

文章编号 1004-924X(2015)07-1984-06

## 低能量激光照射对受张力的成骨细胞周期和胞内 $\text{Ca}^{2+}$ 浓度的影响

史瑞新<sup>1</sup>, 周延民<sup>2\*</sup>, 胡 敏<sup>1</sup>, 陈远萍<sup>1</sup>, 庄金良<sup>1</sup>

(1. 吉林大学 口腔医院 正畸科, 吉林 长春 130021;

2. 吉林大学 口腔医院 种植科, 吉林 长春 130021)

**摘要:**对成骨样细胞施加了周期性张力,探讨了成骨细胞 MG-63 受张力时的细胞周期和胞内  $\text{Ca}^{2+}$  浓度的变化规律以及低能量激光照射 (LLLI) 对此变化规律的影响,揭示了 LLLI 促进骨形成的机制。实验首先将 MG-63 细胞随机分成对照组、加力组、激光加力组 3 组,用流式细胞术检测各组细胞周期。然后,将 MG-63 细胞分为张力组和激光张力组两组,对胞内  $\text{Ca}^{2+}$  浓度变化进行测定,对 2 组细胞分别加力 0, 5, 15, 30, 60 min, 再对激光张力组施加激光照射 1 min 后收取细胞,并用荧光探针 Fluo-3-AM 测定成骨样细胞内  $\text{Ca}^{2+}$  浓度和  $\text{Ca}^{2+}$  阳性细胞百分比。结果显示:MG-63 细胞加载张力后,细胞增殖指数提高,施加 LLLI 后受力的成骨细胞增殖指数进一步提高。张力引起胞内  $\text{Ca}^{2+}$  浓度增加,变化剧烈,LLLI 使变化曲线平缓,且胞内  $\text{Ca}^{2+}$  浓度和  $\text{Ca}^{2+}$  阳性细胞百分比增加。实验结果表明:LLLI 可促进受张力的成骨细胞增殖,推测可能是通过调节成骨细胞内  $\text{Ca}^{2+}$  浓度的变化规律和水平来完成的。

**关键词:**口腔正畸学;低能量激光照射;成骨细胞;张力;增殖;细胞内  $\text{Ca}^{2+}$  浓度

**中图分类号:**R318.51;R783.5 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/OPE.20152307.1984

## Effects of low level laser irradiation on cell cycle and intracellular calcium concentration of osteoblastic cells under mechanical strain

SHI Rui-xin<sup>1</sup>, ZHOU Yan-min<sup>2\*</sup>, HU Min<sup>1</sup>, CHEN Yuan-ping<sup>1</sup>, ZHUANG Jin-liang<sup>1</sup>

(1. Orthodontics Department, Hospital of Stomatology, Jilin University, Changchun 130021, China;

2. Implant Department, Hospital of Stomatology, Jilin University, Changchun 130021, China)

\* Corresponding author, E-mail: zhouym62@126.com

**Abstract:** The cycle strain was exerted on osteoblastic cells, and the changes of cell cycle and intracellular calcium concentration of osteoblastic MG-63 cells under a mechanical stretching were explored and the effect of Low Level Laser Irradiation (LLLI) on the changed rule was revealed. Firstly, MG-63 cells were divided into 3 groups: control group, strain group and LLLI-strain group, and the cell cycles of these MG-63 cells were measured by a flow cytometry (FCM). Then, the MG-63 cells were divided into 2 groups: strain group and LLLI-strain group, and their intracellular calcium concentration was measured by the FCM and a fluorescent indicator fluo-3/AM at 0, 5, 15, 30 and 60 min under the stretching. However, the LLLI-strain group would receive LLLI for 1 min after the stretching.

收稿日期:2015-05-09;修订日期:2015-06-09.

基金项目:吉林省卫计委自筹项目(No. 2013zc007)

Experimental results indicate that strain groups present higher proliferation indexes as compared to the control group. The laser-strain groups present higher proliferation index than other two groups. For laser-strain group, the concentration of the intracellular calcium ion increases gently, but that in strain group has increased drastically. It concludes that the LLLI promotes the proliferation of MG-63 cells under the stretching, and it may be achieved by regulating the changed rhythm of concentration of the intracellular  $\text{Ca}^{2+}$ .

