

全身振动训练对慢性阻塞性肺疾病患者 动脉硬度的急性影响*

王思远¹ 王培建¹ 张阳现¹ 邢园园¹ 陈 晔¹ 于海洋² 陈 欣^{1,3}

摘要

目的:初步探索全身振动(WBV)对 COPD 患者动脉硬度的急性影响。

方法:18 例 COPD 患者按随机顺序进行 3 次随机交叉对照试验:非运动对照试验(CON)、静蹲(SS)试验和全身振动试验(WBVT),SS 试验要求患者以屈膝 45°半蹲位维持 2min×4 组,间歇 2min 作为运动试验方案,WBVT 要求患者在全身振动设备上维持半蹲位的同时,加以 26Hz 的振动干预。分别于运动前(BL)、运动后即刻(AF)和运动后 40min 测定心-踝血管指数(CAVI)。

结果:CON 和 SS 试验 CAVI 没有随着时间的推移而发生显著的变化。WBV 试验 CAVI 值运动后即刻降低,随后恢复,至 40min 时较基线水平仍有显著性差异(BL、AF 和 40min 分别为 10.00±2.10、9.01±1.97、9.51±1.97)。运动试验后 HR、RR、Borg 评分均立即升高,差异出现在 AF 时间点,在 40min 时恢复至基线状态。两种运动试验后 RBS 和 RDS 没有显著改变。两种运动试验后均未使 SPO₂产生明显变化。CON 试验中各项数值均无显著性变化。

结论:WBV 作为 COPD 患者的辅助运动训练形式,对改善 COPD 心血管系统状态的价值尚待探索。

关键词 慢性阻塞性肺疾病;全身振动训练;动脉硬化

中图分类号:R563.3,R493 文献标识码:A 文章编号:1001-1242(2021)-06-0681-05

Acute effects of whole-body vibration training on arterial stiffness in patients with chronic obstructive pulmonary disease/WANG Siyuan,WANG Peijian,ZHANG Yangxian, et al./Chinese Journal of Rehabilitation Medicine,2021,36(6): 681—685

Abstract

Objective: To investigate the acute effects of WBV on arterial stiffness in patients with COPD.

Method: A total of 18 patients with COPD were randomly divided into three randomized crossover trials: non-exercise control test (CON), semi-squatting (SS) test and whole body vibration test (WBVT). In SS test, patients were required to keep a semi-squatting position with the knees at 45° (2min×4), each with an intermittent of 2min. In WBVT test, patients were required to maintain a semi-squatting position on whole body vibration equipment with 26Hz vibration intervention. The cardio-ankle vascular index (CAVI) was measured before exercise (BL), immediately after exercise (AF) and 40min after exercise.

Result: The CAVI of CON and SS test did not change significantly as time goes by. In the WBVT test, the CAVI value decreased immediately after exercise, and then recovered gradually. Till 40 min, evident difference still can be found when compared with the basal level (10.00±2.10, 9.01±1.97, 9.51±1.97 at BL, AF and 40min respectively).

Conclusion: As a form of auxiliary exercise training for patients with COPD, the value of WBV in improving the cardiovascular system of COPD is worthy of further research.

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2021.06.007

*基金项目:国家重点研发计划(2018YFC2002304)

1 中日友好医院,北京市朝阳区,100029; 2 首都医科大学附属北京友谊医院; 3 通讯作者

第一作者简介:王思远,男,主管技师; 收稿日期:2020-07-30

Author's address China-Japan Friendship Hospital, Beijing, 100029

Key word chronic obstructive pulmonary disease; whole body vibration training; arterial stiffness

