

脑卒中后重度运动障碍患者心脏康复训练的研究进展

黄 镛 周明超 查甫兵 王玉龙*

(深圳市第二人民医院 深圳大学第一附属医院, 广东 深圳 518035)

〔摘要〕 脑卒中后心功能障碍在临床上普遍存在, 在脑卒中早期主要表现为脑心综合征, 进入脑卒中恢复期主要表现为心肺耐力的下降。对脑卒中患者进行心脏康复可以预防和扭转这些健康危害, 降低再次卒中或死亡的风险, 具有重要的临床意义。但就目前而言, 脑卒中后心脏康复的模式还处于探索的阶段, 特别是研究往往集中在轻度至中度运动障碍的个体上, 而对缺乏行走能力的重度运动障碍患者缺乏足够关注, 本文作者结合目前国内外有关脑卒中后重度运动障碍患者心脏康复治疗的相关进展进行系统综述, 以期改善此类患者的心血管健康提供参考意见。

〔关键词〕 脑卒中; 运动障碍; 心脏康复

〔中图分类号〕 R 743 〔文献标识码〕 A

Research Progress of Cardiac Rehabilitation Training for Patients with Severe Dyskinesia after Stroke

HUANG Yong, ZHOU Ming-chao, ZHA Fu-bing, WANG Yu-long*

(Shenzhen Second People's Hospital, The First Affiliated Hospital of Shenzhen University, Guangdong Shenzhen 518035)

〔Abstract〕 Post-stroke cardiac dysfunction is a common clinical phenomenon. In the early stages of stroke, it frequently manifests as cerebral cardiac syndrome, while during the recovery period, it is predominantly characterized by reduced cardiopulmonary endurance. Cardiac rehabilitation in stroke patients has been demonstrated to be effective in preventing and reversing these deleterious health outcomes, thereby reducing the risk of recurrent stroke or mortality and carrying significant clinical significance. However, the current models for post-stroke cardiac rehabilitation remain in the exploratory stage. Notably, research has primarily focused on individuals with mild to moderate motor impairments, while patients with severe motor impairments who lack ambulatory capacity have received limited attention. The authors perform a systematic review of relevant advances in post-stroke cardiac rehabilitation for patients with severe motor impairments, synthesizing findings from both domestic and international research. In order to provide valuable insights into enhancing the cardiovascular health of this patient population.

〔Keywords〕 Stroke; Dyskinesia; Cardiac rehabilitation

脑卒中后约 20% 患者缺乏独立行走能力, 即完全不能行走或仅能援助下缓慢移动。此类患者将不可避免长期缺乏身体活动和久坐不动, 久之会增加心脏代谢风险并对身体其他功能产生不利影响, 增加继发性心脑血管事件发生和死亡的风险^[1]。基于运动的康复是帮助预防和逆转这些健康危害的重要手段^[2], 可以帮助改善患者的健康状况和生活质量, 并且效果在治疗结束的 6 个月后仍能有所保留。然而, 目前成熟的康复的运动治疗或训练模式多是针对心血管疾病患者, 多不适用于存在严重运动功能障碍的脑卒中患者, 而临床急需针对此类患者有效的康复方法。因此, 本文作者结合

国内外有关文献, 对脑卒中后重度运动障碍患者心脏康复的相关研究进行综述。

1 脑卒中后心功能减退的机制

脑卒中后的心功能减退与疾病本身的影响和脑卒中后生活方式改变有关。在疾病方面, 脑卒中事件本身可以对心脏造成损伤, 主要发生在急性期, 临床上可表现为轻度和可恢复的损伤(如神经源性应激性心肌病, 伴随的心功能障碍会随着神经功能的改善而消退); 也可出现心电图异常改变或心律失常; 造成潜藏的终生心脏问题(如心力衰竭); 最严重时甚至可直接危及生命。

