

·运动人体科学·

静力性拉伸对动脉硬度的急性影响

张亚军¹, 汤荣², 钱永东³, 张勇³

(1.绍兴文理学院 医学院, 浙江 绍兴 312000; 2.金华职业技术学院 师范学院, 浙江 金华 321017;
3.浙江师范大学 体育与健康科学学院, 浙江 金华 321004)

摘 要: 研究静力性拉伸对人体动脉血管硬度的急性作用, 并比较 3 种不同拉伸方式的作用效果差异。39 名高校健康学生(男性 18 名; 女性 21 名)分 3 次分别完成 3 种急性静力性拉伸(单侧小腿拉伸、单侧大腿拉伸、双侧大腿交替拉伸), 每次拉伸前和拉伸后即刻、15、30、45、60 min, 测试踝血管指数、血压、心率等指标。结果发现: 3 种静力性拉伸后踝血管指数显著下降, 男女左右侧的踝血管指数在拉伸后即刻和 15 min 均低于拉伸前基值, 单侧大腿拉伸与双侧交替大腿拉伸的踝血管指数在拉伸后 30、45 min 仍低于拉伸前。3 种拉伸方式作用效果存在显著差异, 在拉伸后即刻与 15 min, 男性单侧大腿拉伸与双侧大腿拉伸的踝血管指数低于单侧小腿拉伸, 女性双侧大腿拉伸的踝血管指数低于单侧小腿拉伸与单侧大腿拉伸。结论: 对心血管系统负荷较小的静力性拉伸能够降低动脉硬度, 效果表现为: 双侧交替大腿拉伸 > 单侧大腿拉伸 > 单侧小腿拉伸, 其中, 双侧交替大腿拉伸降低动脉僵硬度的效果至少可维持 45 min。

关键词: 运动生理学; 静力性拉伸; 动脉硬度; 健康年轻人; 运动干预; 急性作用

中图分类号: G804.2 文献标志码: A 文章编号: 1006-7116(2020)05-0138-07

Acute effects of static stretching on arterial stiffness

ZHANG Ya-jun¹, TANG Rong², QIAN Yong-dong³, ZHANG Yong³

(1.School of Medicine, Shaoxing University, Shaoxing 312000, China;

2.School of Teacher, Jinhua Polytechnic, Jinhua 321017, China;

3.School of Physical Education and Health Sciences, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, China)

Abstract: To study the acute effect of static stretching on human arterial stiffness, compare the effects of three different stretching modes on arterial stiffness. 39 healthy young subjects (18 males and 21 females) completed three acute static stretching in three separate sessions (unilateral calf stretching, unilateral thigh stretching, and bilateral thighs stretching alternately), and cardio-ankle vascular index (CAVI), blood pressure and heart rate of participants were measured before stretching and 0, 15 min, 30 min, 45 min and 60 min after stretching. The results show that: (1) the CAVI decreased significantly after three kinds of static stretching, and CAVI of both left and right sides of male and female immediately after stretching and 15 min were lower than those before stretching, and the 30 min and 45 min of unilateral thigh stretching and bilateral alternating thigh stretching were still lower than those before stretching. (2) There were significant differences in effects of the 3 stretching methods, and at immediately and 15 min after stretching, the CAVI of unilateral and bilateral thigh stretching in males was lower than that of unilateral calf stretching, and CAVI of female bilateral thigh stretching was lower than that of unilateral calf stretching and unilateral thigh stretching. Conclusion: static stretching with low load of cardiovascular system can reduce arterial stiffness, and the effect is as follows: bilateral alternating thigh stretch > unilateral thigh stretch > unilateral calf stretching. Among them, the effect of bilateral alternate thigh stretching to reduce arterial stiffness can

收稿日期: 2019-12-11

基金项目: 国家社科基金一般项目(17BTY008)。

作者简介: 张亚军(1984-), 男, 讲师, 博士, 研究方向: 运动健康促进理论与实践。E-mail: zhangyajuanq12@163.com 通信作者: 张勇

at least maintain 45 min.

Key words: sports physiology; static stretching; arterial stiffness; healthy youth; exercise intervention; acute effects

