

· 综述 ·

脑卒中患者运动功能恢复预测的研究进展

孟丽君 高正玉 陈玮 马鹏 黄正一

青岛大学附属医院康复医学科, 青岛 266003

通信作者: 高正玉, Email: 0532gzheng@163.com

【摘要】 脑卒中是成人残疾的常见原因, 脑卒中后独立生活能力在很大程度上取决于运动障碍的治疗和运动功能的恢复。运动功能恢复的准确预测不仅能够帮助患者确立切合实际的目标, 并且有助于康复团队对患者进行分层并制定个性化的康复方案, 更有效地利用医疗资源。本文对目前常用的脑卒中后运动功能恢复的预测因素及其应用进行综述。

【关键词】 脑卒中; 功能恢复; 预测因素

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2022.03.019

目前, 脑卒中是全世界成人致残的主要原因之一, 至 2013 年, 脑卒中的患病率已达 1990 年的 2 倍^[1]。运动障碍是脑卒中后常见的功能障碍之一, 也是影响患者独立生活能力的最重要因素^[2]。准确地预测脑卒中后患者的功能恢复结果, 对脑卒中患者的具体运动需求和潜力, 减少功能损害, 优化康复方案, 最大程度地降低经济负担等方面非常必要, 因此预测脑卒中功能恢复的各种预测方法受到了研究人员的广泛关注^[2]。本文主要对近年来预测脑卒中运动功能恢复的常用指标和一种综合的预测上肢功能的算法 (the predict recovery potential, PREP) 进行综述, 以期对脑卒中患者的运动功能恢复预测研究提供依据。

脑卒中患者运动功能恢复的判定

目前, 针对预测脑卒中功能恢复没有统一标准和评估工具。在一项关于预测脑卒中急性期预后的系统回顾中, 改良的 Rankin 量表 (modified Rankin Scale, mRS) 和 Barthel 指数 (barthel index, BI)^[3] 是被采用最多的用于评定急性脑卒中患者预后良好/不良结局的工具。尽管这 2 种量表已被证明是高度可靠和有效的, 但它们对脑卒中后个体的运动障碍或表现评估缺乏特异性^[4]。Fugl-Meyer 量表可对脑卒中偏瘫患者的肢体功能做出积分量化评定, 同时对于结果解释确切、内容详尽, 并且可以直观反映患者的异常运动模式变化, 因此在预测脑卒中运动功能恢复的研究中, 多采用 Fugl-Meyer (上、下肢) 量表^[5]。还有一些是根据实际功能来预测运动功能恢复的方法, 比如对于下肢功能恢复的研究多集中在独立行走的能力上, 独立步行在各种评估量表中有许多不同的表述, 常用的是功能性步行量表 (functional ambulation category scale, FAC), 判定标准是 FAC>3 级^[6]。关于上肢功能恢复的共识较少, 通常是使用评价上肢运动障碍量表的临界值来定义, 比如上肢 Fugl-Meyer (Fugl-Meyer assessment upper extremity scale, FMA-UE) 的 32/66^[5]。这些措施代表了国际功能分类 (international classification of functioning, disability, and health, ICF) 的“身体结构”和/或“活动”级别, 并且能更具体地针对运动障碍/表现^[7]。因此当预测运动行为的变化时, 这些针对运动的评估量表更为合适和敏感。