**Key words:** orthodontics; low-level-laser-irradiation (LLLI); osteoblastic cell; strain; proliferation; concentration of intracellular calcium ion

## 1 序 言

口腔正畸治疗过程中,治疗力作用于牙齿后引起牙周组织骨改建、牙齿移动,从而达到矫治目的,但正畸疗程通常较长,因此如何缩短疗程一直以来是学者们研究的热点。低能量激光照射(Low Level Laser Irradiation, LLLI)是一种生物物理学刺激,对多种细胞具有光生物调节效应,已在多个学科用于促进伤口愈合和组织修复,减轻炎症疼痛及水肿等<sup>[1-3]</sup>。大量研究表明,LLLI对骨重建有促进作用<sup>[4]</sup>,但也有极少数报道认为LLLI对成骨细胞及骨组织修复无作用。临床已将LLLI用于减少矫治中的疼痛,有研究显示<sup>[5]</sup> LLLI可以加速牙齿移动,但作用机理仍不清楚。因此,LLLI对成骨细胞的作用是该项研究的关键。

在调控细胞的各种生理行为时,多种信号途径可将刺激传递到细胞内部。其中  $\text{Ca}^{2+}$  是人们较普遍接受的传递途径之一,它们甚至可参与和调控几乎所有的细胞活动,如细胞的发育、分化和凋亡等<sup>[7]</sup>。在细胞的信号传递过程中,  $\text{Ca}^{2+}$  作为第二信使发挥相当重要的作用,它在骨形成和骨代谢中的每个阶段均起着非常重要的作用。大量科学实验表明成骨细胞参与骨代谢的过程,但其功能尚未被彻底了解。在骨矿化过程中细胞内外活动密切联系,胞内  $\text{Ca}^{2+}$  浓度的变化很可能是反映此联系的关键。资料显示细胞外液中  $\text{Ca}^{2+}$  浓度为  $10^{-2}$  mol/L,成骨细胞内  $\text{Ca}^{2+}$  浓度为  $10^{-5} \sim 10^{-8}$  mol/L。细胞内  $\text{Ca}^{2+}$  浓度状态相对比较稳定,但随着<sup>[8]</sup>周围条件的变化会发生一定的变化。华坤等人<sup>[9]</sup>的实验显示氟制剂可以引起成骨细胞内  $\text{Ca}^{2+}$  浓度的增加,并且增强成骨作用。Ginani 等人发现 L-型钙通道存在于成骨细胞的表面,而且 L-型钙通道参与了调节细胞内外

钙的平衡,和骨的重建及形成<sup>[10]</sup>。

本文对成骨样细胞施加周期性张力,观察了细胞周期及胞内  $\text{Ca}^{2+}$  浓度的变化规律,同时联合 LLLI 测量细胞周期以及胞内  $\text{Ca}^{2+}$  浓度的变化规律,进一步探讨 LLLI 对受张力的成骨细胞 MG-63 细胞周期和胞内  $\text{Ca}^{2+}$  浓度变化规律的影响,揭示 LLLI 是如何通过调控胞内  $\text{Ca}^{2+}$  浓度的变化趋势来影响受张力的 MG-63 细胞的生物学特性。

## 2 材料和方法

### 2.1 细胞培养

将人成骨样细胞 MG-63 细胞株(吉大白求恩医学部基础医学院病理实验室赠予)接种在培养瓶中,置于  $\text{CO}_2$  恒温孵箱( $37^\circ\text{C}$ 、 $5\% \text{CO}_2$ 、 $95\%$  空气)中培养,加入高糖 DMEM(Dullbecco Modification of Eagle's Medium)培养基,加  $10\%$  胎牛血清。MG-63 细胞消化离心后接种于细胞加力板上,密度为  $1 \times 10^6 \text{ cm}^{-2}$ ,置入培养皿中,先静置 6 h 贴壁,再加培养基,放入孵箱中培养 48 h 后,用含  $0.5\%$  血清的 H-DMEM 培养液培养 24 h,使 MG-63 细胞周期同步化。

### 2.2 细胞加力

加力装置为 Forcel 四点弯曲细胞力学加载仪(专利号为 ZL01256849. X,电子科技大学与川大华西口腔医院联合研制),将接种 MG-63 细胞的加力板放入加载仪施加牵张力,如图 1 所示。加载频率为  $0.5 \text{ Hz}$ 。