心血管疾病一直是公共健康领域关注的重点,动脉硬化增加被认为是心血管疾病发展的独立危险因素^[1]。动脉硬度的运动干预一直是运动科学领域关注的焦点。从目前来看,有氧运动对动脉硬度的改善已得到大量研究证实^[2-4],而抗阻运动的效果还存在争议^[2],一直是研究的热点。Cortez-Cooper 等^[5]在研究抗阻训练和抗阻加有氧混合训练对血管顺应性的作用时将拉伸运动作为对照组,结果未发现抗阻和抗阻加有氧组动脉顺应性发生变化,却发现拉伸组的血管顺应性显著改善,这个意外的发现使得拉伸对动脉硬度的影响受到了关注。拉伸若能改善血管弹性,那它至少有两个优势,一是负荷低,二是场地设备要求低,对那些因能力或场地限制而无法或不能经常进行运动的人的血管健康干预具有重要现实意义。从现有研究看, Yamamoto 等^[6]人采用横向研究发现中老年人的躯干柔韧性越差、动脉硬化越大,但这并不能得出两者之间存在因果关系。最近的几项纵向研究为拉伸对动脉硬度的积极作用提供了令人信服的证据^[7-9],但这些研究更认可拉伸诱导的局部效应(拉伸局部的动脉硬化改变),而从预实验来看,未拉身侧的动脉硬化也发生了一定变化,提示存在一定的全身效益的可能。从目前来看,有关拉伸对中心动脉硬度的研究较少。另外,尽管脉搏波速度(pulse wave velocity, PWV)一直被认为是评价动脉硬度的“金标准”^[10],但PWV会受到血压变化的影响,不排除血压变化的影响将难以对动脉硬度的运动反应做出准确评估。近年来考虑了血压影响的心踝血管指数(cardio-ankle vascular index, CAVI)在评估全身动脉硬化中得到应用^[11-13],但在拉伸与动脉硬度的研究中使用较少,仅在一篇小腿拉伸研究中得到应用^[8],而在实践中仅作小腿拉伸并不多见。基于以上背景,本研究基于实践应用出发,循序渐进设计了单侧小腿静力性被动拉伸、单侧大腿静力性被动拉伸和双侧交替大腿静力性被动拉伸3种递进层次的拉伸方式,研究静力性拉伸对人体动脉血管硬度的急性作用,并比较3种不同拉伸方式的作用效果差异,分析和探讨静力性拉伸对动脉硬度的可能作用机制,以期拉伸在血管健康干预中的应用提供参考。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

招募高校健康学生(本科生、研究生)男女各21人参与该项研究。实验前进行了问卷调查和身体机能检

查,实验对象健康状况良好,无心血管疾病家族史,所有受试者近3个月内无大强度运动经历。在实验期间1名男性受试者脚踝受伤,2名男性受试者参与了大强度运动,最终39名受试者(男性18名,女性21名)实验数据纳入统计分析。受试者一般情况见表1。

表1 实验对象基本情况(M±SD)

性别	年龄/岁	身高/m	体质量/kg	BMI/(kg·m ⁻²)
男	24.72±1.41	1.74±0.05	67.74±7.55	22.50±2.74
女	23.86±1.11	1.60±0.07	55.32±7.75	21.60±2.97

1.2 实验程序与方案

实验前调查受试者及家族心血管疾病情况及运动经历,测试受试者身高、体质量、肺功能、血压、心电图等,排除心血管异常,保证实验的安全性和科学性。正式实验前1星期,向受试者介绍实验流程和相关注意事项,征得同意并签订协议书。在正式实验前1星期熟悉实验程序。实验期间不吸烟、不喝酒、不喝咖啡,正常饮食。每次测试前72h不得参加剧烈运动。

1) 实验程序。

所有受试者先后分3次分别完成单侧小腿静力性拉伸、单侧大腿静力性拉伸、双侧交替大腿静力性拉伸3种急性静力性拉伸,每两次拉伸之间间歇至少1星期。在每次拉伸前、拉伸后即刻15、30、45、60min,由专职人员采用日本福田公司的VS-1000动脉硬化检测仪测试受试者CAVI、血压、心率等指标,CAVI通过计算刚度参数 β 反映, $\beta=2\rho\times l/(P_s-P_d)\times l_n(P_s/P_d)\times PWV^2$,其中 ρ 是血液密度, P_s 和 P_d 分别是收缩压和舒张压,PWV是主动脉瓣和踝动脉之间测量的脉搏波速度^[14]。实验测试过程受试者全程处于仰卧静躺状态,实验过程室温控制在23~25℃。

2) 拉伸方案。

基于拉伸对动脉硬度的作用分析和实践应用的角度,研究递进式设计了单侧小腿静力性拉伸、单侧大腿静力性拉伸、双侧交替大腿静力性拉伸3种拉伸方式。通过比较拉伸侧与未拉伸侧,分析拉伸对动脉硬度的作用;通过比较小腿拉伸和大腿拉伸,分析拉伸程度与拉伸效果的差异。在此基础上,基于实践应用考虑,研究双侧交替大腿拉伸对动脉硬度的影响。实验中,单侧拉伸时统一以受试者右侧为拉伸侧,左侧

为未拉伸侧(对照侧)。

(1)单侧小腿静力性拉伸。受试者仰卧平躺,一名实验人员一手固定右侧膝关节,另一手紧握受试者右侧脚掌被动背屈,拉伸受试者小腿。当受试者感受到小腿后侧被拉伸并伴有轻微疼痛感时保持 30 s,随后间歇 10 s,共重复 6 次。另一名实验人员固定左侧下肢,保证未拉伸侧下肢始终保持不动^[8,14]。