预测脑卒中患者运动功能恢复的相关因素

不同的预测方式, 预测因子不同。目前, 主要采用的是年龄、脑卒中严重程度、运动障碍评估、行为动作以及神经生物学标志等来预测脑卒中患者运动功能恢复情况。

一、年龄和脑卒中严重程度与脑卒中患者运动功能预测

有研究表明, 在急性缺血性脑卒中的预后中, 年龄是独立于脑卒中严重程度、病因、性别、疾病特点、溶栓与否和并发症的预测因子, 对 18 岁以上的患者来说, 年龄越小预后越好, 高龄与不良预后密切相关^[8]。同时脑卒中的严重程度对脑卒中患者不良预后有很强的预测能力, 脑卒中的严重程度通常使用美国国立研究院卒中量表 (National Institute of Health stroke scale, NIHSS) 来评估, 评分越高越严重^[9]。研究表明, 年龄和 NIHSS 评分是脑卒中患者死亡率^[10-12]、残疾^[13]的常用预测因素, 但是在一些急性脑卒中的研究发现, 年龄^[14-15]和脑卒中的严重程度^[16]是脑卒中患者步行或者上肢功能恢复的预测因子。Kwah 等^[17]的一项前瞻性研究发现, 脑卒中基线 NIHSS 评分联合年龄可以预测脑卒中患者 6 个月后的步行和手臂功能恢复程度, 且基线 NIHSS 评分与上肢的混合运动功能的恢复存在高度相关性。

二、运动障碍评估与脑卒中患者运动功能预测

众多研究证实, 评估运动障碍的基线水平可以预测运动功能预后, 通常初始运动损伤越严重的患者, 其功能预后越差^[18-20]。预测评估运动障碍中常用 Fugl-Meyer 量表, 该量表可评估单关节运动、多关节运动、协同运动、手指灵活性与速度、共济失调和反射。Fugl-Meyer 量表的上肢最高分是 66 分, 下肢最高分是 34 分, 得分越高则表示损伤越轻^[5]。美国的一项研究^[21]使用 Fugl-Meyer 量表评估了上肢损伤, 结果发现, 脑卒中后 3 个月, 患者在 Fugl-Meyer 量表的最高可能改善达到了缺失功能评分的 70%。这在后来的几项研究中得到了证实, 研究人员在患者脑卒中后 2 周内, 脑卒中 3 或 6 个月后均使用上肢 Fugl-Meyer 量表进行了评估, 结果发现, 多数患者在入组 90 d 内其运动功能改善达到 70%, 且这些研究都排除了患者年龄、性别、脑卒中类型、治疗剂量的影响^[22-25]。这说明上肢自发性运动恢复的量是相对固定的, 约占患者最大恢复潜能的 70%。

同样这种比例恢复规律也可能在下肢运动功能恢复中存在。2017 年一项针对脑卒中 32 例的研究^[26]首次报告了下肢功能恢复的比例,不论治疗剂量如何,使用下肢 Fugl-Meyer 量表测量的下肢损伤恢复比例达 74%。最近的一项研究对首次缺血性脑卒中患者 202 例进行分层分析,分为适合比例恢复规则和不适合比例恢复规则 2 个亚组,发现比例恢复规则可普遍适用于下肢运动功能恢复的预测^[24],符合此规则的患者运动功能恢复改善幅度可达 64%。本课题组认为,这种比例恢复的规则也存在一定局限性,且更适合预测轻度或中度脑卒中患者,因此纳入其他的临床指标或神经生物学指标可能会更好地提高这种比例恢复规则的适用性。

三、行为动作表现与脑卒中患者运动功能预测

早期的一些功能变化也与预测脑卒中患者的运动功能改善有关。如脑卒中后第 7 天,患者患侧手指主动伸直可以预测脑卒中后 6 个月的手臂恢复情况更好^[27];脑卒中 1~3 个月,手灵活性的预测与早期出现耸肩有关^[28]。为满足在急性临床环境中筛查分类患者的需求,有研究开发了仅用一些简单的床旁动作行为就可以预测脑卒中患者功能恢复情况的方法,主要体现在预测上肢功能恢复的研究中。如 Emma 等^[6]通过脑卒中患者 223 例 1 周内的行为动作预测了其 6 个月后的上肢功能,二次分析发现,具有部分肩外展、肘部伸展和手指伸展动作的患者,其 FMA-UE 评分更容易达到 ≥ 32 分,具有旋前旋后、腕背伸和抓握功能的患者,其则 FMA-UE 评分更有可能达 ≥ 58 分。瑞典的一项纵向研究^[18]将手臂动作调查测试表(action research arm test, ARAT)中的两个子项“从玻璃杯倒水”和“将手置于脑后”命名为 ARAT-2, ARAT-2 的总分(0~6),界值为 2 分,其中 >2 分被认为准确预测饮酒任务所需的运动功能的可能性更高,且在不同的时间点,正确分类患者的概率介于 81%~96%,说明 ARAT-2 可以在急性环境和卒中单元中实施,并有助于了解患者以后恢复上肢功能的可能性。该研究的局限性在于,先用 FMA-UE 确定了饮酒任务所需的功能水平,再从 ARAT 中选出不需要特殊设备的项目,所以结果可能会出现一定的偏差。

