

•运动人体科学•

## 振动训练对低龄老年人动脉血管弹性的影响

陈金鳌<sup>1,2</sup>, 张林<sup>1</sup>, 陈琉<sup>3</sup>, 李伟<sup>4</sup>, 李善姬<sup>4</sup>

(1.苏州大学 体育学院, 江苏 苏州 215021; 2.常州大学 体育学院, 江苏 常州 213164;  
3.易可医疗连锁南京门诊部 周围血管外科, 江苏 南京 210014; 4.韩国国立忠南大学 自然科学学院  
运动科学系 心血管与运动实验室, 韩国 大田广域 305-764.)

**摘 要:** 为研究振动训练对低龄老年人动脉血管弹性的影响, 从健康自愿者中选取年龄在60~65岁的男性50名和女性45名作为受试者, 按不同性别和振动频率随机分为4个实验组, 实施为期24周的振动力量训练计划, 每周3次, 分别对血压、颈动脉血管弹性指标AC和 $\beta$ 进行测量; 采用三因素重复测量方差分析和事后多重比较检验考察各组实验数据间的差异。结果发现, 1)高频振动后, 受试者的AC较训练前显著下降( $P<0.05$ ), 降低幅度在S<sub>4</sub>—S<sub>6</sub>段有显著性差异( $P<0.05$ ), 且男性降幅大于女性( $P<0.05$ );  $\beta$ 较训练前显著上升( $P<0.05$ ), 升高幅度在S<sub>4</sub>—S<sub>6</sub>段有显著性差异( $P<0.05$ ), 且男性增幅大于女性( $P<0.05$ ); 2)低频振动后, 受试者的AC较训练前显著上升( $P<0.05$ ),  $\beta$ 较训练前显著下降( $P<0.05$ ), 两者的变化幅度在各时段均无显著性差异( $P>0.05$ )。结果说明, 长期高频振动训练可能会降低低龄老年人的动脉血管弹性, 且男性的下降趋势大于女性; 而长期低频振动训练对低龄老年人的动脉血管弹性则有一定程度的积极作用, 无显著的性别差异。

**关键词:** 运动医学; 颈动脉; 血管弹性; 低龄老年人; 振动训练; 振动频率; 血管僵硬  
中图分类号: G804.5 文献标志码: A 文章编号: 1006-7116(2015)02-0120-07

### Effects of vibration training on the elasticity of arterial blood vessels of the younger elderly

CHEN Jin-ao<sup>1,2</sup>, ZHANG Lin<sup>1</sup>, CHEN Liu<sup>3</sup>, LI Wei<sup>4</sup>, Lee Sang Ki<sup>4</sup>

(1.School of Physical Education, Soochow University, Suzhou 215021, China; 2.School of Physical Education, Changzhou University, Changzhou 213164, China; 3.Nanjing Out-patient Department of Yi-Ke Clinic Medical Chain, Vascular Surgery, Nanjing 210014, China; 4.Lab of Cardiovascular and Exercise, Department of Sport Science, College of Natural Science, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea)

**Abstract:** In order to study the effects of vibration training on the elasticity of arterial blood vessels of the younger elderly, the authors selected 50 males and 45 females ages 60-65 as the testees from healthy volunteers, randomly divided them into 4 experiment groups according to genders and vibration frequencies, executed a 24-week vibration power training plan, measured their blood pressure, carotid blood vessel elasticity indexes AC (arterial compliance) and  $\beta$  (stiffness) 3 times a week, examined the differences between experiment data of various groups by means of three-factor repetitive measurement variance analysis and post hoc multiple comparison verification, and revealed the following findings: 1) after high frequency vibration, the testees' AC decreased somewhat as compared with that before training ( $P<0.05$ ), the decrease amplitudes had a significant difference in segments S<sub>4</sub>-S<sub>6</sub> ( $P<0.05$ ), and the males' decrease amplitude was greater than the females' ( $P<0.05$ ); their  $\beta$  increased somewhat as compared with that before

收稿日期: 2014-11-21

基金项目: 教育部人文社会科学研究规划基金项目(13YJA890035); 韩国教育科学技术部基金项目, 韩国研究财团资助(2011-0014483)。

作者简介: 陈金鳌(1981-), 男, 助教, 博士研究生, 研究方向: 老年体育与健康促进的生物学理论与方法。通讯作者: 张林教授。

E-mail: cja68209933@sina.com

training ( $P<0.05$ ), the increase amplitudes had a significantly difference in segments S4-S6 ( $P<0.05$ ), and the males' increase amplitude was greater than the females' ( $P<0.05$ ); 2) after low frequency vibration, the testes' AC increased somewhat as compared with that before training ( $P<0.05$ ), their  $\beta$  decreased somewhat as compared with that before training ( $P<0.05$ ), there was no significant difference between the changing amplitudes of the two indexes in various time segments ( $P>0.05$ ). The said findings indicate the followings: long term high frequency vibration training may decrease the elasticity of arterial blood vessels of the younger elderly, and males have a higher tendency of such decreasing than females; while long term low frequency vibration training has a certain degree of positive effect on the elasticity of arterial blood vessels of the younger elderly, which shows no significant gender difference.

