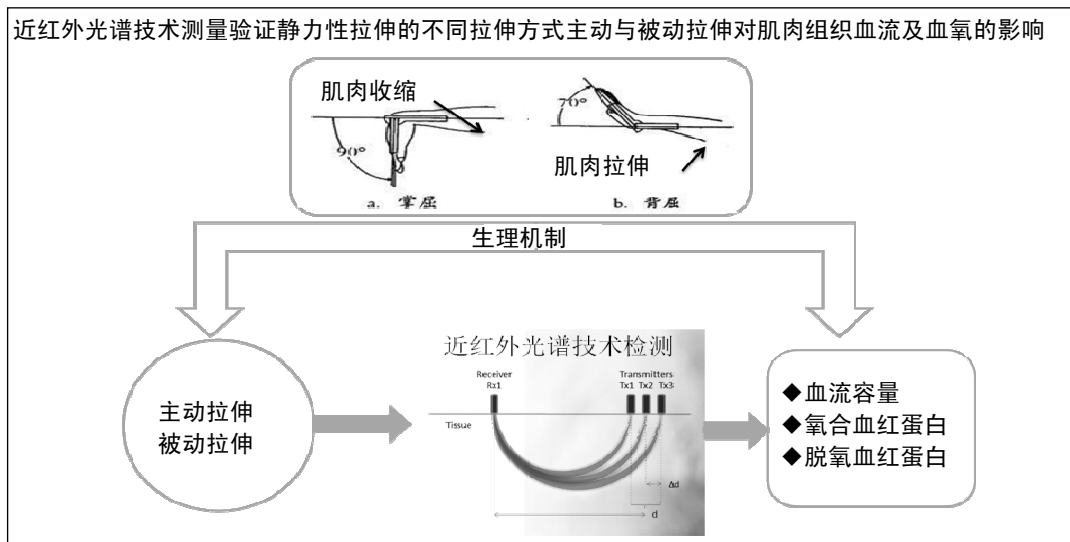


主动和被动拉伸对韧带及肌肉组织血氧影响的近红外光谱技术评价

· 研究原著 ·

胡甜甜^{1,2}, 吴金鹏³, 岳萍³, 杨勤芳², 王军¹ (1深圳大学医学部, 广东省深圳市 518061; 2深圳大学光电工程学院, 光电子器件与系统(教育部/广东省)重点实验室, 广东省深圳市 518061; 3中国医学科学院&北京协和医学院生物医学工程研究所, 天津市 300192)
DOI:10.3969/j.issn.2095-4344.1160 ORCID: 0000-0003-0195-1556(胡甜甜)

文章快速阅读:



胡甜甜, 女, 1987年生, 山东省济南市人, 汉族, 2016年南方医科大学毕业, 博士, 现为深圳大学博士后, 主要从事组织工程及生物力学方面研究。

通讯作者: 王军, 博士, 硕士生导师, 副教授, 深圳大学医学部, 广东省深圳市 518061

文献标识码: B

稿件接受: 2018-11-24



文题释义:

近红外光谱(near infrared reflectance spectroscopy, NIRS): 是介于可见光(Vis)和中红外(MIR)之间的电磁辐射波, 美国材料检测协会(ASTM)将近红外光谱区定义为 780-2 526 nm 的区域, 是人们在吸收光谱中发现的第一个非可见光区。近红外光谱区与有机分子中含氢基团(O-H、N-H、C-H)振动的合频和各级倍频的吸收区一致, 通过扫描样品的近红外光谱, 可以得到样品中有机分子含氢基团的特征信息, 而且利用近红外光谱技术分析样品具有方便、快速、高效、准确和成本较低、不破坏样品、不消耗化学试剂及不污染环境等优点, 因此该技术受到越来越多人的青睐。

静力性拉伸(static stretching, SS): 是指将韧带、肌肉等软组织缓慢的牵拉至最大可忍耐的长度, 并保持这种牵拉静止不动一定时间的拉伸方法, 如压腿、下腰、压肩等; 研究显示静力性拉伸的效应主要体现在扩大关节活动范围、预防运动损伤以及增加肌肉力量等 3 个方面。

摘要

背景: 目前虽有众多对不同拉伸方法比如静力性和动力性拉伸效果的评价研究, 但是缺乏现代科学标准客观化指标, 尤其是能实时检测的生理性指标, 另外其疗效机制也尚不明确。

目的: 利用近红外光谱技术测量验证静力性拉伸的不同拉伸方式——主动与被动拉伸对肌肉组织血流及血氧的影响变化, 从生理性缺血及再灌注方面探索拉伸作用的机制。

方法: 对 10 名平均年龄为(28±5)岁年轻健康的受试者, 3 名男性, 7 名女性, 使用集成了三波长 LED 光源的 PortaLite NIRS 血氧计分别检测不同方式的静态拉伸(主动拉伸和被动拉伸)处于拉伸和收缩状态肌肉组织血氧变化, 包括基线、拉伸干预期间及干预后的氧合血红蛋白、脱氧血红蛋白和总血容量变化。

结果与结论: ①静态拉伸时处于拉伸状态的肌肉组织通过增加总血容量明显提升血液氧合血红蛋白水平, 而处于收缩状态的肌肉组织总血容量、脱氧血红蛋白和氧合血红蛋白抑制效果较明显, 且收缩的组织各血液指标上升幅度不如拉伸组织; ②主动拉伸运动后上调总血容量和氧合血红蛋白能力优于被动拉伸, 有促进血液微循环和血流动力学活性、增强局部组织血氧、增加组织柔韧性以及加速局部组织修复或提升组织功能的可能性; ③结果提示近红外光谱检测组织血氧技术有望成为验证组织再生与康复的一个客观指标。