(2)单侧大腿静力性拉伸实验。受试者仰卧平躺,一名实验人员一手固定右侧膝关节,保持腿部伸直,另一手握住受试者右侧脚踝处,缓缓抬起拉伸大腿后侧,受试者感到被拉伸并伴有轻微疼痛感时然后保持 30 s,随后间歇 10 s,共重复 6 次。另一名实验人员固定左侧下肢,保证未拉伸侧下肢始终保持不动。

(3)双侧大腿(交替)拉伸。双侧大腿交替静力性被动拉伸同单侧大腿静力性拉伸方式相同,但双侧拉伸间歇不休息,左右侧交替进行,共重复 6 次。

1.3 统计学分析

所有数据采用 SPSS 21.0 for windows 进行处理,结果用 $M \pm SD$ 表达。采用配对 T 检验对拉伸侧与未拉伸侧进行比较分析,采用双因素重复测量方差分析对不同时间点和不同拉伸方式的差异进行分析。所有统计分析显著性水平为 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 静力性拉伸前后心率与血压

从表 2、表 3 发现,3 种静力性拉伸方式运动后,无论男性还是女性心率与血压整体上没有显著性变化。仅在个别点,拉伸后 60 min 心率低于运动前,可能与受试者长时间静卧休息有关。而舒张压在某些点高于运动前,可能与血液循环的改变和调节有关。整体来看,3 种拉伸对心血管系统负荷较小,拉伸前后心率和血压相对稳定,无明显变化,均处于正常范围。

表 2 男性 3 种拉伸方式心率、血压的变化情况($M \pm SD$)

指标	基值	拉伸后 即刻	拉伸后 15 min	拉伸后 30 min	拉伸后 45 min	拉伸后 60 min	P
单侧小腿							
右收缩压/(mmHg)	128.56±13.46	127.94±10.22	128.61±12.08	128.50±10.80	127.56±12.29	126.39±13.69	0.695
左收缩压/(mmHg)	125.72±11.18	125.06±10.53	125.39±8.79	127.67±9.41	126.22±10.16	126.89±10.29	0.517
右舒张压/(mmHg)	73.56±8.10	75.33±6.91	75.22±7.15	75.44±6.49	73.94±6.92	74.56±7.47	0.415
左舒张压/(mmHg)	74.56±7.58	74.72±6.88	73.72±7.64	75.33±7.05	75.17±7.25	76.11±7.35	0.455
HR/(次·min ⁻¹)	62.56±8.70	62.06±8.20	60.44±6.93	60.50±8.02	62.17±10.72	60.39±7.62 ¹⁾	0.353
单侧大腿							
右收缩压/(mmHg)	129.50±14.31	128.50±10.88	128.22±9.83	129.22±10.96	129.06±10.28	129.33±10.81	0.943
左收缩压/(mmHg)	127.28±12.40	125.00±10.74	124.89±9.33	125.83±12.35	125.33±11.38	127.28±11.20	0.490
右舒张压/(mmHg)	73.78±9.18	76.00±8.77	75.78±8.52	75.94±8.36	74.72±6.38	75.78±7.58	0.509
左舒张压/(mmHg)	74.94±9.38	76.33±9.06	73.61±6.26	74.17±9.45	73.50±7.72	76.94±8.48	0.075
HR/(次·min ⁻¹)	61.61±7.94	63.06±6.84	64.94±11.98	61.94±5.60	62.67±8.94	61.17±6.72	0.364
双侧大腿							
右收缩压/(mmHg)	128.44±12.08	129.94±11.46	129.17±12.80	127.89±8.83	127.61±11.35	129.06±10.03	0.724
左收缩压/(mmHg)	126.50±9.93	125.67±9.77	123.00±8.04	124.44±8.96	123.33±8.79	126.00±11.58	0.186
右舒张压/(mmHg)	74.17±6.05	75.83±7.47	75.28±6.44	74.17±5.48	75.44±7.15	76.94±7.81 ¹⁾	0.259
左舒张压/(mmHg)	71.94±5.91	74.33±5.81 ¹⁾	73.11±6.94	72.61±4.82	74.00±6.35	75.22±5.70 ¹⁾	0.139
HR/(次·min ⁻¹)	64.56±8.28	61.33±8.11	61.44±6.22	64.11±8.47	61.67±8.10	60.78±8.30	0.196

1)与拉伸前基值相比, $P < 0.05$

表3 女性3种拉伸方式心率与血压的变化情况($M\pm SD$)

