后并指导治疗,而 Brunnstrom 六期评估法是当前应用最为广泛的偏瘫评估量表之一。

瑞典物理治疗师 Signe Brunnstrom 意识到脑卒中后患者具有共同的典型恢复模式,并鼓励患者在脑卒中后恢复早期诱发伸肌和屈肌的共同运动,她认为这些共同运动会随着训练转化为分离运动,最终恢复正常的运动模式。据此,她提出了偏瘫恢复的六个阶段,英文全称为 Brunnstrom stage (BS) 或 Brunnstrom recovery stage (BRS)^[4],在国内被称为“Brunnstrom 运动功能评定”^[5],同时也有“Brunnstrom 六期评估法”、“Brunnstrom 分期”、“Brunnstrom 运动功能恢复六阶段分级评定”等名称。

1 BRS 概述

Brunnstrom 发现了周围神经和中枢神经损伤后运动功能恢复的差异,具体来说,患者周围神经损伤后出现的是肌肉力量的变化,而中枢神经损伤后发生的是运动模式的变化。同时她将中枢神经损伤后的运动模式变化过程分为六个阶段,包括弛缓期、痉挛期、共同运动期、部分分离运动期、分离运动期和正常期。需要指出的是,脑卒中患者多数情况下可能停留在某个阶段,也可在恢复过程中跨越任何阶段^[6]。

BRS 分期方法符合脑卒中患者运动功能恢复的神经病理机制。运动功能恢复可开始于卒中后数小时,持续到数年后。卒中发生时,患者肢体发生不同程度的瘫痪,标准肌力测试 (medical research council rating scale, MRC) 结果在 0—5 级之间,运动缺损严重时可为 0 级,即 BRS 弛缓期。肌力下降的主要机制为皮质脊髓系统的损伤。数小时或数天后,运动功能开始恢复并开始出现痉挛,运动的出现源于血流在大脑损伤区域和半暗带的再灌注^[7],痉挛的出现很大程

度上是因为脊髓上抑制缺损,导致机体对感觉传入的过反应,即 BRS 痉挛期。共同运动期的到来是在痉挛期后患者可以部分启动主动运动但不能控制或停止,这就导致痉挛更加明显,因此,共同运动期也被称为痉挛高峰期。之后,损伤区域和邻近损伤区域的脑组织在分子层面上发生了许多改变,这些改变导致了分离运动的出现。分离运动从无到正常的这一阶段被 Brunnstrom 称为部分分离运动期、分离运动期和正常期。同时需要指出的是脑组织的一些改变被发现是可以由康复治疗调节的,但相关的机制仍待研究^[8]。

2 BRS 的优点和临床应用

2.1 可靠、简便

Naghdi 等^[9]在 2010 年研究了 BRS 评价脑卒中后运动功能恢复的有效性。研究者们通过 BRS 评价脑卒中患者运动功能恢复程度,发现与神经生理测定和肌张力测定结果相关联,证明了 BRS 具有良好的客观性。同时 2016 年 Memis 等^[10]纳入了 126 例受试者的回顾性研究表明 BRS 对于 65 岁以下或以上患者均具有相同的有效性,适用于全年龄段患者,具有广泛的适用性。同时,BRS 将偏瘫肢体运动功能恢复过程分为 6 个阶段,每个阶段完成特定的动作即可进行评定,简便易操作,且不需要借助特殊工具和繁重仪器,耗时少^[11]。总的来说,BRS 因其可靠性和简便性,在临床和科研中得到了广泛的运用。

2.2 可用于临床评估和预后评价

BRS 作为卒中后特定运动的评定量表,不仅能确定患者当时所处的恢复阶段,同时能监测病情变化、反映功能恢复。Safaz 等^[12]回顾性地研究了 46 例脑卒中患者,发现 BRS 能够显著地区分患者各阶段的病情差异。BRS 可以作为监测工具观察康复治疗后脑卒中患者的功能变化。因其敏感度和可靠性,BRS 被广泛应用于镜像疗法、高频重复经颅磁刺激、Xbox KinectTM 治疗等新式治疗手段的研究中,以观测患者运动功能恢复程度^[13-15]。

