

• 运动人体科学 •

远红外陶瓷微珠对大鼠一次性力竭运动骨骼肌 CK、CK-MM、LDH 指标的影响

曹庆雷¹, 何建伟², 杨金龙³

(1.北京科技大学 体育部, 北京 100083; 2.莆田学院 体育系, 福建 莆田 351100;
3.清华大学 材料科学与工程系 新型陶瓷与精细工艺国家重点实验室, 北京 100084)

摘 要: 运用新型康复材料远红外陶瓷微珠作为干预手段探讨对大鼠一次性力竭运动骨骼肌 CK、CK-MM、LDH 指标的影响。将 88 只雄性 SD 大鼠分成 11 组(A 组: 安静对照组: 1 组; B 组: 运动后自然恢复组, 即模型组: 4 组; C 组: 运动后+热水组, 即模型+热水组: 3 组; D 组: 运动后远红外陶瓷微珠干预组, 即模型+陶瓷微珠组: 3 组)。利用跑台实验大鼠运动至力竭, 各组大鼠分别于安静时、运动后即刻、运动后 24、48 和 72 h, 测各个时相点的实验数据进行分析。结果显示: 远红外陶瓷微珠组运动后 24 和 48 h 各时相血 CK、CK-MM、LDH 酶活性均低于常规恢复组与运动组。结果表明: 远红外陶瓷微珠疗法具有减小骨骼肌细胞膜通透性, 有利于骨骼肌微损伤的康复。

关 键 词: 运动生物化学; 远红外陶瓷微珠; 骨骼肌微损伤; 康复; 大鼠

中图分类号: G804.7 文献标志码: A 文章编号: 1006-7116(2013)03-0125-05

Effects of far infrared ceramic microspheres on indexes CK, CK-MM and LDH of the skeletal muscles of rats going through one-time exhaustive exercising

CAO Qing-lei¹, HE Jian-wei², YANG Jin-long³

(1.Department of Physical Education, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China;
2.Department of Physical Education, Putian University, Putian 351100, China; 3.Department of Materials Science and Engineering, State Key Laboratory of New Ceramics and Fine Processing, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: By applying far infrared ceramic microspheres (a new material for rehabilitation) as a means of intervention, the authors probed into their effects on indexes CK, CK-MM and LDH of the skeletal muscles of rats going through one-time exhaustive exercising. The authors divided 88 male SD rats into 11 groups (group A: 1 calm control group; group B: 4 natural recovery after exercising groups, i.e. model groups; group C: 3 after exercising + hot water groups, i.e. model + hot water groups; group D: 3 far infrared ceramic microsphere intervention after exercising groups, i.e. model + ceramic microsphere groups), let the rats exercise to an exhausted condition by utilizing the treadmill experiment, measured and analyzed the experimental data of the rats in various groups respectively at calm, at the moment immediately after exercising, at 24 h, 48 h and 72 h after exercising, and revealed the following findings: at 24 h and 48 h after exercising, the blood CK, CK-MM, LDH enzyme activities of the rats in the far infrared ceramic microsphere groups were lower than those of the rats in the conventional recovery groups and exercising groups. The results indicated that the far infrared ceramic microsphere therapy played a role in reducing the permeability of skeletal muscle cell membrane and protecting skeletal muscle micro-damage.

Key words: sports biochemistry; far infrared ceramic microsphere; skeletal muscle micro damage; rehabilitation; rat