指标	基值	拉伸后 即刻	拉伸后 15 min	拉伸后 30 min	拉伸后 45 min	拉伸后 60 min	<i>P</i>
单侧小腿							
右收缩压/(mmHg)	116.29±9.30	116.33±8.97	116.10±10.31	116.10±11.00	116.48±9.73	116.14±10.15	0.998
左收缩压/(mmHg)	113.52±13.18	114.57±10.65	113.10±10.99	112.86±9.87	114.24±9.26	112.38±11.34	0.530
右舒张压/(mmHg)	71.43±7.53	72.29±9.04	71.14±8.28	73.29±7.88	72.33±6.36	73.52±7.51 ¹⁾	0.203
左舒张压/(mmHg)	70.33±7.34	70.95±7.01	70.90±7.40	72.33±6.66	72.95±6.18	72.14±6.86	0.682
HR/(次·min ⁻¹)	67.00±11.38	71.29±15.72	67.81±10.09	66.95±8.39	66.67±7.83	67.10±8.83	0.580
单侧大腿							
右收缩压/(mmHg)	114.43±10.95	116.52±10.80	115.05±11.17	113.86±10.64	113.57±11.03	116.19±10.26	0.074
左收缩压/(mmHg)	112.14±9.36	111.95±10.41	113.71±11.38	111.90±11.27	111.29±10.20	114.24±8.94	0.242
右舒张压/(mmHg)	71.62±7.15	72.52±9.13	73.10±8.46	70.48±8.86	70.86±8.49	73.00±7.54	0.550
左舒张压/(mmHg)	70.24±6.91	70.71±7.75	70.95±7.95	70.29±7.83	71.14±8.60	71.67±7.70	0.749
HR/(次·min ⁻¹)	69.67±7.93	66.76±9.42	67.10±8.19	67.90±12.83	65.52±12.56	65.86±10.12 ¹⁾	0.445
双侧大腿							
右收缩压/(mmHg)	115.10±9.96	116.19±10.71	115.19±9.47	114.81±8.69	114.29±8.63	116.90±9.74	0.445
左收缩压/(mmHg)	113.71±9.85	113.95±10.21	113.71±9.80	113.33±9.64	113.57±10.06	113.95±8.62	0.988
右舒张压/(mmHg)	70.14±6.83	72.52±7.45	70.90±6.21	71.05±6.21	72.05±6.64	73.14±6.73 ¹⁾	0.152
左舒张压/(mmHg)	69.48±5.90	71.95±6.58	71.33±5.99	70.38±4.58	71.81±5.72	71.86±5.44	0.140
HR/(次·min ⁻¹)	70.05±11.87	72.57±17.56	70.43±16.49	66.76±9.86	70.90±16.15	71.57±13.90	0.316

1)与拉伸前基值相比, $P<0.05$

2.2 单侧小腿静力性拉伸前后 CAVI

从表4、表5发现,小腿拉伸后,男女性拉伸侧和未拉伸侧CAVI均下降,随后逐渐恢复。男性拉伸侧拉伸后30min的CAVI仍低于拉伸前基值($P<0.01$);未拉伸侧拉伸后30min的CAVI也低于拉伸前基值($P<0.05$);女性拉伸侧拉伸后15min的CAVI仍低于拉伸前基值($P<0.01$);未拉伸侧拉伸后15min的CAVI也低于拉伸前基值($P<0.05$);从拉伸侧与未拉伸侧的比较来看,男女性在拉伸前拉伸侧与未拉伸侧CAVI无差异($P>0.05$),女性拉伸侧拉伸后即刻的CAVI低于未拉伸侧($P<0.01$)。总的来说,单侧小腿静力性拉伸可导致健康年轻人群拉伸侧和未拉伸侧动脉硬度均出现下降(拉伸侧效果更为明显),动脉硬度改善效果男性维持时间至少30min,女性至少15min。

2.3 单侧大腿静力性拉伸前后 CAVI

单侧大腿拉伸后,男女性拉伸侧和未拉伸侧CAVI均下降,随后逐渐恢复(见表4、表5)。男性拉伸侧拉伸后45min的CAVI低于拉伸前基值($P<0.01$);未拉伸侧拉伸后30min的CAVI仍低于拉伸前基值($P<0.01$);女性拉伸侧的CAVI在拉伸后45min仍低于运动前($P<0.05$),在拉伸后60min恢复至拉伸前水平,未拉伸侧CAVI在拉伸后30min仍低于运动前($P<0.05$),在拉伸后60min恢复至拉伸前水平;从拉伸侧与未拉伸侧的比较来看,男女性在拉伸前拉伸侧与未拉伸侧

的CAVI无差异($P>0.05$)。总的来说,单侧大腿静力性拉伸后,拉伸侧与未拉伸侧动脉硬度均有改善,拉伸侧血管硬度改善效果至少可维持45min,未拉伸侧的血管硬度改善效果至少可维持30min。

2.4 双侧大腿交替静力性拉伸前后 CAVI

男性和女性在双侧大腿交替静力性拉伸后,双侧CAVI下降,随后逐渐恢复。双侧CAVI在拉伸后45min仍低于拉伸前基值($P<0.05$),拉伸后60min恢复至拉伸前水平,与拉伸前基值无差异($P>0.05$)。总的来说,男女性双侧大腿交替静力性拉伸后,两侧动脉硬度皆有改善,效果维持时间至少45min(见表4、表5)。