同时,BRS 还可以作为脑卒中患者功能恢复的预测指标之一。Hashimoto 等^[16]回顾性研究了 142 例脑卒中患者,他们在发病早期对患者进行了包含 BRS 在内的综合评估,发现早

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2021.04.024

1 华西医院康复医学科,四川省成都市,610000; 2 通讯作者

第一作者简介:吴远,女,初级治疗师; 收稿日期:2019-04-04

期对患者进行的综合测定能够预测患者出院时的运动功能情况。Maeda等^[17]研究了影响脑卒中患者跌倒风险的因素,发现BRS在跌倒组和非跌倒组存在显著的差异,可作为预测脑卒中患者跌倒风险指标之一。Arya^[18]和Chen等^[19]研究了运动功能恢复程度与平衡功能的关系,发现BRS的分期与患者平衡功能存在相关性。但是需要注意的是,目前尚没有研究BRS单独作为脑卒中患者功能恢复的预测指标的文章,BRS可作为脑卒中功能综合评估方案中的重要组成部分。

2.3 可帮助制定治疗方案

卒中后偏瘫的物理治疗技术主要包括Bobath技术、本体感觉神经肌肉促进技术(proprioceptive neuromuscular facilitation, PNF)、Rood技术、Brunnstrom技术和综合运动训练技术^[20]。根据疾病的不同时期,以及运动功能恢复的不同阶段(即BRS的不同阶段),选择适合、有效的治疗方法,形成系统^[20],可提高治疗效率,促进形成和优化临床路径。

Brunnstrom技术是基于BRS的一项偏瘫物理治疗技术,它主要通过一些治疗手段使患者的病情时期向前进展,最终达到正常的目的,基本原理是通过反射激发运动,以及通过共同运动诱发功能。这些治疗手段包括易化张力、诱发共同运动、Souques氏技术、手部技术、Marie-Foix二氏反射易化屈髋、Raimiste氏现象易化腕内收与外展等^[21],临床实践中常常根据BRS的不同阶段选用Brunnstrom技术中特定的一种或几种治疗手段进行精准治疗。虽然临床上较少单独使用Brunnstrom技术,但常常会根据BRS不同阶段运用特定手段联合其他治疗方法。Brunnstrom技术对上肢功能的恢复疗效突出。Pandian等^[22]比较了Brunnstrom技术与运动再学习技术对偏瘫患者手功能障碍的疗效,发现两者都具有显著的效果,但根据BRS制定的Brunnstrom技术精准治疗方案对偏瘫手功能障碍疗效更好。

根据BRS的评定结果,为不同阶段的患者制定个性化康复计划,实施包括Brunnstrom技术在内的联合治疗,已经在临床取得了广泛的应用。

2.4 可用于科研领域

BRS在科研领域应用广泛,适用于各类研究。在前瞻性随机对照试验中,它能够将运动功能恢复程度进行量化,可以记录在某一治疗手段实施过程中,偏瘫患者运动功能恢复的过程,许多关于偏瘫治疗新技术的研究运用了此量表^[23-24]。在回顾性研究中,BRS反映的偏瘫运动功能恢复程度,可用于评价新评估量表和新评估途径的信度和效度。Ochi等^[25]将BRS评估的运动功能恢复程度作为参考,研究了新评价系统(Japanese version of the stroke impact scale version 3.0.)的信度和效度。Kim等^[26]研究了电子摄像评估系统在偏瘫患者家庭康复中的应用,证实了此评估系统与BRS存在显著的负相关性,具有应用价值。Zhang等^[27]发现

目前常用的偏瘫评估方式较为主观,于是研究了一项新的客观的偏瘫上肢运动功能评定法,结论是这项评估法与BRS相关性强,可推广使用。还有研究,如Higashi等^[28]对运动神经元池的兴奋性作为评估偏瘫运动功能的手段的研究,以及Miyamoto等^[29]对偏瘫徒手功能测试(The Manual Function test, MFT)信度和效度的研究,都将BRS所描述的运动功能恢复阶段作为重要的结局测量指标。

3 BRS的缺点和局限性

3.1 理论基础陈旧

BRS主要的理论基础是运动控制体系和神经科学体系。运动控制是指运动的性质和运动的中枢控制,神经科学是指对神经系统的科学性研究。这两个理论体系均起源于20世纪,并在如今不断发展,偏瘫康复治疗主要通过重新训练患者以使其增强运动能力,学习了解以上理论有助于临床研究和临床实践。从当代运动控制理论和神经科学体系看BRS,BRS仍存在诸多不足。