**Key words:** sports medicine; carotid; blood vessel elasticity; the younger elderly; vibration training; vibration frequency; blood vessel stiffness

长期的机械振动会引起身体器官组织的结构功能发生改变<sup>[1]</sup>。振动训练通过增大加速度来增加阻力,与传统力量训练相比,不仅避免了肢体与地面之间的冲击力,减轻了韧带和关节承受的负荷,有助于降低发生运动损伤的风险,而且在提高肌力、增强骨密度和促进运动康复等方面的效果更加显著<sup>[1-3]</sup>。因此,作为一种新兴的动态训练法,已在运动训练和健身康复领域受到越来越多的关注,并开始逐步应用于不同人群的力量训练之中<sup>[2-3]</sup>。全身振动训练法(WBV)要求人体双脚或单脚站立在振动平台上,仪器将适宜频率的振动刺激通过下肢或躯干垂直作用于全身。由于在人体下肢弯曲和脊柱生理弯曲的缓冲下,到达脑部的振动波不会对大脑产生伤害<sup>[4]</sup>,故全身振动训练法是目前最常采用的训练手段。

尽管振动训练应用领域广泛,不仅涉及太空体育、竞技体育、大众体育,还包括运动康复和医疗卫生,但目前对其进行的科学研究主要还集中在运动系统<sup>[2-4]</sup>,很少有人关注其对心血管系统的影响,仅有少数对心率、血压、血液流变性、皮肤血流量变化的报道<sup>[5-7]</sup>。故应尽早开展振动训练对心血管机能影响效应的研究,在提升不同人群训练效果和安全性,以及预防振动病等方面具有重要意义<sup>[7]</sup>。

动脉弹性代表血管壁的缓冲能力,是由于管腔内压力变化所导致的动脉血管直径或容积的变化,取决于动脉腔径大小和管壁硬度或可扩张性,主要反映动脉舒张功能的状态<sup>[8-9]</sup>。对于低龄老年人群,随着年龄的增长,动脉管壁弹性功能逐渐衰退,表现为僵硬程度增高、

缓冲能力下降,扩张性降低和脉压增加,属于动脉硬化的早期改变<sup>[9-10]</sup>。因此,动脉血管弹性降低是低龄老年人罹患各类心脑血管疾病的重要危险因素<sup>[11-12]</sup>。虽然大量证据表明,有氧耐力训练能够改善心血管机能和降低血管僵硬程度<sup>[13]</sup>,传统力量训练有益于增长肌力和骨密度,但是这两种运动方式对存在运动功能丧失或认知障碍的低龄老年人,以及外出行动不便的高龄老人却并不适合。而振动训练则完全适宜这类活动受限的人群进行练习,并可以更有效地预防衰老性肌萎缩(Sarcopenia)和骨质疏松症(Osteoporosis)<sup>[14-15]</sup>,只是尚不清楚其对低龄老年人动脉血管弹性能产生怎样的影响。此外,由于以往相关文献报道中普遍以青年运动员为实验对象,缺乏在不同振动形式下,针对不同人群的振动频率和振幅分类使用标准<sup>[4]</sup>,特别是低龄老年人安全有效的垂直振动训练频率范围还不明确。因此,本研究对不同性别低龄老年人在不同频率全身垂直振动训练期间颈动脉弹性的变化进行了测定,进而探讨其内在生理机制,以期对力量训练理念的创新和安全实施振动训练提供依据。

## 1 研究对象与方法

### 1.1 研究对象

从无吸烟史且半年内未进行过系统锻炼的 60~65 岁自愿者中选取 95 名受试者(男性 50 名,女性 45 名),实验前经正规医疗机构体检确认身体健康,动脉血压正常,未见有任何呼吸、循环、内分泌及运动系统疾患,近期也无服药记录,基本情况见表 1。

表 1 受试者基本情况( $\bar{x} \pm s$ )

性别	n/人	年龄/岁	身高/cm	体重/kg	静态心率/(次·min <sup>-1</sup> )	肱动脉血压/mmHg	
						收缩压	舒张压
男	50	63±1	170.3±4.1	68.2±7.5	72±4	130±6	74±7
女	45	62±2	158.9±3.7	53.9±4.6	70±5	109±8	63±5