虽然慢性阻塞性呼吸道疾病(chronic obstructive pulmonary disease, COPD)主要是一种肺部疾病,但现在已经认识到其发病率和死亡率受到其他系统疾病的影响,特别是心血管疾病。有大量证据表明,慢性阻塞性肺疾病和心血管疾病常常并存,两种情况都会影响另一种情况的预后。心血管疾病是轻、中度呼吸道阻塞吸烟者中,仅次于肺癌的第二大死因。而在血管疾病的死亡病例中,有高达27%—30%的患者合并COPD^[1-2]。动脉硬度检查是一种简单无创的心血管工具,是全因死亡率和心血管事件的独立预测因子^[3],且与气流阻塞的进展有关^[4],因此可用来描述COPD患者心血管相关并发症的严重程度^[5]。虽然运动被证实有利于心血管疾病患者降低动脉硬度^[6],但是对于COPD患者,这样的效果并不明确^[7]。

振动是一种机械刺激,决定其强度的生物力学变量是频率和振幅。全身振动(whole-body vibration, WBV)训练是一项较为新颖的训练方式,它将人体置于振动平台上并保持特定姿势,可在较短时间内达到刺激和加强选定的肌肉的作用。WBV设备通常可提供的振动频率范围为1—30Hz,振幅范围为1—10mm。振动平台可分两大类,即枢轴的振动(左右振动),和线性的振动(上下振动)。振幅和频率与各种姿势动作的大量组合可以获得多种WBV方案,适用于多种疾病的康复训练^[8-9]。

WBV已被证明可更好的改善COPD患者的运动功能和生存质量^[10],也对于肥胖者^[11]和高血压患者^[12]的动脉硬度有良好的促进作用。基于上述研究,我们认为WBV对COPD患者改善动脉硬度可能是一种很有前途的训练方式。因此,本研究率先探索WBV对COPD患者动脉硬度的急性影响。

1 对象与方法

1.1 研究对象

选取2019年9月—2020年6月就诊于中日友好医院呼吸与重症中心5部和保健一部门门诊或住院患者共18例。所有病例的基础特征见表1。纳入标准:①中到极重度慢性阻塞性肺疾病(GOLD分期2—4);

表1 患者一般特征

项目	具体情况
例数	18
性别	女2例,男16例
年龄(岁)	62.89±11.52
BMI	22.46±4.57
GOLD分期情况(n, %)	
GOLD-2	2, 11
GOLD-3	9, 50
GOLD-4	7, 38.9
肺功能	
FEV1(L)	1.06±0.42
FEV1%Pre(%)	41.86±17.14
FVC(L)	2.02±0.46
FEV1/FVC(%)	54.49±12.55
血气、血压、血氧、心率、呼吸	
PaO ₂ (mmHg)	78.29±19.59
PaCO ₂ (mmHg)	44.86±9.16
RB-SBP(mmHg)	125.61±16.91
RB-DBP(mmHg)	79.11±9.48
SPO ₂	94.44±2.45
HR	78±16.44
RR	18.89±3.03

注:GOLD:global initiative for chronic obstructive lung disease,慢性阻塞性肺病全球倡议;FEV1, forced expiratory volume in one second, 1秒用力呼气容积;FEV1%Pre:1秒用力呼气容积占预计值百分比;FVC,forced vital capacity:用力肺活量;RB-SBP, right brachial arterial-systolic blood pressure:右肱动脉收缩压;RB-DBP, right brachial arterial-diastolic blood pressure:右肱动脉舒张压

②干预前2周内无呼吸道或其他症状加重;③愿意配合,能进行运动训练。研究方案得到了中日医院伦理委员会的批准(批准编号:2019-158-K107),并获得了每个受试者签署的知情同意。

排除标准:①存在影响训练或测试的疾病,如严重肥胖(BMI>30)或严重的神经、循环、运动系统疾病等。②FiO₂21%(空气)情况下,静息和或运动试验中SPO₂<88%。③近4周内服用维生素C或E等抗氧化补充剂。