3.1.1 运动控制体系: Brunnstrom理念所基于的运动控制理论体系陈旧,随着神经领域和康复领域新理论的不断涌现,该理论体系已落后于时代。例:反射理论,起源于20世纪早期,认为复杂行为能通过一系列反射的复合行为来解释,此理论存在一定的局限性,如人体在缺少感觉的情况下同样能产生运动,并不完全依赖于完整的反射弧;以及等级理论,起源于20世纪中期,认为运动控制分为高级、中级、低级水平,自上而下控制,不会反向传导,此理论同样存在局限性,如疼痛产生的回缩运动,属于低级水平反射,虽不经高级和中级水平的控制,但是仍然能产生运动^[4,30]。

而现代运动控制理论则不断成熟,最为接受的是动态多系统运动控制理论,认为动作由多系统同时参与控制。动作由个体、环境、任务相互作用而产生,个体因素包括认知、知觉和运动系统,环境限制运动,包括常规因素和非常规因素,最后任务特征(活动、稳定、操作)对功能性活动的组织起作用^[30]。所以,动作不仅仅是单个肢体的运动。

因此,Brunnstrom理念认为可以运用反射来激发运动,通过感觉刺激获得张力,却未提及环境和任务的在其中的作用,显然存在不可忽视的缺点。

3.1.2 神经科学体系: Brunnstrom理念起源于20世纪60年代,当时的神经科学理论体系尚不成熟,对脑和神经的认识有待进一步发展。其主要理论基础是:①脑和外周神经存在网络联系;②感觉信号的输入和运动信号的输出是通过神经纤维传导的;③强调皮质脊髓束的作用及脑功能区的细致定位^[31]。这些理论基础受到了不断发展的新理论体系的挑战。特别是对Brunnstrom理念的两个主要现象(联合反应,共同运动模式)的理解和解释随着神经科学的不断发展也在

不断改变。

①对联合反应(associated reaction)的解释。联合反应,是指偏瘫时,患侧肢体无随意运动,但当执行困难或紧张的意向运动时,健侧或患侧其他肢体肌肉用力收缩,其兴奋可波及该患侧肢体,引起无意识和无功能性的自发肌肉收缩^[32]。Brunnstrom认为联合反应的出现与张力性或姿势性反射有关^[4]。而张力性或姿势性反射是由中枢抑制减少、原始反射出现造成的。但现代神经科学却认为联合反应是由多重原因导致的,这是因为中枢神经系统是受到个体、环境、任务多系统相互作用的整体。联合反应是在中枢神经系统损伤后,个体尝试与环境发生作用时,出现的神经重组后的行为改变。如联合反应可以是偏瘫患者尝试在不安全的地面上步行时,上肢出现异常屈曲的行为^[33],因此联合反应与环境(不安全的地面)和任务(步行)相关。同时,有研究证明了联合反应与痉挛具有明显的相关性^[34-35]。这与皮质网状脊髓传导系统和前庭系统的损伤相关^[36]。

②对共同运动模式(synergy pattern)的解释。共同运动模式指的是人体上运动神经元损伤如脑卒中后表现出的异常协同行为。正常的协同是指神经系统控制不同肌肉同时工作以表现某个行为^[37],如写字的行为,需要肩、肘、腕的肌肉共同作用。脑卒中后的异常协同通常表现为屈肌共同运动模式和伸肌共同运动模式,这是因为上运动神经元损伤后正常运动模式受到了阻碍^[38]。Brunnstrom同时期的英国神经学家Jackson解释了这一现象,他构建了高、中、低三个层次的神经中心理论,认为偏瘫患者主要损伤了中层神经中心,恢复主要依靠低层神经中心^[4],并在当时获得了认同。但这个理论已不被现代神经科学完全认可。2010年的一篇研究认为共同运动模式反应的是神经系统下行传导束的损坏,部分运动功能的缺失,导致正常协同无法完成,同时也认为偏瘫患者的大脑皮质的损伤导致了脑干与脊髓网状结构通路的活跃,从而使网状脊髓和球脊髓与运动神经元池扩散连接增加,易化和抑制关系改变,出现异常协同^[39]。2012年的研究认为,共同运动模式是肌肉在时间上而非空间上的募集障碍,即肌肉募集的顺序错误,比如预期活动常常伴随共同运动模式的出现,这是因为肌肉募集的时间错误使得前馈机制的应用受限,神经输入通路受损成为重要原因^[40]。总结一下,现代神经科学认为共同运动模式是神经系统易化和抑制关系改变,以及神经肌肉在时间上的募集错误造成。

