

# 脑卒中患者运动耐量影响因素的多重线性回归分析

毕海平<sup>1</sup> 冯建华<sup>2</sup> 蔡雨星<sup>1</sup> 张会慧<sup>1</sup> 赵秋云<sup>1</sup> 艾可青<sup>1</sup> 李雪萍<sup>1</sup> 林强<sup>1</sup>

<sup>1</sup>南京医科大学附属南京医院(南京市第一医院)康复医学科,南京 210006; <sup>2</sup>南京市第一医院雨花分院康复医学科,南京 210039

通信作者:林强,Email:linqn2012@126.com

**【摘要】** **目的** 通过心肺运动试验(CPET)观察脑卒中患者运动耐量的恢复情况,并采用多重线性回归分析其独立影响因素。**方法** 纳入 2018 年 1 月至 2019 年 12 月南京市第一医院康复医学科住院的脑卒中患者 81 例,收集所有患者的一般临床资料,与 CPET 的检测数据合并,建立数据集。以峰值摄氧量为因变量,以年龄、Brunnstrom 分期、峰值功率、峰值心率、峰值呼吸交换比、峰值呼吸储备、峰值每分钟通气量、每分钟通气量-二氧化碳排出量斜率( $\Delta VE/\Delta VCO_2$ )、峰值潮气末二氧化碳分压为自变量,建立多重线性回归模型,使用 SPSS25.0 版统计软件对所得数据进行多重线性回归分析。**结果** 纳入 Brunnstrom 分期的 III 期、IV 期和 V 期以上脑卒中患者在年龄分布上依次减小( $P < 0.001$ ,  $F = 24.057$ ),而在峰值摄氧量(即运动耐量)方面依次增加( $P < 0.001$ ,  $F = 108.691$ )。以“逐步法”构建的多重线性回归模型显示,拟合的多重线性回归方程有统计学意义( $F = 100.228$ ,  $P < 0.001$ );峰值功率[ $\beta = 0.041$ , 95% CI (0.020, 0.062),  $P < 0.001$ ]、峰值心率[ $\beta = 0.088$ , 95% CI (0.063, 0.113),  $P < 0.001$ ]、峰值每分钟通气量[ $\beta = 0.11$ , 95% CI (0.054, 0.165),  $P < 0.001$ ]、 $\Delta VE/\Delta VCO_2$  [ $\beta = -0.182$ , 95% CI (-0.300, -0.064),  $P = 0.003$ ]四个自变量是脑卒中患者峰值摄氧量的独立影响因素。Durbin-Watson 检验值为 2.305,各观测值残差值相互独立;各自变量容忍度均 $>0.2$ ,方差膨胀因子(VIF)均 $<5$ ,可认为不存在多重共线性。**结论** 脑卒中患者的骨骼肌做功能力、心功能、肺通气功能及心肺偶联的通气效率均是其运动耐量的独立影响因素。

**【关键词】** 脑卒中; 运动耐量; 峰值摄氧量; 影响因素

**基金项目:**南京市医学科技发展项目(YKK17127)

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2021.10.005

## Factors influencing exercise tolerance after stroke

Bi Haiping<sup>1</sup>, Feng Jianhua<sup>2</sup>, Cai Yuxing<sup>1</sup>, Zhang Huihui<sup>1</sup>, Zhao Qiuyun<sup>1</sup>, Ai Keqing<sup>1</sup>, Li Xueping<sup>1</sup>, Lin Qiang<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Rehabilitation Medicine, Nanjing First Hospital Affiliated to Nanjing Medical University, Nanjing 210006, China; <sup>2</sup>Department of Rehabilitation Medicine, Yuhua Branch of Nanjing First Hospital, Nanjing 210039, China