1.2 研究方法

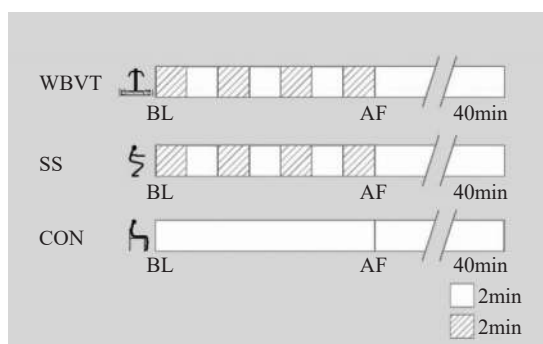
本研究采用随机自身交叉对照设计。每个参与者按随机顺序参加非运动对照试验(CON)、静蹲(static squat, SS)试验和全身振动试验。所有参与的患者在方案实施前一天均不参加剧烈活动,也不摄入乙醇(酒精)或咖啡因。测试当天他们可以正常用药和吃不辛辣的食物,但基线测量必须在餐后至

少2h进行。在基线测量之前,患者采取坐姿安静地休息至少15min。在这项研究在中纬度平原地区(北纬40°,FiO₂:21%,26℃)封闭的室内环境进行。为消除前一次试验的残余效应,并将日常生活活动对反应的影响降至最低,在连续两次试验之间间隔了7天的冲洗期。

在CON试验中,患者在整个试验过程中没有接受任何锻炼,除了接受测量外,都是安静地坐着休息。在基线(base line, BL)测量后,受试者休息14min,然后进行第二次测量,第三次测量在再次休息40min后进行。

在WBTV中,患者在基线测量后,随即进行WBV训练,然后在即刻(after test, AF)和运动后40min重复测量动脉硬度。WBVT采用Galileo Med M plus(Novotech,德国)提供的左右交替的枢轴振动的间歇训练方案,具体方案为患者屈膝45°半蹲位,两脚分别踩于标线3,以足跟中点和第一足趾为参考,振幅约为7—8mm,振动频率设为26Hz,振动处方为2min×4,组间间隔2min,间隔时取坐位休息。在静蹲(static squat, SS)试验中,唯一的区别为不开启振动设备,其他方案与WBVT相同。根据我们预实验的观察,心-踝血管指数(cardio-ankle vascular index, CAVI)在运动后即刻降至最低水平,随着时间的推移逐渐恢复,恢复40min后恢复至基线水平,此后保持稳定。运动后CAVI恢复到基线的最早时间点(运动后40min)是检测和展示WBVT效果的最佳时机。为方便理解制作图1。

图1 自身交叉对照试验



全身振动训练试验(WBVT)、静蹲(SS)和无运动对照(CON)的方案。WBVT和SS试验设BL(基线)、运动后即刻(AF)、运动后40min(40min),BL至AF共计14min,每个小方格为2min。CON试验设相应时间点。图中空白区域表示坐着休息

1.3 数据测量和采集

测量动脉硬度:动脉硬度由CAVI评估,CAVI是反映主动脉、股动脉和胫动脉状况的全身动脉硬度指数。使用VaSera VS-1000血管筛查系统(福田电石,中国,北京)测量CAVI。受试者仰卧位,手腕放置心电图电极,胸骨放置心音监测麦克风(心音图),上臂和踝部缠绕4个袖带。当心电图稳定并在心音图上检测到第一、二心音时,按下启动按钮,系统完全不依赖于操作者的技巧,即可获得左、右侧CAVI值,CAVI的平均值可由后续计算获得。除了CAVI, VaSera VS-1000血管筛查系统还可以同时测量四肢血压值和心率。为了避免操作差异造成的混杂影响,在整个研究过程中,所有的测量都由一名训练有素的试验人员进行。

测量其他运动反应:采用患者监护仪(飞利浦M8002A,德国,伯明翰)采集BL, AF和40min时血氧和心率,呼吸频率(RR)由试验人员观察30s胸部起伏计数,AF呼吸观测运动中最后30s计算后获得。心率和血压(右肱动脉)由CAVI测量时一并获取。疲劳评估采用Borg自觉疲劳量表(Borg score, 0—10)询问患者感受,由试验人员进行记录。