3.2 量表广度与深度不足

3.2.1 评价范围局限于运动功能:脑卒中会影响人体多个系统的功能,如感觉、言语、认知、运动、心理等。根据《国际功能、残疾与健康分类》(International Classification of Functioning, Disability and Health, ICF)^[41-42],功能和残疾主要分为“身体结构与功能”、“活动”、“参与”三个层面,同时受“环

境因素”、“个人因素”和“健康状况”影响。BRS属于“身体结构与功能”层面的评定,且局限于运动功能一项。虽然运动障碍与个体的生活独立性即“活动层面”存在某种非线性关系^[2],但影响个体独立性的因素很多^[43-44]。BRS与其他功能层面的评定法(如言语、心理)有共同的局限性,那就是它们仅评定ICF第一个层面的内容,而无法评定“活动”和“参与”层面^[45]。

3.2.2 对运动功能的评价不够深入:BRS属于功能层面的评估方法,细化分类属于评价运动功能的量表,但对运动功能的反映却十分有限。①BRS只对肢体的运动功能进行了评价,而忽略了躯干和骨盆,躯干和骨盆对步行的影响不可忽略,虽然有研究证明BRS显示的运动功能阶段与步行能力包括步行速度具有相关性^[46-47],但与步态(支撑相和摆动相骨盆的位置)不相关^[47]。②BRS分别评价了上肢、手、下肢的运动功能,分别给出了分期标准,没有进行整体综合分期。这些单项的评定结果与整体运动功能的关系未阐述^[48]。③BRS的评定存在显著的“天花板效应”^[48],如无法对Brunnstrom VI期(即“正常期”)的功能进行更细致的功能区分。又如Brunnstrom VI期的患者,虽然运动控制能力接近正常人,但如果他存在严重的感知觉障碍,则可能完全无法独立生活,这种情况下仅参考BRS可能会高估患者的功能。

3.3 适用范围有限

BRS存在适用范围。脑卒中早期患者,严重认知功能障碍的患者,单纯脑干或小脑卒中的患者均无法使用BRS。

①卒中早期患者。BRS需要在一些特定体位下完成,例如下肢Brunnstrom IV期需要患者在坐位主动完成足跟触地,踝背屈或足向后滑动。故而卒中早期的患者可能不具备坐位的能力或因条件的限制而无法完成测评。对于卒中早期的患者,美国心脏病协会/美国卒中协会(AHA/ASA)指南更推荐美国国立卫生研究院中风量表(the National Institutes of Health Stroke Scale,NIHSS)作为评估工具^[49]。

②严重认知功能障碍的患者。BRS的测定需要患者具备一定的认知能力,以配合完成相应的动作,严重认知功能障碍的患者无法完成此评定。

③单纯脑干或小脑卒中的患者。单纯脑干或小脑卒中的患者所表现的运动功能障碍无法用BRS测评,这些部位的损伤主要造成机体共济失调、平衡障碍,若使用BRS,则测评结果通常在Ⅵ期,不能正确反映患者的运动功能状况。

3.4 系统误差

①方法误差。BRS对运动功能的分级较为粗糙,不能体现较细微的功能变化和患者之间的差异,这是因为BRS属于等级评定而非区间评定,处于过渡阶段的功能无法评定^[48]。在此基础上发展出了更加详细的评估方法:Fugl-Meyer运动功能评定^[50]。

②操作与主观误差。BRS的评定方式是操作者通过量表内容对患者进行评分,决定了其具有主观性和低效性,不同人操作的结果可能存在差距,如部分分离运动的判定。Liparulo等^[51]试图应用表面肌电图检查使BRS更加客观与可信,但因为设备要求和繁琐的操作而难以开展和普及。