### 2.3 激光器对 MG-63 细胞的照射

Ga-Al-As 半导体激光器由中国科学院长春光学机械精密与物理研究所提供,功率为  $66 \text{ mW}$ ,波长为  $808 \text{ nm}$ ,光纤探头为  $0.4 \text{ mm}$ ,照射时间为  $1 \text{ min}$ ,能量密度为  $3 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-2}$ 。

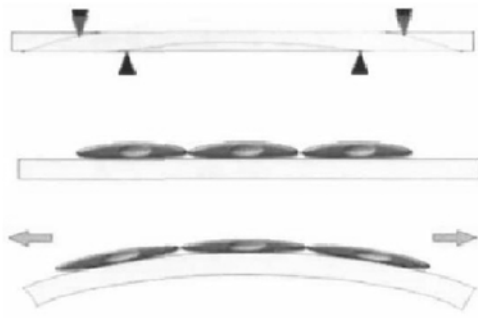


图 1 Forcel 四点弯曲细胞力学加载仪张力原理图  
Fig. 1 Principle of Forcel four-point bending system

## 2.4 细胞周期的测定

将 MG-63 细胞随机分成对照组、加力组和激光加力组。力值形变量为  $3\ 000\ \mu\epsilon$ ，激光加力组在加力 1 h 后低能量激光照射 1 min。细胞静置 12 h 后经酶消化、磷酸缓冲液 (PBS) 洗涤、 $2\ 000\ \text{r}/\text{min}$  离心 5 min，细胞浓度为  $1 \times 10^6/\text{mL}$ 。单细胞悬液用 70% 的乙醇固定， $4\ ^\circ\text{C}$  孵育过夜，加入  $400\ \mu\text{L}$  碘化吡啶染色，经流式细胞仪 (Beckman coulter, USA) 检测得到  $\text{PI}$  (增殖指数)  $= (\text{S} + \text{G2}/\text{M}) \times 100\%$ 。

## 2.5 活性 MG-63 细胞内 $\text{Ca}^{2+}$ 浓度检测

用力学加载仪对加力板上的 MG-63 细胞加力，使细胞发生单轴牵张应变，频率为  $0.5\ \text{Hz}$ ，加

力板变形量为  $3\ 000\ \mu\epsilon$ 。张力组分别在加力 0, 5, 15, 30, 60 min 时立即收取细胞，重复 3 次。激光张力组分别在加力 0, 5, 15, 30, 60 min 之后激光照射 1 min，立即收取细胞，重复 3 次。用胰酶消化各组细胞、D-hanks 液重悬细胞，加入浓度为  $5\ \mu\text{mol}/\text{L}$  的荧光探针 Fluo-3/AM-DMSO，置入  $37\ ^\circ\text{C}$  水浴箱中避光孵育 30~45 min，PBS 洗涤细胞 3 次，用流式细胞仪的 FL1 通道进行检测，观察  $\text{Ca}^{2+}$  的荧光表达强度。最后对测定数据进行处理，3 次测量的数据表示为  $\bar{X} \pm \text{SD}$  ( $\bar{X}$  为平均数 SD 标准差)，使用方差分析组间差异。

## 3 实验结果

### 3.1 LLLI 对受张力的成骨样细胞周期的影响

采用 FCM 检测各组细胞周期结果如表 1 所示。与空白对照组相比，另外两组细胞的增殖指数 PI 显著增加 ( $P < 0.05$ )，G1 期细胞数变少，S 期细胞数增多，激光张力组比张力组的 G1 期细胞数少，但 G2 期细胞数却有所增加，PI 增加 ( $P < 0.05$ )。由此可知，牵张力通过影响细胞周期来促进 MG-63 细胞的增殖，低能量激光联合张力能进一步促进细胞的增殖。

表 1 实验中各组细胞周期结果

Tab. 1 Test results of cell cycle

(%)

	G1	G2	S	PI
对照组	$84.3 \pm 2.2$	$7.5 \pm 1.6$	$8.2 \pm 1.7$	$15.7 \pm 3.3$
张力组	$52.2 \pm 2.0^*$	$8.1 \pm 1.1$	$39.7 \pm 2.1^*$	$47.8 \pm 3.4^*$
激光张力组	$34.8 \pm 1.9^{*\Delta}$	$19.7 \pm 1.2^{*\Delta}$	$45.5 \pm 2.0^{*\Delta}$	$65.2 \pm 3.2^{*\Delta}$