收稿日期: 2012-05-03

基金项目: 中国博士后科学基金资助项目(201004f02f8); 北京市科技计划项目(Z101103055010003)。

作者简介: 曹庆雷 (1970-), 男, 副教授, 博士, 研究方向: 体育教育训练学, 体育材料与康复。

远红外陶瓷微珠作为新型的康复、理疗材料,目前在国内外还是一个崭新的领域^[1-2]。长期的运动、训练、比赛不习惯的长时间和(或)高强度运动后发生的骨骼肌纤维微细损伤^[3],即运动性肌肉损伤(Exercise-induced muscle damage, EIMD)^[4],比比皆是。骨骼肌损伤与微损伤的治疗、恢复一直都是体育康复界的热点话题,其中肌细胞代谢功能紊乱、血液生化和肌电指标异常、肌细胞超微结构改变及收缩功能下降等都是 EIMD 的基本特征^[3, 5],而且其具有延迟性,并伴随延迟性肌肉酸痛(Delayed Onset Muscle Soreness, DOMS)^[5-6],常规的理疗方法很难在短时间有效解决这个问题,并且理疗仪器需要复杂的操作,需要专人负责,耗时耗力。直至今日,现代理疗方法发展有激光、微波、超声波、音频电、药物离子导入等;发展了磁、冷、电、热穴位等新仪器;进一步可能发展无创痛穴位疗法,当然还有远红外陶瓷系列理疗新技术,是属于物理疗法新型技术,目前已经被少量实验研究证明。

远红外陶瓷微珠能够发射波长为 8~14 μm 的远红外线,和人体皮肤红外吸收特性相同,和其他保健材料相比具有更强的辐射能力,具有良好的热效应和共振效应,其共振效应使生物分子产生共振吸收效应,使生物分子能级激发而处于较高的共振能级,改善人体微循环,促进人体血液循环和新陈代谢。这是一种新型的理疗材料,由清华大学新型陶瓷与精细工艺国家重点实验室 863 项目研制的 YL-2.0-1 型远红外陶瓷微珠^[7-8],已在临床、医学领域广泛应用,且具有各项良好性能,使用简便易行,已经在 2008 年北京奥运会投入使用,并取得良好效果^[9]。为了探寻远红外陶瓷微珠对骨骼肌损伤与微损伤的治疗作用及其作用机理,本研究利用远红外陶瓷微珠作为干预手段,探索其对动物和运动员骨骼肌损伤与微损伤的治疗作用,观察、验证其效果,以便让远红外陶瓷微珠在运动康复领域的广泛使用提供实证依据。

1 研究对象与方法

1.1 实验对象与分组

清洁级标准健康 8 周龄雄性 SD 大鼠 88 只,体重(290 \pm 30) g,饲养条件:大鼠分笼饲养,每笼 8 只。饮用纯净水,自由进食,控制室内温度 18~22 $^{\circ}\text{C}$,湿度 30%~50%,通风良好,饲养笼选用塑料制品,并配用不锈钢罩、塑料吸水瓶和不锈钢吸水管,垫料为消毒碎木屑,每周更换 5 次。大鼠、饲料均由北京维通利华试验动物技术有限公司提供,在北京体育大学动物房饲养。

适应性喂养 1 周后随机分组,每组 8 只,称重后

符合实验要求,各组动物喂养 2 周后进行正式实验,并在正式试验前进行一次 5~10 min 的跑台适应性运动,各运动组大鼠在动物跑台上进行一次性下坡跑运动,速度为 16~20 m/min,坡度为 -16° ,5 min 运动,2 min 休息,总运动时间为 120 min。运动过程中采用人工驱赶和声刺激,不使用电刺激。运动中如不能坚持运动,休息 2 min 后继续,运动足 120 min,期间不能完成运动的剔除,安静对照组大鼠不进行运动。动物实验共分 4 组:

A 组:安静对照组,1 组;

B 组:运动后自然恢复组,即模型组,4 组;

C 组:运动后+热水组,即模型+热水组,3 组;

D 组:运动后远红外陶瓷微珠干预组,即模型+陶瓷微珠组,3 组。

一次性运动疲劳后,远红外陶瓷微珠干预组将加热至 45 $^{\circ}\text{C}$ 左右的远红外陶瓷微珠装入自制袋中,透明胶布绑于大鼠双腿上热敷 15 min,休息 10 min;热水组将加热至 45 $^{\circ}\text{C}$ 左右的热水装入自制热水袋中,透明胶布绑于大鼠双腿上热敷 15 min,休息 10 min,然后开始采集血样。

