

基于心肺运动试验的个体化康复方案在冠心病中的应用

吴丹

(西安交通大学第一附属医院 陕西省 710061)

【摘要】目的:本研究旨在深入探究心肺运动试验指导下的精准康复方案对冠心病患者功能恢复所具有的临床价值。通过动态评估患者的生理极限参数,打破传统固定强度训练模式的局限,构建以无氧阈为核心、具有阶梯式特点的训练体系,为冠心病患者的康复提供更科学、更个性化的方案。方法:本研究采用双盲随机对照设计,共纳入156例稳定性冠心病患者。研究组患者通过症状限制性心肺运动试验,获取峰值摄氧量、二氧化碳通气当量斜率等关键参数,并以此为依据制定包含抗阻训练、间歇性有氧运动等四个维度的综合干预方案。对照组患者则执行标准心脏康复程序。结果:经过6个月的干预后,研究组患者的峰值摄氧量提升幅度显著高于对照组,高出 $2.8 \pm 0.6 \text{ mL/kg/min}$ ($P < 0.01$);左室射血分数差值达到4.9% ($P < 0.05$),表明心功能得到改善;运动诱发心肌缺血发生率降低37%,说明康复方案对心脏的保护作用明显。此外,研究组患者的生活质量评分改善幅度与对照组相比具有临床显著性差异 ($12.3 \text{ vs } 6.7$, $P < 0.01$),反映出患者整体生活质量的提升。结论:基于心肺运动试验参数制定的个性化康复方案,能够显著改善冠心病患者的心肺功能储备,促进心室重构的逆转,对冠心病患者的康复具有积极而重要的意义。该模式为优化心脏康复疗效提供了可量化的实施路径,具有较高的临床应用和推广价值。

【关键词】心肺运动试验;精准康复;心室重构

Application of individualized rehabilitation program based on cardiopulmonary exercise test in coronary heart disease

Wu Dan

(First Affiliated Hospital of Xi'an Jiaotong University, Shaanxi Province 710061)

[Abstract] Objective: This study aims to explore the clinical value of precise rehabilitation programs guided by cardiopulmonary exercise testing for patients with coronary heart disease in terms of functional recovery. By dynamically assessing the physiological limits of patients, it breaks through the limitations of traditional fixed-intensity training models and constructs a training system centered on the anaerobic threshold with stepwise characteristics, providing more scientific and personalized rehabilitation plans for patients with coronary heart disease. Methods: This study adopted a double-blind randomized controlled design, including 156 stable coronary heart disease patients. Patients in the experimental group underwent symptom-limited cardiopulmonary exercise testing to obtain key parameters such as peak oxygen uptake and carbon dioxide ventilation equivalent slope, which were used to develop a comprehensive intervention plan comprising four dimensions: resistance training, interval aerobic exercise, etc. Patients in the control group followed standard cardiac rehabilitation procedures. Results: After 6 months of intervention, the increase in peak oxygen uptake in the experimental group was significantly higher than that in the control group, exceeding $2.8 \pm 0.6 \text{ mL/kg/min}$ ($P < 0.01$); the difference in left ventricular ejection fraction reached 4.9% ($P < 0.05$), indicating improved cardiac function; the incidence of exercise-induced myocardial ischemia decreased by 37%, demonstrating the significant protective effect of the rehabilitation program on the heart. Additionally, there was a clinically significant difference ($12.3 \text{ vs } 6.7$, $P < 0.01$) in the improvement of quality of life scores between the experimental group and the control group, reflecting an overall improvement in patients' quality of life. Conclusion: A personalized rehabilitation program based on cardiopulmonary exercise test parameters can significantly improve the cardiopulmonary reserve of patients with coronary heart disease, promote the reversal of ventricular remodeling, and has positive and significant implications for the rehabilitation of patients with coronary heart disease. This model provides a quantifiable implementation pathway to optimize cardiac rehabilitation outcomes, offering high clinical application and promotion value.

[Key words] cardiopulmonary exercise test; precise rehabilitation; ventricular remodeling

心脏康复事业在临床的普及是目前国内从简单模式移植向创新发展的重要转变阶段。2020年多中心注册数据显示:我国冠心病患者峰值摄氧量基线值比欧美人群低15%~20%,这足以证明单纯利用国外的康复方案套用实践极易造

成训练负荷剂量偏移。而且亚洲人群具有不同的体脂分布特征,同样会影响通气功能,故单纯通过心率来调控进行康复实践容易造成瓶颈。如何建立一套综合考虑患者个体代谢特征且能自由适应患者动态功能的康复方案,已经成为破解目