2.5 三种静力性拉伸前后 CAVI 比较

3种拉伸方式拉伸前CAVI无差异($P>0.05$),拉伸后较短时间里存在差异,拉伸后即刻和拉伸后15min的CAVI在3种拉伸方式之间存在差异。主要表现为:男性在单侧大腿和双侧大腿拉伸后的CAVI低于单侧小腿拉伸,女性双侧大腿拉伸的CAVI低于单侧小腿拉伸和单侧大腿拉伸。在男性中,没有发现单侧大腿拉伸与双侧大腿交替拉伸之间存在差异。女性中,没有发现单侧大腿拉伸与单侧小腿拉伸之间存在差异。结合相关均值情况以及前面不同拉伸后动脉硬度改善的维持时间情况,3种静力性拉伸方式对动脉硬度的作用效果表现为:双侧交替大腿拉伸方式>单侧大腿拉伸方式>单侧小腿拉伸方式。

表 4 男性 3 种静态拉伸前后不同时间点动脉硬度结果($M \pm SD$)

指标	基值	拉伸后 即刻	拉伸后 15 min	拉伸后 30 min	拉伸后 45 min	拉伸后 60 min
单侧小腿						
右侧 CAVI	5.96±0.54	5.58±0.51 ²⁾	5.70±0.54 ²⁾	5.75±0.50 ²⁾³⁾	5.86±0.52 ⁴⁾⁵⁾	5.99±0.48 ⁴⁾⁶⁾⁸⁾⁹⁾
左侧 CAVI	5.91±0.51	5.63±0.48 ²⁾	5.73±0.54 ¹⁾	5.74±0.48 ²⁾	5.82±0.41 ³⁾	6.03±0.46 ⁴⁾⁶⁾⁸⁾⁹⁾
单侧大腿						
右侧 CAVI	6.10±0.56	5.44±0.49 ²⁾¹⁰⁾	5.54±0.48 ²⁾¹⁰⁾	5.60±0.46 ²⁾³⁾	5.82±0.50 ²⁾⁴⁾⁶⁾⁷⁾	5.93±0.51 ⁴⁾⁶⁾⁸⁾
左侧 CAVI	6.08±0.61	5.46±0.51 ²⁾¹⁰⁾	5.57±0.50 ²⁾¹⁰⁾	5.63±0.45 ²⁾	5.89±0.47 ⁴⁾⁶⁾⁸⁾	5.99±0.48 ⁴⁾⁶⁾⁸⁾
双侧大腿						
右侧 CAVI	6.04±0.43	5.30±0.54 ²⁾¹⁰⁾	5.44±0.43 ²⁾	5.67±0.55 ²⁾⁴⁾	5.84±0.48 ¹⁾⁴⁾⁶⁾	5.94±0.51 ⁴⁾⁶⁾⁸⁾
左侧 CAVI	6.03±0.48	5.32±0.50 ²⁾¹⁰⁾	5.49±0.49 ²⁾¹⁰⁾	5.71±0.55 ²⁾⁴⁾⁵⁾	5.86±0.56 ¹⁾⁴⁾⁶⁾	5.98±0.52 ⁴⁾⁶⁾⁸⁾
P 值						
右侧 CAVI	0.255	0.017	0.064	0.338	0.935	0.814
左侧 CAVI	0.309	0.002	0.020	0.521	0.677	0.808

与基值相比, 1) $P < 0.05$, 2) $P < 0.01$; 与拉伸后即刻相比, 3) $P < 0.05$, 4) $P < 0.01$; 与拉伸后 15 min 相比, 5) $P < 0.05$, 6) $P < 0.01$; 与拉伸后 30 min 相比, 7) $P < 0.05$, 8) $P < 0.01$; 9)与拉伸后 45 min 相比, $P < 0.05$; 10)与小腿拉伸相比, $P < 0.05$

表 5 女性 3 种静态拉伸前后不同时间点动脉硬度结果($M \pm SD$)

