

DOI:10.3969/j.issn.1000-9760.2019.01.004

## 振动对家兔骨骼肌线粒体呼吸链酶及 ATP 酶活力的影响\*

解霜雁<sup>1,2</sup> 林立<sup>2</sup> 邵华<sup>3△</sup>

(<sup>1</sup> 济南大学山东省医学科学院医学与生命科学学院, 济南 250062;

<sup>2</sup> 济宁医学院公共卫生学院, 济宁 272067; <sup>3</sup> 山东省医学科学院山东省职业卫生与职业病防治研究院, 济南 250062)

**摘要 目的** 探讨振动对家兔骨骼肌线粒体呼吸链酶及 ATP 酶活力的影响及其意义。**方法** 将 32 只家兔随机分为低强度组、中强度组、高强度组 3 个实验组和 1 个对照组, 每组 8 只。对家兔进行为期 45d 的振动负荷试验。试验结束后, 取其后肢骨骼肌, 进行线粒体呼吸链酶复合体 I、II、III、IV 及 ATP 酶活力的测定。**结果** 对照组、低强度组、中强度组、高强度组骨骼肌组织线粒体呼吸链酶复合体 I 的活力分别是  $248.30 \pm 40.43$ 、 $180.89 \pm 84.67$ 、 $172.01 \pm 40.00$ 、 $77.87 \pm 52.72$ ; 线粒体呼吸链酶复合体 II 的活力分别是  $71.47 \pm 5.25$ 、 $63.91 \pm 8.09$ 、 $52.19 \pm 9.21$ 、 $28.62 \pm 5.84$ ; 线粒体呼吸链酶复合体 III 的活力分别是  $31.85 \pm 11.62$ 、 $22.63 \pm 8.84$ 、 $14.26 \pm 6.66$ 、 $7.92 \pm 3.35$ ; 线粒体呼吸链酶复合体 IV 的活力分别是  $32.76 \pm 4.75$ 、 $12.56 \pm 2.91$ 、 $11.83 \pm 1.77$ 、 $7.11 \pm 1.64$ 。与对照组相比, 各实验组家兔骨骼肌线粒体呼吸链酶复合体 I ~ IV 的活力均明显减弱 ( $P < 0.05$ )。对照组、低强度组、中强度组、高强度组骨骼肌组织中  $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATP}$  酶的活力分别是  $34.23 \pm 4.20$ 、 $15.17 \pm 0.68$ 、 $16.16 \pm 0.47$ 、 $11.56 \pm 1.76$ ;  $\text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+} - \text{ATP}$  酶的活力分别是  $12.17 \pm 1.11$ 、 $7.15 \pm 1.19$ 、 $5.40 \pm 0.92$ 、 $4.90 \pm 1.05$ 。与对照组比较, 3 个实验组  $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATP}$  酶、 $\text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+} - \text{ATP}$  酶活力均明显降低 ( $P < 0.05$ )。**结论** 振动可导致家兔骨骼肌线粒体呼吸链酶活力降低而引发能量代谢异常, 进而可能成为振动性骨骼肌损伤的重要因素。

**关键词** 振动; 骨骼肌; 线粒体呼吸链酶; ATP 酶; 能量代谢

中图分类号: R135.4 文献标识码: A 文章编号: 1000-9760(2019)02-015-05

### Effects of the vibration on the activities of mitochondrial respiratory chain enzymes and ATPases in the skeletal muscle of rabbits

XIE Shuangyan<sup>1,2</sup>, LIN Li<sup>2</sup>, SHAO Hua<sup>3△</sup>

(<sup>1</sup> School of Medicine and Life Sciences, University of Jinan-Shandong Academy of Medical Sciences, Jinan 250062, China; <sup>2</sup> School of Public Health, Jining Medical University, Jining 272067, China;

<sup>3</sup> Shandong Academy of Occupational Health and Occupational Medicine, Shandong Academy of Medical Sciences, Jinan 250062, China)