关键词:

近红外光谱; 静态拉伸; 主动拉伸; 被动拉伸; 血流; 血氧; 耗氧速率; 生理性缺血; 组织血氧

中图分类号: R445

基金资助:

国家体育总局科技服务项目, 项目负责人: 吴金鹏

Hu Tiantian, MD, School of Medicine, Shenzhen University, Shenzhen 518061, Guangdong Province, China; College of Optoelectronic Engineering, Shenzhen University, Key Laboratory of Optoelectronic Devices and Systems of Ministry of Education and Guangdong Province, Shenzhen 518061, Guangdong Province, China

Corresponding author: Wang Jun, MD, Master's supervisor, Associate professor, School of Medicine, Shenzhen University, Shenzhen 518061, Guangdong Province, China

Influence of active and passive stretching on blood oxygen in ligament and muscle assessed using near-infrared spectroscopy

Hu Tian^{1,2}, Wu Jinpeng³, Yue Ping³, Yang Qinlao², Wang Jun¹ (¹School of Medicine, Shenzhen University, Shenzhen 518061, Guangdong Province, China; ²College of Optoelectronic Engineering, Shenzhen University, Key Laboratory of Optoelectronic Devices and Systems of Ministry of Education and Guangdong Province, Shenzhen 518061, Guangdong Province, China; ³Institute of Biomedical Engineering, Chinese Academy of Medical Sciences & Peking Union Medical College, Tianjin 300192, China)

Abstract

BACKGROUND: There are many evaluation studies on the efficacy of different stretch methods such as static and dynamic stretches, but the objective index of modern scientific standards, especially physiological indicators are absent. Moreover, the underlying mechanism is not yet clear.

OBJECTIVE: To measure and verify the effects of static tensions (active and passive stretching) on the muscle blood flow and blood oxygen by using near-infrared spectroscopy, and to explore the mechanism of stretching from the aspect of physiological ischemia/reperfusion.

METHODS: Ten young healthy subjects (3 males and 7 females) with a mean age of (28±5) years were enrolled. NIRS Oximeter which integrated three-wavelength LED light sources was used to detect the blood oxygen in the muscle tissue under stretching and contraction under active stretching and passive stretching. The indicators included the oxyhemoglobin, deoxyhemoglobin, and total blood volume at baseline, during stretching and after intervention.

RESULTS AND CONCLUSION: (1) The blood oxyhemoglobin level of the muscles in stretched state was obviously increased with total blood volume increasing. The total blood volume, deoxyhemoglobin and oxyhemoglobin in contractile muscles were suppressed significantly and the increasing degree of blood indexes were less than that after the stretching exercise. (2) The increases of total blood volume and oxyhemoglobin after active stretching exercise were higher than those after passive stretching, which could promote blood microcirculation and hemodynamic activity, increase local blood oxygen and the flexibility of tissue, accelerate local tissue repair or enhance the tissue function. (3) These results indicate that near-infrared spectroscopy to detect tissue blood oxygen is expected to be an objective index for verifying tissue regeneration and rehabilitation.

Key words: near-infrared spectroscopy; static tensions; active tension; passive tension; blood flow; blood oxygen; oxygen consumption rate; physiological ischemia; tissue blood oxygen

Funding: the Science and Technology Service Project of State Administration of Sport of China (to WJP)

0 引言 Introduction

拉伸运动是指结缔组织、肌肉和其他组织被拉伸的过程,广泛应用于体育锻炼及临床康复中。世界范围内关于拉伸的研究越来越多,但其效果的现代科学标准客观评估依然很少,以往的研究主要集中在拉伸运动方法和参数的探索上,以及测量生物力学相关指标(肌肉黏弹性、刚度、张力)、关节最大活动范围及肌电信号等,虽然这些指标可以量化拉伸导致的一些变化,但评估多是在宏观水平上进行的且带有一定的主观性,欠缺对于深部组织代谢水平上与生理变化直接相关的实时指标的变化监测^[1-2]。拉伸作用机制目前关注点集中在力学信号转导及神经肌肉组织上,对于血流血供等生理指标研究甚少^[3]。

人体组织的血流动力学及血氧变化参数是在运动生理、康复医学等方面非常重要的生理生化指标,对人体功能的检测与评定具有非常重要的意义。有研究显示生理性缺血训练可以改善缺血肢体血管新生和肌肉运动能力,甚至远程生理性缺血训练可以通过心肌缺血后的分子和细胞动员促进冠状动脉血管生成及减轻大脑缺血性损伤^[4-6]。拉伸运动通过机械张力作用于软组织进而影响血管形态改变血流动力学,但由于技术的限制,不同拉伸运动对组织血流动力学及血氧的实时影响目前尚未见研究。

近15年来,由于近红外光谱(near infrared reflectance spectroscopy, NIRS)技术的逐步引入,明显促进了运动医学中人体肌肉能量学的研究。近红外光谱是一种非侵入性和相对低成本的光学技术,正在成为测量血流动力学和肌肉氧饱和度的最适仪器,其原理是由于水分在600-1 000 nm组织光学窗口具有较小的吸收,利用此波长范围的光源作为发射光,经由组织散射经过弧形路径被检测器接收,此时发射

光的强度主要由含氧血红蛋白和脱氧血红蛋白的吸收决定,反映了两种血红蛋白的相对浓度信息,再通过计算得出局部组织氧饱和度,可实时反映组织血流状况及客观评估肌肉氧化代谢。除此之外近红外光谱也已成功应用在其他几项治疗评价研究,如拔罐,按摩疗法,电刺激和深静脉血栓形成等等^[7-10]。