四、神经生物学标志与脑卒中患者运动功能预测

预测脑卒中患者运动功能恢复的神经生物学标志是从脑卒中患者病变的大小和位置演变而来,主要是指大脑的神经生理学和神经影像学测量。目前常用的神经生物学标志主要是经颅磁刺激(transcranial magnetic stimulation, TMS)和磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)。

(一) TMS 与脑卒中患者运动功能预测

皮质运动系统功能和结构完整性的生物标志物可以预测个别患者运动障碍和运动功能的恢复情况。TMS 是一种安全无痛且无创的技术,当刺激同侧初级运动皮质(M1)的上肢或下肢肌肉代表区域时,可在对侧肌肉中检测到动作诱发电位(motor evoked potential, MEP), MEP 的存在是明显运动恢复良好的指标^[29]。一项评价(包括 480 例患者)发现,在脑卒中后 7d 内, MEP 阳性患者比在这段时间内 MEP 阴性患者的上肢结局更好, MEP 状态的阳性预测值介于 86%~93%,表明 MEP 的存在是上肢运动预后良好的合理预测指标^[30]。Pizzi 等^[31]对脑卒中后 1 周有严重上肢损伤的患者 24 例使用 TMS 进行了预测,结果发现,运动损伤预后的阳性预测值为 100%,这表明对

于这些患者 MEP 的存在可能是特别有用的标志物;但该研究还发现, MEP 状态阴性预测值介于 72%~95%,这表明缺乏 MEP 并不排除良好的预后。MEP 的状态可以结合临床运动障碍评估来确认哪些患者可能更适合比例恢复的规则, Stinear 等^[25]对 157 例患者进行研究发现, 136 例 MEP 阳性的患者的上肢运动障碍达到恢复目标(70%), 而 21 例 MEP 阴性的患者则没有达到恢复目标。

下肢 MEP 状态的预测价值受到的关注较少,目前的研究产生了矛盾的结果。一项早期研究报告表明 MEP 状态可预测下肢远端受损可恢复,但不能独立行走^[32]。随后的研究报道, MEP 状态可预测独立行走的恢复^[33],但并不优于临床预测指标,并且不能预测下肢功能障碍会成比例恢复。这些矛盾的结果可能反映出,姿势控制可能是实现独立行走的一个更重要的影响因素,而不是腿部自主运动的恢复^[26]。因此需要做进一步的研究来评估 MEP 状态是否可以用于脑卒中后下肢运动比例恢复的判断标志。

(二) MRI 与脑卒中患者运动功能预测

MRI 也可用于评估皮质运动系统的结构和功能。常规 MRI 通常使用病变位置和体积作为预测指标,但一项对慢性脑卒中患者的初步研究发现,皮质脊髓束(corticospinal tract, CST)损伤严重与运动能力较差有关,而不是病变体积^[34]。弥散张量成像(diffusion tensor imaging, DTI)作为一种先进的非侵入性磁共振成像技术,成为了近些年来研究热点,可用于可视化白质途径和 CST 的完整性。在 DTI 参数中,各向异性分数(fractional anisotropy, FA)是脑卒中后 CST 病变量化最广泛使用的敏感指标^[35]。Koyamad 等^[36]以出血性脑卒中患者 40 例和缺血性脑卒中患者 40 例作为样本,于发病后 2 周~3 周采集弥散张量图像,生成 FA 图像,计算患侧与健侧大脑脚内 FA 的比值,使用 Brunnstrom 分期(Brunnstrom scale, BRS)、功能独立性测量的运动成分(function independent measure, FIM-MOTOR)和出院时的住院总时间来评估结果,结果发现,2 组的 FA 比值与预后指标的相关性均有统计学意义。一项针对脑卒中患者 23 例的研究也发现,在对上肢恢复的预测中, FA 的大小可以识别出不按比例恢复的患者,此外对于 MEP 阴性的患者,内囊后肢的 FA 不对称性指数可以将部分康复的患者与基本上无法恢复自主性运动的患者区分开^[37]。