## 1.2 研究方法

### 1) 频率和振幅。

Jordan 等<sup>[6]</sup>认为振动频率应高于 20 Hz, 且这一观点现已达成共识。因为 1~20 Hz 的振动与身体各器官的自振动频率相同, 可引起全身多处共振(如头的共振频率为 18 Hz, 内脏、脊柱的共振频率为 8 Hz, 全身共振频率为 5 Hz), 对机体产生的振动损伤最强<sup>[4, 7]</sup>; 而高于 60 Hz 的振动则会引起眼球共振, 直接损伤神经、肌肉, 出现神经失调、内分泌紊乱等症状<sup>[6-7, 17]</sup>。由于 50 Hz 以上的大部分振动能量以波的形式通过组织传播, 故一般将 50 Hz 作为界定高频与低频的界限<sup>[6]</sup>。综合相关文献报道, 本研究初步选取 55、25 Hz 分别进行高频、低频振动训练。振幅一般介于 1~10 mm 之间, Yue 等<sup>[17]</sup>认为振幅在 4 mm 以上时, 血液黏度会随振幅的增大而逐渐增高, 故多选取 3~5 mm 的振幅。本研究将振幅

统一选取为 4 mm。

### 2) 实验设计。

采用全身振动训练法, 分别以高频 55 Hz 和低频 25 Hz 进行振动力量训练的男性和女性受试者随机分成 4 个实验组, 即高频男性组(H-M)25 人、高频女性组(H-F)22 人、低频男性组(L-M)25 人、低频女性组(L-F)23 人(见表 1)。要求受试者在 6 个月实验期间保持常规饮食及作息, 不服用任何形式的营养补剂、刺激性饮品与药物, 并确保每次训练前 24 h 内不进行任何形式的剧烈运动。

对每名受试者的颈动脉指标共测量 4 次, 分别为实验前(S<sub>0</sub>)、训练 2 个月末(S<sub>2</sub>)、训练 4 个月末(S<sub>4</sub>)和训练 6 个月末(S<sub>6</sub>)。测量日的数据采集时间段相同, 且距离上一次训练结束至少 24 h, 以避免急性效应产生的影响。测试前 4 h 内除饮水外, 禁止摄入任何食物。

表 2 各组受试者身体基础情况( $\bar{x} \pm s$ )

性别	n/人	年龄/岁	身高/cm	体重/kg	静态心率/(次·min <sup>-1</sup> )	肱动脉血压/mmHg	
						收缩压	舒张压
H-M	25	63±2	169.5±3.1	69.3±5.5	73±5	134±8	79±7
H-F	22	61±1	159.8±2.6	52.5±4.0	68±5	113±7	61±8
L-M	25	64±1	171.2±2.9	66.8±6.2	72±5	128±9	72±6
L-F	23	62±1	158.1±3.2	54.8±3.4	71±6	105±8	66±5

### 3) 振动训练方案。

采用 Power Plate<sup>®</sup> 振动训练台系列中的 Pro 5 AIRdaptive 仪器, 每周训练 3 次, 共计 24 周。振动方式以振动面板整体垂直方向为主; 采用 Acceleration Training<sup>®</sup> 加速训练模式; 利用 AIRdaptive<sup>™</sup> 3 级气囊承重技术进行个人 65%~70% 承重负荷的设定, 并根据受试者训练中的下肢肌力增长及时调整负荷, 以维持预定强度。训练过程中, 受试者在振动台上采用不同同步态的半蹲姿势或借助橡皮带进行躯体控制。训练日的时间安排在 16:30—18:30, 具体训练计划: 练习姿势(静力性半蹲)、振动频率(25~55 Hz)、振动加速度(15~20 m/s<sup>2</sup>)、训练组数(4 组)、每组时间(30~45 s、组间间歇 2 min)。

### 4) 动脉血管弹性的测量。

采用韩国 SA-9900MT 彩色多普勒超声诊断仪的体表 M 型超声和二维超声成像技术测量颈动脉内径及横截面积的变化, 进而对体现动脉弹性的扩张度和僵硬硬度等相关指标进行计算和评价。受试者取左侧仰卧位, 颈部垫枕, 头略向后伸以充分伸展颈部, 由超声科医师使用高频探头(频率 5~12 MHz)在颈总动脉分叉处的近端后 1.5 cm 处, 对右侧颈动脉做横向和纵向扫查并追踪成像, 测量心脏收缩末期颈动脉根部内径(D<sub>s</sub>)和舒张末期颈动脉根部内径(D<sub>d</sub>), 以及收缩压 SBP

