

# The Effects of the Standing Vibration Strength Training on Cardiac Pumping Function in Young Men

Shuli Xu, Zhipu Yan, Xuelin Zhang

School of Physical Education, Liaocheng University, Liaocheng  
Email: [xushuliwang@163.com](mailto:xushuliwang@163.com), [yanzhipu@lcu.edu.cn](mailto:yanzhipu@lcu.edu.cn), [zhangxuelin@lcu.edu.cn](mailto:zhangxuelin@lcu.edu.cn)

Received: Jun. 18<sup>th</sup>, 2014; revised: Jul. 23<sup>rd</sup>, 2014; accepted: Aug. 15<sup>th</sup>, 2014

Copyright © 2014 by authors and Hans Publishers Inc.  
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).  
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

**Objective:** To investigate the changes of cardiac pumping function in young men after the standing vibration strength training and traditional strength training. **Methods:** Squat training was carried out in 32 male volunteers in the condition of traditional or standing vibration for 12 weeks, the heart pumping ability in rest is tested before and after experiment. **Results:** Ejection pre-period and systolic period of experimental group was prolonged; cardiac output, cardiac index, stroke volume, stroke work and work per minute were lowered; the difference was significant compared with the control group ( $P < 0.05$ ), the differences between the other groups were not significant ( $P > 0.05$ ). **Conclusion:** Standing vibration in low-frequency high amplitude strength training weakened pumping ability of the heart.

## Keywords

Standing Vibration, Strength Training, Cardiac Pump

---

# 立姿振动力量训练对男青年心脏泵血功能的影响

徐树礼, 闫之朴, 张雪临

聊城大学体育学院, 聊城

Email: [xushuliwang@163.com](mailto:xushuliwang@163.com), [yanzhipu@lcu.edu.cn](mailto:yanzhipu@lcu.edu.cn), [zhangxuelin@lcu.edu.cn](mailto:zhangxuelin@lcu.edu.cn)

收稿日期: 2014年6月18日; 修回日期: 2014年7月23日; 录用日期: 2014年8月15日

## 摘要

**目的:** 探讨立姿振动力量训练和传统力量训练后, 心脏泵血的变化。**方法:** 32名男性志愿者, 在立姿振动或传统训练条件下, 负重深蹲训练12周, 测试实验前、后安静时心脏泵血能力。**结果:** 实验组左室射血前期和收缩期延长, 心输出量、心指数和每搏量、搏功和每分功降低, 与对照组的差异显著( $P < 0.05$ ), 其他组内、间的差异不显著( $P > 0.05$ )。**结论:** 低频高幅立姿振动力量训练减弱心脏泵血能力。

## 关键词

立姿振动, 力量训练, 心脏泵血

## 1. 引言

运动训练使心脏形态、机能和调节能力产生良好的适应: 心脏增大、丰实, 收缩力强, 心力储备高, 心室腔增大或心肌增厚, 安静时心率减慢, 心输出量可动员的范围增加等心血管机能改善[1], 从而提高心脏泵血能力。研究表明, 长期接触振动的工人心脏泵血能力减弱和心肌收缩功能下降[2], 振动训练后心脏泵血能力的报道鲜见。而心脏是人体的发动机, 其泵血能力直接决定人体运动能力, 反映运动训练的水平[3]。它的泵血能力减弱将引起血液循环的动力障碍, 对机体物质运输、体能调节、免疫、内环境的稳定和体温维持等方面产生影响。现在, 振动训练是一种新兴的训练方法, 虽然在提高肌肉力量[4] [5]、柔韧性[6]、弹性成分[7]和大众康复训练中得到广泛应用, 人们关注振动训练的有益训练效果。但是事物是有两面性的, 我们不仅关注其有益的训练效果, 而且监督其不利的方面, 不断权衡利弊, 改善训练参数, 争取较大的训练效果, 最小的负面效应。比如一种新药对感冒很有效, 但对心脏负效应较大, 我们在选药时就要权衡一下。同时, 立姿振动是振动训练最常用的形式, 肌肉力量是绝大多数运动形式的基础。因此, 立姿振动力量训练对心脏泵血能力影响的研究具有辩证认识振动训练效果的重要现实意义。