Corresponding author: Lin Qiang, Email: linqn2012@126.com

**【Abstract】** **Objective** To observe the recovery of exercise tolerance among stroke survivors using the cardiopulmonary exercise test (CPET) and analyze the factors influencing it. **Methods** A total of 81 stroke survivors hospitalized in the Department of Rehabilitation Medicine of our hospital in year 2018 and 2019 were selected. The general clinical data of all patients were collected retrospectively and combined with the data from CPET to establish a data set. Version 25.0 of the SPSS software was used for multiple linear regressions analysis, with the peak oxygen uptake as the dependent variable, and the age, Brunnstrom stage, peak power, peak heart rate, peak respiratory exchange ratio, peak breathing reserve, peak ventilation per minute, the slope of the VE-VCO<sub>2</sub> curve ( $\Delta VE/\Delta VCO_2$ ) and peak end tidal partial pressure of carbon dioxide as independent variables. **Results** Stroke survivors at Brunnstrom stage III, IV and V or higher decreased sequentially with their age, but their peak oxygen uptake increased gradually. The multiple linear regression model constructed by "stepwise method" showed that the fitted multiple linear regression equation was statistically significant ( $F = 100.228$ ,  $P < 0.001$ ). Moreover, the average peak power, peak heart rate, peak ventilation per minute and the slope of the VE-VCO<sub>2</sub> curve were all found to be significant independent predictors of peak oxygen uptake in these stroke survivors. **Conclusions** Skeletal muscle power, cardiac function, pulmonary ventilation and ventilation efficiency are useful independent predictors of the exercise tolerance of stroke survivors.

**[Key words]** Stroke; Exercise tolerance; Peak oxygen uptake; Pulmonary ventilation

**Funding:** A Nanjing Medical Science and Technology Development project (YKK17127)

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2021.10.005

脑卒中通常直接导致患者的一侧肢体运动功能障碍,由于瘫痪肢体的恢复过程相对缓慢,长时间的运动功能障碍或卧床状态会导致患者的骨骼肌萎缩、心肺的适应性下降,从而引起运动耐量下降;而运动耐量下降又导致心血管功能和肺功能的障碍,造成继发性运动能力受限<sup>[1]</sup>。因此,神经肌肉的恢复性治疗仅仅是脑卒中患者运动康复的一个方面,患者的心肺运动耐量也是需要给予关注的重要方面。

心肺运动试验(cardiopulmonary exercise test, CPET)是一种通过同步测量呼吸气体成份及心电图系统,观察受试者对逐渐递增的运动负荷产生的反应和指标变化情况,从而对受试者在运动负荷下的心血管功能、肺通气换气功能、血液系统、骨骼肌做功能力以及自主神经调节功能进行综合测试和评估的方法。CPET得到的峰值摄氧量和无氧阈可以很好地反映受试者的运动耐量,而其它众多指标的变化情况可以用于分析导致运动耐量受限的原因。本研究以峰值摄氧量为因变量,以CPET的其他指标为预测变量,拟合多重线性回归模型,旨在探讨脑卒中患者运动耐量的独立影响因素。

## 对象和方法

### 一、研究对象

选取2018年1月至2019年12月我院康复医学科收治的脑卒中患者81例,患者入选标准包括:①脑卒中首次发病,符合《中国急性缺血性脑卒中诊治指南2014》<sup>[2]</sup>或《中国脑出血诊治指南(2014)》<sup>[3]</sup>中的诊断标准,并经CT和/或MRI检查证实;②病程14~60d,神志清楚,病情稳定;③下肢Brunnstrom分期<sup>[4]</sup>达到Ⅲ期及以上,能够适应坐位并耐受踏车运动;④签署知情同意书。患者排除标准包括:①心脏、肝脏、肾脏存在重大疾病或严重衰竭、严重感染者;②认知障碍、沟通障碍、语言障碍较严重者;③存在血流动力学不稳定征象者;④血液疾病、严重出血性疾病或下肢深静脉血栓者;⑤严重营养不良、慢性阻塞性肺疾病、下肢关节疼痛及其它可能直接影响运动耐量的情况;⑥恶性肿瘤者;⑦依从性、配合度较差者。

### 二、研究方法及检测指标

采用瑞士席勒公司的运动心肺功能测试仪AT-104PC和ERGO功率自行车对所有患者进行CPET。每次进行测试之前,根据仪器要求,进行标准化的气体标定(空气和混合气体)、容量标定和流量标定。气体

标定使用环境空气和经过检验的精确混合气体(5%CO<sub>2</sub>和15.01%O<sub>2</sub>)。

CPET运动方案:①测试前准备——运动前2h内不得进食,可适量饮水;穿宽松的衣服及运动鞋;运动测试24h内避免做其它剧烈运动;②测试方案——采用斜坡式递增功率方案让患者踏车运动至最大耐受或症状限制,依据患者健康状况和运动习惯采用10~25W/min功率递增速度,使患者在8~12min内能够完成测试。