和舒张压 DBP。

以单位压力变化下的颈动脉根部横截面扩张性 AC(Arterial Compliance)和僵硬系数  $\beta$  ( $\beta$ -stiffness index)作为本研究评价动脉血管弹性的主要指标。两者的计算公式分别为<sup>[11, 19]</sup>:

$$AC = \frac{\pi(D_s^2 - D_d^2)}{4(SBP - DBP)} \quad (\text{mm}^2/\text{mmHg})$$

$$\beta = \frac{(\ln SBP - \ln DBP) \times Dd}{D_s - Dd}$$

## 1.3 数据统计分析

所有实验数据用 Microsoft Excel 2003 及 SPSS 13.0 软件进行处理和统计分析, 以平均值  $\pm$  标准差( $\bar{x} \pm s$ )表示。首先, 采用 KS 检验对各组数据进行正态性检验, 以各组数据服从正态分布且方差齐同为前提, 采用[性别(2)  $\times$  频率(2)  $\times$  时段(3)]三因素重复测量方差分析法, 考察性别、振动频率、持续时间三者对颈动脉弹性的综合影响效应, 并使用 LSD(最小显著差法)对各组在不同时间点的指标均值进行 Post Hoc(事后多重比较)检验, 统计检验水准  $\alpha = 0.05$ 。显著性水平为  $P < 0.05$ 。

## 2 结果及分析

### 2.1 振动训练对 AC 的影响

从表 3 的组内 T 检验结果可以看出, 随振动训练

时间的延长，高频率组 AC 均在 S<sub>4</sub>~S<sub>6</sub>时段出现显著性下降(P<0.05)；低频率组 AC 均在 S<sub>6</sub>时段出现显著性升高(P<0.05)。因不同性别和振动频率的各组在不

同时段内 AC 的变化幅度有差异，故采用三因素重复测量方差分析法，考察性别(2)、频率(2)、时段(3)等自变量对因变量 AC 的主效应及相互间的交互效应。

表 3 AC 随振动训练阶段的变化 ( $\bar{x} \pm s$ )

组别	mm <sup>2</sup> /mmHg			
	S <sub>0</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>6</sub>
H-M	0.112±0.041	0.106±0.037	0.097±0.028 <sup>1)</sup>	0.069±0.013 <sup>1)</sup>
H-F	0.105±0.032	0.100±0.029	0.093±0.021 <sup>1)</sup>	0.079±0.017 <sup>1)</sup>
L-M	0.108±0.038	0.110±0.040	0.115±0.042	0.123±0.045 <sup>1)</sup>
L-F	0.094±0.030	0.097±0.033	0.104±0.037	0.114±0.040 <sup>1)</sup>

1)与训练前相比具有显著性差异(P<0.05)

表 4 的方差分析结果显示，性别、频率、时段的主效应以及频率×时段、频率×性别、频率×性别×时段的交互效应均对 AC 的变化幅度有显著影响(P<

0.05)，且各自对因变量总效应的贡献大小依次为：E<sup>2</sup><sub>ta</sub>(频率)>E<sup>2</sup><sub>ta</sub>(频率×时段)>E<sup>2</sup><sub>ta</sub>(时段)>E<sup>2</sup><sub>ta</sub>(频率×性别)>E<sup>2</sup><sub>ta</sub>(性别)>E<sup>2</sup><sub>ta</sub>(频率×性别×时段)。

表 4 性别、频率、时段对 AC 变化幅度的影响

检验值	性别	频率	时段	频率×时段	性别×时段	频率×性别	频率×性别×时段
F	609.544	3 984.353	1 832.437	2 764.389	92.851	1 109.362	330.645
P	0.027	0.000	0.007	0.001	0.103	0.019	0.041
E <sup>2</sup> <sub>ta</sub>	0.633	0.926	0.867	0.908	0.205	0.804	0.487

表 5 的方差分析结果进一步表明，性别和频率在 S<sub>4</sub>—S<sub>6</sub>时段对 AC 的变化幅度有显著影响，也存在明显

的交互作用(P<0.05)，且各自对因变量总效应的贡献大小依次为：E<sup>2</sup><sub>ta</sub>(频率)>E<sup>2</sup><sub>ta</sub>(频率×性别)>E<sup>2</sup><sub>ta</sub>(性别)。

表 5 性别、频率在不同时段对 AC 变化幅度的影响

时段	性别			频率			频率×性别		
	F	P	E <sup>2</sup> <sub>ta</sub>	F	P	E <sup>2</sup> <sub>ta</sub>	F	P	E <sup>2</sup> <sub>ta</sub>
S <sub>4</sub> —S <sub>2</sub>	66.358	0.093	0.281	468.093	0.060	0.694	173.489	0.072	0.459
S <sub>6</sub> —S <sub>4</sub>	108.435	0.040	0.492	1 102.439	0.017	0.835	319.702	0.029	0.706

通过表 6 的组内 T 检验可以看出，高频率组 H-M、H-F 仅在 S<sub>6</sub>—S<sub>4</sub>段的降幅具有显著性差异(P<0.05)，而低频率组 L-M、L-F 在各时段仅有上升趋势，增幅均无显著性差异(P>0.05)；组间的多重比较检验显示，