**Abstract: Objective** To study the effects of vibration on the activities of mitochondrial respiratory chain enzymes and ATPases in the skeletal muscle of rabbits. **Methods** Thirty-two rabbits were randomly divided into low-intensity group, medium-intensity group, high-intensity group and control group ( $n = 8$ ). The vibration loading test was carried out on each intensity group. After the test, the activities of mitochondrial respiratory chain enzymes and ATPases in the skeletal muscle of each group were measured. **Results** The activities of mitochondrial respiratory chain enzyme complex I in the skeletal muscle tissue of control group, low-intensity group, medium-intensity group and high-intensity group were  $248.30 \pm 40.43$ ,  $180.89 \pm 84.67$ ,  $172.01 \pm 40.00$  and  $77.87 \pm 52.72$ ; The activities of respiratory chain enzyme complex II were  $71.47 \pm 5.25$ ,  $63.91 \pm 8.09$ ,  $52.19 \pm 9.21$  and  $28.62 \pm 5.84$ . The activities of respiratory chain enzyme complex III were  $31.85 \pm 11.62$ ,  $22.63 \pm 8.84$ ,  $14.26 \pm 6.66$  and  $7.92 \pm 3.35$ . Respiratory chain enzyme complex IV were  $32.76 \pm 4.75$ ,

\* [基金项目] 国家自然科学基金项目(81273042)

△ [通信作者] 邵华, E-mail: chinashaohua5888@163.com

12.56 ± 2.91, 11.83 ± 1.77 and 7.11 ± 1.64, respectively. Compared with the control group, the activities of mitochondrial respiratory chain enzyme complexes I ~ IV in skeletal muscle of each intensity group were significantly decreased ( $P < 0.05$ ). The activities of  $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATPase}$  in skeletal muscle tissue of control group, low-intensity group, medium-intensity group and high-intensity group were 34.23 ± 4.20, 15.17 ± 0.68, 16.16 ± 0.47 and 11.56 ± 1.76, and the activities of  $\text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+} - \text{ATPase}$  were 12.17 ± 1.11, 7.15 ± 1.19, 5.40 ± 0.92 and 4.90 ± 1.05, respectively. Compared with the control group, the activities of  $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATPase}$  and  $\text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+} - \text{ATPase}$  in the three intensity groups were significantly decreased ( $P < 0.05$ ). **Conclusion** The vibration can lead to the decrease of activities of mitochondrial respiratory chain enzymes and abnormal energy metabolism of skeletal muscle in rabbits, which may become an important factor of vibration-induced skeletal muscular injury.

**Keywords:** Vibration; Skeletal muscle; Mitochondrial respiratory chain enzyme; ATP enzyme; Energy metabolism

手臂振动病作为一种常见的职业病,主要危害作业工人的周围神经、周围循环以及骨关节肌肉系统的功能。其中振动所致骨关节肌肉系统的损伤表现,常不如神经及循环功能损害的表现明显<sup>[1-2]</sup>,因此在实际防治工作中容易被忽略。然而,振动性骨关节肌肉损伤常可影响工人的手部功能,给其工作和生活带来较大影响,并有一定的致残率<sup>[3-4]</sup>。以往的研究多认为振动性骨骼肌损伤的主要原因在于神经损伤的继发改变,但其确切机制尚未阐明。线粒体作为细胞能量代谢的重要结构,是决定骨骼肌功能的重要因素,许多研究证实,在运动导致的骨骼肌的损伤中,均可见线粒体的异常或相关生化指标的改变<sup>[5-6]</sup>。本研究对接振家兔骨骼肌能量代谢相关的生化指标进行了测定与分析,旨在为振动性骨骼肌损伤的机制及其防治研究提供基础资料。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

**1.1.1 动物及分组** 选择同 2 个月龄左右新西兰白兔(由新华鲁抗实验动物中心提供)作为实验对象,共 32 只,体重为 2.0 ~ 3.0 kg,雌雄各半。将家兔随机分为低强度组、中强度组、高强度组 3 个实验组和 1 个对照组,每组 8 只。动物管理均遵循国家实验动物饲养管理条例和使用指南以及济宁医学院实验动物管理条例。