指标	基值	拉伸后 即刻	拉伸后 15 min	拉伸后 30 min	拉伸后 45 min	拉伸后 60 min
单侧小腿						
右侧 CAVI	5.98±0.66	5.58±0.65 ²⁾¹⁰⁾¹¹⁾	5.69±0.49 ²⁾¹⁰⁾	5.84±0.61 ⁴⁾⁵⁾	5.87±0.59 ⁴⁾⁵⁾	5.96±0.58 ⁴⁾⁶⁾
左侧 CAVI	5.97±0.72	5.72±0.69 ¹⁾¹⁰⁾	5.76±0.56 ¹⁾¹⁰⁾	5.81±0.58	5.89±0.57 ³⁾⁷⁾	5.99±0.58 ⁴⁾⁶⁾⁸⁾
单侧大腿						
右侧 CAVI	6.09±0.64	5.41±0.48 ²⁾	5.56±0.50 ²⁾⁴⁾¹⁰⁾	5.72±0.55 ²⁾⁴⁾⁶⁾	5.88±0.55 ²⁾⁴⁾⁶⁾⁷⁾	6.02±0.60 ⁴⁾⁶⁾⁸⁾⁹⁾
左侧 CAVI	6.09±0.70	5.52±0.56 ²⁾	5.60±0.54 ²⁾¹⁰⁾	5.75±0.60 ²⁾⁴⁾⁶⁾	5.91±0.58 ⁴⁾⁶⁾⁷⁾	5.95±0.63 ⁴⁾⁶⁾⁸⁾
双侧大腿						
右侧 CAVI	5.97±0.43	5.36±0.52 ²⁾	5.30±0.49 ²⁾	5.70±0.58 ²⁾⁴⁾⁶⁾	5.88±0.55 ¹⁾⁴⁾⁶⁾⁷⁾	5.98±0.59 ⁴⁾⁶⁾⁸⁾
左侧 CAVI	5.96±0.48	5.39±0.59 ²⁾	5.39±0.53 ²⁾	5.70±0.56 ²⁾⁴⁾⁶⁾	5.87±0.48 ¹⁾⁴⁾⁶⁾⁷⁾	5.98±0.58 ⁴⁾⁶⁾⁸⁾
P 值						
右侧 CAVI	0.373	0.067	0.000	0.277	0.995	0.734
左侧 CAVI	0.303	0.012	0.001	0.501	0.938	0.802

与基值相比, 1) $P < 0.05$, 2) $P < 0.01$; 与拉伸后即刻相比, 3) $P < 0.05$, 4) $P < 0.01$; 与拉伸后 15 min 相比, 5) $P < 0.05$, 6) $P < 0.01$; 与拉伸后 30 min 相比, 7) $P < 0.05$, 8) $P < 0.01$; 9)与拉伸后 45 min 相比, $P < 0.05$; 10)与双侧大腿拉伸相比, $P < 0.05$; 11)与未拉伸侧相比, $P < 0.01$

3 讨论

从本研究结果来看, 无论男性还是女性, 3 种静力性拉伸后 CAVI 均呈现下降, 且下降程度和维持时间与拉伸程度有关(小腿拉伸与大腿拉伸, 单侧拉伸与双侧拉伸), 表现为双侧交替大腿拉伸 > 单侧大腿拉伸 > 单侧小腿拉伸, 提示拉伸后动脉硬度的下降确实与拉伸有关, 也证实了拉伸对动脉硬度的积极作用。这些研究发现对静力性拉伸在血管健康干预中的应用具有重要价值, 为血管健康干预, 尤其是那些因身体能力或场地限制而无法或不能经常进行运动的个体提供了新的选择。

与已有研究相比, 本研究不仅发现一次短时急性拉伸(保持 30 s, 间歇 10 s, 重复 6 次)可导致动脉硬度下降, 而且还发现了未拉伸侧的动脉硬度也存在变化。这与已有的研究结果并不相同^[8]。在 Yamato 等^[8]的研究中也只发现了拉伸侧血管硬度的下降, 而并未发现未

拉伸侧血管硬度出现明显变化, 认为静力性拉伸导致的血管硬度变化是局部机械效应的结果, 但对于本研究所发现的未拉伸侧的变化, 仅仅通过局部的机械效应似乎是难以解释的。本研究采用 CAVI 来反映动脉血管硬度, 而 CAVI 是在心踝 PWV 基础上, 剔除血压变化对 PWV 的影响, 进而通过计算刚度参数来反映血管硬度的指标。也就是说, 它是考虑了血压影响的 PWV 的矫正指标。因此, 有必要从 PWV 的计算模型来考虑其影响因素。根据 PWV 的计算模型, PWV 与血管壁厚度、血管弹性模量(弹性越大, 弹性模量越小)、血管跨壁压(内部压力-外部压力)的平方根成正比, 与动脉内径和血液密度的平方根成反比^[15]。拉伸导致的动脉硬度下降最终可能通过跨壁压的下降(内部压力下降或外部压力增加)、弹性模量下降(弹性增加)、动脉内径增加来实现。从已有研究来看, 有人认为动脉硬度的增加与交感神经活性增加有关, 认为拉

伸训练可以诱导神经调节^[6],导致交感神经活性减弱,副交感神经活性增强^[6];也有人认为与局部的直接机械效应有关^[7]。有研究已经发现,单腿外部机械性挤压后会降低外周脉搏波速度,而未挤压过腿的外周脉搏波速度和中央脉搏波速度没有改变^[7],认为拉伸运动可以给予外周动脉挤压和伸展,拉伸对外周动脉的局部机械作用可能导致了动脉硬度的下降;还有假设提出拉伸对动脉施加了牵引刺激,这种持续纵向拉伸可以增加动脉壁中的弹性蛋白和胶原蛋白含量,从而导致基质和平滑肌细胞适应,有利于横截面动脉顺应性^[8]。研究认为拉伸导致的交感神经活性的减弱可通过血管舒张来实现血管内径增加,拉伸导致的外部机械挤压可通过增加外部压力来实现跨壁压的下降,而急性拉伸也可能通过内皮源性舒张因子 NO 的合成和释放实现内皮功能的暂时改善(血管弹性增加),长期反复拉伸可改善血管壁的蛋白组成,进而提高血管弹性。

