

文章编号:1004-7220(2011)02-0163-05

低频共振对大鼠生理功能影响研究

杨光瑜, 周继红, 尹志勇, 张岫竹, 张良, 刘大维

(第三军医大学大坪医院野战外科研究所四室, 全军交通医学研究所, 创伤、烧伤与复合伤国家重点实验室,
车辆/生物碰撞安全重庆市重点实验室, 重庆 400042)

摘要: **目的** 研究持续低频共振条件下大鼠血压、心率、呼吸频率和体温等生理指标变化特点, 为生物体器官共振损伤及其反应研究奠定基础。**方法** SD大鼠32只, 随机分为假振动组、3 Hz频率振动组、6 Hz频率振动组和21 Hz频率振动组, 1.5%戊巴比妥钠麻醉后, 行股动脉插管, 然后将大鼠以仰卧姿固定在振动台上, 静置30 min以后, 振动组施加振幅(p-p)为5 mm正弦振动, 观测振动之前和振动1, 3, 5, 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300, 360 min的血压、心率、呼吸频率、体温等生理指标, 假振动组观测相应时间点的上述生理指标。**结果** 持续低频共振会引起大鼠的血压、心率、呼吸频率在振动1 min时迅速升高, 1~3 min达到最大值, 之后逐渐下降, 30 min后低于正常值, 而在振动初期共振不会对大鼠体温造成影响, 体温在振动10 min之后才缓慢降低。在振动初期6 Hz频率共振对大鼠血压、心率、呼吸频率的影响比较大, 而在后期3 Hz频率共振影响比较大。但这2个频率的共振对大鼠体温的影响是一致的。**结论** 持续低频共振会引起大鼠的血压、心率、呼吸频率先迅速升高后逐渐降低, 还会造成大鼠体温调节能力下降。

关键词: 低频共振; 振动; 生理功能; 大鼠

中图分类号: R 318.01 **文献标志码:** A

Effects of low frequency resonance on physiological function in rats

YANG Guang-yu, ZHOU Ji-hong, YIN Zhi-yong, ZHANG Xiu-zhu, ZHANG Liang, LIU Da-wei (Military Research Institute of Traffic Medicine, State Key Laboratory of Trauma, Burns and Combined Injury, Chongqing Key Laboratory of Vehicle/Bio Crash Safety, Institute of Surgery Research, Daping Hospital, Third Military Medical University, Chongqing 400042, China)

Abstract: Objective To study the effect of continuous low frequency resonance on blood pressure, heart rate, breath rate and body temperature of the rat so as to provide basic data for the study of organs' resonance injury and its reaction. **Method** Thirty-two SD rats were divided into four groups randomly: false vibration group, 3 Hz vibration group, 6 Hz vibration group and 21 Hz vibration group. Femoral artery intubation was given after anaesthesia with 1.5% sodium pentobarbital. All the rats were fastened on their back on the vibration platform staying calmly for 30 min. Then the vibration groups were given sine wave vibration with 5 mm amplitude (p-p), while the blood pressure, heart rate, breath rate and body temperature of the rats were measured at 0, 1, 3, 5, 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300 and 360 min. The above physiological data were also observed in false vibration group at corresponding time. **Results** Continuous low frequency resonance could cause the blood pressure, heart rate, breath rate of the rat to rise rapidly after 1 min of vibration, and to reach the maximum value after 1 min to 3 min of vibration, and then to descend gradually and to be lower than the normal value after 30 min of vibration. The body temperature of the rat did not change at the beginning of vibration, but descended gradually after 10 min of vibration. At the beginning of vibration, the effect of 6 Hz resonance on blood pressure, heart rate, breath rate was dominating, while at the later stage, 3 Hz resonance was dominating. But the effect of the two frequencies on body temperature was accordant. **Conclusions** Continuous low frequency resonance can cause the blood

收稿日期:2010-12-22; 修回日期:2011-01-24

基金项目:全军“十一五”面上课题(06MB230), 重庆市自然科学基金课题(CSTC. 2005BA6020), 第三军医大学科研基金项目。

通讯作者:周继红, 教授, 博士研究生导师, Tel: (023) 68757441; E-mail: traumazjh@126.com。

pressure, heart rate, breath rate of the rat to rise rapidly at the beginning of vibration and then to descend gradually, and it can also depress the ability of body temperature regulation in rats.