## 2. 研究对象与方法

### 2.1. 研究对象

按世界卫生组织提出的青年划分标准[1](生理年龄为 18~44 岁), 上海体育学院 34 名男青年志愿者(世居平原, 不吸烟, 不饮酒, 无心血管等病史, 肾功能、肺功能障碍、糖尿病和应用  $\beta$  受体抗阻剂禁忌症等), 经过严格健康体检, 实验期中不服药, 不参与其他运动训练, 签订同意合同, 按标准完成实验要求动作。最后有 2 名男生因生病吃药, 32 名符合要求, 完成全部测试(表 1)。

Table 1. The basic situation of subjects

表 1. 研究对象基本情况

	人数	年龄/y	身高/cm	体重/kg	训练年限	等级
男	32	28 ± 9.14	161.3 ± 7.5	57.5 ± 7.6	3 ± 1.72	二级

## 2.2. 实验方法

### 2.2.1. 实验方案

随机分为对照组(传统力量训练组)和实验组(振动力量训练组), 每组 16 人。实验组裸脚站在上下垂直低频高幅振动(加速度  $17.64 \text{ m/s}^2$ 、频率 45 Hz、振幅 10 mm、噪声强度 87 dB(A)、4 小时等能量频率加权加速度(ahw(4)) $19.83 \text{ m/s}^2$ 的振动台上, 躯干垂直, 选择个人最大负重的 75%~80%, 做负重深蹲到个人最大程度, 12 次/组  $\times$  8 组(1 次/5 秒, 按匀速的节拍), 周日休息, 其他每天下午(4:00~5:00)1 次课, 共 12 周; 对照组站在不振动的振动台上在同样噪声条件下做同样的训练。

为减小实验结果的测量误差, 采用双盲法: 命名对照组、试验组实验前、后分别为第 1、3、2、4 组。受试者和实验执行者均不知道设计方案, 哪组是实验组, 哪组是对照组, 也不知道预期结果是什么。

### 2.2.2. 测试仪器

仪器: 美国 GE 公司的 64 层 128 排 CT light speed VCT。室温( $20 \pm 2$ ) $^{\circ}\text{C}$ 、时间(8:00~10:00 am), 冠状动脉造影扫描参数:  $360^{\circ}$ 扫描时间 0.33 sec, 每圈层面数 64, 层厚 0.6~10 mm, 重建时间 sec/矩阵  $0.05 \times 512 \times 512$ , 空间分辨率(IP/mm) X, Y 轴: 30 IP/cm, Z 轴:  $<0.4 \text{ mm}$ , 密度分辨率: 5 mm、0.3%、17 mGy, 最长一次螺旋扫描圈数 270 圈, 螺距指数标准螺距 0.45~2。

### 2.2.3. 测试方法

MSCT 测试前, 先连续测量三个 10 秒的脉搏数, 当三次测量值相同或其中两次值相同并与另一次相差不超过一次时, 表示处于安静状态, 以此保证在安静状态下测得心脏泵血指标。经肘静脉以 3 ml/s 注射率, 双时相注射 320 mg I/ml GE Healthcare Ireland 50 ml 后, 再以同样注射率注射生理盐水 40 ml, 扫描后进行左室短轴多平面重组。

### 2.2.4. 测试和计算指标

心舒期(DIA)、舒张压(DP)、左室射血前期(PEP)、射血期(LVET)、左室收缩期(LVCT)、每搏量(SV)、收缩压(SP)、心率(HR)、左室短轴缩短率(FS%) = (舒张期左室短轴 - 腱索水平收缩期左室短轴)/舒张期左室短轴  $\times 100\%$ 、心输出量(CO)、射血分数(EF%)、体表面积(BSA)( $\text{m}^2$ ) =  $0.0061 \times \text{身高}(\text{cm}) + 0.0128 \times \text{体重}(\text{kg}) - 0.1529$  [8]、心指数(CI)、搏功(SW)(g·m) = 搏出量( $\text{cm}^3$ )  $\times$  血液比重(1.055 g/ml)  $\times$  [(舒张压 + 1/3(收缩压 - 舒张压) - 平均心房压(6 mmHg))]  $\times$  (13.6 g/ $\text{cm}^3$ ) $\times$ (1/1000)[8]、每分功(MW)。