4 展望

首先,BRS作为应用时间久远、应用领域广泛的偏瘫评估量表,优点和临床价值被一再证实。包括它的信度和效度已被证实,并且具有简便、可行和操作方便的优势。在临床中,BRS用于评估偏瘫患者运动功能情况,反应患者所处恢复阶段。也可以作为患者预后和恢复的预测指标之一,方便医生和治疗师为患者制定详细的目标和治疗计划。另外这里提出,Brunnstrom技术可作为一种神经康复治疗技术合理应用于临床。在科研中,BRS将偏瘫患者运动功能恢复程度进行量化,反映患者病情时期,用于有关偏瘫新技术和新评估手段的研究,应用广泛。

其次,BRS作为20世纪90年代提出的偏瘫评估方法,在现代医学背景下的应用存在诸多缺点和局限性。BRS发生的年代所基于的运动控制理论和神经科学原理不够成熟,对联合反应和共同运动模式的解释基于表象,存在缺陷。同时,BRS对脑卒中患者的整体评估不全面,对运动功能的评估同样不全面,单纯使用BRS显然不能很好地反映偏瘫患者功能状况。另外,BRS自身也存在一定的不足,如没有体现单项结果和整体结果的联系,这样导致评定结果不能进行整体的比较和参考;存在天花板效应,对运动功能较好的偏瘫患者不能进行有效评估;适用的人群是有限制的,在脑卒中早期患者、认知障碍患者、小脑和脑干患者中的应用受限;存在一些误差,对应用的范围和方式存在一定的影响。

目前尚没有一种评定方法涵盖所有评价内容,每一种评定方法都有其应用价值及局限性,即使是评定内容广泛的NIHSS和功能独立性评定表(functional independence measure,FIM)也不能做到完美^[52],BRS亦是如此。考虑到BRS的应用价值,医务工作者和科研工作者在临床和科研工作中可以合理选择和规范使用,特别需要注意BRS存在的缺点和局限性,区分应用人群和使用目的,结合其他量表合理选用。

参考文献

- [1] Hebert D, Lindsay MP, McIntyre A, et al. Canadian stroke best practice recommendations: Stroke rehabilitation practice guidelines, update 2015[J]. International Journal of Stroke, 2016,11(4):459—484.
- [2] Levin MF, Kleim JA, Wolf SL. What do motor “recovery” and “compensation” mean in patients following stroke?[J]. Neurorehabilitation and Neural Repair, 2009,23(4):313—319.
- [3] Paci M, Nannetti L, Taiti P, et al. Shoulder subluxation af-