H-M 的降幅高于 H-F，且在 S<sub>6</sub>—S<sub>4</sub>段出现显著性差异(P<0.05)；L-M 的增幅有较 L-F 偏低的趋势，但各时段均无显著性差异(P>0.05)。

表 6 各组 AC 在不同时段变化幅度 ( $\bar{x} \pm s$ ) 的差异

时段	mm <sup>2</sup> /mmHg			
	H-M	H-F	L-M	L-F
S <sub>4</sub> —S <sub>2</sub>	-0.009±0.005	-0.007±0.003	0.005±0.002	0.007±0.003
S <sub>6</sub> —S <sub>4</sub>	-0.028±0.012 <sup>1)</sup>	-0.014±0.006 <sup>1)2)</sup>	0.008±0.004	0.010±0.007

1)组内降幅，P<0.05；2)与 H-M 的降幅比较，P<0.05

### 2.2 振动训练对 β 的影响

从表 7 的组内 T 检验结果可以看出，随振动训练时间的延长，高频率组 β 均在 S<sub>4</sub>—S<sub>6</sub>时段出现显著性上升(P<0.05)；低频率组 β 均在 S<sub>6</sub>时段出现显著性下

降(P<0.05)。因不同性别和振动频率的各组在不同时段内 β 的变化幅度有差异，故采用三因素重复测量方差分析法，考察性别(2)、频率(2)、时段(3)等自变量对因变量 β 的主效应及相互间的交互效应。

表 7 β 随振动训练阶段的变化情况 ( $\bar{x} \pm s$ )

时段	H-M	H-F	L-M	L-F
S <sub>0</sub>	9.59±3.06	9.91±3.35	9.74±3.62	9.88±3.24
S <sub>2</sub>	9.83±3.71	10.09±3.92	9.71±3.55	9.82±3.07
S <sub>4</sub>	10.39±4.12 <sup>1)</sup>	10.48±4.39 <sup>1)</sup>	9.55±3.38	9.57±2.86
S <sub>6</sub>	12.27±4.95 <sup>1)</sup>	11.44±4.60 <sup>1)</sup>	8.77±3.04 <sup>1)</sup>	8.66±2.59 <sup>1)</sup>

1)与训练前相比，P<0.05

表 8 的方差分析结果显示, 性别、频率、时段的主效应以及频率×时段、频率×性别的交互效应均对β的变化幅度有显著影响( $P<0.05$ ), 且各自对因变量

总效应的贡献大小依次为:  $E^2_{ta}(\text{频率}) > E^2_{ta}(\text{频率} \times \text{时段}) > E^2_{ta}(\text{时段}) > E^2_{ta}(\text{频率} \times \text{性别}) > E^2_{ta}(\text{性别})$ 。

表 8 性别、频率、时段对β变化幅度的影响

检验值	性别	频率	时段	频率×时段	性别×时段	频率×性别	频率×性别×时段
<i>F</i>	590.201	3 326.417	1 730.129	2 506.256	76.360	1 062.853	135.098
<i>P</i>	0.030	0.000	0.009	0.002	0.148	0.021	0.054
$E^2_{ta}$	0.718	0.935	0.812	0.894	0.304	0.767	0.523

表 9 的方差分析结果进一步表明, 性别和频率在 S<sub>4</sub>—S<sub>6</sub> 时段对β的变化幅度有显著影响, 也存在明显

的交互作用( $P<0.05$ ), 且各自对因变量总效应的贡献大小依次为:  $E^2_{ta}(\text{频率}) > E^2_{ta}(\text{频率} \times \text{性别}) > E^2_{ta}(\text{性别})$ 。

表 9 性别、频率在不同时段对β变化幅度的影响

时段	性别			频率			频率×性别		
	<i>F</i>	<i>P</i>	$E^2_{ta}$	<i>F</i>	<i>P</i>	$E^2_{ta}$	<i>F</i>	<i>P</i>	$E^2_{ta}$
S <sub>4</sub> —S <sub>2</sub>	123.407	0.125	0.382	523.401	0.072	0.703	68.504	0.090	0.496
S <sub>6</sub> —S <sub>4</sub>	295.793	0.037	0.575	1240.106	0.014	0.871	102.358	0.023	0.684

通过表 10 的组内 *T* 检验可以看出, 高频率组 H-M、H-F 仅在 S<sub>6</sub>—S<sub>4</sub> 段的增幅具有显著性差异( $P<0.05$ ), 而低频率组 L-M、L-F 在各时段仅有下降趋势, 降幅均无显著性差异( $P>0.05$ ); 组间的多重比较检验