〔收稿日期〕 2023-01-12

〔基金项目〕 国家自然科学基金青年基金项目(82205065); 广东省基础与应用基础研究项目(2020A1515111062); 深圳市“医疗卫生三名工程”项目(SZSM202111010); 深圳市第二人民医院临床研究项目(20213357022)

〔作者简介〕 黄镛, 男, 住院医师, 主要研究方向是康复医学与理疗学。

〔*通信作者〕 王玉龙(E-mail: ylwang668@163.com; Tel: 13923448395)

脑心交互作用是其中重要的病理生理机制^[3], 具体包括以下几个方面: (1) 脑卒中后下丘脑-垂体-肾上腺轴的激活、交感神经和副交感神经调节障碍导致血液和组织间的儿茶酚胺激增, 再通过作用于心肌细胞 β 受体引发级联反应导致心肌细胞坏死、肥大、纤维化, 继而引起心力衰竭、心律失常等临床表现; (2) 脑卒中后血脑屏障功能减退, 脑内受损的内皮细胞和星形胶质细胞和 M1 表型的浸润性巨噬细胞等刺激促炎细胞因子和趋化因子的释放, 再透过血脑屏障到达外周激活全身的炎症反应和免疫反应, 引发心肌的炎症和纤维化改变以及功能障碍; (3) 肠道微生物群也与心脏、中枢神经系统存在相互作用, 脑卒中后肠道屏障通透性增加, 使细菌和内毒素易位到血液中, 从而诱导促炎细胞因子生成和全身性炎症反应导致心力衰竭、心肌重塑、心肌梗死、血栓形成和动脉粥样硬化。

在生活方式方面, 脑卒中后特别是缺乏行走能力的患者将不可避免的处于长期的坐、半卧或全卧状态, 久之会引起一系列心血管病理生理变化, 包括回心血量增加, 刺激右心房压力感受器导致反射性的抗利尿激素释放减少, 尿量增加, 血容量降低^[4]。有效循环血量的降低可引起反射性的心动过速, 进一步导致心功能下降, 甚至诱发心血管事件的发生。此外, 血容量和血流量的改变增加深静脉血栓形成风险, 并可能进一步导致肺栓塞、脑栓塞、肠系膜动脉栓塞等严重并发症, 加重患者病情甚至死亡的风险。除此之外, 长期缺乏身体活动还会导致心肺耐力的减退及心血管危险因素的管控不良, 影响脑卒中患者的健康状况和功能恢复。

2 脑卒中后重度运动障碍患者心脏康复治疗面临的问题

近年来, 学者针对卒中后心脏康复的方式进行了大量探索, 指出脑卒中的心血管康复需以运动治疗为主, 药物、营养、心理、戒烟疗法并重。其中运动疗法应根据患者肢体活动障碍情况选择徒手、踏车或手足联动踏车等有氧训练, 同时阻抗运动、柔韧性训练和平衡训练是必要的补充。但针对脑卒中后缺乏行走能力的重度运动障碍患者的心脏康复治疗, 目前尚存在诸多问题尚未解决。一方面, 脑卒中后仅靠现有的康复模式不能系统地提供充足的训练量来逆转心肺功能的减退。有研究者按照美国运动医学会 (American College of Sports Medicine, ACSM) 的指南推荐进行物理治疗 (physical training, PT) 和作业治疗 (occupation training, OT) 训练, 发现能达到有氧运动治疗量的时间均很短, 54 min 左右的 PT 过程只有 3 min 左右达到目标心率, 40 min 左右的 OT 训练过程只有 1 min 左右达到目标心率^[5]。另一方面, 脑卒

中后缺乏行走能力患者由于多存在严重下肢肌力和躯干平衡的不足, 常规的心脏康复运动项目如慢跑、踏车等训练均难以完成, 常常被排除在心脏康复的纳入对象之外, 这在 Saunders 等人^[6]的系统评价中得到充分体现, 58 项涉及脑卒中幸存者运动治疗的研究, 90% 的对象都是能够独立步行的卒中后患者。