- ter stroke: relationships with pain and motor recovery[J]. Physiotherapy Research International, 2007,12(2):95—104.
- [4] K. S, J. LV. Brunnstrom's Movement Therapy in Hemiplegia: A neurophysiological approach[M]. 2nd ed. Philadelphia: J.B.Lippincott Company; 1992.
- [5] 倪朝民. 神经康复学[M]. 第二版. 北京: 人民卫生出版社, 2013.12—13.
- [6] 于维东. 偏瘫康复的理论与实践[J]. 现代康复, 2001,5(3):5—8.
- [7] Chen C, Parsons MW, Clapham M, et al. Influence of penumbral reperfusion on clinical outcome depends on baseline ischemic core volume[J]. Stroke,2017,48(10):2739—2745.
- [8] Sathian K, Buxbaum LJ, Cohen LG, et al. Neurological principles and rehabilitation of action disorders: common clinical deficits[J]. Neurorehabilitation and Neural Repair, 2011,25 (5 Suppl):21s—32s.
- [9] Naghdi S, Ansari NN, Mansouri K, et al. A neurophysiological and clinical study of Brunnstrom recovery stages in the upper limb following stroke[J]. Brain Inj, 2010,24(11):1372—1378.
- [10] Memis D, Kozanoglu E, Kelle B, et al. Assessment of demographic and clinical characteristics on functional status and disability of patients with stroke[J]. Neurosciences (Riyadh), 2016,21(4):352—357.
- [11] Shah S K HSJ, Stahl P L. Stroke rehabilitation: outcome based on Brunnstrom recovery stages[J]. The Occupational Therapy Journal of Research,1986,6(6):365—376.
- [12] Safaz I, Yilmaz B, Yasar E, et al. Brunnstrom recovery stage and motricity index for the evaluation of upper extremity in stroke: analysis for correlation and responsiveness [J]. International Journal of Rehabilitation Research, 2009,32 (3):228—231.
- [13] Xu Q, Guo F, Salem HMA, et al. Effects of mirror therapy combined with neuromuscular electrical stimulation on motor recovery of lower limbs and walking ability of patients with stroke: a randomized controlled study[J]. Clin Rehabil, 2017,31(12):1583—1591.
- [14] Turkbey TA, Kutlay S, Gok H. Clinical feasibility of Xbox KinectTM training for stroke rehabilitation: A single-blind randomized controlled pilot study[J]. J Rehabil Med, 2017,49(1):22—29.
- [15] Sasaki N, Abo M, Hara T, et al. High-frequency rTMS on leg motor area in the early phase of stroke[J]. Acta Neurol Belg, 2017,117(1):189—194.
- [16] Hashimoto K, Higuchi K, Nakayama Y, et al. Ability for basic movement as an early predictor of functioning related to activities of daily living in stroke patients[J]. Neurorehabilitation and Neural Repair, 2007,21(4):353—357.
- [17] Maeda N, Urabe Y, Murakami M, et al. Discriminant analysis for predictor of falls in stroke patients by using the Berg Balance Scale[J]. Singapore Medical Journal, 2015,56 (5):280—283.
- [18] Arya KN, Pandian S, Abhilasha CR, et al. Does the motor level of the paretic extremities affect balance in poststroke subjects?[J]. Rehabilitation Research and Practice,2014,2014: 767859.