CPET终止标准:①出现头晕、胸闷、胸痛、呼吸困难等症状或紫绀、面色苍白等体征;②感到力竭,不能继续运动;③心电图提示有诊断价值的心肌缺血或严重心律失常;④监测血氧饱和度低于88%或下降超过8%。

CPET检测指标:收集代表运动耐量的指标峰值摄氧量及峰值时的多个CPET指标,如峰值心率、峰值功率、峰值每分通气量、峰值呼吸交换率、峰值呼吸储备、峰值氧脉搏、潮气末二氧化碳分压,以及CPET中的其它相关指标,如无氧阈、每分通气量-二氧化碳排出量斜率( $\Delta VE/\Delta VCO_2$ )。

### 三、统计学方法

收集所有患者的一般临床资料,与CPET的检测数据合并,建立数据集。使用SPSS 25.0版统计软件对所得数据进行统计学分析处理。正态分布的计量资料以( $\bar{x} \pm s$ )表示,组间比较采用独立样本 $t$ 检验,3组间比较采用方差分析。分类变量以频数( $n$ )和频数百分比(%)表示。先作峰值摄氧量的单因素分析,选择 $P$ 值 $<0.1$ 的变量拟合多重线性回归模型;连续变量直接纳入模型,分类变量以哑变量的形式纳入模型。 $P < 0.05$ 认为差异有统计学意义。

## 结 果

### 一、全部脑卒中患者的一般资料分析

纳入的81例脑卒中患者中,男48例,女33例,年龄36~79岁;脑梗死60例,脑出血21例;Brunnstrom分期Ⅲ期26例,Ⅳ期36例,Ⅴ期及以上19例。全部纳入病例的年龄分布、体重指数(body mass index, BMI)和峰值摄氧量等一般资料在男女性别间及脑卒中类型(脑梗死和脑出血)间的差异均无统计学意义( $P > 0.05$ )。经方差分析检验,纳入Brunnstrom分期的Ⅲ期、Ⅳ期和Ⅴ期以上脑卒中患者在年龄分布上依次减小( $P < 0.001, F = 24.057$ ),而在峰值摄氧量(即运动耐量)方面依次增加( $P < 0.001, F = 108.691$ )。具体数

据详见表 1。

## 二、脑卒中患者运动耐量影响因素的多重线性回归分析

经单因素回归分析后,首先排除性别、脑卒中类型、BMI 这三个变量( $P>0.05$ ),其它连续型自变量与因变量峰值摄氧量均存在线性关系( $P<0.05$ )。峰值氧脉搏由峰值摄氧量计算而来,自变量独立性差,如果纳入模型可能对其它变量产生影响,故不纳入回归模型。无氧阈本身反映运动耐量,且与峰值摄氧量存在明显线性相关,但本研究目的主要是通过 CPET 的多个指标探讨影响运动耐量的相关因素,因此予剔除出回归模型。

多因素分析首先将年龄、Brunnstrom 分期(以 Brunnstrom III 期为参照,设哑变量 Brunnstrom IV 期和 Brunnstrom V 期及以上)、峰值呼吸交换率、峰值呼吸储备、峰值每分通气量、峰值心率、峰值功率、 $\Delta VE/\Delta VCO_2$ 、潮气末二氧化碳分压共 9 个自变量以“输入”方式纳入多变量回归模型。结果显示,构建的总模型差异有统计学意义( $F=44.921, P<0.001$ );因变量峰值摄氧量变异的 84.6% 可由上述自变量的变化来解释(校正  $R^2=0.846$ );Brunnstrom IV 期、Brunnstrom V 期及以上、峰值每分通气量、峰值心率、峰值呼吸储备、

$\Delta VE/\Delta VCO_2$  这些自变量偏回归系数的检验,差异有统计学意义( $P<0.05$ );但容忍度和方差膨胀因子(variance inflation factor, VIF)显示,Brunnstrom V 期及以上和峰值功率存在多重共线性。详见表 2。