功能性神经影像工具可用于检查脑卒中后皮质的激活情况。功能性 MRI(functional MRI, fMRI)的基础是血液氧合水平依赖性(blood-oxygenation level dependent, BOLD)信号,可检测血红蛋白水平的变化,以此作为神经元活动的标志。脑卒中后皮质的激活程度和激活的区域高度可变,但很少有研究确定功能磁共振成像测量可以预测未来不同时间点的运动功能。有研究确定了功能性磁共振可以预测上肢运动功能恢复结果^[38],但是这些测量并未用于单个患者的预测,目前鲜见关于使用功能性 MRI 生物标记物预测脑卒中后运动恢复或结果的共识。

五、PREP 算法在临床实践中的意义

相对简单且易于理解的预测手段会更易于在临床实践中交流和使用,但是一些研究只是简单地将预测结果二等分^[6,18],虽然容易理解,但并不精确。有研究在多变量回归分析中结合了人口统计学、临床和神经生物学标志物信息,以解释一组患者的运动恢复或预后方面的差异,但是在临床实践中

对单个患者进行预测时,并不是特别有用^[39]。

迄今为止,仅探索了一种将临床评估与神经生物学标志物有序相结合适用于预测上肢功能结局的方法 PREP 算法^[40],PREP 算法旨在从简单的床边临床评估开始,并且仅在需要解决不确定性时才依次使用 TMS 和 MRI,以提高效率和经济性。PREP 算法是在首次缺血性脑卒中患者 40 例的研究中开发的^[19],此后已经在 192 例脑卒中患者的独立队列中进行了完善和验证,包括脑出血和既往缺血性脑卒中的患者^[41]。2017 年的一项研究将 PREP 算法更新为 PREP 2 算法,该算法用 NIHSS 评分替代了 PREP 中的 MRI 生物标记物,因此 PREP 2 算法在临床实践中更容易实现^[42]。PREP 2 分类和回归树分析的预测指标包括性别、年龄、受影响半球、脑卒中分类、静脉溶栓、是否首次脑卒中、手指伸展的肌力等级(shoulder abduction finger extension,SAFE)、脑卒中严重程度(NIHSS 评分)、上肢功能障碍(Fugl-Meyer 评分)和上肢肢体治疗剂量(min),回归树分析发现,当使用 MRI 生物标志物或 MEP 阴性患者的 NIHSS 评分时,算法的总体准确性基本相同^[42]。

PREP 2 具体的应用包括:首先使用英国医学研究理事会(Medical Research Council,MAC)量表评估肩外展和手指伸展的肌力等级(shoulder abduction finger extension,SAFE),并将这些动作的得分(每个动作满分为 5 分)相加,得出 SAFE 得分(满分为 10 分)^[42]。脑卒中发病 72 h 内,SAFE 得分 ≥ 5 分,年龄 <80 岁的患者,3 个月后的上肢功能恢复较好,而年龄 ≥ 80 岁的患者,SAFE 评分需 ≥ 8 分才可能获得较好的上肢功能。脑卒中发病 72 h 内,SAFE 得分 <5 分的患者,应在入组 5 d 内确定其腕伸肌 MEP 状态,MEP 阳性的患者也可能具有良好的上肢运动预后,而 MEP 阴性的患者,最有可能出现有限或比较差的上肢预后^[42]。

PREP 2 算法可为 75% 的患者做出发病 3 个月后上肢功能恢复的正确预测,约三分之一的患者需要接受 TMS,而约六分之一的患者需要进行 NIHSS 评分或 MRI 检测,这将有利于 PREP 2 算法在临床实践中的应用^[42]。最近一项应用 PREP 2 算法的研究发现,在脑卒中 2 年后,PREP 2 算法仍可正确用于 80% 的患者^[43],这说明 PREP 2 算法可以预测患者发病 3 个月甚至更长时间的上肢功能结果。