注：\* 与对照组比较： $P < 0.05$ ； $\Delta$  与张力组比较： $P < 0.05$

### 3.2 LLLI 对受牵张力的 MG-63 细胞内 $\text{Ca}^{2+}$ 浓度变化的影响

细胞内  $\text{Ca}^{2+}$  荧光强度如图 2 所示。张力组在受力时间点 (0, 5, 15, 30, 60 min) 的荧光强度变化趋势为增强、减弱再增强，峰值在 5 min 和 60 min。激光张力组的荧光强度随受力时间先增强再减弱，变化波形较平缓，峰值出现在 30 min。各组成骨细胞的细胞内游离  $\text{Ca}^{2+}$  的荧光强度值见表 2。

$\text{Ca}^{2+}$  阳性细胞百分比如图 3 所示。张力组

的  $\text{Ca}^{2+}$  百分比随受力时间 (0, 5, 15, 30, 60 min) 先增后减，峰值出现在 30 min。激光张力组的  $\text{Ca}^{2+}$  百分比随受力时间的增加而增大，峰值出现在 60 min，并且各时间点的百分比值均高于张力组。细胞的  $\text{Ca}^{2+}$  阳性细胞百分比如表 3 所示。

激光张力组 0 min (即激光组) 与张力组 0 min (即空白对照组) 相比， $\text{Ca}^{2+}$  阳性细胞百分比和  $\text{Ca}^{2+}$  浓度都明显更大 ( $P < 0.05$ )，这表明 MG-63 对低能量激光的响应是通过  $\text{Ca}^{2+}$  这一枢纽实现。

表 2 成骨细胞内 Ca<sup>2+</sup> 的荧光强度( $\bar{X} \pm SD$ )

Tab. 2 Results of fluorescence intensity in osteoblasts( $\bar{X} \pm SD$ )

受力时间/min	0	5	15	30	60
张力组	5.71 ± 0.86	10.6 ± 1.09	8.6 ± 0.81	7.53 ± 0.92	10.6 ± 1.02
激光张力组	3.13 ± 0.77*	8.93 ± 0.75*	9.35 ± 0.77	9.83 ± 0.82*	8.65 ± 0.90*

注: \* 与张力组比较: P < 0.05

表 3 成骨细胞 Ca<sup>2+</sup> 阳性细胞随受力时间变化的百分比

Tab. 3 Percentage of Ca<sup>2+</sup> positive cells in osteoblasts

(%)

受力时间/min	0	5	15	30	60
张力组	1.7 ± 0.1	26.7 ± 1.5	30.7 ± 2.0	39.1 ± 1.7	26.1 ± 1.1
激光张力组	4.2 ± 0.3*	38.2 ± 1.7*	38.8 ± 2.0*	40.0 ± 1.9	50.7 ± 2.2*