显示, H-M 的增幅高于 H-F, 且在 S<sub>6</sub>—S<sub>4</sub> 段出现显著性差异( $P<0.05$ ); L-M 的降幅有较 L-F 偏低的趋势, 但各时段均无显著性差异( $P>0.05$ )。

表 10 各组β在不同时段变化幅度的差异( $\bar{x} \pm s$ )

时段	H-M	H-F	L-M	L-F
S <sub>4</sub> —S <sub>2</sub>	0.56±0.17	0.39±0.10	-0.16±0.04	-0.25±0.05
S <sub>6</sub> —S <sub>4</sub>	1.88±0.35 <sup>1)</sup>	0.96±0.24 <sup>1)2)</sup>	-0.78±0.15	-0.91±0.23

1)组内增幅,  $P<0.05$ ; 2)与 H-M 的增幅比较  $P<0.05$

### 2.3 振动训练对心率和血压的影响

从表 11 的组内 *T* 检验结果可以看出, 各组受试者的静态心率在实验前、后无显著性差异( $P>0.05$ ); 高频率组 H-M 和 H-F 的肱动脉收缩压和舒张压均在

实验后有明显增长( $P<0.05$ ), 但尚未超出临界高血压范围(140/90 ~ 160/95 mmHg); 低频率组 L-M 和 L-F 的肱动脉收缩压和舒张压在实验前、后均无显著性差异( $P>0.05$ )。

表 11 各组受试者实验前、后的心率与肱动脉血压( $\bar{x} \pm s$ )变化

组别	静态心率/(次·min <sup>-1</sup> )		肱动脉收缩压/mmHg		肱动脉舒张压/mmHg	
	实验前	实验后	实验前	实验后	实验前	实验后
H-M	73±5	74±5	134±8	145±6 <sup>1)</sup>	79±7	88±6 <sup>1)</sup>
H-F	68±5	69±5	113±7	122±8 <sup>1)</sup>	61±8	72±5 <sup>1)</sup>
L-M	72±5	71±5	128±9	127±7	72±6	70±7
L-F	71±6	70±6	105±8	103±6	66±5	65±6

1)与实验前比较  $P<0.05$

### 3 讨论

目前, 已有研究表明, 振动训练不仅可以有效预防中老年妇女骨质疏松、改善骨矿结构, 还能帮助中老年人提高平衡控制能力, 降低跌倒的风险<sup>[1-4, 14, 16]</sup>。此外, 振动训练在提高最大摄氧量、增强血液循环、提高睾酮水平等方面均有一定效果<sup>[1-7]</sup>。但有关振动训

练对不同人群动脉血管弹性机能影响效应的研究报道还很少见, 对训练者“年龄、性别、振动频率以及训练时间”等因素的关注度更是不足。鉴于此, 本实验选取低龄老年人作为受试者, 以性别、振动频率为分组依据, 通过 24 周全身垂直振动训练, 监测颈动脉顺应性 AC 和僵硬度 β 等弹性指标随训练进程在不同时

段的变化特征。结果发现,以 55 Hz 进行高频振动训练的受试者,实验后的肱动脉血压增高,颈动脉弹性在训练后期明显降低,且男性降幅高于女性;以 25 Hz 进行低频振动训练的受试者,实验前后的肱动脉血压无显著性差异,颈动脉弹性在各时段的变化幅度不明显,仅在实验后略有上升,无性别差异。

振动训练负荷主要由振频、振幅和附加负荷构成。其中,振幅决定了肌肉所承受的离心作用,振频决定了肌肉所要承受的由加速度产生的力,附加负荷决定了肌肉的紧张度<sup>[1]</sup>。相关研究表明,在同一附加负荷和振幅下,振动频率越大,肌肉受到的刺激越大。刘北湘<sup>[18]</sup>在对青年男性进行 8 周 15~45 Hz 频率范围的振动训练后,发现与任满迎<sup>[1]</sup>对青年女性进行 8 周 25~50 Hz 频率范围的振动训练结果一致,即振频越高,肌肉力量的训练效果越好。然而,据相关文献报道,长期持续性的高频率振动不仅会使体内升压物质增加,还会使儿茶酚胺及其代谢产物异常,对自主神经系统产生不良影响,即交感神经的兴奋性增高,引起外周血管收缩和痉挛,管腔狭窄,血管壁出现增厚和纤维化,微循环的血管阻力随之增加,导致动脉血压升高<sup>[7]</sup>。动物实验研究表明,全身振动可引起强烈的血管收缩和机械应激反应,破坏血管内皮细胞(VEC)的紧密连接,导致 VEC 受损甚至发生凋亡,从而使其合成、释放的一氧化氮(NO)明显减少,且 NO 的水平随振动时间延长和强度增大,其下降幅度更加明显<sup>[20-21]</sup>;另外,振动引发的 VEC 受损和血管痉挛还会刺激血管紧张素 II(Ang II)浓度升高,其上升幅度随振动时间延长和强度增大而更加明显<sup>[22]</sup>;长时间接振所造成的 VEC 大量破坏,也会使缩血管物质——内皮素(ET)合成与释放增加,其增幅同样随振动时间延长和强度增大而更加显著<sup>[23]</sup>。