小结

恢复运动功能是脑卒中患者最重要的目标之一,而准确预测其运动功能的恢复对康复治疗具有重要意义。脑卒中后病理学和运动障碍的异质性对于精确预测模型的发展是一个相当大的挑战。针对上肢,虽然已有神经生物学标志物结合临床评估的可靠证据,可指导患者早期的个体化的康复计划制定,从而提高康复效率,但同时也存在一些问题,比如:①正确率还需进一步提高;②缺乏对认知及感觉障碍因素的整合;③获得临床表现和 TMS 状态的时间窗口多是在急性期或者亚急性期,康复科医生或者治疗师可能无法在第一时间取得。因此,本课题组认为,未来的精确预测模型研究还需在更多样的环境和更大样本中去验证,并确定时间窗口是否可以进一步扩展,最大限度地提高灵活性,促进其临床应用中的可行性。另外,目前针对下肢运动功能预测的神经标志物研究较少,未来的研究还可以调查基于神经生物学标志的预测是否有助于

下肢的功能恢复的预测,及其对认知障碍和感觉功能恢复的预测。

参考文献

- [1] Feigin VL, Krishnamurthi RV, Parmar P, et al. Update on the global burden of ischemic and hemorrhagic stroke in 1990-2013: the GBD 2013 study[J]. *Neuroepidemiology*, 2015, 45(3): 161-176. DOI: 10.1159/000441085.
- [2] Langhorne P, Coupar F, Pollock A. Motor recovery after stroke: a systematic review[J]. *Lancet Neurology*, 2009, 8(8): 741-754. DOI: 10.1016/S1474-4422(09)70150-4.
- [3] 聂志余. 重视急性缺血性卒中的预后研究[J]. *中国卒中杂志*, 2016, 11(6): 427-430. DOI: 10.3969/j.issn.1673-5765.2016.06.002.
- [4] Kim B, Winstein C. Can neurological biomarkers of brain impairment be used to predict poststroke motor recovery? A systematic review[J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2017, 31(1): 3-24. DOI: 10.1177/1545968316662708.
- [5] Ghaziani E, Couppe C, Siersma V, et al. Easily conducted tests during the first week post-stroke can aid the prediction of arm functioning at 6 months[J]. *Front Neurol*, 2019, 10: 1371. DOI: 10.3389/fneur.2019.01371.
- [6] Gianella MG, Gath CF, Bonamico L, et al. Prediction of gait without physical assistance after inpatient rehabilitation in severe subacute stroke subjects[J]. *J Stroke Cerebrovasc Dis*, 2019, 28(11): 104367. DOI: 10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2019.104367.
- [7] Prange GB, Jannink MJ, Groothuis-Oudshoorn CG, et al. Systematic review of the effect of robot-aided therapy on recovery of the hemiparetic arm after stroke[J]. *J Rehabil Res Dev*, 2006, 43(2): 171. DOI: 10.1682/JRRD.2005.04.0076.
- [8] Knoflach M, Matosevic B, M Rucker, et al. Functional recovery after ischemic stroke-a matter of age: data from the Austrian Stroke Unit Registry[J]. *Neurology*, 2013, 333(4): e159-e159. DOI: 10.1016/j.jns.2013.07.668.
- [9] Muir KW, Weir CJ, Murray GD, et al. Comparison of neurological scales and scoring systems for acute stroke prognosis[J]. *Stroke*, 1996, 27(10): 1817-1820. DOI: 10.1161/01.STR.27.10.1817.
- [10] Sato S, Delcourt C, Heeley E, et al. Significance of cerebral small-vessel disease in acute intracerebral hemorrhage[J]. *Stroke*, 2016, 47(3): 701-707. DOI: 10.1161/STROKEAHA.115.012147.
- [11] Finocchi C, Balestrino M, Malfatto L, et al. National institutes of health stroke scale in patients with primary intracerebral hemorrhage[J]. *Neurol Sci*, 2018, 39(10): 1751-1755. DOI: 10.1007/s10072-018-3495-y.
- [12] Hung LC, Sung SF, Hsieh CY, et al. Validation of a novel claims-based stroke severity index in patients with intracerebral hemorrhage[J]. *J Epidemiol*, 2017, 27(1): 24-29. DOI: 10.1016/j.je.2016.08.003.
- [13] Mantero V, Scaccabarozzi C, Aliprandi A, et al. NIHSS as predictor of clinical outcome at 6 months in patients with intracerebral hemorrhage[J]. *Neurol Sci*, 2020, 41(3): 717-719. DOI: 10.1007/s10072-019-04070-4.
- [14] Mark TS, Gillian DB. Achievement of simple mobility milestones after stroke[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 1999, 80(4): 442-447. DOI: 10.1016/S0003-9993(99)90283-6.
- [15] Louise E, Olivia W, Bernhardt J, et al. Predictors of poststroke mobility