**1.1.2 仪器及试剂** D-150-1 电动振动台, D-150-1 振动控制仪(苏州试验仪器厂); RC5C 高速冷冻离心机(美国科峻仪器公司); ND2 型精密声级计(江西红声器材厂); 线粒体呼吸链酶复合体 I、II、III、IV 试剂盒(苏州科铭生物技术有限公司);

ATP 酶测试盒测试盒(南京建成生物工程研究所)。

### 1.2 方法

**1.2.1 振动负荷试验** 家兔固定于自制铁质固定器上,双后肢密切接触 D-150-1 电动振动台面,由 KD-3 振动控制仪调控振动参数。在振动负荷试验过程中,将对照组置于中强度组相同的环境中,只接触噪声不接触振动,以消除噪声对实验的干扰。实验组总实验时间均为 45d。分组、接振强度、接振时间、接振时噪声水平见表 1。

表 1 各组振动负荷试验的振动强度、振动时间

组别	接振频率 /Hz	每天振动 时间/h·d	振动强 度/g	ahw(4) * /m·s <sup>2</sup>	噪声强度 /dB(A)
对照组	-	-	-	-	77.27
低强度组	125	0.5	10	4.33	77.15
中强度组	63	0.5	10	8.67	77.27
高强度组	63	0.5	20	17.34	81.13

注: \*4h 等能量频率计权加速度有效值

**1.2.2 标本的采集与处理** 振动负荷试验结束后,取家兔小腿远端骨骼肌,立即贮存于 -70℃ 冰箱中待测。

**1.2.3 指标的测定** 1) 线粒体呼吸链酶复合体活力的测定。根据试剂盒说明书步骤进行,将骨骼肌研磨匀浆后,经过 2 次离心,获得线粒体,再经超声波破碎线粒体后,加反应液,应用分光光度法分别在波长 340、605、550、550nm 处测定线粒体呼吸链酶复合体 I、II、III、IV 的吸光度值并记录。根据公式按照湿重质量计算线粒体呼吸链酶活力单位。计算公式:线粒体呼吸链酶活力单位( $\mu\text{mol} \cdot \text{mg-protein}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ) =  $[(\Delta A / \text{min} \cdot \text{反应体积}) / \text{吸光系数}] / \text{线粒体蛋白含量}$ 。应用 Folin-酚法进行线粒体蛋白浓度的测定。2) ATP 酶活力的测定。将

所取家兔骨骼肌组织匀浆,并制成 10% 组织匀浆液。用分光光度法测定  $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATP}$  酶、 $\text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+} - \text{ATP}$  酶活力,以每小时每毫克组织蛋白的组织中 ATP 酶分解 ATP 产生  $1 \mu\text{mol}$  无机磷的量作为 1 个 ATP 酶活力单位( $\mu\text{molPi} \cdot \text{mgprot}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ )。考马斯亮蓝法测定骨骼肌组织中蛋白质的含量。

### 1.3 统计学方法

应用 SPSS 20.0 数据处理软件对结果进行统计描述和统计学处理。

## 2 结果

### 2.1 动物一般情况

3 个实验组家兔均出现不同程度的摄食量减少、活动减少、体重下降、脱毛增多的情况,且随实验时间的延长而加重,并以高强度组为甚。对照组在实验过程中无明显变化。

### 2.2 各组骨骼肌线粒体呼吸链酶复合体活力测定

各组骨骼肌线粒体复合体 I、II、III、IV 活力差异均有统计学意义( $P < 0.05$ )。与对照组比较,各实验组家兔骨骼肌线粒体呼吸链酶复合体 I ~ IV 的活力均明显减弱( $P < 0.05$ )。见表 2。

表 2 各组骨骼肌线粒体呼吸链酶复合体活力 ( $\mu\text{mol} \cdot \text{mgprot}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}, \bar{x} \pm s$ )