1.2 时相点的选取

按照分组类别,各组大鼠分别于安静时、运动后即刻、运动后 24、48 和 72 h,采取血样进行测试,选取的具体指标是 LDH、CK、CK-MM。

1.3 样本采集、处理和测试

用质量分数 2%戊巴比妥钠(25 mL/kg 体重)腹腔注射麻醉大鼠并取心脏血。每组于运动后即刻、24、48、和 72 h 分别取一侧股动脉血 2 管,一管为 EDTA 抗凝剂真空管,取血 2 mL,用于检测血浆 CK、CK-MM;另一管取血 5 mL,静置 30 min 后 3 000 r/min 离心 15 min,分离血清,用来检测血清 LDH。

实验检测指标具体方法:

1)血清肌酸激酶(CK)及肌酸激酶同工酶(CK-MM)采用酶联免疫吸附测定法(ELISA);

2)乳酸脱氢酶(LDH)采用比色法。

1.4 数据统计

所有数据均通过 SPSS for Windows 17.0 统计分析软件进行处理,最后的测试结果均以平均数 \pm 标准差($\bar{x} \pm s$)表示,组内及组间的两两比较采用单因素方差分析(One-Way ANOVA),方差具有齐次性时,用 Least-Significant Difference(LSD)复选项进行多重比较,对误差率不进行调整;当方差不具备齐次性时,用 Tamhane's T_2 法复选项进行各组均值多重比较,显著性差异水平($P < 0.05$),非常显著性差异水平($P < 0.01$)。

2 研究结果及分析

2.1 血清LDH的变化

乳酸脱氢酶(LDH)B组运动后即刻均升到最高,都非常显著高于A组($P<0.01$),其后逐渐降低,48 h达到最低点,再逐渐升高;运动后24 h, B、C两组LDH持续下降,都明显低于同组运动后即刻($P<0.05$),但B、C组之间没有显著性差异,而D组下降速度更快,与B、C组同时相比较有显著差异性($P<0.05$);运动后48

h, B、C两组LDH继续降低,都非常显著低于同组运动后即刻($P<0.01$),但B、C组之间没有显著性差异,而D组则保持低水平,与B、C组同时相比较有显著差异性($P<0.05$);运动后72 h,各组LDH出现反弹状态,较运动后48 h有上升趋势,B、C组上升较快,D组在陶瓷微珠干预下,仍然维持在较低位,与B、C组同时相比较有显著差异性($P<0.05$)(见表1)。

表1 LDH值($\bar{x} \pm s$)的组间比较

组别	n/只	安静	运动后即刻	运动后24 h	运动后48 h	运动后72 h
A组	8	813 ± 251.3				
B组	32		3 312 ± 633.4 ²⁾	1 748 ± 449.3 ¹⁾³⁾	1 507 ± 458.6 ¹⁾⁴⁾	2 609 ± 574.8 ²⁾
C组	24			1 655 ± 487.7 ¹⁾	1 435 ± 352.7 ¹⁾	2 287 ± 532.4 ²⁾
D组	24			1 213 ± 302.9 ⁵⁾	1 024 ± 211.5 ⁶⁾	1 358 ± 416.6 ⁷⁾

与A组比较, 1) $P<0.05$, 2) $P<0.01$; 与B组运动后即刻比较, 3) $P<0.05$, 4) $P<0.01$; 5)与B、C组运动后24 h比较, $P<0.05$; 6)与B、C组运动后48 h比较, $P<0.05$; 7)与B、C组运动后72 h比较, $P<0.01$

2.2 血清CK及同工酶CK-MM的变化

B组运动后即刻CK均达到最高,非常显著高于对照组($P<0.01$),其后逐渐降低;运动后24 h, B、C两组CK仍处于较高状态,明显高于对照组($P<0.05$),而D组与B、C两组同时相比较,有非常明显的降低($P<0.01$); B、C、D3组运动后48和72 h与对照组已

无显著性差异,与同组运动后即刻比较,有非常明显下降($P<0.01$);与B、C两组相比,D组运动后72 h血清CK值显著低于B、C组的对应时相,与同组48 h比较有明显下降($P<0.05$),B、C组则没有差异性,48 h相同时相间无显著性差异($P>0.05$)(见表2)。