Key words: Low frequency resonance; Vibrations; Physiological function; Rats

当振动频率与人体某些器官的共振频率相同或接近时,会引起器官发生共振,造成器官的物理损伤、内分泌失调、代谢紊乱、感知出现错觉等组织损伤和生理功能损害^[1-3],其中生理功能损害可使器官失能,长时间损害可能会危及生命。因此,深入了解低频共振对生物体的生理功能损害,对研究低频共振对人体的损伤特点和损伤防护措施具有十分重要的意义。目前国内外关于生物体低频共振损伤研究大多集中在器官物理损伤^[4-7],只有一少部分研究了低频共振致生物体生理功能损害^[8],但其仅仅采用流行病学调查的方式,不能准确了解生理功能损害的过程和机制。以往研究表明,在0~50 Hz频率范围内,大鼠肠、肺、肾、胃、心、肝在胸背方向的共振频率分别为3.8,3.2,6.6,7.0,4.6,3.0 Hz,通过扫频振动法测得大鼠肝脏在21 Hz频率处振幅最小^[9]。因此,本研究分别动态观测了最接近大鼠肠、肺和肝的共振频率(3 Hz)和接近胃和肾的共振频率(6 Hz)对大鼠血压、心率、呼吸频率、体温等生理指标的作用,以了解低频共振对生物体生理功能影响的特点。

1 材料和方法

1.1 动物分组及仪器

健康SD大鼠32只(由第三军医大学大坪医院野战外科研究所实验动物中心提供),雌雄不限,大鼠体重(220 ± 47) g,鼠龄2~4月。随机分为4组进行实验:假振动组($n=8$)、3 Hz频率振动组(接近肠、肺和肝的共振频率, $n=8$)、6 Hz频率振动组(接近胃和肾的共振频率, $n=8$)和21 Hz频率振动组(振幅最小频率, $n=8$)。实验环境温度(室温):(20 ± 1) °C。动物均在麻醉状态下进行实验,用1.5%戊巴比妥钠腹腔注射麻醉,剂量30 mg/kg。

采用美国惠普公司生产的1643型生理监护仪,同时实时监测血压和心率等生理指标。

振动台为广州恒振公司的LD-F-SP型垂直振动机,其振动波形为正弦波,最大负载100 kg,最大振幅(p-p)5 mm,最大加速度20 g,频率范围为2~

100 Hz。其振动控制器可以设定振动的频率、幅值、时间。

1.2 检测方法

动物麻醉后,以仰卧姿式固定在大鼠板上。切开腹股沟部皮肤,暴露股动脉,行动脉插管,然后将动物以仰卧姿式固定在振动台上,静置30 min以后,根据上述动物分组分别进行实验。3个振动组分别施加振幅(p-p)为5 mm的相应频率正弦振动,振动方向为大鼠胸背方向,观测振动之前和振动1,3,5,10,30,60,120,180,240,300,360 min的血压、心率、呼吸频率、体温等生理指标;假振动组固定于振动台上,不做其他任何处理,观测相应时间点的以上生理指标。

血压和心率检测:动物插管之前先将导管充满浓肝素液体,并将气泡完全排出,将插管的血管端浸泡在浓肝素液里。动物麻醉后行股动脉插管手术,然后以仰卧姿式固定在振动台上。将生理监护仪压力传感器的导管充满稀肝素,与动物股动脉插管相连,并将气泡完全排出。调整设置监护仪参数,使其能正常显示血压和心率值。动物静置30 min后开始记录振动之前的数据。然后设置好振动控制器参数,开启振动台,记录持续振动1,3,5,10,30,60,120,180,240,300,360 min时的血压和心率。实验中为防止血液凝固,每隔30 min往插管里推入0.5 mL稀肝素。