组别	动物数	复合体 I	复合体 II	复合体 III	复合体 IV
对照组	8	248.30 ± 40.43	71.47 ± 5.25	31.85 ± 11.62	32.76 ± 4.75
低强度组	8	180.89 ± 84.67*	63.91 ± 8.09*	22.63 ± 8.84	12.56 ± 2.91
中强度组	8	172.01 ± 40.00*	52.19 ± 9.21*	14.26 ± 6.66*	11.83 ± 1.77
高强度组	8	77.87 ± 52.72*	28.62 ± 5.84*	7.92 ± 3.35*	7.11 ± 1.64*
F 值		25.43	68.90	16.56	112.63
P		0.00	0.00	0.00	0.00

注:与对照组比较, \*  $P < 0.05$

### 2.3 各组骨骼肌组织中 ATP 酶活力变化

经方差分析,4 组骨骼肌组织中  $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATP}$  酶、 $\text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+} - \text{ATP}$  酶活力比较具有显著性差异性( $P < 0.05$ )。与对照组比较,3 个实验组  $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATP}$  酶、 $\text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+} - \text{ATP}$  酶活力均明显降低( $P < 0.05$ )。见表 3。

表 3 各组骨骼肌组织 ATP 酶活力分析 ( $\mu\text{molPi} \cdot \text{mgprot}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}, \bar{x} \pm s$ )

组别	动物数	$\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATP}$ 酶	$\text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+} - \text{ATP}$ 酶
对照组	8	34.23 ± 4.20	12.17 ± 1.11
低强度组	8	15.17 ± 0.68*	7.15 ± 1.19*
中强度组	8	16.16 ± 0.47*	5.40 ± 0.92*
高强度组	8	11.56 ± 1.76*	4.90 ± 1.05*
F 值		148.03	63.42
P		0.00	0.00

注:与对照组比较, \*  $P < 0.05$

## 3 讨论

线粒体存在于大多数真核细胞中,主要承担组织细胞氧化供能的作用,是细胞进行有氧呼吸的主要场所。线粒体呼吸链电子传递过程伴有 ATP 生成<sup>[7]</sup>,这个电子传递链由线粒体呼吸链复合体 I、II、III、IV 构成。线粒体呼吸链主要有两条,一是 NADH 氧化呼吸链(复合体 I、III、IV 参与),二是琥珀酸氧化呼吸链(复合体 II、III、IV 参与)。复合体 I (NADH 脱氢酶)将代谢物脱下的 H 经 NADH 传递给 CoQ,同时将 4 个质子从基质泵出到膜间隙,复合体 II (琥珀酸脱氢酶)将电子从琥珀酸传递给 CoQ,复合体 III (CoQ-细胞色素 C 还原酶)将电子从 CoQ 传递给细胞色素 C,同时将 4 个质子释放至膜间隙,复合体 IV (细胞色素 C 氧化酶)将电子从细胞色素 C 传递给  $\text{O}_2$ ,生成水,并产生 ATP<sup>[8]</sup>。因此,当线粒体呼吸链酶被破坏时,这些连续的反应将会减弱甚至消失,导致骨骼肌能量代谢障碍,氧化磷酸化不能正常进行,不能达到细胞正常的代谢需求,使其功能出现异常<sup>[9-12]</sup>。

$\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATP}$  酶即钠钾泵,是存在于细胞膜上的蛋白质,其主要作用是依赖 ATP,进行细胞内外钠与钾的交换,以维持细胞内高钾及细胞外高钠的生理性分布<sup>[13]</sup>。 $\text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+} - \text{ATP}$  酶即钙泵,它催化细胞膜或细胞质膜内侧 ATP 水解释放能量,以维持细胞内外或内质网内外钙的生理性不平衡。可见,这两种酶的作用发挥均需要充足能量(ATP),或者说,若组织细胞的能量代谢发生异常,均可影响到两种酶的活性,进而影响细胞的功能<sup>[14]</sup>。