## 2.3. 数据处理

用 SPSS17.0 在 95%置信区间, 采用单因素方差齐性、均数多重比较检验。

## 3. 研究结果

表 2 对 15 个指标实验前的 2 组数据分别进行方差齐性检验, 均  $P > 0.10$ , 方差齐性; 方差分析结果表明, 均  $P > 0.05$ , 各组间的差异不显著。实验后, 各指标 4 组数据的方差齐性检验表明, 均  $P > 0.10$ , 方差齐性; 多重比较结果表明(见表 3), 在 0.05 显著性水平下, 左室射血前期和收缩期延长, 心输出量、心指数和每搏量、搏功和每分功降低, 与对照组的差异显著( $P < 0.05$ ), 其他组内、间的差异不显著( $P > 0.05$ )。

## 4. 分析与讨论

心肌收缩力是影响左心室泵血能力的重要因素, 心输出量和心脏做功是表现左心室泵血能力的重要指标。因此, 从心肌收缩力、心输出量和心脏做功三方面分析左心室泵血能力。心泵血能力方面, 影响

**Table 2.** The changes list in heart function before and after the experiment  
**表 2.** 实验前、后心脏泵血功能变化一览表

测试指标	实验前		试验后	
	对照组	实验组	对照组	实验组
DIA (ms)	492.84 ± 10.79	492.59 ± 13.99	501.61 ± 11.15	496.56 ± 9.33
DP (mmHg)	78.87 ± 6.39	77.91 ± 6.66	78.34 ± 6.04	78.68 ± 5.01
PEP (ms)	120.90 ± 11.63	124.21 ± 7.84	117.78 ± 7.92	126.39 ± 8.05*
LVET (ms)	262.53 ± 14.16	256.58 ± 11.83	257.30 ± 10.62	258.71 ± 11.62
LVCT (ms)	383.43 ± 11.54	380.79 ± 10.96	375.07 ± 10.90	385.47 ± 9.53*
SV (ml)	95.75 ± 5.39	95.89 ± 5.86	98.84 ± 5.18	90.98 ± 5.37*
SP (mmHg)	125.58 ± 9.25	128.73 ± 6.91	126.19 ± 7.64	125.95 ± 8.08
HR	68.47 ± 5.56	68.70 ± 6.65	68.39 ± 6.07	68.04 ± 4.79
FS (%)	61.21 ± 2.75	61.42 ± 2.18	62.96 ± 3.03	62.13 ± 2.39
CO (L·min <sup>-1</sup> )	6.56 ± 0.53	6.58 ± 0.53	6.70 ± 0.53	6.19 ± 0.56*
EF (%)	66.09 ± 3.14	66.40 ± 2.58	66.19 ± 2.96	66.16 ± 2.42
BSA (m <sup>2</sup> )	1.74 ± 0.10	1.73 ± 0.11	1.74 ± 0.11	1.73 ± 0.08
CI (L·min <sup>-1</sup> ·m <sup>-2</sup> )	3.77 ± 0.28	3.81 ± 0.21	3.85 ± 0.23	3.57 ± 0.26*
SW (g·m)	124.04 ± 5.45	122.24 ± 5.96	125.21 ± 5.58	115.43 ± 4.96*
MW (kg·m/min)	8.49 ± 0.40	8.4078 ± 0.40	8.51 ± 0.44	7.85 ± 0.40*

注：\*组间均值差的显著性水平为 0.05。

心肌纤维收缩力的因素主要是左心室收缩的前负荷、后负荷、左心室收缩期、每搏量、心率等。

#### 4.1. 两种力量训练对左室收缩前负荷的影响

左心室心肌纤维收缩的前负荷是指影响心肌纤维初长度的负荷。在正常生理范围内，心肌纤维初长度越长，收缩力越大，而心肌纤维初长度取决于心室血液的充盈度，血液的充盈度取决于左心室舒张期、循环血量和血管容量。实验过程中，两组都没有补血和失血，即循环血量没有减少；运动训练使人体血容量增加，主要是血浆容量增加，其次是红细胞增加。血浆水分转移或损失较多，时间较长而使血容量变化较明显的是耐力性项目。本实验是力量性项目，总训练时间较短，因此对照组和实验组的循环血量和血管容量提高一般是均等的改变不大。实验组左心室舒张期延长时间比对照组的小 4.80 ms，说明实验组左心房血液进入左心室的时间短，相对的说，左心室充盈程度比对照组的小，左心室肌肉收缩前的前负荷比对照组小，左心室肌肉收缩前被拉长初长度比对照组的小，因此不利于实验组左心室肌肉收缩力的提高。