3 脑卒中后重度运动障碍患者可行的心脏康复训练方法

心脏康复训练主要起到改善骨骼肌和自主神经的适应性, 增强心肺耐力, 提高冠状动脉储备以及控制心血管危险因素的作用。严重的运动功能障碍虽然限制脑卒中后缺乏行走能力患者完成传统的心脏康复训练, 但是目前研究发现卧床踏车训练、电动起立床训练、体外反搏、四肢联动训练、功能性电刺激结合训练、机器人辅助训练、弹力带抗阻训练、半卧式踏车训练等可以有效地改善此类患者的心血管健康水平。

3.1 卧床踏车训练

卧床踏车是一项操作简便、可持续进行的床边运动, 它通过模拟正常肢体运动, 起到加快下肢血液流动, 减缓肌肉萎缩以及防止深静脉血栓形成的作用, 结合体位改变还可协同提升心肺功能^[7]。Thelander 等人^[7]的研究发现, 严重脑损伤或脑卒中后的患者在持续 20 min ($20 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$) 的卧床踏车运动过程中, 能引起每搏心输出量、心输出量、平均动脉压、脑灌注压的升高, 并且在运动结束后又重新趋于平稳。Sandberg 等人^[8]对发病 7 d 内的中重度脑卒中患者进行 (持续 3 周、每周 5 次、每次 20 min) 卧床踏车训练, 结果表明, 卧床踏车训练有助于改善脑卒中急性期患者的静息血压水平和恢复运动过程中正常的血压反应性。卧床踏车训练在早期康复、重症康复中具有重要优势, 它能使得意识障碍、严重运动障碍、存在颅高压或脑缺血风险、血流动力学不稳定等需要在床旁行康复治疗的患者, 可以早期实施主动或被动锻炼。Zink 等人^[9]的研究中, 27 例神经重症患者成功接受了卧床踏车训练, 在锻炼前后没有记录到有临床意义的神经或生理参数变化, 说明卧床踏车运用具有安全性和可行性。

3.2 电动起立床训练

电动起立床训练主要针对的同样是不具备行走能力的人群, 它在帮助脑卒中后缺乏行走能力患者完成起立动作、减少压疮和肺部感染发生风险的同时具备改善患者心功能的作用。陈珊珊等人^[10]选取了 70 例基线情况大致相同的长期卧床不起的脑卒中患者进行电动起立床的治疗, 治疗频率为 $2 \text{ 次} \cdot \text{d}^{-1}$, $30 \text{ min} \cdot \text{次}^{-1}$, 总疗程为 15 d。治疗结束后发现患者的左心室射血分数有明显的提

高,提示患者的心功能得到了改善。陈妙玲等人^[11]通过观察电动起立床进行体位改变训练时血流动力学的变化,发现从平卧位转变直立位时,心率、每搏量、心输出量均较平卧位时增加,其原因是体位改变后患者的心脏收缩能力增强,外周血管阻力降低,提示电动起立床训练是脑卒中卧床患者可行有效的心脏康复方法。电动起立床在临床中较为常见的是采用 $2\text{次}\cdot\text{d}^{-1}$, $30\text{min}\cdot\text{次}^{-1}$ 的治疗频率,起立的角度选择在 $30^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 。治疗方式可选择持续站立或 $30^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 反复站立等模式进行。此外,由于脑卒中后患者可能存在下肢血管舒张和收缩功能的障碍,所以在进行电动起立床治疗期间,要特别警惕体位性低血压的发生。