1.4 统计学分析

连续数据以均值±标准差表示。采用重复测量的双因素方差分析统计CAVI、RBS、RBD、HR、RR、BORG对运动的反应,并用Bonferroni事后检验法确定出现差异的时间点。经统计学处理 $P < 0.05$,差异具有显著性意义。使用SPSS 18.0和GraphPad Prism(Version 6)进行数据分析和做图。

2 结果

2.1 HR、RBS、RBD、SPO₂、RR和Borg评分

如表2所示,运动试验后HR、RR、Borg评分均立即升高($P < 0.01$),差异出现在AF时间点,在40min时恢复至基线状态。两种运动试验后RBS($P=0.06$)和RDS没有显著改变($P=0.189$)。两种运动试验后均未使SPO₂产生明显变化($P=0.058$)。CON试验中各项数值均无显著性变化。

2.2 动脉硬度

图2展示了三次试验CAVI随时间变化的结果。结果显示3次试验CAVI的变化具备时间和干

表2 急性运动对COPD患者HR、BP、SPO₂、RR和Borg评分的影响

	BL	AF	40min	P
HR(beats/min)				
CON	78.39±14.60	81.05±11.93	78.89±14.56	0.795
SS	78.00±16.44	89.94±19.61	78.11±15.17	<0.001
WBVT	77.44±13.74	93.22±15.99	78.50±13.73	<0.001
RBS(mmHg)				
CON	127.33±15.02	128.11±18.13	126.11±14.89	0.834
SS	125.61±16.92	134.05±20.07	127.07±20.00	0.006
WBVT	124.44±15.15	135.89±18.52	125.83±14.90	<0.001
RBD(mmHg)				
CON	80.55±9.87	81.72±11.05	78.44±10.25	0.306
SS	79.11±9.48	82.44±12.50	18.72±10.14	0.189
WBVT	78.98±9.90	81.78±11.10	79.89±9.64	0.589
SPO₂				
CON	94.28±2.14	94.83±1.92	95.72±1.67	0.450
SS	94.44±2.36	94.94±1.73	95.94±1.98	0.058
WBVT	94.67±1.85	94.61±1.79	95.28±1.79	0.416
RR				
CON	16.89±2.65	17.89±2.32	17.39±2.43	0.701
SS	18.88±3.02	24.28±4.17	20.27±4.17	0.005
WBVT	16.78±2.90	23.22±3.98	17.05±2.60	<0.001
Borg疲劳				
CON	0	0	0	-
SS	0	3.55±0.92	0.22±0.54	<0.001
WBVT	0	3.38±0.98	0.17±0.38	<0.001

预后交互作用差异($P < 0.01$),同时也具备时间($P < 0.01$)和干预($P < 0.01$)独立效应的差异。

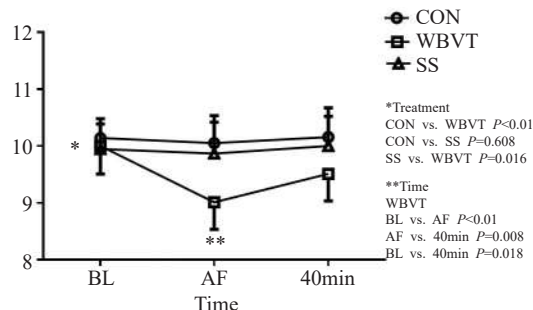
以干预为主效应的分析结果显示 CON Vs. WBVT,CAVI随时间变化存在显著差异($P < 0.01$),同时,CON Vs. SS,CAVI随时间变化差异无显著性意义($P=0.608$),SS Vs. WBVT,CAVI随时间变化存在显著差异($P=0.016$)。