以“逐步法”重新构建多重线性回归模型,结果显示,拟合的多重线性回归方程有统计学意义( $F=100.228, P<0.001$ ),详见表 3。

峰值功率、峰值心率、峰值每分通气量、 $\Delta VE/\Delta VCO_2$  这 4 个自变量偏回归系数检验,差异亦有统计学意义( $P<0.05$ ),详见表 4。因变量峰值摄氧量变异的 83.2% 可由这四个自变量的变化来解释(调整  $R^2=0.832$ )。

另外, Durbin-Watson 检验值为 2.305,各观测值残差值相互独立;残差直方图和正态 P-P 图提示标准化残差基本服从正态分布且波动在  $\pm 3$  以内;标准化残差和标准化预测值绘制的散点图显示,标准化残差的散点波动范围基本保持稳定,不随标准化预测值的变化而变化,可以认为基本满足方差齐性。各自变量容忍度均  $>0.2$ , 方差膨胀因子(VIF)  $<5$ ,可以认为不存在多重共线性(见表 4)。最后,脑卒中患者峰值摄氧量的多重线性回归方程描述为:

$$\text{峰值摄氧量} = 0.041 \times \text{峰值功率} + 0.088 \times \text{峰值心率} + 0.11 \times \text{峰值每分通气量} - 0.182 \times (\Delta VE/\Delta VCO_2) + 2.34$$

表 1 纳入脑卒中患者的卒中类型及一般资料分析

类别	例数	占比(%)	平均年龄 (岁, $\bar{x} \pm s$ )	平均 BMI ( $\text{kg}/\text{m}^2, \bar{x} \pm s$ )	平均峰值摄氧量 [ $\text{ml}/(\text{kg} \cdot \text{min})$ ]
全部病例	81	100.0	55.88 $\pm$ 10.84	24.11 $\pm$ 3.2	17.76 $\pm$ 4.76
性别					
男	48	59.3	52.28 $\pm$ 11.03	24.48 $\pm$ 2.95	17.59 $\pm$ 5.09
女	33	40.7	52.39 $\pm$ 9.69	23.57 $\pm$ 3.51	18.01 $\pm$ 4.30
脑卒中类型					
脑梗死	60	74.1	57.18 $\pm$ 9.42	23.98 $\pm$ 3.33	17.63 $\pm$ 4.81
脑出血	21	25.9	52.14 $\pm$ 13.72	24.49 $\pm$ 2.83	18.14 $\pm$ 4.7
Brunnstrom 分期					
III 期	26	32.1	65.12 $\pm$ 9.56 <sup>a</sup>	24.8 $\pm$ 3.32	12.32 $\pm$ 1.87 <sup>a</sup>
IV 期	36	44.4	53.25 $\pm$ 8.93 <sup>ab</sup>	23.23 $\pm$ 3.35	18.95 $\pm$ 2.57 <sup>ab</sup>
V 期及以上	19	23.5	48.21 $\pm$ 6.39 <sup>abc</sup>	24.84 $\pm$ 2.35	22.95 $\pm$ 2.97 <sup>abd</sup>

注: Brunnstrom 分期 3 组分期之间比较, <sup>a</sup> $P<0.001$ ; 与 III 期比较, <sup>b</sup> $P<0.001$ ; 与 IV 期比较, <sup>c</sup> $P<0.05$ , <sup>d</sup> $P<0.001$

表 2 多重线性回归模型的回归系数假设检验

变量	$\beta$ 值	SE 值	标准化 $\beta$ 值	$t$ 值	$P$ 值	容忍度	VIF
年龄	-0.041	0.029	-0.093	-1.430	0.157	0.457	2.188
Brunnstrom IV 期	2.103	0.928	0.221	2.265	0.027 <sup>a</sup>	0.202	4.943
Brunnstrom V 期及以上	3.687	1.492	0.330	2.472	0.016 <sup>a</sup>	0.108	9.276
峰值每分通气量	0.104	0.031	0.245	3.345	0.001 <sup>a</sup>	0.358	2.793
峰值心率	0.062	0.015	0.288	4.067	0.000 <sup>a</sup>	0.385	2.596
峰值呼吸交换率	2.281	3.105	0.035	0.735	0.465	0.825	1.211
峰值呼吸储备	-0.044	0.021	-0.114	-2.141	0.036 <sup>a</sup>	0.683	1.465
$\Delta VE/\Delta VCO_2$	-0.200	0.081	-0.184	-2.461	0.016 <sup>a</sup>	0.345	2.901
潮气末二氧化碳分压	0.008	0.081	0.009	0.104	0.918	0.281	3.563
峰值功率	0.005	0.017	0.042	0.313	0.755	0.109	9.212