3.3 增强型体外反搏治疗

增强型体外反搏(enhanced external counterpulsation, EECP)通过机械加压的方式辅助心脏做功,增加心、脑、肾的血流灌注,促进血管内皮抗炎因子生成及抑制炎症因子,是缺血性脑卒中患者急性期的重要康复手段^[12]。目前证据指出,EECP治疗可以有效改善缺血性脑卒中患者自主神经功能,具有心脑血管保护意义。其中,Tian等人^[13]观察到急性期缺血性脑卒中患者经过规范EECP治疗后不仅脑血流量得到增加,而且降低了每搏间血压变异性。Li等人^[14]对亚急性期缺血性脑卒中患者进行 3min , 150mmHg 压力下的EECP治疗,结果显示无论缺血病灶在哪一侧,EECP治疗后患者的心率变异性都能得到有效改善,但仅在右侧大脑脑卒中患者中能发现交感和副交感神经调节能力的改善。在临床应用方面,老年人体外反搏临床应用中国专家共识中建议缺血性卒中患者应在 150mmHg 压力下进行大于 10h 的EECP治疗以得到更佳的治疗效果^[12]。并且由于EECP对循环系统的刺激作用不亚于进行激烈的体育锻炼,所以在实施EECP前需要完成心血管危险分层,排除治疗禁忌证,并在治疗期间监测好生命体征的变化,保障治疗的安全进行^[12]。

3.4 四肢联动训练

四肢联动训练是在靠坐的状态下完成的一项有氧结合抗阻训练,患者可以利用上下肢同时运动模拟步态,且通过互相借力或施加阻力进行上下肢的力量性训练。在Huang等人^[15]的研究中发现,进行四肢联动训练干预不仅提高了脑卒中重度运动障碍患者的心肺耐力,同时降低了单核细胞-血小板聚集体和凝血酶的生成,起到延缓动脉粥样硬化、预防血栓形成的积极作用。在经典的四肢训练器基础之上,周明超等人^[16]自主研发的床上运动康复机器人(专利号:ZL202020157238.6)能够帮助脑卒中后患者在仅有一侧下肢力量的情况下完成主动伸展被动弯曲的有氧结合抗阻训练方式,实现床上四肢

联动训练,使患者在训练过程中的心率、呼吸频率均有一定程度的提升,从而达到心肺康复的目的。

3.5 功能性电刺激辅助运动训练

功能性电刺激(functional electrical stimulation, FES)利用一定强度的低频脉冲电流对局部肌肉、神经产生刺激,诱发肌肉运动、模拟正常自主运动,以改善局部肌肉或肌群功能。如果在运动过程中予瘫痪的下肢应用FES,不仅会引起高水平的有氧和心脏反应,而且还会引起有利的中枢神经系统反应和血流动力学反应。Aaron等人^[17]发现8周渐进式FES辅助卧式自行车训练可以显著改善脑卒中患者的心肺耐力,峰值摄氧量提高了 12% 。Edrinal等人^[18]研究重症监护室(intensive care unit, ICU)辅助通气和镇静患者四种早期康复技术运动强度的比较,结果表明,仅FES结合床边踏车训练可以增加心输出量,增幅约为 15% 。除了与踏车类运动相结合,脑卒中患者利用FES辅助下的腿动轮椅训练要优于传统的手动轮椅训练,减少了能量的消耗,却获得了更大的心肺反应效果,在运动过程中达到更大的心率和摄氧量。Farkas等人^[19]的研究表明具有严重行动障碍的脊髓损伤患者通过FES结合踏车训练可以改善心肺耐力。

3.6 机电辅助步行训练

机电辅助设备可以为脑卒中患者提供步行训练。Lefeber等^[20]的Meta分析结果表明,对于不能独立行走的脑卒中患者,治疗师可以利用体重支持系统、外骨骼或末端执行器对其进行低强度有氧运动,有效提高脑卒中后不能行走患者的峰值摄氧量。其中Chang等人^[21]的研究发现脑卒中患者(功能性步行量表(functional ambulation category, FAC) < 2 分)接受每日2次,每次 40min 的Lokomat步态训练后峰值摄氧量改善了 12.8% 。在Stoller等人^[22]的研究中则尝试利用反馈控制的机器人辅助活动平板训练(robotics assisted treadmill exercise, RATE)帮助重度脑卒中患者(功能性步行 $0\sim 2\text{min}$)进行康复,在4周的训练后,患者的最大摄氧量从 $14.6\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ 增至 $17.7\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$,相当于降低了 12% 的心脏病死亡风险。另外一种机器人辅助倾斜台(robotics assisted treadmill table, RATT)被发现也适用于不能行走脑卒中患者,和普通的斜板站床不同,RATT有两个运动驱动器可以让腿完成周期性踏步运动,强度可达到美国运动医学会推荐的中等强度水平^[23]。未来,此类机电辅助设备的开发及改进将让更多无法行走的重度脑卒中患者也能进行心脏康复的相关训练。