在本研究中,影响 CAVI 的血液密度不变,拉伸后血压没有明显变化,那么,影响因素可能存在于弹性改善、跨壁压下降、动脉内径增加 3 个方面。从研究结果来看,拉伸后拉伸侧和未拉伸侧的动脉硬度都发生了变化,只是拉伸侧效果更为明显,这样的结果似乎不能仅从局部机械性刺激中得到解释,也可能存在全身调节机制。本研究认为,拉伸在对局部血管形成直接机械刺激,除局部血管的跨壁压下降外,也可能导致了交感神经活性减弱,全身血管扩张,血管内径增加,进而引起 CAVI 增加。毛细血管在骨骼肌内呈“网状”分布,以促进血液-组织之间的交换,拉伸时会导致毛细血管长度增加、直径变小、外部压力增加,局部血流减少,诱导产生类似肌肉缺血的现象,导致动脉血管舒张,这种与拉伸相关的血流量和微血管组织氧合的局部变化已得到了相关研究的确证^[19-21]。Trajano 等^[20]的研究发现,与间歇拉伸相比,相同量的连续拉伸导致氧合血红蛋白下降更为明显,连续拉伸诱导产生了更大的缺血环境,而作为对缺血或缺氧刺激的补偿机制,将导致局部血管出现舒张^[22],这也将一定程度引起未拉伸血管的血流的变化,而血流的改变引起血管剪切应力变化,进而通过一氧化氮作用引起血管舒张。而拉伸可引起的自主神经系统活性的变化也得到了认同,通过心率变异性分析评估已经发现,急性^[23]或长期^[24]拉伸会减少交感神经活性,增加副交感神经活性,交感迷走神经平衡降低,进而产生全身效应。另外,急性拉伸不太可能改善血管壁的蛋白组成,但可能暂时改善拉伸局部的血管的内皮功能,进而提高血管弹性。拉伸导致的局部血液动力学的变化也可导致循环的变化,中央循环的变化反过来可能

会影响非拉伸腿的血流量。总的来看,拉伸不仅引起血管的形态变化,还引发了一系列反应。越来越多的证据表明,血管内皮细胞含有机敏感觉复合物,可快速反应机械负荷的变化,并启动特定的适应性反应,以重新平衡稳态^[25]。总的来看,拉伸降低血管硬度的作用已得到研究证实,今后应以中老年人人群为对象开展长期干预研究。

拉伸对血压的影响还存在争论。有研究发现对单个肌群的急性拉伸^[19]或全身肌群的长期拉伸^[24]可降低血压。也有研究发现急性全身拉伸^[26]或长期拉伸干预^[5]后血压没有发生明显变化。但有学者认为已有研究中有关拉伸对血压作用结果的这种差异可能与研究对象(性别、年龄)、拉伸负荷量,基线血压、测试时间等的不同有关^[27],但从本研究整体来看,无论男性还是女性,3 种急性拉伸前后心率和血压相对稳定,无明显变化,均处于正常范围,这可能与本研究对象均为血压正常的健康年轻人有关。拉伸能否降低血压还需要以中老年群体或高血压群体为对象开展深入研究。

4 结论

对心血管系统负荷较小的静力性拉伸能够降低动脉硬度,其效果表现为,双侧交替大腿拉伸 > 单侧大腿拉伸 > 单侧小腿拉伸。其中,双侧交替大腿拉伸降低动脉僵硬度的效果至少可维持 45 min。

参考文献:

- [1] LAURENT S, BOUTOUYRIE P, ASMAR R et al. Aortic stiffness is an independent predictor of all-cause and cardiovascular mortality in hypertensive patients[J]. *Hypertension*, 2001, 37(5): 1236-1241.
- [2] LI Y, HANSEN H, CORDES M, et al. Aerobic, resistance and combined exercise training on arterial stiffness in normotensive and hypertensive adults: A review[J]. *Eur J Sport Sci*, 2015, 15(5): 443-457.
- [3] SIASOS G, ATHANASIOU D, TERZIS G, et al. Acute effects of different types of aerobic exercise on endothelial function and arterial stiffness[J]. *Eur J Prev Cardiol*, 2016, 23(14): 1565-1572.
- [4] SARDELI A V, GASPARI A F, CHACONMIKAHIL M P. Acute, short-, and long-term effects of different types of exercise in central arterial stiffness: a systematic review and meta-analysis[J]. *J Sports Med Phys Fitness*, 2018, 58(6): 923-932.
- [5] CORTEZ-COOPER M Y, ANTON M M, DEVAN A E, et al. The effects of strength training on central arterial