在这项研究中,利用近红外光谱技术检测对比了静态拉伸中主动拉伸和被动拉伸对于前臂肌肉组织血流及血氧的影响,通过研究拉伸运动过程中氧合血红蛋白([HbO₂])、脱氧血红蛋白([Hb])和总血容量([tHb])等指标的变化,探索验证拉伸的作用机制。

1 对象和方法 Subjects and methods

1.1 设计 自身对照观察。

1.2 时间及地点 实验于2018年5至8月在中国医学科学院生物医学工程研究所完成。

1.3 对象 10名年轻健康的受试者(3名男性,7名女性)自愿参加试验,试验方案由深圳大学伦理审查委员会批准。受试者平均年龄为(28±5)岁,无运动员及极限运动者,平时运动量差异不大,平均抗拉强度由最大自愿等长收缩(MVIC)确定。所有受试者检测前均进行拉伸动作讲解培训,且在给定日期在无任何练习之前进行测量。

使用PortaLite实时无线组织血氧监测系统,其集成了三波长LED光源(735 nm、805 nm和850 nm)和光学检测器。源-探测器距离设置为3.0 cm,允许大于1 cm的穿透深度。

1.4 方法

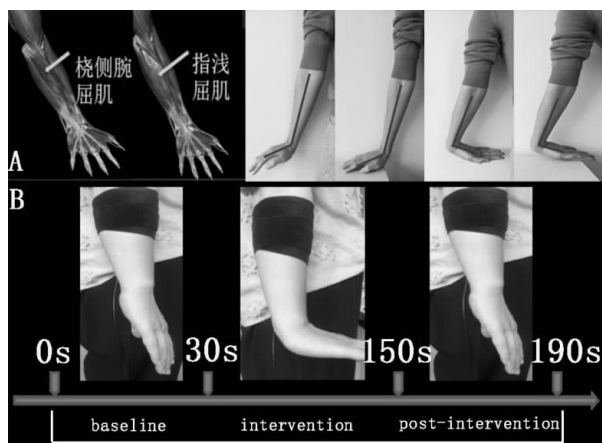
1.4.1 试验设计 整个试验主要检测4种力学方式对肌肉

血氧的影响: ①主动拉伸; ②被动拉伸; ③主动收缩; ④被动收缩。每种方式主要检测收集3个过程数据: ①基线: 受试者站立姿势双臂自然下垂基线数据为基础, 调零并作为整个测量期间的氧合数据基线, 测量20–30 s; ②力学干预: 受试者手掌由自然下垂状态主动或被动背屈或腕屈, 维持最大程度维持1 min; ③干预后: 手掌变回最初的自然下垂状态记录1 min。检测比较主动与被动拉伸, 主动与被动收缩对肌肉血氧的影响。

1.4.2 生理指标检测 受试者站立双臂自然下垂姿势为基础, 调零并作为整个测量期间的氧合数据基线; 每个受试者普通站立位, 将portlife血氧计光学探头用黑色绷带固定在 forearm 距离肘关节大约三指处检测桡侧腕屈肌以及指浅屈肌部位组织血氧, 探头小心地连接以保持与皮肤接触而不施加过度的压力, 避免导致血流动力学变化。将连接探头光纤的仪器主体放置在桌面上, 以减少其质量对探头/组织界面的影响。主动拉伸时受试者手掌尽最大能力背屈并保持角度维持1 min; 被动拉伸时受试者调整合适高度, 将手掌放置在桌面上被动维持与主动拉伸时同样的背屈角度, 维持1 min。主动和被动收缩则变手掌背屈为腕屈。图1A示意了主动和被动拉伸和收缩的动作。

测量装置固定好后, 记录20–30 s的基线时间以确保血流动力学稳定性; 基线测量后, 受试者根据提示手掌主动最大程度背屈并记录1 min; 之后手掌恢复基线姿势记录1 min。按照此程序依次进行被动拉伸以及主动被动收缩的检测, 每个检测之间间隔10 min以使组织血流动力学恢复。

图1B显示了整个试验程序。



图注: 图 A 示意了主动和被动拉伸和收缩的动作; B 显示了整个试验程序。

图 1 拉伸方式与检测过程示意图

Figure 1 Schematic diagram of stretch ways and detection

1.5 主要观察指标 主动及被动拉伸干预前、干预期间及干预后的氧合血红蛋白、脱氧血红蛋白和总血容量变化。

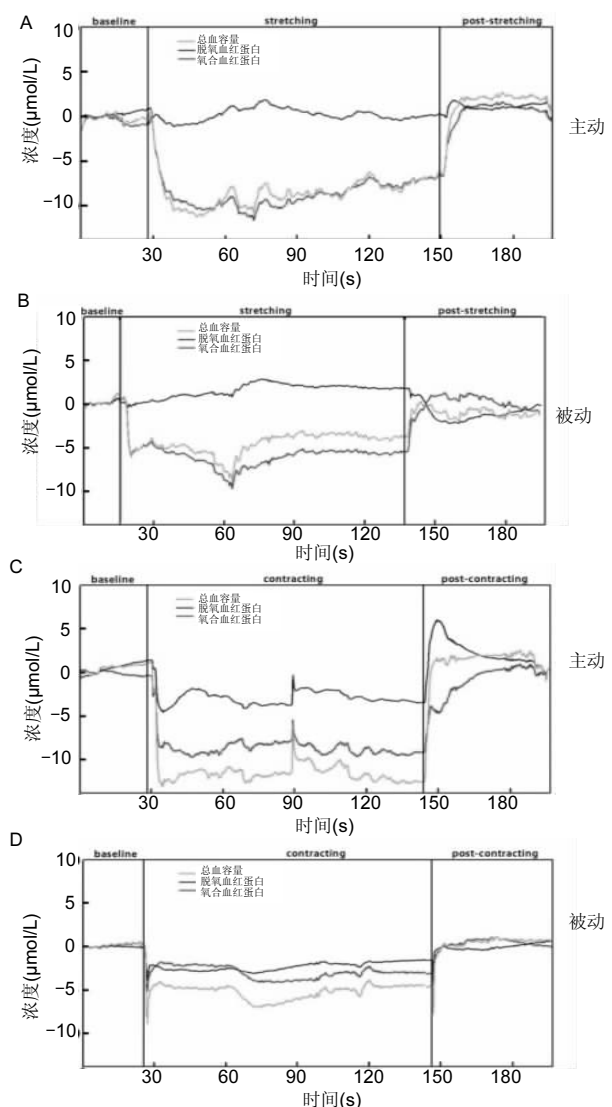
1.6 统计学分析 所有统计分析利用SPSS 10.0进行。由于样本量有限($n=10$), 一些参数不符合Shapiro Wilk测试正态分布标准。为了使统计方法对所有参数保持一致, 用弗里德曼测试分析时间段对所有参数的影响是否显著, 继而使用Wilcoxon秩检验进一步进行两两比较。线性回归用于运动前后参数显著性的比较, 最终统计结果, 认为 $P < 0.05$