呼吸频率检测:用秒表计算时间,观察记录各时间点动物在1 min内的呼吸次数。

体温检测:用体温计测量动物肛温,插入深度2 cm。

1.3 数据统计与分析

用SPSS 13.0软件进行数据统计处理。计量资料以均值 \pm 标准差($\bar{x} \pm s$)表示。组间生理指标比较采用 t 检验和单因素方差分析(One-Way ANOVA)检验,计算相关系数,进行相关分析。 $P < 0.05$ 为具有显著差异, $P < 0.01$ 为具有非常显著的差异, $P > 0.05$ 为不具有显著差异。

2 结果

2.1 血压变化情况

假振动组、3 Hz、6 Hz 和 21 Hz 频率振动组大鼠血压变化情况如图 1 所示,图中(a)为收缩压,(b)为舒张压。

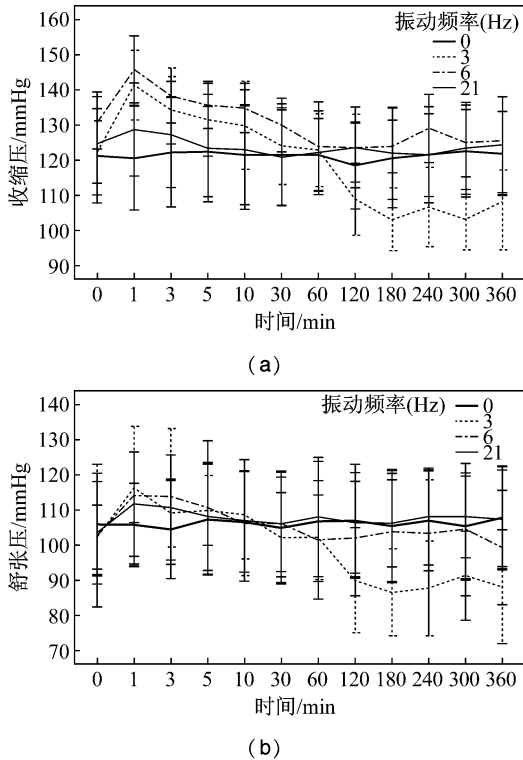


图1 收缩压变化情况(a)和舒张压变化情况(b)

Fig.1 Changes of systolic pressure (a) and diastolic pressure (b)

从图中可以看出,假振动组血压随时间变化波动幅度较小,各时间点之间无统计学差异($P > 0.05$);振动组在振动初期血压迅速升高,然后缓慢下降;6 Hz 频率振动组的收缩压在振动 60 min 以后趋于平稳,舒张压在振动 30 min 以后趋于平稳;3 Hz 频率振动组血压在振动 60 min 以后继续下降,180 min 时达到最低值,之后有小幅波动;21 Hz 频率振动组的血压在振动 5 min 以后趋于平稳。

收缩压:在 1~30 min 时间段,4 组之间两两比较,3 Hz、6 Hz 频率振动组明显高于假振动组和 21 Hz 频率振动组,有统计学差异($P < 0.01$),而 3 Hz 和 6 Hz 频率振动组之间无统计学差异($P > 0.05$),假振动组和 21 Hz 频率振动组之间无统计学

差异($P > 0.05$);在 120~360 min 时间段,4 组之间两两比较,3 Hz 频率振动组明显低于 6 Hz、21 Hz 频率振动组和假振动组,有统计学差异($P < 0.01$),而 6 Hz、21 Hz 频率振动组和假振动组两两之间无统计学差异($P > 0.05$)。各组之间在振动前和 60 min 时间点均无统计学差异($P > 0.05$)。可见,在振动初期,虽然 21 Hz 频率振动组血压收缩压有所升高,但与假振动组之间无统计学差异($P > 0.05$)。