本文结果显示,经过振动负荷试验,各实验组家兔后肢骨骼肌线粒体呼吸链酶链复合体 I ~ IV 的活力均呈显著下降的趋势,提示 NADH 氧化呼吸链与琥珀酸氧化呼吸链的功能均出现了异常,其后果即为骨骼肌线粒体 ATP 产量下降。产生这种结果的原因可能与以下因素有关:1) 振动对机体的主要损害为周围动脉的收缩痉挛,导致肢端骨骼肌组织的缺血缺氧,而在低氧的环境下,对缺氧较为敏感的线粒体功能受到影响,其呼吸链酶链复合体 I ~ IV 也出现功能异常和活力下降,同时复合体 IV 将电子从细胞色素 C 传递给  $\text{O}_2$  时,ATP 的产量也下降。2) 振动为高强度的机械运动,它可以直接作用于骨骼肌组织<sup>[15-18]</sup>,使其细胞及细胞器(如

线粒体)的形态结构现异常,从而影响与线粒体功能相关的呼吸链酶复合体的活力。3)振动可导致某些细胞因子、炎症因子、血管内皮活性物质的改变<sup>[19-22]</sup>,这些因素也可能直接或间接作用于线粒体呼吸链酶,使其功能异常。同时,本文结果还显示,振动负荷试验后各实验组  $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATP}$  酶及  $\text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+} - \text{ATP}$  酶活力下降,并以高强度组为甚。这两种酶功能的实现,均依赖于 ATP,当因线粒体呼吸链酶复合体活力下降而导致 ATP 生成下降时, $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATP}$  酶及  $\text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+} - \text{ATP}$  酶活力必然会相应下降,从而影响到骨骼肌的功能<sup>[23]</sup>。在长期从事手传振动作业的工人中出现手臂部肌力下降、肌肉萎缩等,可能与此有直接的关系。

本文从能量代谢的角度探讨了振动导致骨骼肌损伤的原因和机制,振动对骨骼肌线粒体呼吸链酶复合体 I ~ IV 活力的影响是全面性的,所导致的是呼吸链酶功能的整体下降,可见其对线粒体的呼吸功能的影响较为严重而广泛,同时复合体 I 和复合体 IV 活力下降又最明显。这为振动性骨骼肌损伤的防治提供了重要依据,即应以降低振动强度、避免骨骼肌受损为主要预防措施,一旦骨骼肌出现功能障碍和萎缩,其结局可能是不可逆性。