注: <sup>a</sup> $P<0.05$

表 3 逐步法多重线性回归的模型检验

模型	平方和	自由度	均方	F	P 值
回归	1522.580	4	380.645	100.228	0.000
残差	288.633	76	3.798	-	-
总计	1811.214	80	-	-	-

注: -表示无数据;因变量为峰值摄氧量;预测变量(常量)为峰值功率、峰值心率、峰值每分通气量和  $\Delta VE/\Delta VCO_2$

## 讨 论

脑卒中导致的残疾给患者在生理、心理和社会方面造成重大影响,并严重影响患者生活质量。研究表明,脑卒中患者的有氧运动能力明显受损,而偏瘫步态又导致能量消耗增加<sup>[5]</sup>,这两方面因素限制了患者的日常生活活动能力,并导致疲劳和活动不耐受<sup>[6]</sup>。如果不采用合适的康复计划,有氧能力下降和运动不耐受将会继续加重。因此,本研究重点研究脑卒中患者运动耐量的独立影响因素。

峰值摄氧量是反映个体实际所能达到最大运动能力的一个综合指标,也是反映个体运动耐量的最佳指标。无论是健康个体,还是心肺疾病患者,峰值摄氧量都是对肺功能、心血管功能、骨骼肌功能三者的综合考察,且对疾病的预后也有很强的预测作用。有研究表明,峰值摄氧量既是缺血性冠心病患者病死率的最强预测因子<sup>[7]</sup>,也是冠心病和心力衰竭患者生存质量的重要影响因素<sup>[8]</sup>。因此,美国心脏协会将有氧运动能力(心肺适能)定义为重要的临床生命体征<sup>[9]</sup>。

脑卒中患者康复治疗中最重要的一个方面是促进肢体运动功能的恢复,然而目前尚不清楚脑卒中患者的肢体运动功能和心肺功能是如何影响的患者运动耐量;如果把一次有氧运动理解为氧的摄入、交换入血、运输、骨骼肌消耗等一系列紧密相连的环节<sup>[10]</sup>(氧的级联通路),其中任何一个环节出现问题都可能成为有氧运动能力的限制因素,也就成为个体峰值摄氧量的决定因素。若突发一侧肢体瘫痪,必然导致患者运动能力和峰值摄氧量的下降,此时的峰值摄氧量受到骨骼肌做功能力的影响;但随着偏瘫侧肢体运动功能的恢复,长期卧床和缺乏运动导致患者的心肺供氧能

力下降可能成为峰值摄氧量的决定因素。因此,准确把握脑卒中患者在运动恢复过程中影响运动耐量的因素,将有助于临床上做出适当的治疗决策。

本研究中,81 例脑卒中患者的一般资料分析显示,不同 Brunnstrom 分期的脑卒中患者,其运动耐量(峰值摄氧量)平均水平也不同,提示运动功能与峰值摄氧量可能呈正相关;多因素分析结果显示,峰值功率、峰值心率、峰值每分通气量、 $\Delta VE/\Delta VCO_2$  这 4 个自变量被纳入回归模型,拟合的多重线性回归方程有统计学意义,各自变量偏回归系数检验,差异有统计学意义;峰值功率、峰值心率、峰值每分通气量、 $\Delta VE/\Delta VCO_2$  的  $\beta$  值分别为 0.041、0.088、0.11、-0.182;峰值功率代表患者的骨骼肌实际做功能力,峰值心率代表患者的心脏做功能力,峰值每分通气量代表患者的肺通气能力,而  $\Delta VE/\Delta VCO_2$  代表患者的通气效率( $\Delta VE/\Delta VCO_2$  越低说明通气效率越高)。这一回归方程解释了脑卒中患者的骨骼肌做功能力、心功能、肺通气功能及心肺偶联的通气效率均是峰值摄氧量的独立影响因素,也证实了脑卒中患者的峰值摄氧量受到骨骼肌做功能力的影响。骨骼肌做功每增加或减少 1 W,峰值摄氧量就增加或减少 0.041 ml/(kg·min)。此外,本研究结果还显示,峰值功率、峰值心率、峰值每分通气量、 $\Delta VE/\Delta VCO_2$  的标准化  $\beta$  值分别为 0.325、0.41、0.258、-0.167,提示 4 个预测变量对峰值摄氧量的影响从大到小依次是峰值心率、峰值功率、峰值每分通气量、 $\Delta VE/\Delta VCO_2$ 。因此,对于脑卒中患者而言,心功能对运动耐量的影响仍然最大,骨骼肌功能其次,然后是肺通气功能,代表心肺偶联的  $\Delta VE/\Delta VCO_2$  最弱。此外,当 9 个自变量全部以“输入”法纳入多重线性回归模型时,Brunnstrom 分期的  $P$  值 $<0.05$ ,而峰值功率的  $P$  值 $>0.05$ ,容忍度和 VIF 提示这两个指标存在多重共线性,这与本研究预期相符。Brunnstrom 运动功能分期越高,患者骨骼肌做功能力也越大,因此两者之间存在较高的相关性。当采用“逐步法”构建回归模型时,模型自动保留了信息量更大的连续型变量峰值功率。