差异有显著性意义。

2 结果 Results

2.1 参与者数量分析 纳入受试者10人, 试验过程无脱落, 全部进入结果分析。

2.2 不同方式干预过程中组织典型的血流动力学曲线变化 见图2。与基线相比, 总血容量和氧合血红蛋白在主动拉伸期间明显降低, 拉伸结束后又如预期一样发生回升, 并且超过基线水平, 脱氧血红蛋白则在主动拉伸时及拉伸后变化不明显; 被动拉伸与主动拉伸的血流动力学变化趋势相似, 但是总血容量和氧合血红蛋白在被动拉伸过程中降低幅度比主动拉伸小, 而脱氧血红蛋白在被动拉伸时没有明显变化, 拉伸结束后一定时间内则有所下降; 在收缩状态组织中, 总血容量、氧合血红蛋白和脱氧血红蛋白在主动拉伸和被动拉伸时均因肌肉收缩压力而明显下降, 干预结束之后三者均回升到基线以上水平, 主动拉伸脱氧血红蛋白明显高于基线。



图注: 图 A, B 分别为主动拉伸和被动拉伸; C, D 分别为主动收缩和被动收缩。

图 2 运动过程中血流动力学典型曲线

Figure 2 Typical curves of hemodynamics during exercise

2.3 不同拉伸方式对血流动力学的影响和代谢特征 所有受试者的平均反应中观察到结果与以上典型血流动力学曲线具有大体相同的趋势，所有的平均值都是在相应时间段的稳定期内计算出来的，并进行了统计学分析，结果见表1及图3。主动拉伸结束后氧合血红蛋白和总血容量均显著升高($P < 0.01$, $P < 0.001$)，被动拉伸后氧合血红蛋白虽然也有上升($P < 0.001$)但是幅度明显小于主动拉伸；主动拉伸中处于收缩状态的组织干预后与干预前相比氧合血红蛋白($P < 0.0001$)、脱氧血红蛋白($P < 0.05$)和总血容量($P < 0.001$)均不同程度上升，但是与干预前相比无明显差

异，被动拉伸与主动拉伸趋势一致，氧合血红蛋白和总血容量略有上升($P < 0.05$)。

2.4 不同运动方式运动时和运动后总血容量、氧合血红蛋白及脱氧血红蛋白值的线性回归分析结果 见图4。由近红外光谱测量结果显示，尽管对象间变化程度较高，氧合血红蛋白和脱氧血红蛋白值在主动拉伸前后有显著相关性($P=0.028$, $P=0.0007$)，被动拉伸前后各指标没有显著相关性规律，处于收缩状态的总血容量主动拉伸前后有相关性($P=0.0486$)，氧合血红蛋白和总血容量被动拉伸前后有相关性($P=0.0105$, $P=0.0414$)。