#### 参考文献:

- [1] Aarhus L, Strandén E, Nordby KC, et al. Vascular component of hand-arm vibration syndrome; a 22-year follow-up study [J]. *Occup Med (Lond)*, 2018, 68 (6): 384-390. DOI:10.1093/occmed/kqy085.
- [2] Campbell RA, Janko MR, Hacker RI. Hand-arm vibration syndrome; a rarely seen diagnosis [J]. *J Vasc Surg Cases Innov Tech*, 2017, 3(2): 60-62. DOI:10.1016/j.jvscit.2017.01.002. eCollection 2017 Jun.
- [3] Charles LE, Ma CC, Burchfiel CM, et al. Vibration and ergonomic exposures associated with musculoskeletal disorders of the shoulder and neck [J]. *Saf Health Work*, 2018, 9 (2): 125-132. DOI: 10.1016/j.shaw.2017.10.003.
- [4] Handford M, Lepine K, Boccia K, et al. Hand-arm vibration syndrome: workers' experience with functional impairment and disability [J]. *J Hand Ther*, 2017, 30(4): 491-499. DOI:10.1016/j.jht.2016.10.010.
- [5] 尚画雨,白胜超,夏志,等.运动诱导骨骼肌损伤对大鼠骨骼肌线粒体结构和功能的影响[J].北京体育大学学报,2018,41(1):58-63. DOI:10.19582/j.cnki.113785/g8.2018.01.008.
- [6] 夏舒萌,张德琛,吴小晶,等.线粒体功能与骨骼肌缺血再灌注损伤的关系[J].中国临床康复,2005,9(2):103-105. DOI:10.3321/j.issn:1673-8225.2005.02.079.
- [7] 谈文博.适度运动对增龄大鼠骨骼肌线粒体能量代谢及自由基代谢的影响[D].兰州:西北师范大学,2014.
- [8] 于秉治.图表生物化学[M].北京:中国协和医科大学出版社,2010:152-158.
- [9] Bález AL, Reynoso MN, Lo Presti MS, et al. Mitochondrial dysfunction in skeletal muscle during experimental chagas disease [J]. *Exp Mol Pathol*, 2015, 98 (3): 467-75. DOI:10.1016/j.yexmp.2015.03.034.
- [10] Mun JY, Jung MK, Kim SH, et al. Ultrastructural changes in skeletal muscle of infants with mitochondrial respiratory chain complex I defects [J]. *J Clin Neurol*, 2017, 13 (4): 359-365. DOI:10.3988/jcn.2017.13.4.359.
- [11] Belyaeva EA. Respiratory complex II in mitochondrial dysfunction-mediated cytotoxicity: Insight from cadmium [J]. *J Trace Elem Med Biol*, 2018, 50: 80-92. DOI:10.1016/j.jtemb.2018.06.009.
- [12] Dodds RM, Davies K, Granic A, et al. Mitochondrial respiratory chain function and content are preserved in the skeletal muscle of active very old men and women [J]. *Exp Gerontol*, 2018, 113: 80-85. DOI: 10.1016/j.exger.2018.09.020.
- [13] Juel C. Oxidative stress (glutathionylation) and  $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATPase}$  activity in rat skeletal muscle [J]. *PLoS One*, 2014, 9 (10): e110514. DOI: 10.1371/journal.pone.0110514.
- [14] Nozdrenko DM, Abramchuk OM, Soroca VM, et al. The effect of the aluminum chloride-quercetin complex on  $\text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+} - \text{ATP}$  activity and contraction dynamic properties of muscle tibialis anterior from rana temporaria [J]. *Ukr Biochem J*, 2015, 87 (6): 76-85. DOI: 10.15407/ubj87.06.076.
- [15] Mahbub MH, Kurozawa Y, Ishitake T, et al. A systematic review of diagnostic performance of quantitative tests to assess musculoskeletal disorders in hand-arm vibration syndrome [J]. *Ind Health*, 2015, 53 (5): 391-397. DOI: 10.2486/indhealth.2014-0221.
- [16] Bovenzi M, Prodi A, Mauro M. A longitudinal study of neck and upper limb musculoskeletal disorders and alternative measures of vibration exposure [J]. *Int Arch Occup Environ Health*, 2016, 89 (6): 923-933. DOI: 10.1007/s00420-016-1131-9.

(下转第 23 页)

综上所述,妊娠对于女性是重大的应激,常会引起焦虑、抑郁等心理反应。本文结果表明高龄二胎孕妇的心理健康问题不容忽视,发生产前抑郁的相关因素也涉及诸多方面。临床工作中应加强对她们的心理干预,提供合理、人性化、个体化的建议与指导,缓解其心理压力,以促进孕妇与胎儿的身心健康。

**参考文献:**

[1] 丁海燕,安晨凤,孙超. 产前焦虑抑郁情绪对产科并发症和妊娠结局的影响[J]. 中国基层医药,2015,22(1):28-31. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 1008-6706. 2015. 01. 010.

[2] 孙艳丽,邵婷,姚余有,等. 母亲妊娠特有焦虑与学龄前儿童孤独症样行为关系的出生队列研究[J]. 中华预防医学杂志,2016,50(2):118-122. DOI:10. 3760/cma. j. issn. 0253-9624. 2016. 02. 004.

[3] 马红,王春梅,胡利. 高龄孕妇妊娠期抑郁症对体质量增长和妊娠结局的影响[J]. 中国健康心理学杂志,2018,26(7):986-990. DOI: 10. 13342/j. cnki. cjhp. 2018. 07. 010.

[4] 卢丽燕,钟小燕. 高龄孕妇的心理健康状态调查及其危险因素分析[J]. 中国妇幼卫生杂志,2017,8(3):58-60,68. DOI: 10. 19757/ j. cnki. issn1674-7763. 2017. 03. 015

[5] 任茂琼. 高龄孕妇临产前焦虑、抑郁状况及相关因素分析[J]. 神经损伤与功能重建,2015,10(3):268-269. DOI:10. 3870/sjsscj. 2015. 03. 031.