本研究通过 CPET 观察了脑卒中患者运动耐量的恢复情况,并分析其影响因素,结果提示心肺功能与骨骼肌功能对脑卒中患者的运动耐量都产生重要影响。

表 4 模型的偏回归系数检验

变量	$\beta$ 值	SE 值	标准化 $\beta$ 值	t 值	P 值	$\beta$ 95%下限	$\beta$ 95%上限	容忍度	VIF
常量	2.340	2.270	-	1.031	0.306	-2.181	6.861	-	-
峰值功率	0.041	0.011	0.325	3.879	0.000	0.020	0.062	0.299	3.348
峰值心率	0.088	0.013	0.410	6.980	0.000	0.063	0.113	0.606	1.649
峰值每分通气量	0.110	0.028	0.258	3.942	0.000	0.054	0.165	0.489	2.043
$\Delta VE/\Delta VCO_2$	-0.182	0.059	-0.167	-3.070	0.003	-0.300	-0.064	0.709	1.411

注: -表示无数据;因变量为峰值摄氧量

越来越多的临床和实验证据表明,脑损伤与心脏功能障碍之间存在着因果关系。心脏功能障碍既可能是脑卒中的根本原因,也可能是由脑卒中引起的。脑卒中引起的心脏损害可能导致死亡或潜在的终生心脏问题(如心力衰竭),或导致轻度 and 可恢复的损害<sup>[11]</sup>。Krause 等<sup>[12]</sup>对 299 例前循环急性缺血性卒中的患者基于体素病变症状标测(voxel lesions symptom mapping, VLSM),并在入院当天进行高敏心肌肌钙蛋白 T (high-sensitivity cardiac troponin T, hs-cTnT)检测,其中 228 例在急性期进行了第二次肌钙蛋白测定,将高于健康参考人群水平的 hs-cTnT ( $\geq 14$  ng/L)及其相对时间变化纳入 VLSM 模型中进行多因素回归分析,结果表明,背侧前岛突皮质区域的急性血管损伤可能导致自主神经失衡和交感功能上调,从而导致心肌损伤。Lee 等<sup>[13]</sup>研究发现,自发性和外伤性脑出血患者(无心脏病史)有 7.2% 显示出急性心脏功能障碍,而 43% 的患者患有左室肥大。上述研究均表明,即使在没有危险因素和既有心脏病的情况下,缺血性脑卒中也会引起心脏功能障碍。

此外,无论脑卒中患者是否存在心肺功能的基础问题,都需要在常规肢体运动功能训练的基础上,增加心肺功能训练和有氧运动训练。Lee 等<sup>[14]</sup>对 18 项研究(602 例参与者,平均年龄 62 岁)进行荟萃分析,评价有氧运动联合抗阻训练对脑卒中患者心肺适能、骨骼肌肌力及步行能力的影响,结果表明,较长的运动时间、中等运动频率和较低运动量、较长的运动时间和中等运动频率分别对患者的心肺适能、骨骼肌肌力及步行能力的提高更加有利。因此,建议为脑卒中患者制订一个中等强度每周 3 d 持续 20 周的运动计划,以提高他们的心肺适能、肌肉力量和步行能力。Gezer 等<sup>[15]</sup>的随机对照研究也证实,将有氧运动纳入早期卒中患者的常规康复计划可能会产生积极的贡献,尤其是对情绪和有氧运动能力的提高。