舒张压:在 0~60 min 时间段,4 组之间两两比较,均无统计学差异($P > 0.05$);在 120~360 min 时间段,4 组之间两两比较,3 Hz 频率振动组明显低于 6 Hz、21 Hz 频率振动组和假振动组,有统计学差异($P < 0.01$),而 6 Hz、21 Hz 频率振动组和假振动组两两之间均无统计学差异($P > 0.05$)。可见,在振动初期,虽然振动组血压舒张压有所升高,但与假振动组之间无统计学差异($P > 0.05$)。

2.2 心率变化情况

假振动组、3 Hz、6 Hz 和 21 Hz 频率振动组大鼠心率变化情况如图 2 所示,单位为次/min。

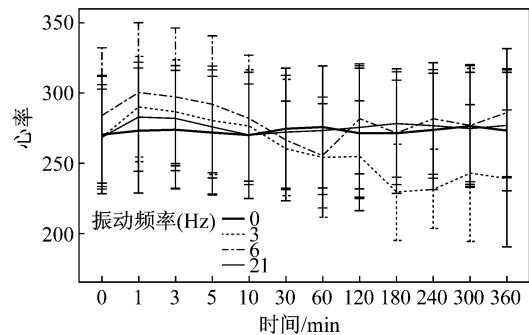


图2 心率变化情况

Fig.2 Change of heart rate

假振动组心率随时间变化波动幅度较小,各时间点之间无统计学差异($P > 0.05$);振动组在振动初期心率迅速升高,然后缓慢下降;6 Hz 频率振动组在振动 60 min 时达到最低值,之后回升到假振动组附近波动;3 Hz 频率振动组在振动 180 min 时达到最低值,之后有小幅波动;21 Hz 频率振动组的心率在振动 10 min 以后趋于平稳。

在 0~60 min 时间段,4 组之间两两比较,均无统计学差异($P > 0.05$);在 120~360 min 时间段,4 组之间两两比较,3 Hz 频率振动组明显低于 6 Hz、21 Hz 频率振动组和假振动组,有统计学差异($P <$

0.01), 而6 Hz、21 Hz 频率振动组和假振动组两两之间均无统计学差异($P > 0.05$)。

可见, 在振动初期, 虽然振动组心率有所升高, 但与假振动组之间并无统计学差异($P > 0.05$)。

2.3 呼吸频率变化情况

3 Hz 和 6 Hz 频率振动组所有动物在振动60 min以后都会出现呼吸变弱、呼吸不均匀等现象, 6 Hz频率振动组部分动物在振动240 min以后能恢复到比较正常的水平。假振动组、3 Hz、6 Hz 和21 Hz频率振动组大鼠呼吸频率变化情况如图3所示。

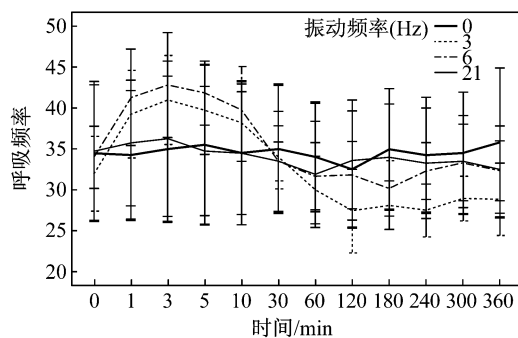


图3 呼吸频率变化情况
Fig.3 Change of breath rate

假振动组呼吸频率随时间变化波动幅度较小, 各时间点之间无统计学差异($P > 0.05$); 3 Hz 和6 Hz频率振动组在振动初期呼吸频率迅速升高, 3 min以后缓慢下降; 6 Hz 频率振动组在振动180 min时达到最低值, 之后回升到假振动组附近波动; 3 Hz频率振动组在振动120 min时达到最低值, 之后有小幅波动。