#### 4.2. 两种力量训练对左室收缩后负荷的影响

左心室收缩后遇到的后负荷是总外周阻力，主要是主动脉和大动脉阻力。对照组的传统力量训练使血液的形状发生了适应性变化：纤维蛋白溶解作用增加，血容量增加，红细胞变形能力增加，血粘度降低；主动脉和大动脉的弹性和容量增大，因此对照组左心室射血的总外周阻力降低。实验组在传统力量训练时附加振动因素的训练，使血液的阻力和血管的阻力都增加。站姿振动使红细胞数量增加，变形能力降低，以及其他血细胞和血浆性质的改变，血液流变性降低，尤其是组织中肾上腺素受体敏感性提高，

**Table 3. ANOVA results**  
**表 3. 方差分析结果**

		平方和	df	均方	F	显著性
DIA	组间	850.560	3	283.520	2.167	0.101
	组内	7850.531	60	130.842		
DP	组间	8.542	3	2.847	0.077	0.972
	组内	2204.330	60	36.739		
PEP	组间	779.086	3	259.695	3.476	0.021
	组内	4482.204	60	74.703		
LVET	组间	338.089	3	112.696	0.766	0.517
	组内	8824.434	60	147.074		
LVCT	组间	975.827	3	325.276	2.811	0.047
	组内	6943.199	60	115.720		
SV	组间	507.643	3	169.214	5.683	0.012
	组内	1786.495	60	29.775		
SP	组间	98.676	3	32.892	0.512	0.676
	组内	3854.172	60	64.236		
HR	组间	3.566	3	1.189	0.035	0.991
	组内	2022.655	60	33.711		
FS	组间	18.937	3	6.312	0.927	0.433
	组内	408.674	60	6.811		
CO	组间	2.359	3	0.786	2.704	0.043
	组内	17.443	60	0.291		
EF	组间	0.854	3	0.285	0.037	0.991
	组内	467.396	60	7.790		
BSA	组间	0.001	3	0.000	0.048	0.986
	组内	0.626	60	0.010		
CI	组间	0.698	3	0.233	3.760	0.035
	组内	3.714	60	0.062		
SW	组间	918.346	3	306.115	10.255	0.023
	组内	1791.065	60	29.851		
MW	组间	4.251	3	1.417	8.405	0.017
	组内	10.116	60	0.169		

平均动脉压增高，血流阻力增大[9]。长期局部振动损害血管机能[10]，表现为交感神经紧张性增高，血管收缩反应亢进，小动脉的收缩、痉挛及官腔变细、小血栓形成[11]，血管壁肥厚和纤维化，这种损害随振动时间的延长有加重趋势，减弱弹性贮器作用，使血管的阻力增加。这些因素都促进平均动脉压和舒张压增高，表现在实验组舒张压升高 0.77 mmHg，这样，心舒期内血液向外周流动的阻力加大，心舒期

内存留在动脉中的血量增多，导致实验组心肌收缩的总外周阻力增加。可以看出，若单纯振动训练后总外周阻力不仅抵消力量训练引起的降低部分，而且比原来外周阻力有所升高，就是说，若不进行力量训练，仅仅振动训练后总外周阻力应升高更大的幅度。