- ty; systematic review[J]. *Int J Stroke*, 2011, 6(4):321-327. DOI:10.1111/j.1747-4949.2011.00621.x.
- [16] Ekstrand E, Sunnerhagen KS, Persson HC, et al. Longitudinal changes of self-perceived manual ability the first year after stroke: a cohort study[J]. *BMC Neurol*, 2020, 20(1): 181. DOI: 10.1186/s12883-020-01754-9.
 - [17] Kwah LK, Harvey LA, Diong J, et al. Models containing age and NIHSS predict recovery of ambulation and upper limb function six months after stroke: an observational study[J]. *Physiother*, 2013, 59(3):189-197. DOI:10.1016/S1836-9553(13)70183-8.
 - [18] Hanna C, Hanna C. A cohort study investigating a simple, early assessment to predict upper extremity function after stroke - a part of the SALGOT study[J]. *BMC Neurology*, 2015, 15(1):92. DOI: 10.1186/s12883-015-0349-6.
 - [19] Stinear CM, Barber PA, Petoe M, et al. The PREP algorithm predicts potential for upper limb recovery after stroke [J]. *Brain*, 2012, 135(8):2527-2535. DOI: 10.1093/brain/awt146.
 - [20] Sheau LH, Bang BC, Hsueh IP, et al. Prediction of lower extremity motor recovery in persons with severe lower extremity paresis after stroke [J]. *Brain Inj*, 2018, 32(3):1-7. DOI: 10.1080/02699052.2018.1432897.
 - [21] Zarahn E, Alon L, Ryan SL, et al. Prediction of motor recovery using initial impairment and fMRI 48h poststroke[J]. *Cereb Cortex*, 2011, 21(12):2712-2721 DOI:10.1093/c-ercor/bhr047.
 - [22] Winters C, Wegen EE, Daffertshofer A, et al. Generalizability of the proportional recovery model for the upper extremity after an ischemic stroke[J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2015, 29(7): 614-622. DOI: 10.1177/1545968314562115.
 - [23] Winters C, Wegen EE, Daffertshofer A, et al. Generalizability of the maximum proportional recovery rule to visuospatial neglect early post-stroke[J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2017, 31: 334-342. DOI:10.1177/1545968316680492.
 - [24] Veerbeek JM, Winters C, Wegen EE, et al. Is the proportional recovery rule applicable to the lower limb after a first-ever ischemic stroke? [J]. *PLoS One*, 2018, 13(1):e0189279. DOI:10.1371/journal.pone.0189279.
 - [25] Stinear CM, Byblow WD, Ackerley SJ, et al. Proportional motor recovery after stroke: implications for trial design[J]. *Stroke*, 2017, 48(3):795-798. DOI:10.1161/STROKEAHA.116.016020.
 - [26] Smith MC, Byblow WD, Barber PA, et al. Proportional recovery from lower limb motor impairment after stroke[J]. *Stroke*, 2017, 48(5): 1400-1403. DOI:10.1161/STROKEAHA.116.016478.
 - [27] Smania N, Paolucci S, Tinazzi M, et al. Active finger extension: a simple movement predicting recovery of arm function in patients with acute stroke[J]. *Stroke*, 2007, 38(3): 1088-1090. DOI: 10.1161/01.STR.0000258077.88064.a3.
 - [28] Katrak P, Bowring G, Conroy P, et al. Predicting upper limb recovery after stroke: The place of early shoulder and hand movement[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 1998, 79(7):758-761. DOI: 10.1016/S0003-9993(98)90352-5.
 - [29] Kim B, Winstein C. Can neurological biomarkers of brain impairment be used to predict poststroke motor recovery? A systematic review[J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2017, 31(1): 3-24. DOI: 10.1177/1545968316662708.