因此,考虑 24 周的长期高频振动训练使得 VEC 受损,不仅使舒张血管的重要因子 NO 的生物利用度降低,还进一步加强了交感肾上腺素能的缩血管紧张,使缩血管因子浓度上升,动脉壁受到慢性束缚,顺应性下降。此外,随着振动训练的延续,中膜平滑肌细胞(VSMC)的分泌功能会增强、基质增多,并出现增生,血管壁也开始增厚,最终导致动脉管壁的韧性减弱<sup>[24]</sup>。综合以上因素分析,长期高频振动对受试者 VEC、VSMC、血管神经调节以及血管活性物质等方面的累积效应,使其颈动脉弹性在训练后期出现了显著性降低。可以预测,若训练时间继续延长,则这种影响可能还会被进一步放大,以致对动脉血管弹性造成难以逆转的不良影响。故在全身振动训练的安全频率方面,结合本次实验结果,本研究认为 55 Hz 对于低龄老年

人 24 周的振动训练而言并非安全频率。虽然根据相关文献[2, 4, 6-7, 17-18, 29]可以得出 25~55 Hz 的建议频率范围,但考虑其参照的受试者几乎都是年轻运动员,且训练时限较短,因此具有一定的局限性,并不完全适用于长期进行全身振动训练的低龄老年人群。

在性别差异方面,高频振动组男性颈动脉弹性的降低幅度在训练后期高于女性,提示女性血管舒张的调节机能比男性强,考虑可能与女性体内雌激素对血管功能所产生的保护作用有关。Fjeldstad 等<sup>[25]</sup>以 80%RM 负荷对绝经前妇女实施为期 3 个月的中高强度力量训练,也未发现动脉顺应性有所下降。运动负荷的刺激可提高中枢  $\beta$ -内啡肽的含量,令雌二醇、孕酮含量增加,使低龄老年女性体内的雌激素水平得以改善<sup>[26]</sup>。雌激素不仅可通过影响血管紧张素转换酶的活性来直接扩张血管,还可通过雌激素受体(ER)实现对 VEC 功能的调节,即由 VEC 释放的 NO 所介导的内皮依赖性血管扩张功能,包括上调 NO 合成酶(eNOS)和下调内皮素及其受体。此外,也有利于前列腺素合成酶 PGs、NOS 等血管扩张酶基因的表达,以及内皮衍生超极化因子(EDHF)等扩血管因子的释放,并降低肾素、血管紧张素转化酶(ACE)等的浓度<sup>[27-28]</sup>。

然而,研究认为,与高频振动不同,较低频率的振动加速度小,能帮助静脉血液回流,提高周围动脉血管的扩张能力,降低大循环阻力,减轻心脏负担,使血压降低<sup>[6, 7, 29]</sup>。因此,适宜的机械振动可提升心血管机能,甚至对心血管疾病有预防和治疗作用。Suhr 等<sup>[29]</sup>研究发现,自行车运动员进行振动训练后,血管内皮生长因子(VEGF)水平有所提高,表明其有助于促进了血管生成,改善心脏微循环和外周末梢循环。本研究中,低频振动组的颈动脉弹性虽然变化幅度一直不明显,但在 24 周训练结束后却有显著上升,提示较长时间的低频振动力量训练有益于低龄老年人动脉血管弹性的维持与改善。

综上所述,从低龄老年人运动保健、康复医疗等领域中的作用上看,长期进行短时间的低频振动训练依然值得提倡;同时,也应警惕较高频振动训练对低龄老年人心血管系统的不利影响,尤其是部分患有心血管基础病变的高危人群更应谨慎。建议在后续研究中,进一步开展针对不同人群安全振动频率范围的研究,特别是要明确老年人高频振动的上限阈值;同时,还应密切关注不同频率和振幅的全身振动训练对老年人心脏泵血机能的影响效应。