#### 4.3. 两种力量训练对左室收缩期、心率、每搏量的影响

对照组射血前期、射血期、左心室收缩期分别缩短 2.58%、1.99%、2.18%，实验组分别延长 1.76%、0.83%、1.23%，可以看出，若单纯振动训练将引起左心室射血前期、射血期和收缩期增加更大的幅度，即左室收缩和排空时间延长。对照组左室心舒期延长，心缩期缩短，因此，心动周期变化很小，心率仅仅降低 0.04 次/分，实验组左室心舒期和心缩期都延长，因此，心动周期延长，心率降低 0.43 次/分。对照组的传统力量训练引起安静时心率降低程度小，实验组是在传统力量训练时附加振动因素的训练，引起安静时心率降低程度是对照组的 10.75 倍，可以看出，若单纯振动训练将引起安静时心率降低程度更大，这是机体对运动时心率升高过快的一种代偿反应。运动时，心率升高，在运动后的恢复期不仅使心率降低恢复到正常水平，还降低到低于正常水平，使心率相对降低，这样在一定程度上能减轻机体下次运动时心率升高幅度。经常从事振动作业的工人，心脏机能适应振动作业后，便出现心率降低，这种变化反过来有利于振动作业时机体的机能需要，促进适应能力增强，因此，实验组的心率下降是对振动训练的一种适应性反映，但不能超出正常的底限范围，并非安静时心率越低，心脏适应性越好或机能越节省，实验组安静时心率下降程度很快，应该考虑异常病理方面的因素[3]。

对照组左心室每搏量增加 3.23%，实验组却降低 5.12%，说明两组变化的方向是相反的，实验组是在传统力量训练时附加振动因素的训练，若单纯振动训练将引起左心室每搏量降低 8.35%。经常接触振动作业的工人，安静状态下，每搏量降低是典型的例证。

从以上的比较中可以看出，实验组每次左室收缩期在比对照组大 0.15 ms 时间内，每搏量比对照组小 6.93 ml，说明实验组心肌收缩力比对照组的小；由于每搏量的变化主要影响收缩压的变化，所以两组收缩压的变化趋势进一步说明实验组心肌收缩力比对照组的小；同时实验组左心室短轴缩短率、射血分数提高程度比对照组小 1.70%、0.06%，说明传统力量训练引起对照组左心室短轴缩短率、射血分数提高，单纯振动训练引起左心室短轴缩短率、射血分数降低，因为传统力量训练加上振动条件后，左心室短轴缩短率、射血分数提高程度减小，这也是单纯振动训练使左心室心肌收缩力降低的有力证明。经常接触振动作业的工人，安静状态下，左心室心肌收缩力和收缩压降低是典型的例证[2]。

研究表明，肌肉收缩时产生张力大小，取决于活化的横桥数目。较大强度振动可损伤心肌纤维，使肌动蛋白丝的横桥连接长度紊乱，导致活化的横桥数量减少，心肌纤维收缩距离缩短，引起乳头肌收缩和抑制心肌收缩，左心室短轴缩短率降低。振动使神经传导速度减慢[12]，表现为心动过缓、窦性心律不齐和房内、室内、房室传导阻滞以及不完全右束支传导阻滞[13]。Vorob'e'va 等报道，不同模式振动可引起线粒体供能系统发生显著变化，当振动频率和持续时间增加到一定程度，能源供应系统将出现功能障碍。Rittwege 等报道，全身高频振动对血流速度和肌力都有负面作用，低频振动对肌力有增加作用。

#### 4.4. 两种力量训练对心输出量的影响

实验组每搏量比对照组小 6.93 ml，心率比对照组低 0.4 次/分，因此，实验组心输出量比对照组减少。对照组传统力量训练使心输出量增加，因为力量训练使心肌收缩力增加，一方面可增加每搏量，另一方面可加速静脉血液回流心脏；心率适当减少，总体的效果使心输出量增加体表面积变化很小，心指数也增加。可以看出，若单纯振动训练后心输出量不仅抵消力量训练引起的增加部分，而且使其有所减少，就是说，若不进行力量训练，仅振动训练后心输出量应降低 0.11%，降低幅度更大。同样，单纯振动训