3.7 卧坐状态下抗阻训练

脑卒中后患者的活动不单纯受心肺的限制,同时也受肌肉无力的影响。目前的研究认为单独的抗阻训练在改善脑卒中患者心肺功能的效果不及有氧训练,但是多

项研究指出抗阻训练可以与有氧训练相结合, 这种综合的训练方式将更好地改善患者的心肺能力和整体功能^[24]。针对于脑卒中后不能行走患者, 弹力带和肢体抗阻是目前较为可行的两种抗阻训练方式。Gambassi 等人^[25]研究发现 8 周的弹力带训练可以改善脑卒中患者的血压水平、血液内氧化应激标志物水平及心脏自主调节能力, 另外此研究还指出此训练方法对患者血压调节的效果与有氧运动及药物治疗相当。Veldema 等人^[26]研究中对重度行走障碍的 ICU 患者进行阻力训练, 结果表明, 通过屈髋、伸膝等下肢对抗动作可以有效地改善患者的运动功能及心血管功能。

3.8 其他运动康复训练

除上述的训练方法外, 一些其他的康复技术或许也能运用于脑卒中后缺乏行走能力患者的心脏康复训练, 主要包括: (1) 某些虚拟现实技术: 传统的心脏康复方式往往比较枯燥, 容易导致患者失去兴趣, 若通过与视频游戏和虚拟现实系统进行物理交互则能够提高治疗的娱乐性。在 Trinh 等^[27]的研究中, 患者在参加基于 Wii (任天堂游戏) 的运动疗法后峰值心率增加了 33%, 心率恢复时间加快了 40%, 这也是第一个观察到上肢康复训练对脑卒中后心血管功能有益的研究。除此之外, 卒中后患者也可以通过虚拟现实技术结合减重跑台、半卧式踏车等进行训练^[28]。(2) 水下运动 (aquatic exercise, AE): 水提供的环境特性能使存在下肢无力、站立不稳和步态障碍的患者更容易完成不同的运动训练。Li 等^[29]的 Meta 分析结果表明, 水下运动在改善脑卒中患者的平衡功能、运动功能、心肺耐力比陆上运动具有更好的优势。(3) 气囊辅助减重跑步机: 此种设备可以起到减轻重量的效果, Baizabal-Carvalho 等人^[30]将它运用于步行障碍帕金森患者的运动康复, 未来同样可以尝试用于脑卒中卧床患者的有氧训练。

4 总结和展望

脑卒中后重度运动障碍患者的心脏健康值得引起医务工作者的关注和重视, 他们不应该单纯因为严重的运动障碍而失去进行心脏康复的机会。在临床实践中, 本文中提及的不同康复训练方式在实施时都有各自的优势与不足, 卧床踏车、电动起立床等训练方法大多操作简便、容易实施, 即便是存在意识障碍、认知障碍的患者也能配合完成治疗, 虽然此种训练强度通常较低, 在改善心肺耐力方面的作用有限, 但是在改善心脏自主神经调节功能上却具有良好的效果。相较之下, 主动参与下的训练如半卧式踏车、四肢联动踏步、机电辅助训练可以更大程度地募集肌群的协调运动, 激活心脏做功, 更有效地改善心功能、提高心肺耐力, 但前提需要参与者的良

好配合, 所以在临床中要充分结合患者的实际情况择优选择。此外, 精准的心功能评定是心脏康复治疗安全性和有效性的保障, 所以未来除了要探索此类患者更有效的训练方法外, 进行精准的心功能评定也是关键。