## 参考文献:

[1] 任满迎,赵焕彬,刘颖,等. 振动力量训练即时效

- 应与结构性效应的研究进展[J]. 体育科学, 2006, 26(7): 63-66.
- [2] 王兴泽, 王冰, 胡贤豪. 振动力量训练综述[J]. 山东体育学院学报, 2007, 23(1): 63-66.
- [3] 周苏源, 危小焰. 基于振动力量训练的研究进展[J]. 首都体育学院学报, 2008, 20(5): 29-31.
- [4] 周桂琴, 尹军. 国内外振动训练在训练学领域比较分析[J]. 武汉体育学院学报, 2010, 44(12): 67-73.
- [5] 徐树礼. 站姿振动对血液流变性的影响[J]. 天津体育学院学报, 2012, 27(6): 535-539.
- [6] 欧阳秀雄, 湛超军. 振动训练同振幅不同频率与振动时间对血流量变化的研究[J]. 北京体育大学学报, 2008, 31(7): 929-931.
- [7] 马雪, 田振军, Ping Zhang, 等. 机械振动的心血管生物学效应研究综述[J]. 西安体育学院学报, 2010, 27(6): 709-715.
- [8] Burr J F, Bredin S S D, Phillips A, et al. Systemic arterial compliance following ultra-marathon[J]. *Int J Sports Med*, 2012, 33(3): 224-229.
- [9] 高磊. 动脉顺应性的研究进展[J]. 心血管病学进展, 2007, 28(1): 74-76.
- [10] Takeuchi K, Zhang B, Ideishi M, et al. Influence of age and hypertension on the association between small artery compliance and coronary artery disease[J]. *Am J Hypertens*, 2004, 17(12): 1188-1191.
- [11] 戴振宇. 超声成像技术评价高血压患者主动脉顺应性研究[D]. 温州: 温州医学院, 2009.
- [12] Vlachopoulos C, Aznaouridis K, Stefanadis C. Prediction of cardiovascular events and all-cause mortality with arterial stiffness: a systematic review and meta-analysis[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2010, 55(13): 1318-1327.
- [13] 朱蔚莉, 郑陆, 杜艳艳. 运动训练与人体血管弹性[J]. 中国运动医学杂志, 2009, 28(4): 460-462.
- [14] 陈金鳌, 杨帆, 陆阿明. 长期力量训练后老年人骨密度变化特征[J]. 北京体育大学学报, 2013, 36(7): 74-78.
- [15] 丁华, 付彦铭, 程杨, 等. 全身振动与骨质疏松症[J]. 沈阳体育学院学报, 2013, 32(1): 139-140.
- [16] Jordan M J, Norris S R, Smith D J, et al. Vibration training: an overview of the area, training consequences, and future considerations[J]. *J Strength Cond Res*, 2005, 19(2): 459-466.
- [17] Yue Z, Kleinöder H, Marées M De, et al. On the cardiovascular effects of whole body vibration part II. Lateral effects: statistical analysis[J]. *Studies in Applied Mathematics*, 2007, 119(2): 111-125.
- [18] 刘北湘. 振动波方向、频率对振动训练的影响[J]. 武汉体育学院学报, 2011, 45(6): 83-87.
- [19] Miyachi M, Donato A J, Yamamoto K, et al. Greater age-related reductions in central arterial compliance in resistance-trained men[J]. *Hypertension*, 2003, 41(1): 130-135.
- [20] 于永胜, 林立, 张春之, 等. 接振家兔血管内皮细胞 bcl-2、bax 表达及意义[J]. 中国公共卫生, 2007, 23(10): 1196-1197.
- [21] 林立, 张强, 聂继池, 等. 局部振动对家兔血浆一氧化氮浓度的影响[J]. 劳动医学, 2000, 17(1): 1-3.
- [22] 林立, 郭子林, 张强, 等. 局部振动对家兔血管紧张 II 和心钠素水平的影响[J]. 中国微循环, 2000, 4(4): 228-229.
- [23] 林立, 张强, 张春之, 等. 煤矿掘进工血浆血管内皮活性物质的测定及意义[J]. 放射免疫学杂志, 2003, 16(4): 210-212.
- [24] Curry B D, Bain J L, Yan J G, et al. Vibration injury damages arterial endothelial cells[J]. *Muscle and Nerve*, 2002, 25(4): 527-534.
- [25] Fjeldstad A S, Bemben M G, Bemben D A. Resistance training effects on arterial compliance in premenopausal women[J]. *Angiology*, 2009, 60(6): 750-756.
- [26] 刘君雯. 运动对围绝经期妇女雌激素、骨密度及血脂的影响[J]. 中国妇幼保健, 2010, 25(11): 1586.
- [27] 林守清. 雌激素对心血管系统功能的保护作用[J]. 中国实用妇科与产科杂志, 2002, 18(12): 718-720.
- [28] Noon J P, Trischuk T C, Gaucher S A, et al. The effect of age and gender on arterial stiffness in healthy Caucasian Canadians[J]. *J Clin Nurs*, 2008, 17(17): 2311-2317.
- [29] Suhr F, Brixius K, Bolck b, et al. Effects of short-term vibration and hypoxia during high-intensity cycling exercise on circulating levels of angiogenic regulators in humans[J]. *Appl Physiol*, 2007, 10(3): 474-483.