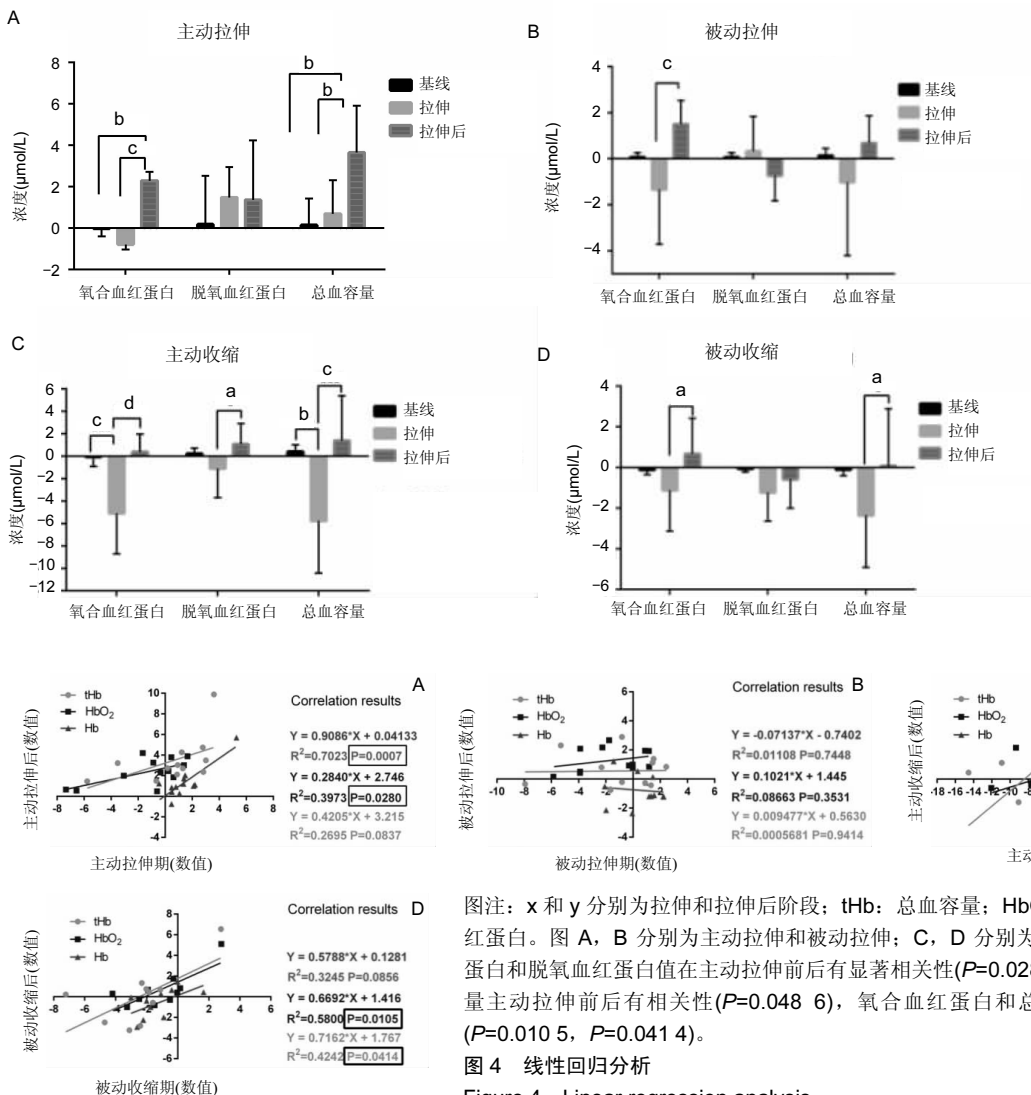
表1 不同拉伸方式对血流动力学的影响和代谢特征

($\bar{x} \pm s$, $n=10$)

Table 1 Effect of different stretch ways on the hemodynamics and metabolism characteristics

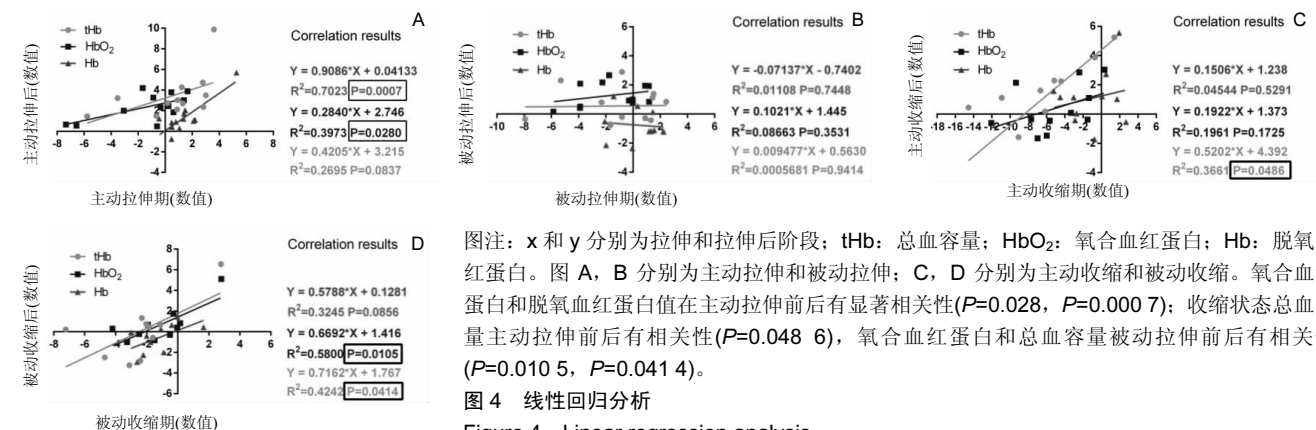
方式	指标	主动			被动		
		拉伸前	拉伸中	拉伸后	拉伸前	拉伸中	拉伸后
拉伸	氧合血红蛋白	0.140±1.285 ^a	0.680±1.622 ^a	3.633±2.271	0.133±0.316	-1.020±3.192	0.672±1.194 ^c
	脱氧血红蛋白	-0.035±0.362	-0.792±0.246	2.285±0.432	0.068±0.198	-1.341±2.375	1.501±1.032
	总血容量	0.175±2.344 ^a	1.474±1.473 ^a	1.348±2.888	0.065±0.201	0.321±1.516	-0.736±1.092
收缩	氧合血红蛋白	-0.125±0.845 ^c	-5.212±3.514	0.251±1.745 ^c	-0.120±0.290	-2.361±2.553	0.075±2.807 ^b
	脱氧血红蛋白	0.245±0.245	-1.246±2.454	1.203±1.8316 ^c	-0.122±0.235	-1.124±2.002	0.664±1.759
	总血容量	0.249±0.253 ^c	-5.912±4.526	1.521±3.631 ^c	-0.072±0.156	-1.237±1.399	-0.588±1.421 ^b

表注：与拉伸后比较，^a $P < 0.01$ ；与拉伸中比较，^b $P < 0.05$ ，^c $P < 0.01$ 。



图注：图A, B分别为主动拉伸和被动拉伸；C, D分别为主动收缩和被动收缩。^a $P < 0.05$ ；^b $P < 0.01$ ；^c $P < 0.001$ ；^d $P < 0.0001$ 。