表2 CK值($\bar{x} \pm s$)的组间比较

组别	n/只	安静	运动后即刻	运动后24 h	运动后48 h	运动后72 h
A组	8	505.3 ± 129.3				
B组	32		2 201.6 ± 300.8 ²⁾	1 377.6 ± 173.2 ¹⁾	615.7 ± 134.6 ³⁾	515.7 ± 117.6 ³⁾
C组	24			1 198.5 ± 187.4 ¹⁾	587.5 ± 123.5	545.4 ± 132.9
D组	24			626.3 ± 130.2 ²⁾	565.8 ± 143.6	435.8 ± 105.6 ⁵⁾⁶⁾

与A组比较, 1) $P<0.05$, 2) $P<0.01$; 3)与B组运动即刻比较, $P<0.01$; 4)与B、C组运动后24 h比较, $P<0.01$; 5)与运动后48 h比较, $P<0.05$; 6)与B、C组运动后72 h比较, $P<0.05$

血清CK及CK-MM的变化情况相类似,B组运动后即刻CK-MM均达到最高,非常显著高于对照组($P<0.01$),其后逐渐降低;运动后24 h, B、C两组CK-MM仍处于较高状态,明显高于对照组外($P<0.05$),而D组与B、C两组同时相比较,有非常明显的降低($P<0.01$); B、C、D3组运动后48和72 h CK-MM值

与对照组已无显著性差异,与同组运动后即刻对比,有非常明显下降($P<0.01$);与B、C两组比较,D组运动后72 h血清CK-MM值显著低于B、C两组的对应时相,与同组48 h相比有明显下降($P<0.05$),B、C组则没有显著差异性,48 h相同时相间无显著性差异($P>0.05$)(见表3)。

表3 CK-MM值($\bar{x} \pm s$)的组间比较

组别	n/只	安静	运动后即刻	运动后24 h	运动后48 h	运动后72 h
A组	8	505.3 ± 129.3				
B组	32		1 678.5 ± 223.8 ¹⁾	876.4 ± 194.5 ¹⁾	478.5 ± 142.2 ²⁾	433.6 ± 108.7 ²⁾
C组	24			764.5 ± 156.4 ¹⁾	403.6 ± 108.4	377.5 ± 112.9
D组	24			557.3 ± 128.5 ³⁾	402.6 ± 122.1	285.6 ± 81.4 ⁴⁾⁵⁾

1)与A组比较, $P<0.01$; 2)与运动后即刻比较, $P<0.01$; 3)与B、C组运动后24 h比较, $P<0.01$; 4)与D组运动后48 h比较, $P<0.05$; 5)与B、C组运动后72 h比较, $P<0.05$

CK 与 CK-MM 是同工酶,在同一时相比较时趋势是一致的:先升高后降低,D组在运动后 24 h 就恢复到安静时的水平,而 B、C 两组在运动后 48 h 才回到安静水平,同时相相比有显著差异性($P < 0.05$)。

3 讨论

远红外陶瓷微珠能够发射 8~15 μm 的红外线,红外发射率高达 94%,属健康红外材料。远红外线具有两方面生物效应——远红外线热生物效应和非热生物效应,该两种生物效应对疲劳的恢复均有积极作用,和其他保健材料相比具有更强的辐射能力,具有良好的热效应和共振效应,其共振效应使生物分子产生共振吸收效应,使生物分子能级激发而处于较高的共振能级,改善人体微循环,促进人体血液循环和新陈代谢,当红外线能量被人体吸收后,可引起肌纤维蛋白质分子中酰胺键的振动,在 ATP 较低的情况下,补偿生物能量顺利地从一个地方传递到另一个地方^[10-11]。以上作用提示,远红外陶瓷微珠可能具有减轻骨骼肌微损伤的良好效果,但其在运动所致骨骼肌微损伤干预中的机制尚不清楚。