- compliance in middle-aged and older adults[J]. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil*, 2008, 15(2): 149-155.
- [6] YAMAMOTO K, KAWANO H, GANDO Y, et al. Poor trunk flexibility is associated with arterial stiffening[J]. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*, 2009, 297(4): H1314-1318.
- [7] YAMATO Y, HASEGAWA N, SATO K, et al. Acute effect of static stretching exercise on arterial stiffness in healthy young adults[J]. *Am J Phys Med Rehabil*, 2016, 95(10): 764-770.
- [8] YAMATO Y, HASEGAWA N, FUJIE S, et al. Acute effect of stretching one leg on regional arterial stiffness in young men[J]. *Eur J Appl Physiol*, 2017, 117(6): 1227-1232.
- [9] SHINNO H, KUROSE S, YAMANAKA Y, et al. Evaluation of a static stretching intervention on vascular endothelial function and arterial stiffness[J]. *Eur J Sport Sci*, 2017, 17(5): 586-592.
- [10] BLACHER J, ASMAR R, DJANE S, et al. Aortic pulse wave velocity as a marker of cardiovascular risk in hypertensive patients[J]. *Hypertension*, 1999, 33(5): 1111-1117.
- [11] SHIRAI K, HIRUTA N, SONG M, et al. Cardio-ankle vascular index (CAVI) as a novel indicator of arterial stiffness: theory, evidence and perspectives[J]. *J Atheroscler Thromb*, 2011, 18(11): 924-938.
- [12] NISHIWAKI M, FUJIBAYASHI M, NANAYAMA C, et al. Increasing levels of daily physical activity for arterial stiffness reduction in older women: a community-based pilot study[J]. *J Sports Med Phys Fitness*, 2018, 58(11): 1701-1709.
- [13] KOSHIBA H, MAESHIMA E. Effects of exercise intervention on arterial stiffness in middle-aged and older females: evaluation by measuring brachial-ankle pulse wave velocity and cardio-ankle vascular index[J]. *J Phys Ther Sci*, 2019, 31(1): 88-92.
- [14] American College of Sports Medicine. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription[M]. Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins, 2007.
- [15] 李章俊, 王成, 朱浩, 等. 基于光电容积脉搏波描记法的无创连续血压测量[J]. *中国生物医学工程学报*, 2012, 31(4): 607-614.
- [16] GUISSARD N, DUCHATEAU J. Neural aspects of muscle stretching[J]. *Exerc Sport Sci Rev*, 2006, 34(4): 154-158.
- [17] HEFFERNAN K S, EDWARDS D G, ROSSOW L, et al. External mechanical compression reduces regional arterial stiffness[J]. *Eur J Appl Physiol*, 2007, 101(6): 735-741.
- [18] JACKSON Z S, GOTLIEB A I, LANGILLE B L. Wall tissue remodeling regulates longitudinal tension in arteries[J]. *Circ Res*, 2002, 90(8): 918-925.
- [19] KRUSE N T, SILETTE C R, SCHEUERMANN B W. Influence of passive stretch on muscle blood flow, oxygenation and central cardiovascular responses in healthy young males[J]. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*, 2016, 310(9): H1210-1221.
- [20] TRAJANO G S, NOSAKA K, SEITZ L, et al. Intermittent stretch reduces force and central drive more than continuous stretch[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2014, 46(5): 902-910.
- [21] KRUSE N T, SCHEUERMANN B W. Effect of self-administered stretching on NIRS-measured oxygenation dynamics[J]. *Clin Physiol Funct Imaging*, 2016, 36(2): 126-133.
- [22] JOYNER M J, CASEY D P. Regulation of increased blood flow(hyperemia)to muscles during exercise: a hierarchy of competing physiological needs[J]. *Physiol Rev*, 2015, 95(2): 549-601.
- [23] INAMI T, SHIMIZU T, BABA R, et al. Acute changes in autonomic nerve activity during passive static stretching[J]. *Am J Sport Sci Med*, 2014, 2(4): 166-170.
- [24] WONG A, FIGUEROA A. Eight weeks of stretching training reduces aortic wave reflection magnitude and blood pressure in obese postmenopausal women[J]. *J Hum Hypertens*, 2014, 28(4): 246-250.
- [25] FANG Y, WU D, BIRUKOV K G. Mechanosensing and mechanoregulation of endothelial cell functions[J]. *Compr Physiol*, 2019, 9(2): 873-904.
- [26] HOTTA K, KAMIYA K, SHIMIZU R, et al. Stretching exercises enhance vascular endothelial function and improve peripheral circulation in patients with acute myocardial infarction[J]. *Int Heart J*, 2013, 54(2): 59-63.
- [27] KRUSE N T, SCHEUERMANN B W. Cardiovascular responses to skeletal muscle Stretching: "Stretching" the truth or a new Exercise paradigm for cardiovascular medicine?[J]. *Sports Med*, 2017, 47(12): 2507-2520.