图3 不同拉伸方式对血流动力学的影响和代谢特征
Figure 3 Effect of different stretching ways on the hemodynamics and metabolism characteristics



图注：x和y分别为拉伸和拉伸后阶段；tHb：总血容量；HbO₂：氧合血红蛋白；Hb：脱氧血红蛋白。图A, B分别为主动拉伸和被动拉伸；C, D分别为主动收缩和被动收缩。氧合血红蛋白和脱氧血红蛋白值在主动拉伸前后有显著相关性($P=0.028$, $P=0.0007$)；收缩状态总血容量主动拉伸前后有相关性($P=0.0486$)，氧合血红蛋白和总血容量被动拉伸前后有相关性($P=0.0105$, $P=0.0414$)。

图4 线性回归分析
Figure 4 Linear regression analysis

3 讨论 Discussion

目前静态拉伸、动态拉伸、本体感觉神经肌肉促进法拉伸等不同拉伸方法, 以及主动性和被动性两种不同的拉伸练习形式单独或者联合应用于运动医学和临床康复^[11-12]。运动医学认为不管哪种方法的拉伸均旨在增加身体柔韧性、增加关节活动范围并且减少运动中受伤的可能性, 以及增强运动员场上的运动表现。张帆等^[13]研究证明3种拉伸方式对提高股后肌群柔韧性都是有效的, 但静力拉伸的主动、被动即时持续效应均优于其他两种拉伸方式。其他众多研究同样显示, 对于不同拉伸方法, 静态拉伸效果优于动态拉伸; 在练习形式上, 主动拉伸对于发挥主动柔韧性比被动拉伸效果好^[14-16]。虽然如此, 但是静力性拉伸目前在柔韧素质训练中并不占主导地位, 大部分研究也都集中在练习手段的开发上, 相关的系统研究、基础研究仍显不足, 所以在理论上仍需试验数据的支撑。对于主动和被动拉伸的研究更少, 目前相关研究重点仅在不同的拉伸方式对于关节活动范围以及对柔韧素质的影响方面^[17]。在临床康复应用及机制研究中, 长期的静态拉伸运动则用来辅助肌肉、神经、骨骼、结缔组织疾病以及肺康复等, 被证明具有延缓肌肉萎缩、促进肌小节增长、促进神经修复及减少纤维化等作用, 但是深层次的分子机制尚不明确^[12, 18-21]。

拉伸作用主要通过机械张力作用于组织进而进行力学信号转导发挥作用。有研究显示即使下肢姿势的简单改变或者持续时间短的有效运动均可以诱导有效和长期的生理效应, 导致皮肤或局部血流动力学的变化, 即静脉-微动脉反应(VAR)^[22-24]。目前对于拉伸机制的研究集中在力学信号转导以及力学刺激对软组织及神经的作用上, 且以动物实验居多, 拉伸导致的组织内力学改变对血管及血流动力学的实时影响尚无人研究。该研究基于静态拉伸的优势, 以肌肉组织血流动力学和血氧指标来对比评估了静态拉伸的主动和被动拉伸运动, 研究结果可能在生理方面对拉伸临床应用及机制研究有一定影响。

试验结果显示(图2)静态拉伸运动时不管处在拉伸状态还是收缩状态的肌肉, 总血容量在运动过程中和运动后的变化很好地反映了血液从正常基线状态迅速降低的生理事件, 肌肉恢复生理长度时血流迅速恢复基线水平, 甚至高于基线, 符合肌肉运动生理反应的期望, 说明运动期间组织处在生理缺血状态, 而运动后可以促进血液流动, 可能是代偿性的短暂缺血再灌注的结果, 而此种现象有助于解释拉伸的远期效应机制, 可能会通过缺血刺激局部或远端损伤组织的血管再生和重塑^[25]。瞬态缺血刺激(transient ischemic stimulation, TIS)是近年来国内外研究的热点之一, 短暂性脑缺血刺激已经在各种冠心病动物模型中得到了很好的研究。研究报道远程生理缺血训练(physiological ischemic training, PIT)可以通过心肌缺血后的分子和细胞动员促进冠状动脉血管生成, 大鼠肾脏和肠道等远端器官的缺血也有助于保护心肌组织^[6]。研究证实生理性缺血训练有助于改善内皮祖细胞在血管内的归巢与结合, 而无内皮祖细胞组则没观察到这种血管新生的现象^[26-27]。当内皮祖细胞动员被抑制后, 骨骼肌等长收缩的生理性缺血训练

对于缓解心肌缺血则作用不大, 且作者比较了兔后肢正常骨骼肌的不同缺血和再灌注时间, 发现缺血3 min后再灌注5 min可以实现缺血心肌内在侧支循环的充分开放^[28]。有临床研究显示, 简单的小腿肌肉拉伸可以减轻外周动脉疾病患者步行时的腿部疼痛, 拉伸小腿肌肉1个月的患者血流量增加了3.7%~5.2%, 达到了健康老年人的正常范围, 此外行走的距离也有延长。以上研究显示在肢体上诱导非病理性缺血, 可以动员归巢于远端缺血组织的相关细胞和分子, 从而促进血管与组织再生, 并且验证了生理性缺血和再灌注时间的影响因素, 间接证明了静态拉伸优于动态拉伸可能的生理性原因。

除此之外, 结果显示主动拉伸状态下比被动拉伸状态下的肌肉组织总血容量下降幅度更大, 拉伸结束后回升幅度更高, 提示主动拉伸效果优于被动拉伸效果。主动拉伸后氧合血红蛋白明显增加, 提示组织中血氧含量是增加的, 可以促进微循环中的氧气水平, 有益于肌肉的新陈代谢, 并可通过产生ATP改善一系列生理功能。其他物理治疗如肌肉刺激、拔罐等也可以起到提高氧合血红蛋白的类似效果^[9]。