注: \* 与张力组相比: P < 0.05

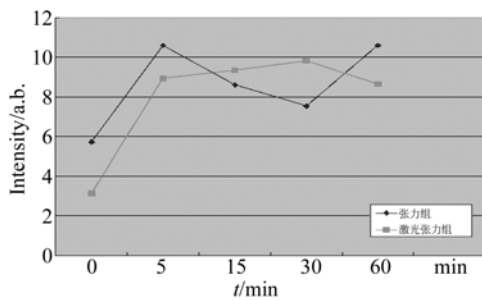


图 2 各组成骨细胞内 Ca<sup>2+</sup> 的荧光强度值图

Fig. 2 Diagram of Ca<sup>2+</sup> fluorescence intensity in osteoblasts

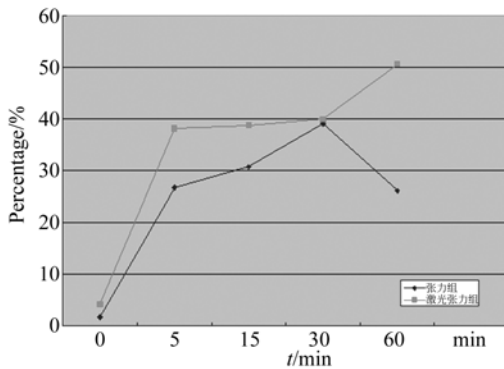


图 3 各组成骨细胞 Ca<sup>2+</sup> 阳性细胞随受力时间变化的百分比

Fig. 3 Variation of Ca<sup>2+</sup> positive cells in osteoblasts with time

### 4 讨 论

细胞周期是指细胞完成一次有丝分裂的整个过程。细胞周期变化直接影响细胞增殖状态的变

化。文中的实验显示,张力组和激光张力组的细胞增殖指数 PI 显著增加 (P < 0.05), S 期细胞数增多, G1 期细胞数减少。与张力组相比,激光张力组的 PI 更大 (P < 0.05), G1 期细胞数减少, G2 期细胞数增多, 这表明牵张力通过影响细胞周期来促进 MG-63 细胞的增殖, 低能量激光联合张力能进一步促进细胞的增殖。牵张力促使更多的细胞经过调控点 G1/S 进入 S 期, 而 LLLI 促使一部分细胞进入 S 期, 且更多的细胞暂时停留在 G2/M 期, 促进 MG-63 细胞增殖。该结果与已有的研究<sup>[10-12]</sup>相符。

成骨细胞的活化增殖等过程非常复杂, 而细胞间相互作用及各种刺激发挥作用都是通过第二信使(包括 Ca<sup>2+</sup> 在内)来调节。成骨细胞受机械力学刺激时胞内 Ca<sup>2+</sup> 浓度发生变化, 因此可通过 Ca<sup>2+</sup> 变化调节细胞的各种生理行为。Peake 等<sup>[13]</sup>通过实验证明了成骨细胞内 Ca<sup>2+</sup> 早期参与了成骨细胞对机械刺激的反应。Walker 等<sup>[14]</sup>的研究显示成骨细胞内 Ca<sup>2+</sup> 浓度的增加与骨桥蛋白和骨基质蛋白的上调有关。Chen<sup>[15]</sup>等的实验观察到剪切力作用于成骨细胞数秒后引起胞内 Ca<sup>2+</sup> 浓度的增高。Ninomiya 等人通过<sup>[16]</sup>实验证明 LLLI 使破骨细胞数目变少同时使成骨细胞激活, 最终引起骨容量的增加。Chellini<sup>[17]</sup>等发现弱激光照射使成骨样细胞内 Ca<sup>2+</sup> 浓度增高, 进而调节成骨样细胞的分化。一项临床实验中, 对患者尖牙施力 150 g/侧向远中移动, 同时施加 780 nm 的 LLLI, 每个月连续 3 天, 连续 9 个月, 发现可加快牙齿移动速度, 但根尖和牙槽骨吸收的概

率并不增加。

0 分钟时激光张力组(即单纯激光组)与张力组(即对照组)对比可知,单纯激光组中细胞内  $\text{Ca}^{2+}$  阳性细胞百分比和  $\text{Ca}^{2+}$  浓度都显著增加( $P < 0.05$ ),说明成骨细胞是通过  $\text{Ca}^{2+}$  这一枢纽参与 LLLI 应答的。

对成骨样细胞施加牵张力 5 min 然后与 0 min(即未受力时)相比,细胞内  $\text{Ca}^{2+}$  浓度显著增高,显示成骨细胞对牵张力的响应也体现为胞内  $\text{Ca}^{2+}$  浓度的升高。前期研究<sup>[18]</sup>显示了 3 000  $\mu\epsilon$  的牵张刺激引起成骨细胞增殖的变化,通过本实验发现胞内  $\text{Ca}^{2+}$  浓度的变化要早于细胞增殖的变化,推论成骨细胞增殖的信号通路可能由胞内  $\text{Ca}^{2+}$  浓度的变化来介导发生。

实验表明,施加牵张应变的成骨样细胞内  $\text{Ca}^{2+}$  浓度随加力时间呈先快速增高,后减低,再增高的趋势,变化规律类似波浪形,在 5 min 和 60 min 出现峰值, $\text{Ca}^{2+}$  浓度均高于未受力时的成骨样细胞。由于细胞内  $\text{Ca}^{2+}$  持续快速地大量增加有可能对细胞造成永久损伤,甚至引起细胞死亡。本研究对施加牵张应变的成骨样细胞施加

LLLI 后,细胞内  $\text{Ca}^{2+}$  浓度的变化曲线变缓,降低了力学刺激可能引起的损伤,且提高了  $\text{Ca}^{2+}$  阳性细胞百分比和  $\text{Ca}^{2+}$  浓度,由此推测 LLLI 是调节细胞内  $\text{Ca}^{2+}$  浓度进一步促进成骨细胞增殖、矿化及基质合成。