 - [30] Bembek J, Kurczyk K, Karlinski M, et al. The prognostic value of motor-evoked potentials in motor recovery and functional outcome after stroke a systematic review of the literature[J]. *Clinical Neurophysiology*, 2013, 124(10):e103-e103. DOI:10.1016/j.clinph.2013.04.156.
 - [31] Pizzi A, Carrai R, Falsini C, et al. Prognostic value of motor evoked potentials in motor function recovery of upper limb after stroke[J]. *J Rehabil Med*, 2009, 41(8):654-660. DOI:10.2340/16501977-0389.
 - [32] Hendricks HT, Pasman JW, Merx JL, et al. Analysis of recovery processes after stroke by means of transcranial magnetic stimulation [J]. *J Clin Neurophysiol*, 2015, 20(3): 188-195. DOI: 10.1097/00004691-200305000-00004.
 - [33] Chang MC, Do KH, Chun MH. Prediction of lower limb motor outcomes based on transcranial magnetic stimulation findings in patients with an infarct of the anterior cerebral artery[J]. *Somatosens Mot Res*, 2015, 32(4):249-253. DOI:10.3109/08990220.2015.1091769.
 - [34] Sterr A, Shen S, Szameitat AJ, et al. The role of corticospinal tract damage in chronic motor recovery and neurorehabilitation: a pilot study [J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2010, 24(5): 413-419. DOI: 10.1177/1545968309348310.
 - [35] Jin JF, Guo ZT, Zhang YP, et al. Prediction of motor recovery after ischemic stroke using diffusion tensor imaging: a meta-analysis [J]. *World J Emerg Med*, 2017, 8(2): 99-105. DOI: 10.5847/wjem.j.1920-8642.2017.02.003.
 - [36] Koyama T, Koumo M, Uchiyama Y, et al. Utility of fractional anisotropy in cerebral peduncle for stroke outcome prediction: comparison of hemorrhagic and ischemic strokes[J]. *J Stroke Cerebrovasc Dis*, 2018, 27(4): 878-885. DOI:10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2017.10.022.
 - [37] Buch ER, Rizk S, Nicolo P, et al. Predicting motor improvement after stroke with clinical assessment and diffusion tensor imaging[J]. *Neurology*, 2016, 86(20): 1924-1925. DOI: 10.1212/WNL.0000000000002675.
 - [38] Leroy A, Foucher JR, Pins D, et al. fMRI capture of auditory hallucinations: validation of the two-steps method [J]. *Hum Brain Mapp*, 2017, 38(10):4966-4979. DOI:10.1002/hbm.23707.
 - [39] Puig J, Pedraza S, Blasco G, et al. Acute damage to the posterior limb of the internal capsule on diffusion tensor tractography as an early imaging predictor of motor outcome after stroke[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2011, 32(5):857-863. DOI:10.3174/ajnr.a2400.
 - [40] Stinear CM. Prediction of motor recovery after stroke: advances in biomarkers[J]. *Lancet Neurol*, 2017, 16(10):826-836. DOI: 10.1016/S1474-4422(17)30283-1.
 - [41] Stinear CM, Byblow WD, Ackerley SJ, et al. Predicting recovery potential for individual stroke patients increases rehabilitation efficiency [J]. *Stroke*, 2017, 48(4):1011-1019. DOI: 10.1161/STROKEAHA.116.015790.
 - [42] Stinear CM, Byblow WD, Ackerley SJ, et al. PREP2: a biomarker-based algorithm for predicting upper limb function after stroke [J]. *Ann Clin Transl Neurol*. 2017, 24, 4(11): 811-820. DOI: 10.1002/acn3.488.
 - [43] Smith MC, Ackerley SJ, Barber PA, et al. PREP2 A lgorithm predictions are correct at 2 years poststroke for most patients[J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2019, 33(8): 635-642. DOI: 10.1177/1545968319860481.

(修回日期:2021-10-16)

(本文编辑:阮仕衡)