CK 是组织中广泛分布的胞浆和线粒体酶,它通过催化三磷酸腺苷(ATP)与肌酸生成二磷酸腺苷(ADP)和磷酸肌酸的可逆反应,参与细胞内的能量供应活动,是机体 ATP-CP 系统代谢的关键酶^[12]。CK 是由两种不同亚基组成的二聚体酶,有 CK-M(肌型)和 CK-B(脑型)两种细胞质形式,CK-M 主要存在于成年人的心肌和骨骼肌细胞中;CK-B 则主要存在于成年哺乳动物的脑和心肌细胞,同时它也可在发育中的横纹肌中表达^[13-14],这样正常人体组织中常含 3 种肌酸激酶同工酶,按电泳快慢顺序分为 CK-BB(CK₁)、CK-MB(CK₂)和 CK-MM(CK₃)。Jeffrey 等^[14]对比了人体的不同骨骼肌中 CK 同工酶的组成特点,结果表明,CK-MM 同工酶不论在骨骼肌的哪个部位,其形式都占绝对优势,大约形成 CK 活性的 99%左右,其大小都能全面反映 CK 的变化情况^[15-16],本实验结果也与其一致。LDH 定位于细胞质的胞浆中,分布于骨骼肌、肾脏、肝脏和心脏等器官,其活性大小可用来评价运动员无氧工作能力的高低。

体内的酶均是在细胞内合成,故血清酶皆来自细胞^[17]。正常情况下肌细胞膜结构完整,功能正常,CK、CK-MM 与 LDH 等极少透过细胞膜,(肌细胞膜孔直径为 3~40 \AA ,而酶蛋白分子直径一般可达 50~200 \AA),正常情况下细胞酶主要来自血清中的细胞更新,活性很低。当骨骼肌发生微损伤时,其细胞膜的通透性加大,可导致各种酶释放入血,引起血清酶活性升高。

血 CK 活性被认为是评价肌肉损伤的较好指标,由于 CK-MM 同工酶在总骨骼肌 CK 中占绝对优势,故用其变化反映骨骼肌结构状况更具特异性^[6, 18]。此外,LDH 也被认为是衡量肌细胞膜是否完整的重要指标。许多研究表明,大强度运动尤其是离心运动可使骨骼肌细胞膜通透性增高,导致血 CK、CK-MM、LDH 活性显著升高^[19]。

在本研究中,一次大强度离心运动后 24 h 血 CK、CK-MM、LDH 活性显著高于安静对照组,提示运动诱发了骨骼肌的微损伤,使肌细胞膜结构发生了改变。而在运动后的 48 与 72 h,血 CK、CK-MM 活性又恢复到安静对照组水平,说明该微损伤是可逆的,可在运动后的恢复期得以修复。而运动后 72 h 血 LDH 活性仍显著高于安静组,由于 LDH 广泛分布于骨骼肌、肾脏、肝脏和心脏等多个器官,该变化可能与骨骼肌之外的某个或几个器官恢复过程与骨骼肌恢复过程的不一致有关^[20-22]。综合各组的实验结果可见,常规恢复组与远红外陶瓷微珠组 3 指标运动后各时相均低于运动组,而远红外陶瓷微珠组 3 指标各时相又均低于常规恢复组。以上结果提示,热水疗法与远红外陶瓷微珠疗法可能均具有减小骨骼肌细胞膜通透性、有利于骨骼肌微损伤的康复,而远红外陶瓷微珠疗法的作用则更为显著。

远红外陶瓷微珠组运动后在 24 和 48 h 的血 CK、CK-MM、LDH 酶活性均低于常规恢复组与运动组,提示远红外陶瓷微珠疗法具有减小骨骼肌细胞膜通透性、有利于骨骼肌微损伤的康复。

参考文献:

- [1] 任卫. 红外陶瓷[M]. 武汉: 武汉工业大学出版社, 1999: 43-44.
- [2] 刘直承,张灵振. 红外保健用品保健作用机理探讨[J]. 红外技术, 1997, 19(5): 47-48.
- [3] 周书铨. 红外辐射测量基础[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 1991: 87-88.
- [4] 倪浩军. 关于运动性疲劳的产生与恢复的研究[J]. 吉林体育学院学报, 2008, 24(4): 100-101.
- [5] 李红涛,刘建学. 远红外辐射陶瓷研究的现状及进展[J]. 陶瓷, 2005(4): 49-51.
- [6] 付德荣,刘承宜,孙小华. 运动性骨骼肌损伤的内稳态研究综述[J]. 体育学刊, 2011, 18(1): 133-138.
- [7] 李红涛,刘建学. 高效远红外辐射陶瓷的研究现状及应用[J]. 现代技术陶瓷, 2005(2): 20-26.
- [8] 靳正国,王一光,陈君华,等. Al₂O₃-2SiO₂ 基陶瓷特定波段红外发射特性的研究[J]. 硅酸盐学报,

1997, 25(1): 24-29.

[9] 季冠芳, 杨子彬. 远红外线的生物学效应及其应用[J]. 天津医药, 2007, 35(1): 78-80.

[10] Worrell T W. Factors associated with hamstring injuries. An approach to treatment and prevention measures [J]. Sports Med, 1994, 17: 338-345.

[11] 傅旭东. 远红外电热磁中药导入法在治疗运动性疲劳与损伤中的运用[J]. 福建中医药, 2007, 38(5): 48-49.

[12] 卢鼎厚. 骨骼肌损伤的病因和治疗[M]. 北京: 北京体育大学出版社, 1993: 33-34.

[13] 刘志敏, 张建平. 大蒜素制剂对小鼠超耐力的影响[J]. 中草药, 2004, 35(9): 1040-1041.

[14] 崔玉鹏. 大鼠不同方式运动后骨骼肌损伤与血液CK及其同工酶变化的关系[J]. 中国运动医学杂志, 2003, 22(6): 561-565.

[15] Maria Fernstrom, Michal Tonkonogi. Effects of acute and chronic endurance exercise on mitochondrial uncoupling in human skeletal muscle[J]. J Physiol, 2003, 554(3): 755-763.

[16] 李格, 史载祥, 贾海忠, 等. 大蒜素防治犬心肌缺血再灌注损伤生物化学机制的实验研究[J]. 中药药理与临床, 2002, 18(2): 11-13.

[17] 宫霞, 卢元芳. 银杏叶提取物对小鼠骨骼肌过氧化损伤的保护作用[J]. 中国运动医学杂志, 1998, 17(4): 35-36.

[18] Carlsm B M. The regeneration of skeletal muscle—a review [J]. Am J Anat, 1973, 137: 119-150.

[19] Mauro A. Muscle regeneration[M]. New York: Raven Press, 1979.

[20] 颜卫东. 运动性疲劳产生的机制及其恢复[J]. 南京体育学院学报: 自然科学版, 2007, 6(2): 57-60.

[21] Liu X G, Zhou Y J, Liu T C, et al. Effects of low-level laser irradiation on rat skeletal muscle injury after eccentric exercise[J]. Photomed Laser Surg, 2009, 27(6): 863-869.

[22] 刘晓光, 周永健, 夏义山, 等. 低强度激光对大鼠力竭运动后骨骼肌自由基、NO代谢的影响[J]. 体育学刊, 2009, 16(6): 102-106.

《体育网刊》2013年第3期题录

探索与争鸣

- 关于李娜“爱国问题”的被采访实录…………… 卢元镇
对《体育与高考——体育在线学术论坛网友讨论摘登》一文的评价…………… 黄璐
对“从伦敦奥运会看我国体育国际话语权”学术报告有感…………… 纪成龙

体育人文社会学

- 体育的二重性——谈谈体育学的属性问题…………… 熊斗寅
中国梦, 体育心…………… 王苏杭
关于农民工体育教育培训的几点思考…………… 王春林

学校体育

- 新课改下体育教师的教学理念转向…………… 晁恒
传承与发展——转型前后德国、俄罗斯体育的比较研究…………… 汪灵敏, 刘志民

竞赛与训练

浅谈逆境应对策略

- 以乒乓球运动员以弱胜强案例心理分析为例…………… 熊志超
定向运动的符号学解读…………… 吕佑玖
对国球精神文化内涵的探析…………… 程成