练后心指数降低幅度也更大。经常接触振动作业的工人，安静状态下，心输出量降低是典型的例证。

#### 4.5. 两种力量训练对心脏做功量的影响

实验组搏功比对照组提高幅度小 0.03%，说明对照组的传统力量训练引起搏功提高程度大，实验组是在传统力量训练时附加振动因素的训练，引起搏功提高程度减小，可以看出，若单纯振动训练将引起搏功降低，左心室射出的血液具有较低的压强能和较慢的流速。经常接触振动作业的工人，安静状态下，搏功降低是典型的例证。实验组心率比对照组低 0.4 次/分，引起每分功减少；对照组的传统力量训练使搏功增加，心率适当减少，总体的效果使每分功增加。可以看出，若单纯振动训练后每分功不仅抵消力量训练引起的增加部分，而且有所减少，就是说，若不进行力量训练，仅仅振动训练后每分功应降低 0.39%，降低幅度更大。当左室心肌收缩力下降时，低幅振动可引起经常接触振动作业的工人搏功下降，是典型的例证。

#### 4.6. 辩证地认识站姿振动力量训练效果

近几年的研究成果表明，振动训练是一种发展潜力较大的训练方法。以往的职业病研究显示，长期接触振动的工人心脏泵血能力减弱和心肌收缩力下降[6]，而且减弱程度与振动参数具有十分明确的剂量效应关系，经典的“雷诺氏综合征”早在一个多世纪前就有明确的病因学诊断。体育训练中的振动训练所追求的效应之一正是心泵血功能的改变，问题是振动训练累计最大剂量距离发生病理性心功能损伤所需的剂量有多大距离是安全的？虽然本实验中心功能指标的改变均在临床正常范围内，提示改变是功能性的，但此累计振动剂量( $ahw(4) = 19.83 \text{ m/s}^2$ )已经导致心脏泵血能力和心肌收缩力降低。若振动训练时间继续延长，或为追求训练效果，加大某一振动参数等，使累计最大剂量增大，心功能指标的改变幅度也会增大，某一个或一些指标有可能超出生理范围，导致病理性病变，需要进行心肌组织学研究，振动可能引起心肌细胞本身性质改变的可能性较大，这确实是需要进一步研究的内容。基于心脏对人体的作用，若心肌组织学性质发生变化，心脏作用如何维持，进一步说，心肌组织学性质变化是否能及时回复，若不能回复，振动对心脏的损伤将是致命的损害，长期接触振动的工人经常患的振动病就是典型的例证。

### 5. 结论

低频高幅站姿振动力量训练减弱心脏泵血能力。

### 参考文献 (References)

- [1] 王瑞元 (2002) 运动生理学. 人民体育出版社, 北京, 102-105.
- [2] 梅传林, 曾云华, 李志光等 (1990) 混凝土振动器作业对工人心脏功能的影响. *中国应用生理学杂志*, **6**, 365-366.
- [3] 孙庆祝, 郝文亨, 洪峰 (2011) 体育测量与评价. 第二版, 高等教育出版社, 北京, 112-132.
- [4] 尹军, 万智维 (2011) 两种核心力量训练方法对腹部肌群肌力变化影响的比较研究. *中国体育科技*, **47**, 10-14.
- [5] 吕青, 张利峰, 钟家银等 (2010) 跳远运动员髋关节振动力量训练效果的研究. *天津体育学院学报*, **25**, 293-296.
- [6] 彭春政 (2004) 全身振动对肌肉力量和柔韧性的影响. *北京体育大学学报*, **27**, 349-351.
- [7] 刘北湘 (2011) 振动训练对肌肉弹性成分的影响. *成都体育学院学报*, **37**, 55-59.
- [8] 姚泰 (2004) 生理学. 第 6 版, 人民卫生出版社, 北京, 204-205.
- [9] 徐树礼 (2012) 站姿振动对血液流变性的影响. *天津体育学院学报*, **27**, 535-539.
- [10] 林立, 聂继池, 张春之等 (2000) 局部振动对周围神经与血管机能影响的研究. *中国职业医学*, **27**, 9-10.
- [11] 张春之, 林立, 曾晓立等 (2001) 手传振动对外周循环功能的影响及其植物神经功能关系的研究. *工业卫生与职业病*, **27**, 102-104.
- [12] 步彦明, 马来记, 杨东红等 (1996) 振动负荷前后家兔神经传导变化的实验研究. *济宁医学院学报*, **19**, 14-17.
- [13] 韩向午 (2001) 物理因素与心血管疾病的职业流行病学研究. *职业卫生与应急救援*, **19**, 167-168.