综上所述,脑卒中患者的骨骼肌做功能力、心功能、肺通气功能及心肺偶联的通气效率均是其峰值摄氧量的独立预测因素,提示脑卒中患者康复治疗的过程中,既要通过功能训练提高运动功能和骨骼肌做功能力,也要进行适当进行心肺功能训练和有氧运动训练,防止患者的运动耐量持续下降。

## 参 考 文 献

[1] Billinger SA, Mattlage AE, Ashenden AL, et al. Aerobic exercise in subacute stroke improves cardiovascular health and physical performance[J]. *J Neurol Phys Ther*, 2012, 36(4): 159-165. DOI: 10.1097/NPT.0b013e318274d082.

[2] 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.中国急性缺血性脑卒中诊治指南 2014[J].*中华神经科杂志*, 2015, 48(4): 246-257. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1006-7876.2015.04.002.

[3] 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.中国脑出血诊治指南(2014)[J].*中华神经科杂志*, 2015, 48(6): 435-444. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1006-7876.2015.06.002.

[4] Brunnstrom S. Motor testing procedures in hemiplegia; based on sequential recovery stages[J]. *Phys Ther*, 1966, 46(4): 357-375. DOI: 10.1093/ptj/46.4.357.

[5] Mahon CE, Farris DJ, Sawicki GS, et al. Individual limb mechanical analysis of gait following stroke[J]. *J Biomech*, 2015, 48(6): 984-989. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2015.02.006.

[6] Chen K, Marsh EB. Chronic post-stroke fatigue: It may no longer be about the stroke itself[J]. *Clin Neurol Neurosurg*, 2018, 174: 192-197. DOI: 10.1016/j.clineuro.2018.09.027.

[7] Coeckelberghs E, Buys R, Goetschalckx K, et al. Prognostic value of the oxygen uptake efficiency slope and other exercise variables in patients with coronary artery disease[J]. *Eur J Prev Cardiol*, 2016, 23(3): 237-244. DOI: 10.1177/2047487315569410.

[8] Pattyn N, Beulque R, Cornelissen V. Aerobic interval vs. continuous training in patients with coronary artery disease or heart failure: an updated systematic review and meta-analysis with a focus on secondary outcomes[J]. *Sports Med*, 2018, 48(5): 1189-1205. DOI: 10.1007/s40279-018-0885-5.

[9] Ross R, Blair SN, Arena R, et al. Importance of assessing cardiorespiratory fitness in clinical practice: a case for fitness as a clinical vital sign: a scientific statement from the American Heart Association[J]. *Circulation*, 2016, 134(24): e653-e699. DOI: 10.1161/CIR.0000000000000461.

[10] Houstis NE, Eisman AS, Pappagianopoulos PP, et al. Exercise intolerance in heart failure with preserved ejection fraction: diagnosing and ranking its causes using personalized O<sub>2</sub> pathway analysis[J]. *Circulation*, 2018, 137(2): 148-161. DOI: 10.1161/CIRCULATION-AHA.117.029058.

[11] Chen Z, Venkat P, Seyfried D, et al. Brain-heart interaction: cardiac complications after stroke[J]. *Circ Res*, 2017, 121(4): 451-468. DOI: 10.1161/CIRCRESAHA.117.311170.

[12] Krause T, Werner K, Fiebich JB, et al. Stroke in right dorsal anterior insular cortex is related to myocardial injury[J]. *Ann Neurol*, 2017, 81(4): 502-511. DOI: 10.1002/ana.24906.

[13] Lee M, Oh JH, Lee KB, et al. Clinical and echocardiographic characteristics of acute cardiac dysfunction associated with acute brain hemorrhage - difference from Takotsubo Cardiomyopathy[J]. *Circ J*, 2016, 80(9): 2026-2032. DOI: 10.1253/circj.CJ-16-0395.

[14] 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. DOI: 10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2019.104498.

[15] Gezer H, Karaahmet OZ, Gurcay E, et al. The effect of aerobic exercise on stroke rehabilitation[J]. *Ir J Med Sci*, 2019, 188(2): 469-473. DOI: 10.1007/s11845-018-1848-4.

(修回日期:2021-08-02)

(本文编辑:汪玲)