在1~10 min时间段, 4组之间两两比较, 3 Hz 频率振动组明显高于假振动组, 有统计学差异($P < 0.05$); 6 Hz 频率振动组非常明显高于假振动组, 有统计学差异($P < 0.01$); 21 Hz 频率振动组与假振动组之间无显著性差异($P > 0.05$); 3 Hz 与6 Hz 频率振动组之间无显著性差异($P > 0.05$), 与21 Hz 频率振动组之间无显著性差异($P > 0.05$); 6 Hz 频率振动组明显高于21 Hz 频率振动组, 有统计学差异($P < 0.01$)。

在60~360 min时间段, 4组之间两两比较, 3 Hz频率振动组明显低于6 Hz 频率振动组($P <$

0.05), 明显低于21 Hz 频率振动组和假振动组($P < 0.01$); 6 Hz、21 Hz 频率振动组和假振动组两两之间均无统计学差异($P > 0.05$)。

在振动之前和30 min时间点, 3 Hz、6 Hz、21 Hz 频率振动组和假振动组两两之间均无统计学差异($P > 0.05$)。

2.4 体温变化情况

假振动组、3 Hz、6 Hz 和21 Hz 频率振动组大鼠体温变化情况如图4所示。

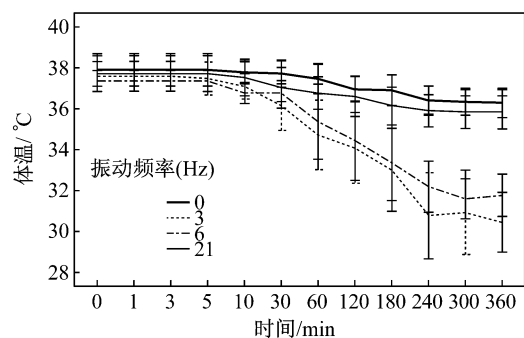


图4 体温变化情况
Fig.4 Change of body temperature

假振动组体温在振动10 min之前几乎无变化, 10 min之后缓慢降低, 10 min之后与10 min之前存在非常显著的差异($P < 0.01$)。

在0~5 min时间段, 4组之间两两比较, 3 Hz、6 Hz、21 Hz 频率振动组与假振动组之间均无显著性差异($P > 0.05$)。

在10~360 min时间段, 4组之间两两比较, 21 Hz频率振动组与假振动组之间无显著性差异($P > 0.05$); 3 Hz 频率振动组明显低于假振动组, 有统计学差异($P < 0.01$); 3 Hz 频率振动组明显低于21 Hz频率振动组, 有统计学差异($P < 0.01$); 6 Hz 频率振动组明显低于假振动组, 有统计学差异($P < 0.01$); 6 Hz 频率振动组明显低于21 Hz 频率振动组, 有统计学差异($P < 0.01$); 3 Hz 与6 Hz 频率振动组之间无显著性差异($P > 0.05$)。

由此可见, 各组在振动初期体温均无变化, 10 min之后开始下降, 但21 Hz 频率振动组与假振动组无差异($P > 0.05$), 3 Hz 与6 Hz 频率振动组无差异($P > 0.05$), 而3 Hz 和6 Hz频率振动组都明显低于21 Hz 频率振动组和假振动组($P < 0.01$)。

3 讨论

动物在麻醉和清醒状态下很多生理指标是不相同的。根据本实验的测量结果,与正常参考值^[10]相比,假振动组大鼠的舒张压有一定程度升高,呼吸频率有较大幅度降低,体温有一定程度降低且随着麻醉时间越长降低越多;假振动组大鼠的呼吸频率有一定程度降低,体温有一定程度降低且随着麻醉时间越长降低越多。虽然麻醉会造成动物生理指标改变,但除了体温之外其他指标都比较稳定,测量结果能正确反映共振组(3 Hz 和 6 Hz 频率振动组)和假振动组之间的差异。而从体温的测量结果也可以看出,随着时间的推移,共振组假振动组和非共振组(21 Hz 频率振动组)之间的差异越来越明显。因此,麻醉并不影响共振对生理指标改变的测量结果。另外,从动物测量的特殊性来说,只能在麻醉状态下才能测出比较稳定的结果。因此,本实验所有动物均选择在麻醉状态下进行实验。