〔参考文献〕

- (1) Saunders DH, Mead GE, Fitzsimons C, et al. Interventions for reducing sedentary behavior in people with stroke (J). *Cochrane Database Syst Rev*, 2021, 6(6): CD012996.
- (2) Regan EW, Handlery R, Stewart JC, et al. Integrating Survivors of Stroke Into Exercise-Based Cardiac Rehabilitation Improves Endurance and Functional Strength (J). *J Am Heart Assoc*, 2021, 10(3): e017907.
- (3) Xu C, Zheng A, He T, et al. Brain-Heart Axis and Biomarkers of Cardiac Damage and Dysfunction after Stroke: A Systematic Review and Meta-Analysis (J). *Int J Mol Sci*, 2020, 21(7): 2347.
- (4) Maasackers CM, Thijssen DH, Knight SP, et al. Hemodynamic and structural brain measures in high and low sedentary older adults (J). *Journal of cerebral blood flow and metabolism: official journal of the International Society of Cerebral Blood Flow and Metabolism*, 2021, 41(10): 2607-2616.
- (5) Lennon O, Crystal A, Kwan M, et al. Perspectives and Experiences of Cardiac Rehabilitation after Stroke-A Qualitative Study (J). *Healthcare(Basel, Switzerland)*, 2022, 10(8): 101-120.
- (6) Saunders DH, Sanderson M, Hayes S, et al. Physical fitness training for stroke patients (J). *Cochrane Database Syst Rev*, 2020, 3(3): CD003316.
- (7) Thelander A, Nellgård B, Ricksten SE, et al. Effects of Early Bedside Cycle Exercise on Intracranial Pressure and Systemic Hemodynamics in Critically Ill Patients in a Neurointensive Care Unit (J). *Neurocrit Care*, 2016, 25(3): 434-439.
- (8) Sandberg K, Kleist M, Enthoven P, et al. Hemodynamic responses to In-Bed Cycle Exercise in the acute phase after moderate to severe stroke: A randomized controlled trial (J). *J Clin Hypertens (Greenwich)*, 2021, 25(3): 1077-1084.
- (9) Zink EK, Kumble S, Beier M, et al. Physiological Responses to In-Bed Cycle Ergometry Treatment in Intensive Care Unit Patients with External Ventricular Drainage (J). *Neurocrit Care*, 2021, 35(3): 707-713.
- (10) 陈珊珊, 刘自双, 刘芳芳, 等. 电动起立床辅助疗法对老年脑卒中卧床患者器官功能的影响 (J). *老年医学与保健*, 2020, 26(1): 106-109.
- (11) 陈妙玲, 方锐, 刘芳, 等. 体位改变对脑卒中卧床患者血流动力学的影响 (J). *中国康复医学杂志*, 2020, 35(9): 1066-1070.
- (12) 中华医学会老年医学分会心血管病学组, 《中华老年医学