以时间为主效应的分析结果显示,3个时间点CAVI差异均具有显著性意义。单独分析三次试验CAVI的变化结果显示,CON试验(BL、AF、40min分别为 10.15 ± 2.01 、 10.05 ± 2.00 、 10.16 ± 2.13 , $P=0.343$)和SS试验(BL、AF、40min分别为 9.95 ± 2.09 、 9.87 ± 2.28 、 10.01 ± 2.15 , $P=0.734$)CAVI不随时间变化而变化。WBV试验(BL、AF、40min分别为 10.00 ± 2.10 、 9.01 ± 1.97 、 9.51 ± 1.97)中,CAVI在AF时较BL有显著降低($P < 0.01$),而后开始恢复,在40min时较BL仍降低,差异具备显著性意义($P=0.018$)。

3 讨论

本研究的主要发现是单次WBV训练能急性降

图2 心-踝血管指数(CAVI)的变化



低COPD患者的动脉硬度,动脉硬度在运动后立即下降最为明显,下降幅度约8%。这与Otsuki等^[11]对健康人研究中急性WBV后降低3%相比,改善幅度更为明显,且在40min测试时,也能保持和基线的差异,这也与健康人群的反应相似。

本研究中WBV试验和静蹲试验除振动因素外,其他因素完全一致。两种干预方案运动中均无明显关节活动,运动性质可归为静力性力量训练,Gloeckl^[13]的研究表明,WBV和静蹲对重度COPD患者的心肺反应相似,他们最大的区别在于振动波对维持姿势的影响。根据本研究中CAVI的结果可得,WBV对动脉硬度的影响有别于静蹲运动。这可能归因于下肢肌肉静力性收缩的同时,振动波的传导。WBV训练时,振动平台通过足底向上传递振动波,小腿的振动幅度和频率几乎与振动平台一致,振动波传递致腰椎位置的传导率约为70%—80%,且腰部比在髋部观察到的振动波大^[14]。这提示振动刺激至少可以传递到腰椎水平。因此我们推断,振动波的传递对改善动脉硬度有独立的影响。

本研究中,我们没有测量内皮功能(例如,血流介导的扩张或血浆内皮因子水平等),但单次运动后动脉硬度的降低可能是因为肌肉收缩引起的周围动脉舒张能力的提高,从而降低动脉硬度^[15-16]。周围动脉舒张功能主要与以下3种机制相关,即内皮型一氧化氮(eNO)的生成,血流剪切力的提高(flow shear stress)和氧化应激(oxidative stress)的程度。

在离体实验的研究中发现,对主动脉内皮细胞施加机械张力刺激可以增加一氧化氮合成酶(eNOS)的表达^[17],从而促进eNO的生成。众所周知,NO是重要的生物递质和细胞间\内的化学信使,

参与许多机体生理、病理过程,尤其对维持和调节内皮功能具有重要意义,具有较强的血管舒张作用。WBV训练的振动波较静蹲运动相比,能更好的将机械张力直接作用于下肢血管,甚至腹主动脉。其eNO的生成量也可能更大,因此具有更好的舒张血管作用,降低动脉硬度。

其次,血流剪切力的增加也是引起血管舒张的主要因素之一。人体大多数动脉(特别是四肢动脉)走行于骨骼肌之间或内部。周围肌肉收缩引起的机械压力作用于动脉^[18]。在机械压力作用下,动脉内皮细胞随着肌肉的收缩和放松周期性暴露于缩径和扩张,与运动引起的血流加快共同导致对动脉内皮细胞的周期性剪切力增加。此外,肌肉压迫增加会导致动脉扭曲,这也会降低血管跨壁压力,使血管平滑肌细胞松弛,从而舒张血管,降低动脉硬度^[19-20]。因此,运动引起肌肉收缩对血管的机械挤压,以及心输出量增加引起的血流速度加快,也可能是WBV训练降低动脉硬度的机制。