[6] 张菊,牛英群. 早产儿父母创伤后应激障碍的研究进展[J]. 护理学杂志,2017,32(5):98-101. DOI:10. 3870/j. issn. 1001-4152. 2017. 05. 098

[7] Jesse DE, Kim H, Herndon C. Social support and self-esteem as mediators between stress and antepartum depressive symptoms in rural pregnant women [ J ]. Res Nurs Health, 2014, 37 ( 3 ) : 241-252. DOI: 10. 1002 / nur. 21600.

[8] Zhao Y, Kane I, Mao L, et al. The prevalence of antenatal depression and its related factors in Chinese pregnant women who present with obstetrical complications [ J ]. Arch Psychiatr Nurs, 2016, 30 ( 3 ) : 316-321. DOI: 10. 1016/j. apnu. 2015. 11. 012.

[9] 孙珂,邹玲,李毅,等. 2650 例孕妇焦虑抑郁相关因素分析及对策[J]. 现代临床护理,2004,6(3):1-4. DOI:10. 3969 / j. issn. 1671-8283. 2004. 03. 001

[10] 梁飘玲,谢凤云. 计划妊娠二胎孕妇产前抑郁、焦虑的相关危险因素分析[J]. 中国医药科学,2017,7(10):146-149.

[11] 李何丽,韩巍,张慧敏. 基于全面二胎政策开放下长子女心理探析—长子女心理问题新分析[J]. 广西教育学院学报,2017(4):57-61.

[12] 马春梅,程建云,王梅新. 二胎妊娠晚期孕妇焦虑状态及影响因素分析[J]. 护理管理杂志,2017,17(12):872-875. DOI: 10. 3969 / j. issn. 1671-315X. 2017. 12. 007.

(收稿日期 2018-12-04)

(本文编辑:甘慧敏)

(上接第 18 页)

[17] Di Giminiani R, Fabiani L, Baldini G, et al. Hormonal and neuromuscular responses to mechanical vibration applied to upper extremity muscles [ J ]. PLoS One, 2014, 9 ( 11 ) : e111521. DOI: 10. 1371/journal. pone. 0111521.

[18] Hagberg M. Clinical assessment of musculoskeletal disorders in workers exposed to hand-arm vibration [ J ]. Int Arch Occup Environ Health, 2002, 75 ( 1-2 ) : 97-105. DOI:10. 1007/s004200100283.

[19] Kennedy G, Khan F, McLaren M, et al. Endothelial activation and response in patients with hand arm vibration syndrome [ J ]. Eur J Clin Invest, 1999, 29 ( 7 ) : 577-581. DOI:10. 1046/j. 1365-2362. 1999. 00502. x.

[20] 郎丽,林瀚生,陈青松,等. 周围血 5-羟色胺与手传振动接触水平及末梢血管损伤的相关性[J]. 环境与职业医学,2016,33(6):542-546. DOI: 10. 13213/ j. cnki. jeom. 2016. 16138.

[21] 林立,张璟,曾晓立,等. 后肢接振对家兔缩血管肽类物质的影响[J]. 毒理学杂志,2006,20(3):165-166. DOI:10. 16421/j. cnki. 1002-3127. 2006. 03. 012.

[22] 于永胜,林立,张春之,等. 局部接触振动家兔血清某些指标变化的实验研究[J]. 中国职业医学,2007,34(2):110-112,114. DOI: 10. 3969/j. issn. 1000-6486. 2007. 02. 008.

[23] 林立,张兆强,张春芝. 后肢接振对家兔后肢骨骼肌组织生化酶活力的影响[J]. 济宁医学院学报,2016,39(4):234-236. DOI: 10. 3969 / j. issn. 1000-9760. 2016. 04. 002.

(收稿日期 2018-10-15)

(本文编辑:石俊强)