- 杂志》编辑委员会, 中国生物医学工程学会体外反搏分会老年学组. 老年人体外反搏临床应用中国专家共识 (2019) (J) . 中华老年医学杂志, 2019, 38(9): 953-961.
- (13) Tian G, Xiong L, Lin W, Han J, et al. External Counterpulsation Reduces Beat-to-Beat Blood Pressure Variability When Augmenting Blood Pressure and Cerebral Blood Flow in Ischemic Stroke (J) . J Clin Neurol, 2016, 12(3): 308-315.
- (14) Li B, Wang W, Mao B, et al. Hemodynamic effects of enhanced external counterpulsation on cerebral arteries: a multiscale study (J) . Biomed Eng Online, 2019, 18(1): 91.
- (15) Huang SC, Hsu CC, Fu TC, et al. Stepper-based Training Improves Monocyte-Platelet Aggregation and Thrombin Generation in Nonambulatory Hemiplegic Patients (J) . Med Sci Sports Exerc, 2022, 54(5): 821-829.
- (16) 周明超, 王同, 王玉龙, 等. 一种下肢肌力辅助训练装置: 202020157238.6 (P) . 2020-11-16.
- (17) Aaron SE, Vanderwerker CJ, Embry AE, et al. FES-assisted Cycling Improves Aerobic Capacity and Locomotor Function Postcerebrovascular Accident (J) . Med Sci Sports Exerc, 2018, 50(3): 400-406.
- (18) Eedrinat C, Combret Y, Prieur G, et al. Comparison of exercise intensity during four early rehabilitation techniques in sedated and ventilated patients in ICU: a randomised cross-over trial (J) . Crit Care, 2018, 22(1): 110.
- (19) Farkas GJ, Gorgey AS, Dolbow DR, et al. Energy Expenditure, Cardiorespiratory Fitness, and Body Composition Following Arm Cycling or Functional Electrical Stimulation Exercises in Spinal Cord Injury: A 16-Week Randomized Controlled Trial (J) . Top Spinal Cord Inj Rehabil, 2021, 27(1): 121-134.
- (20) Lefeber N, De Buyzer S, Dassen N, et al. Energy consumption and cost during walking with different modalities of assistance after stroke: a systematic review and meta-analysis (J) . Disabil Rehabil, 2020, 42(12): 1650-1666.
- (21) Chang WH, Kim MS, Huh JP, et al. Effects of robot-assisted gait training on cardiopulmonary fitness in subacute stroke patients: a randomized controlled study (J) . Neurorehabil Neural Repair, 2012, 26(4): 318-324.
- (22) Stoller O, de Bruin ED, Schindelholz M, et al. Efficacy of Feedback-Controlled Robotics-Assisted Treadmill Exercise to Improve Cardiovascular Fitness Early After Stroke: A Randomized Controlled Pilot Trial (J) . J Neurol Phys Ther, 2015, 39(3): 156-165.
- (23) Saengsuwan J, Berger L, Schuster-Amft C, et al. Test-retest reliability and four-week changes in cardiopulmonary fitness in stroke patients: evaluation using a robotics-assisted tilt table (J) . BMC Neurol, 2016, 16(1): 163.
- (24) Lee J, Stone AJ. Combined Aerobic and Resistance Training for Cardiorespiratory Fitness, Muscle Strength, and Walking Capacity after Stroke: A Systematic Review and Meta-Analysis (J) . J Stroke Cerebrovasc Dis, 2020, 29(1): 104498.
- (25) Gambassi BB, Coelho-Junior HJ. Dynamic Resistance Training Improves Cardiac Autonomic Modulation and Oxidative Stress Parameters in Chronic Stroke Survivors: A Randomized Controlled Trial (J) . Oxid Med Cell Longev, 2019, 10(21): 5382843.
- (26) Veldema J, Bösl K, Kugler P, et al. Cycle ergometer training vs resistance training in ICU-acquired weakness (J) . Acta Neurol Scand, 2019, 149(1): 63-71.
- (27) Trinh T, Scheuer SE, Thompson-Butel AG, et al. Cardiovascular fitness is improved post-stroke with upper-limb Wii-based Movement Therapy but not dose-matched constraint therapy (J) . Top Stroke Rehabil, 2016, 23(3): 208-216.
- (28) Janeh O, Steinicke F. A Review of the Potential of Virtual Walking Techniques for Gait Rehabilitation (J) . Front Hum Neurosci, 2021, 15(1): 717291.
- (29) Li D, Chen P. Effects of Aquatic Exercise and Land-Based Exercise on Cardiorespiratory Fitness, Motor Function, Balance, and Functional Independence in Stroke Patients-A Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials (J) . Brain Sci, 2021, 11(8): 1097.
- (30) Baizabal-Carvalho JF, Alonso-Juarez M, Fekete R. Anti-Gravity Treadmill Training for Freezing of Gait in Parkinson's Disease (J) . Brain Sci, 2020, 10(10): 739.