另一方面,氧化应激虽然能够提高动脉硬度,但只有在力竭运动的情况下,才会引起氧化应激的剧烈出现,从而提高动脉硬度。这主要是由于力竭运动会导致谷胱甘肽的氧化,胞浆酶的释放,以及其他细胞损伤。然而,越来越多的证据表明,适当运动产生的活性氧(reactive oxygen species, ROS)在氧化应激的调控中发挥着重要作用,适量的ROS反而能够激活eNOS、iNOS和超氧化物歧化酶等重要抵御ROS的酶的表达。这些强力抗氧化酶的上调,使得适当运动本身就可以被认为是一种抗氧化剂。本研究中WBV训练后即刻Borg评分为 3.38 ± 0.098 ,属于低-中等强度的适量运动,因此,WBV训练抑制了COPD患者的氧化应激,也可能是运动结束后,动脉硬度保持降低的机制之一。

4 结论

动脉硬度的急性和慢性反应应该是一致的^[19,21],是以累积的方式发生的^[22]。有氧运动^[16,23]、热疗^[24]的急性反应也呈现出与本研究类似的规律。在这项研究中,我们发现了COPD患者进行WBV训练后动脉硬度显著降低。WBV作为呼吸康复训练的辅助手段对COPD患者心血管方面可能存在的优

势。因此,将WBV作为COPD患者的辅助运动训练形式,改善COPD心血管系统状态的价值值得进一步探索。

参考文献

- [1] Balta S, Aykan AC. Arterial stiffness in chronic obstructive pulmonary disease[J]. Herz, 2015, 40(2): 261.
- [2] Mills NL, Miller JJ, Anand A, et al. Increased arterial stiffness in patients with chronic obstructive pulmonary disease: a mechanism for increased cardiovascular risk[J]. Thorax, 2008, 63(4): 306—311.
- [3] Roeder M, Sievi NA, Kohlbrenner D, et al. Arterial stiffness increases over time in relation to lung diffusion capacity: a longitudinal observation study in COPD[J]. Int J Chron Obstruct Pulmon Dis, 2020, 15:177—187.
- [4] Inomoto A, Fukuda R, Deguchi J, et al. Relation between respiratory function and arterial stiffness assessed using brachial-ankle pulse wave velocity in healthy workers[J]. J Phys Ther Sci, 2017, 29(9): 1664—1669.
- [5] Rodriguez-Miguel Paula, Seigler Nichole, Bass Leon, et al. Assessments of endothelial function and arterial stiffness are reproducible in patients with COPD[J]. Int J Chron Obstruct Pulmon Dis, 2015, 10: 1977—1986.
- [6] Mynard JP, Clarke MM. Arterial stiffness, exercise capacity and cardiovascular risk[J]. Heart Lung Circ, 2019, 28(11): 1609—1611.
- [7] Gelinas JC, Lewis NC, Harper MI, et al. Aerobic exercise training does not alter vascular structure and function in chronic obstructive pulmonary disease[J]. Exp Physiol, 2017, 102(11): 1548—1560.
- [8] Park YJ, Park SW, Lee HS. Comparison of the effectiveness of whole body vibration in stroke patients: a meta-analysis[J]. Biomed Res Int, 2018, 2018:5083634.
- [9] Ramos LAX, Rodringues FTM, Shirahide L, et al. A single whole body vibration session influences quadriceps muscle strength, functional mobility and balance of elderly with osteopenia and/or osteoporosis? Pragmatic clinical trial [J]. J Diabetes Metab Disord, 2019, 18(1): 73—80.
- [10] Zhou J, Pang L, Chen N, et al. Whole-body vibration training - better care for COPD patients: a systematic review and meta-analysis[J]. Int J Chron Obstruct Pulmon Dis, 2018, 13:3243—3254.
- [11] Otsuki T, Takanami Y, Aoi W, et al. Arterial stiffness acutely decreases after whole-body vibration in humans[J]. Acta Physiol (Oxf), 2008, 194(3): 189—194.
- [12] Figueroa A, Kalfon R, Wong A. Whole-body vibration training decreases ankle systolic blood pressure and leg arterial stiffness in obese postmenopausal women with high blood pressure[J]. Menopause, 2015, 22(4): 423—427.

(下转第705页)