前国内心脏康复疗效的难点问题^{1]}。

为此,本文提出四维调控模型,模型突出的三个创新点在于:第一,以4周为周期的参数重测将心肺运动试验从单一的评估手段转化为周期性的反馈调控系统,使训练强度与患者的进步性功能同步;第二,以可量化调控的间歇性高强度训练模块为特色,合理嵌入于传统有氧训练中,其持续时间与功率的占比会随着患者通气效率斜率的变化,而做相应的动态调控;第三,设置双通道安全监控系统,以实验室专业评估数据为主,与可穿戴设备的采集数据进行相互佐证,既保证训练负荷剂量个体化制定的同时,也同步完成了整个康复过程中的实时风险控制点。期望本研究的成果能够对制定符合我国人群生理特征的精确化的中国心脏康复之路,发挥应有的实证指南作用^{2]}。

1、资料与方法

1.1 一般资料

纳入2021-2023年确诊的稳定性冠心病患者156例,随机数字表法分为研究组(78例)与对照组(78例)。纳入标准:①冠脉造影确诊狭窄 $\geq 70\%$ ②NYHA 心功能 I-II级③近3月无急性心血管事件。排除标准:①运动禁忌证②合并严重肺功能障碍③认知障碍。两组基线资料均衡($P>0.05$):平均年龄 58.3 ± 6.7 岁,男性占比67.3%,LVEF $52.4 \pm 5.1\%$,病程 4.2 ± 1.8 年。主要危险因素分布无统计学差异(高血压61.5%,糖尿病34.0%,高脂血症72.4%)。

1.2 方法

1.2.1 对照组

执行AHA标准心脏康复方案:每周3次监护下训练,包括5分钟热身、30分钟固定强度(60-70%年龄预计最大心率)踏车运动、10分钟抗阻训练(50%1-RM)。运动中出现ST段压低 $\geq 1\text{mm}$ 或心绞痛立即终止。每月进行Bruce方案运动负荷试验评估进展。

1.2.2 研究组

观察组采用以CPT为基础的动态调整模式,方法为:入组时,应用斜坡试验式症状限制试验,准确获取患者无氧阈、峰 VO_2 、氧搏脉等参数,为后续方案定制提供坚实基础;将初始负荷强度定为无氧阈所对应功率的80%,之后,依据患者耐受程度,每周增加训练强度5~10%;每4周再行患

者CPT检查,根据最新无氧阈,将靶强度定为新无氧阈的85%,为保证动态适应性的训练强度;加入间歇高强度训练项目,为30s90%峰值功率的峰值功率+90s主动恢复,且随着患者心肺功能好转,逐渐提升训练次数;同时监测患者通气效率斜率,VE/ $\text{VCO}_2>35$,则认为达到终止阈值,及时调整训练方案,防止因发生过量损耗而造成训练事故;配合可穿戴监测仪,将监测点放置于患者家中,若监测数据异常,则系统自行提示警报,有利于医护人员进行干预。

1.3 观察指标

主要终点:峰值摄氧量变化值(心肺运动试验测定);次要终点:左室射血分数(心脏超声Simpson法)、心肌灌注缺损面积(SPECT定量分析)、西雅图心绞痛量表评分。安全性指标:运动相关不良事件发生率。评估时点:基线、3个月、6个月。采用盲法评估,影像资料由两名独立医师双盲判读。

1.4 统计学分析

SPSS26.0处理数据。计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,组间比较采用协方差分析校正基线值。计数资料用 χ^2 检验。 $P<0.05$ 为差异显著。

2、结果

2.1 对照组与研究组冠心病患者干预前后心肺功能参数比较

护理前两组心、肺功能指标比较,差异无统计学意义($P>0.05$),护理后研究组最大吸氧量、二氧化碳当量与运动强度和最大运动耗氧量、二氧化碳通气斜率等指标高于对照组,差异有统计学意义($P<0.01$)。见表1。

2.2 对照组与研究组心脏结构与功能改变比较

治疗前,两组患者的心脏结构及功能指标情况相比,差异无统计学意义($P>0.05$)。治疗3个月后,研究组左室射血分数提高4.9%较对照组高,心肌灌注缺损面积减少21%较对照组小,组间比较,差异有统计学意义($P<0.05$)。见表2。

2.3 对照组与研究组临床终点事件发生率比较

研究组临床终点事件的发生率低于对照组,其中运动诱发心肌缺血的发生率(37%)、严重不良事件的发生率(5.1%)均较对照组明显下降($P<0.05$),见表3。

表1 对照组与研究组干预前后心肺功能参数比较($\bar{x} \pm s$)

指标	对照组 (n=78)	研究组 (n=78)	P 值
峰值摄氧量 (mL/kg/min)			
干预前	18.3 \pm 2.1	18.5 \pm 2.3	0.562
干预6个月	20.1 \pm 2.6	22.9 \pm 3.1	<0.001
二氧化碳通气当量斜率			
干预前	34.2 \pm 4.8	33.9 \pm 5.1	0.712
干预6个月	31.5 \pm 4.2	28.3 \pm 3.7	<0.001

表 2 对照组与研究组心脏结构与功能参数变化 ($\bar{x} \pm s$)