为了研究肌肉运动过程和运动后血液指标之间的相关性, 作者对4种运动进行线性回归分析: 观察到主动拉伸与氧合血红蛋白和脱氧血红蛋白变化显著相关(图4A), 其中x和y分别为拉伸和拉伸后阶段; 主动收缩运动主要与总血流量显著相关; 被动收缩与氧合血红蛋白及总血容量相关, 被动拉伸数据不显示任何相关性, 可能与试验例数较少以及个体差异相关; 另外在线y=x上方的脱氧血红蛋白, 氧合血红蛋白和总血容量处观察到比较离散的异常值, 是个体对运动反应不同的体现, 这表明拉伸或者收缩运动干预后改变的血流和氧合变化高于其他人的变化, 根据个人信息调查问卷发现, 有这些反应的受试者健康状况没有显著性差异, 只是平时很少进行运动尤其是以增加柔韧性为主的运动, 相比之下, 其他受试者都有进行常规运动, 因此作者认为长时间缺乏运动可能导致该受试者的肌肉功能不敏感, 因此对外部干预的反应较慢。肌肉被拉伸, 肌束膜及内膜的结缔组织(主要由胶原)是造成肌肉张力的主要因素, 男性和女性之间肌内结缔组织的含量也可能是造成不同个体被动肌肉张力差异的因素之一^[29]。以上提示不同的血流动力学参数可以解释不同运动方式的治疗效果, 下一步会招募更多的受试者, 对于不同肌肉组成的人群的差异性进一步试验和探索。

此外, 同时监测处于拉伸和收缩的肌肉组织血流动力学有助于更全面地了解不同方式拉伸运动的效果及生理机制, 未来的研究将致力于评估拉伸运动的更多客观指标, 如能够利用近红外光谱技术量化的检测血氧饱和度以及深部组织血流, 实现多点同时测量。

综上所述, 此次研究利用近红外光谱技术实时无创监测了静态拉伸对组织血流动力学及血氧的影响, 并在此指标的基础上对比了主动拉伸与被动拉伸, 提示近红外光谱检测组织血氧技术有望成为验证组织再生与康复的一个客观指标, 推测静态拉伸可能通过诱导组织生理性缺血再灌注的机制发挥其作用。目前的研究结果可能为拉伸作用的机制研究提供了一条新思路, 将在体拉伸运动的生物力学

研究关注到对组织血管上,未来将对拉伸作用进行生理性缺血再灌注机制的分子及细胞研究,有望于利用这种无创的物理疗法改进患者心血管系统。

结论: 研究结果显示,静态拉伸运动干预导致处在拉伸状态及收缩状态的肌肉均发生生理性缺血缺氧,干预结束后总血容量及氧合血红蛋白回升,是一种主动的肢体缺血再灌注现象;拉伸干预期间及干预后主动拉伸对总血容量和氧合血红蛋白的影响大于被动拉伸,提示主动拉伸效果优于被动拉伸;提示近红外光谱检测组织血氧技术有望成为拉伸运动以及验证血管组织再生与康复的一个客观指标。研究从生理学角度为探索拉伸的机制提供了一条途径、为拉伸在组织康复中的应用奠定了基础。

作者贡献: 胡甜甜负责课题设计、统筹实施、数据分析处理及文章撰写;吴金鹏负责提供近红外光谱检测系统,拉伸方式及动作的专业指导培训及对文章审阅修改;岳萍负责仪器操作及数据记录;杨勤劳及王军对试验设计进行指导及对文章评审及提出意见。第一作者和第三作者分别为数据分析处理及数据检测记录人员。

经费支持: 该文章接受了“国家体育总局科技服务项目”的资助。所有作者声明,经费支持没有影响文章观点和对研究数据客观结果的统计分析及其报道。

利益冲突: 文章的全部作者声明,在课题研究和文章撰写过程中不存在利益冲突。

机构伦理问题: 试验方案由深圳大学伦理审查委员会批准。

知情同意问题: 参与试验的受试者均为自愿参加,对试验过程完全知情同意。

文章查重: 文章出版前已经过专业反剽窃文献检测系统进行3次查重。

文章外审: 文章经小同行外审专家双盲外审,同行评议认为文章符合期刊发稿宗旨。

文章版权: 文章出版前杂志已与全体作者授权人签署了版权相关协议。

开放获取声明: 这是一篇开放获取文章,根据《知识共享许可协议》“署名-非商业性使用-相同方式共享4.0”条款,在合理引用的情况下,允许他人以非商业性目的基于原文内容编辑、调整和扩展,同时允许任何用户阅读、下载、拷贝、传递、打印、检索、超级链接该文献,并为之建立索引,用作软件的输入数据或其它任何合法用途。