测量动物体温时要保证温度计插入直肠的深度一致,测量时间要一致。本实验测量时插入深度为 2 cm。为了保证每次测量插入深度一致,在温度计的水银端用记号笔做上记号,作为“限止线”。要防止大便阻塞对测量结果的影响,还要防止振动台振动造成直肠损伤和温度计损坏。另外麻醉期间,动物的体温调节机能往往受到抑制,出现体温下降,因此要保持实验环境有较高的稳定的温度,防止动物麻醉后因体温下降过多死亡。用生理监护仪测量血压和心率时要注意测量之前调零,插管要用肝素浸泡且要充满肝素液体,所有导管都要充满肝素液体,且要完全排出气泡,测量过程中每隔一段时间要往插管里推入一定容量的肝素液体以防止血液凝固。

胸腹器官持续共振会引起大鼠的血压、心率、呼吸频率在振动 1 min 时迅速升高,1~3 min 达到最大值,之后逐渐下降,30 min 后低于正常值,而在振动初期共振不会对大鼠体温造成影响,体温在振动 10 min 之后才缓慢降低。从共振组与非共振组之间的差异性可知这种改变是由于共振造成的。

3 Hz 与 6 Hz 频率共振对大鼠血压、心率、呼吸频率的影响存在差别,在振动初期 6 Hz 频率共振影响比较大,而在后期 3 Hz 频率共振影响比较大。但

这两个频率的共振对大鼠体温的影响是一致的。说明这两个频率的共振对大鼠血压、心率、呼吸频率影响起主要作用的时间不一样,而对体温影响起主要作用的时间一样。

本研究结果表明:共振引起大鼠的血压、心率、呼吸频率在振动 1 min 时迅速升高,1~3 min 达到最大值,之后逐渐下降,30 min 后低于正常值;共振会造成大鼠体温调节能力下降。这种影响对进一步研究生物体共振损伤特性具有重要意义,值得深入研究。

参考文献:

- [1] 王传明. 交通振动影响人体健康[J]. 汽车运用,2005,13(7): 25.
- [2] 李昊,李世军. 浅谈振动的危害及其预防[J]. 中国个体防护装备,1997,5(4): 36-40.
- [3] 陈景藻. 次声的产生及生物学效应[J]. 国外医学·物理医学与康复学分册,1999,19(1): 9-14.
- [4] Guo LX, Zhang M, Wang ZW, *et al.* Influence of antero-posterior shifting of trunk mass centroid on vibrational configuration of human spine[J]. *Comput Biol Med*, 2008, 38(1):146-151.
- [5] Christmann C. Low frequency vibration on human hollow bone [J]. *Anatomischer Anzeiger*,1977,142(1-2):75-76.
- [6] Adamo DE, Martin BJ, Johnson PW. Vibration-induced muscle fatigue, a possible contribution to musculoskeletal injury [J]. *Eur J Appl Physiol*, 2002, 88(1-2): 134-140.
- [7] Rubin C, Pope M, Fritton JC, *et al.* Transmissibility of 15-hertz to 35-hertz vibrations to the human hip and lumbar spine: Determining the physiologic feasibility of delivering low-level anabolic mechanical stimuli to skeletal regions at greatest risk of fracture because of osteoporosis [J]. *Spine*, 2003, 28(23):2621-2627.
- [8] 邵洪,王宝光. 全身振动对石油工人腰椎损伤的调查[J]. 中国公共卫生,2001, 17(1): 35.
- [9] 杨光瑜,周继红,张良,等. 大鼠肝脏共振频率研究[J]. 医用生物力学,2007, 22(4): 398-402.
Yang GY, Zhou JH, Zhang L, *et al.* Research on resonance frequency with mouse liver [J]. *J Med Biomech*, 2007,22(4): 398-402.
- [10] 孙敬方. 动物实验方法学[M]. 北京:人民卫生出版社, 2001: 84.