- [19] Chen IC, Cheng PT, Hu AL, et al. Balance evaluation in hemiplegic stroke patients[J]. *Chang Gung Medical Journal*, 2000,23(6):339—347.
- [20] Chen JC, Shaw FZ. Progress in sensorimotor rehabilitative physical therapy programs for stroke patients[J]. *World Journal of Clinical Cases*, 2014,2(8):316—326.
- [21] 何成奇. 神经康复物理治疗技能操作手册[M]. 第1版. 北京: 人民卫生出版社, 2017. 129—170.
- [22] Pandian S, Arya KN, Davidson EWR. Comparison of Brunnstrom movement therapy and Motor Relearning Program in rehabilitation of post-stroke hemiparetic hand: a randomized trial[J]. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 2012,16(3):330—337.
- [23] Kirac-Unal Z, Gencay-Can A, Karaca-Umay E, et al. The effect of task-oriented electromyography-triggered electrical stimulation of the paretic wrist extensors on upper limb motor function early after stroke: a pilot randomized controlled trial[J]. *International Journal of Rehabilitation Research*, 2019,42(1):74—81.
- [24] Ikbali Afsar S, Mirzayev I, Umit Yemisci O, et al. Virtual reality in upper extremity rehabilitation of stroke patients: a randomized controlled trial[J]. *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases*, 2018,27(12):3473—3478.
- [25] Ochi M, Ohashi H, Hachisuka K, et al. The reliability and validity of the Japanese version of the stroke impact scale version 3.0[J]. *Journal of UOEH*, 2017,39(3):215—221.
- [26] Kim WS, Cho S, Baek D, et al. Upper extremity functional evaluation by Fugl-Meyer assessment scoring using depth-sensing camera in hemiplegic stroke patients[J]. *PLoS One*, 2016,11(7):e0158640.
- [27] Zhang Z, Fang Q, Gu X. Objective assessment of upper-limb mobility for poststroke rehabilitation[J]. *IEEE Trans Biomed Eng*, 2016,63(4):859—868.
- [28] Higashi T, Funase K, Kusano K, et al. Motoneuron pool excitability of hemiplegic patients: assessing recovery stages by using H-reflex and M response[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2001,82(11):1604—1610.
- [29] Miyamoto S, Kondo T, Suzukamo Y, et al. Reliability and validity of the Manual Function Test in patients with stroke[J]. *Am J Phys Med Rehabil*, 2009,88(3):247—255.
- [30] Shumway-Cook A, Woollacott MH. Motor control: translating research into clinical practice[M]. 5th ed: Lippincott Williams & Wilkins, 2016.1—20.
- [31] Bear MF, Bear MF, Connors BW, et al. Neuroscience: exploring the brain[M]. 4th ed: Williams & Wilkins, 2016.6—21.
- [32] 何成奇. 神经康复物理治疗技能操作手册[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2017: 12—13.
- [33] Gjelsvik BEB, Syre L. The Bobath concept in adult neurology[M]. 1st ed. New York: Thieme, 2016.73—80.
- [34] Bhakta BB, Cozens JA, Chamberlain MA, et al. Quantifying associated reactions in the paretic arm in stroke and their relationship to spasticity[J]. *Clinical Rehabilitation*, 2001,15(2):195—206.
- [35] Ada L, Q'Dwyer N. Do associated reactions in the upper limb after stroke contribute to contracture formation?[J]. *Clinical Rehabilitation*, 2001,15(2):186—194.
- [36] Kline TL, Schmit BD, Kamper DG. Exaggerated interlimb neural coupling following stroke[J]. *Brain*, 2007,130(Pt 1):159—169.
- [37] O' Sullivan SB ST. Physical Rehabilitation[M]. 5th ed. New Delhi: Jaypee, 2007.
- [38] Mulley G. Associated reactions in the hemiplegic arm[J]. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine*, 1982,14(3):117—120.
- [39] Clark DJ, Ting LH, Zajac FE, et al. Merging of healthy motor modules predicts reduced locomotor performance and muscle coordination complexity post-stroke[J]. *Journal of Neurophysiology*, 2010,103(2):844—857.
- [40] Chvatal SA, Ting LH. Voluntary and reactive recruitment of locomotor muscle synergies during perturbed walking[J]. *Journal of Neuroscience*, 2012,32(35):12237—12250.
- [41] 邱卓英. 国际功能, 残疾和健康分类 (国际中文增补版)[M]. 北京: 世界卫生组织国际分类家族中国合作中心, 2015.
- [42] Organization WH. International classification of functioning, disability and health: ICF[M]. Geneva: World Health Organization, 2001.
- [43] Ones K, Yalcinkaya EY, Toklu BC, et al. Effects of age, gender, and cognitive, functional and motor status on functional outcomes of stroke rehabilitation[J]. *Neuro Rehabilitation*, 2009,25(4):241—249.
- [44] Alawieh A, Zhao J, Feng W. Factors affecting post-stroke motor recovery: Implications on neurotherapy after brain injury[J]. *Behavioural Brain Research*, 2018,340:94—101.
- [45] Langhorne P, Bernhardt J, Kwakkel GJTL. Stroke rehabilitation[J]. *The Lancet*, 2011,377(9778):1693—1702.
- [46] Cho KH, Lee JY, Lee KJ, et al. Factors Related to Gait Function in Post-stroke Patients[J]. *Journal of Physical Therapy Science*, 2014,26(12):1941—1944.
- [47] Chen CL, Chen HC, Tang SF, et al. Gait performance with compensatory adaptations in stroke patients with different degrees of motor recovery[J]. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 2003,82(12):925—935.
- [48] Huang CY, Lin GH, Huang YJ, et al. Improving the utility of the Brunnstrom recovery stages in patients with stroke: Validation and quantification[J]. *Medicine (Baltimore)*, 2016,95(31):e4508.
- [49] Powers WJ, Rabinstein AA, Ackerson T, et al. 2018 guidelines for the early management of patients with acute ischemic stroke: a guideline for healthcare professionals from the American Heart Association/American Stroke Association[J]. *Stroke*, 2018,49(3):e46—e110.
- [50] Gladstone DJ, Danells CJ, Black SE. The fugl-meyer assessment of motor recovery after stroke: a critical review of its measurement properties[J]. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 2002,16(3):232—240.
- [51] Liparulo L, Zhang Z, Panella M, et al. A novel fuzzy approach for automatic Brunnstrom stage classification using surface electromyography[J]. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 2017,55(8):1367—1378.
- [52] Winstein CJ, Stein J, Arena R, et al. Guidelines for adult stroke rehabilitation and recovery: a guideline for healthcare professionals from the American Heart Association/American Stroke Association[J]. *Stroke*, 2016,47(6):e98—e169.