4 参考文献 References

- [1] Magnusson SP, Aagard P, Simonsen E, et al. A biomechanical evaluation of cyclic and static stretch in human skeletal muscle. *Int J Sports Med*. 1998;19(5):310-316.
- [2] Magnusson SP, Simonsen EB, Aagaard P, et al. Mechanical and physiological responses to stretching with and without preisometric contraction in human skeletal muscle. *Arch Phys Med Rehabil*. 1996; 77(4):373-378.
- [3] Endlich K, Kiewe F, Endlich N. Stressed podocytes-mechanical forces, sensors, signaling and response. *Pflugers Arch*. 2017;469(7-8):937-949.
- [4] Wang W, Yu XD, Mo X, et al. Limb ischemic preconditioning attenuates cerebral ischemic injury in rat model. *Perfusion*. 2014;29(3):210-218.
- [5] Zhao Y, Li J, Lin A, et al. Improving angiogenesis and muscle performance in the ischemic limb model by physiological ischemic training in rabbits. *Am J Phys Med Rehabil*. 2011;90(12):1020-1029.
- [6] [Zhao HG, Li WB, Li QJ, et al. Limb ischemic preconditioning attenuates apoptosis of pyramidal neurons in the CA1 hippocampus induced by cerebral ischemia-reperfusion in rats. *Sheng Li Xue Bao*. 2004;56(3):407-412.
- [7] Li T, Li Y, Lin Y, et al. Significant and sustaining elevation of blood oxygen induced by Chinese cupping therapy as assessed by near-infrared spectroscopy. *Biomed Opt Express*. 2017;8(1):223-229.
- [8] Munk N, Symons B, Shang Y, et al. Noninvasively measuring the hemodynamic effects of massage on skeletal muscle: a novel hybrid near-infrared diffuse optical instrument. *J Bodyw Mov Ther*. 2012; 16(1): 22-28.
- [9] Shang Y, Lin Y, Henry BA, et al. Noninvasive evaluation of electrical stimulation impacts on muscle hemodynamics via integrating diffuse optical spectroscopies with muscle stimulator. *J Biomed Opt*. 2013; 18(10):105002.
- [10] Li T, Sun Y, Chen X, et al. Noninvasive diagnosis and therapeutic effect evaluation of deep vein thrombosis in clinics by near-infrared spectroscopy. *J Biomed Opt*. 2015;20(1):10502.
- [11] de Sá RB, Pessoa MF, Cavalcanti AG L, et al. Immediate effects of respiratory muscle stretching on chest wall kinematics and electromyography in COPD patients. *Respir Physiol Neurobiol*. 2017;242:1-7.
- [12] Lawand P, Lombardi Júnior I, Jones A, et al. Effect of a muscle stretching program using the global postural reeducation method for patients with chronic low back pain: A randomized controlled trial. *Joint Bone Spine*. 2015;82(4):272-277.
- [13] 张帆,王长生,叶志强.不同拉伸方式对股后肌群柔韧素质影响的对比试验研究[J]. *天津体育学院学报*, 2014,29(1):61-65.
- [14] 过家兴. *运动训练学*[M]. 北京:北京体育学院出版社, 1986.
- [15] 吕乙林,袁运平,刘永东. 动静态伸展运动在高校田径技术教学中的实验研究[J]. *首都体育学院学报*, 2003,15(1):78-81.
- [16] 毛志帮,张玲莉,赖小勇,等. 静态拉伸与下肢肌力锻炼在老年平衡能力中的意义[J]. *中国组织工程研究*, 2015,19(42):6803-6807.
- [17] 陈蒙.不同组合拉伸方式对股后肌群柔韧素质影响效应的实验比较研究[D]. 天津:天津体育学院, 2016.
- [18] Chen HM, Wang HH, Chen CH, et al. Effectiveness of a stretching exercise program on low back pain and exercise self-efficacy among nurses in Taiwan: a randomized clinical trial. *Pain Manag Nurs*. 2014; 15(1):283-291.
- [19] Leelarungrayub D, Pothongsunun P, Yankai A, et al. Acute clinical benefits of chest wall-stretching exercise on expired tidal volume, dyspnea and chest expansion in a patient with chronic obstructive pulmonary disease: A single case study. *J Bodyw Mov Ther*. 2009; 13(4):338-343.
- [20] Xiong Y, Berrueta L, Urso K, et al. Stretching Reduces Skin Thickness and Improves Subcutaneous Tissue Mobility in a Murine Model of Systemic Sclerosis. *Front Immunol*. 2017;8:124.
- [21] Iwasawa H, Nomura M, Sakitani N, et al. Stretching After Heat But Not After Cold Decreases Contractures After Spinal Cord Injury in Rats. *Clin Orthop Relat Res*. 2016;474(12):2692-2701.
- [22] Gurley K, Shang Y, Yu G. Noninvasive optical quantification of absolute blood flow, blood oxygenation, and oxygen consumption rate in exercising skeletal muscle. *J Biomed Opt*. 2012;17(7):75010.
- [23] Otah KE, Otah E, Clark LT, 等. 在患有外周动脉疾病的患者及正常志愿者中下肢皮肤血流量与踝臂指数的关系[J]. *世界核心医学期刊文摘:心脏病学分册*, 2006,2(1):55-56.
- [24] Henry B, Zhao M, Shang Y, et al. Hybrid diffuse optical techniques for continuous hemodynamic measurement in gastrocnemius during plantar flexion exercise. *J Biomed Opt*. 2015;20(12):125006.
- [25] Jr C, We K, G S, et al. Endothelial cells of hematopoietic origin make a significant contribution to adult blood vessel formation. *Circ Res*. 2000; 87(9):728-730.
- [26] Hausenloy DJ, Yellon DM. Remote ischaemic preconditioning: underlying mechanisms and clinical application. *Cardiovasc Res*. 2008;79(3):377-386.
- [27] SK, Ge A, KJ G, et al. Functional small-diameter neovessels created using endothelial progenitor cells expanded ex vivo. *Nature Med*. 2001;7(9):1035-1040.
- [28] Chen WQ, Zhong L, Zhang L, et al. Oral rapamycin attenuates inflammation and enhances stability of atherosclerotic plaques in rabbits independent of serum lipid levels. *Br J Pharmacol*. 2009; 156(6):941-951.
- [29] Miyamoto N, Hirata K, Miyamoto-Mikami E, et al. Associations of passive muscle stiffness, muscle stretch tolerance, and muscle slack angle with range of motion: individual and sex differences. *Sci Rep*. 2018;8(1):8274.