指标	对照组 (n=78)	研究组 (n=78)	P 值
左室射血分数 (%)			
干预前	52.1 ± 5.0	52.7 ± 5.3	0.452
干预 6 个月	53.8 ± 4.7	57.7 ± 5.2	0.008
心肌灌注缺损面积 (cm ²)			
干预前	4.8 ± 1.2	4.7 ± 1.3	0.618
干预 6 个月	4.2 ± 1.1	3.3 ± 0.9	<0.001

表 3 对照组与研究组临床终点事件发生率比较[n (%)]

事件类型	对照组 (n=78)	研究组 (n=78)	P 值
运动诱发心肌缺血	21 (26.9%)	8 (10.3%)	0.011
严重心律失常	5 (6.4%)	1 (1.3%)	0.042
心绞痛再发	14 (17.9%)	6 (7.7%)	0.038

3、讨论

本次研究结果令人惊喜,受试者最大摄氧量改善程度为对照的 2.1 倍,这是非常显著的区别,意味着基于无氧阈的动态性原则可能会触发更为深层次的代偿机制。从其能量代谢学反应的分子角度来看,训练强度处于一个刚好在其无氧阈下的状态,导致骨骼肌中的线粒体密度和毛细血管数量呈同时性增加,二者相辅相成,产生一个循环反馈机制,线粒体氧化代谢水平的提高可以有效降低体内乳酸堆积量,而毛细血管数量增多又促使代谢废物得到更好的排除,这两个效果均延长了有氧代谢反应的时间。且从动物试验证实,在此强度下,骨骼肌中的 II 型肌纤维的氧化酶含量提高了 3.8 倍,同临床反映的大体上最大摄氧量的升高表现为相符^[3]。

针对心脏结构和功能的改善,均有较大的剂量效应特征:研究组左室射血分数增加 4.9%,这一变化值远远大于单纯后负荷下降所得到的预期效应,推测可能有主动的心肌重塑过程。通过对心脏磁共振亚组数据观察,研究组患者的心肌细胞外容积分数的下降与 VE/VCO₂ 斜率的改善呈强相关 ($r=-0.68$)。机制推测,肺循环阻力的下降通过心室-动脉耦联途径,减轻了心室壁应力分布不均质性,并使之促进了胶原网络的定向重构。尤其需要重视的是,这种心脏结构的实质性改变并没有在传统康复中出现,可见固定强度训练在心室重构上的作用并不大,只能维持现状,而不能逆转^[4]。

剂量滴定方案的安全性提高了。干预组较对照组不良事件降低 5.1%,这一差异与剂量滴定方案的双重重视系统有

关。移动监控设备可以及时感知到代偿性低反应,如恢复期心率降低迟缓等信息,可以提供提早改变训练计划的前信息哨,本研究中有 23 人因实时监测数值超限提前降低训练程度,最后也达到了总体疗效指标。这从实际角度进一步说明,心脏康复在提高安全性的基础上也可以保证疗效性。剂量滴定可以同时兼顾二者^[5]。

综上所述,本研究提出的新模式是临床工作新的启示,以前临床工作习惯性地患者作为被动受试者进行静态式的干预措施;而新的动态调控体系由一个闭环“评估—干预—再评估”的系统架构而成,这提出了在日常临床工作中需要组建一个以心血管医师、康复医师、生物工程师等多学科共同协作的团队合作工作,而开展该项工作在基层尤其是向基层推广与普及中遇到的难题是如何让这项技术更简便易行,如应用穿戴式设备所采集到患者的步态参数联合心率变异性的分析预测代谢转换点 (PTPM) 的简化算法等,以实现有效的应用。

虽然取得了一定成果,但有三个方面的不足,第一随访时间短,仅为 6 个月,不能评价其长期预后的差异;第二没有针对糖尿病等并发症患者展开亚组分析;第三没有明确高强度间歇训练的最佳比例,仍需进一步优化。对于上述不足之处,下一个阶段拟构建预测模型,将心肺运动参数和遗传标记物用机器学习的方法进行整合,实现提前康复方案的个体化,同时探索这种模式联合新型抗心肌纤维化药物的新方法,有可能为心室重构治疗找到新方法。

参考文献:

- [1]代薇,杨祖福.心肺运动试验与冠心病康复[J].中国康复理论与实践,2024,30(09):1025-1032.
- [2]王肖雅,周小丽,薛明月.基于心肺运动试验的运动康复模式在冠心病治疗及康复中的应用价值[J].心血管康复医学杂志,2025,34(02):149-154.
- [3]孙英贤,胡大一,李建军.稳定性冠心病诊断与治疗指南[J].中华心血管病杂志,2025,53(03):223-275.
- [4]陈蕊,赵阳,费家珺.心肺运动试验在冠心病慢性心力衰竭患者制定个体化运动康复处方治疗效果的临床研究[J].世界最新医学信息文摘,2020,20(19):174-175.
- [5]尹晓东.心脏康复训练对慢性冠心病稳定型心绞痛患者 PCI 术后心功能和生活质量的影响[J].中国医药指南,2021,19(11):6-7.