## 5 结 论

本文采用 LLLI 照射受力成骨样细胞来研究  $\text{Ca}^{2+}$  对细胞生物学特性的影响。实验结果显示,激光张力组 0 min(即单纯激光组)与张力组 0 min(即对照组)对比,单纯激光组与空白对照组对比,其细胞内  $\text{Ca}^{2+}$  阳性细胞百分比和  $\text{Ca}^{2+}$  浓度都显著增加( $P < 0.05$ ),说明成骨细胞是通过第二信使  $\text{Ca}^{2+}$  这一枢纽参与对 LLLI 的应答。对受到牵张应变的成骨样细胞施加 LLLI 后,细胞内  $\text{Ca}^{2+}$  浓度的变化趋于缓和,且  $\text{Ca}^{2+}$  浓度和  $\text{Ca}^{2+}$  阳性细胞百分比明显增加,因此判断 LLLI 是通过调控胞内  $\text{Ca}^{2+}$  浓度的变化趋势来进一步加速成骨细胞增殖的。本研究可为临床应用低能量激光加速牙齿移动提供理论支持和实验基础。

## 参考文献:

- [1] 蒋笑笑,巩龙龙,黄磊.低功率激光调节脂肪细胞内 ERK 与 Akt 促进甘油三酯的合成[J].中国激光,2013,40(12):1204002.  
JIANG X X, GONG L L, HUANG L. Triglyceride biosynthesis induced by low-power laser irradiation via regulation of ERK and Akt in adipocytes [J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2013, 40(12): 1204002. (in Chinese)
- [2] 卢启鹏,侯宝忠,朱琳琳.半导体激光血管内照射治疗静脉曲张的机理研究[J].光学精密工程,2006,13(4):589-593.  
LU Q P, HOU B ZH, ZHU L L. Mechanism of varicosity treated by semiconductor laser intravenous irradiation[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006, 13(4): 589-593. (in Chinese)
- [3] ARAS M H, BOZDAG Z, DEMIR T, *et al.*. Effects of low-level laser therapy on changes in inflammation and in the activity of osteoblasts in the expanded pre-maxillary suture in an ovariectomized rat model [J]. *Photomed Laser Surg.*, 2015, 33(3): 136-144.
- [4] PIRES OLIVEIRA D A, de OLIVEIRA R F, ZANGARO R A, *et al.*. Evaluation of low-level laser therapy of osteoblastic cells [J]. *Photomed Laser Surg.*, 2008, 26(4): 401-404.
- [5] da SILVA SOUSA M V, SCANAVINI M A, SAN-NOMIYA E K, *et al.*. Influence of low-level laser on the speed of orthodontic movement [J]. *Photomed Laser Surg.*, 2011, 29(3): 191-196.
- [6] 孙大业.兼有胞内胞外功能的信号分子的普遍性及生物学意义[J].科学通报,1999,44(15):1576-1581.  
SUN D Y. Universality and biological significances of signaling molecule with the function of intracellular and extracellular [J]. *Chinese Science Bulletin.*, 1999, 44(15): 1576-1581. (in Chinese)
- [7] BARRY M A, EASTMAN A. Endonuclease activation in the regulation of apoptosis[J]. *J. Leukoc. Biol.*, 1996, 59(4): 775-783.
- [8] 廖二元,谭利华.代谢性骨病学[M].北京:人民卫生出版社,2003: 82-85.  
LIAO E Y, TAN L H. *Metabolic Osteology* [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2003:

- 82-85. (in Chinese)
- [9] 华坤,赵红,黄氏,等. 氟对成骨细胞样细胞胞内钙和钙通道电流的影响[J]. 中国应用生理学杂志, 2003, 19(2):179-181.
- HUA K,ZHAO H,HUANG M, *et al.*. Effects of fluoride on ionized calcium and calcium channel in osteoblast-like cell in vitro [J]. *Chin. J. Appl. Physiol.*,2003,19(2):179-181. (in Chinese)
- [10] FUKUHARA E, GOGO T, MATAYOSHI T, *et al.*. Optimal low-energy laser irradiation causes temporal G2/M arrest on rat calvarial osteoblasts [J]. *Calcif. Tissue Int.*,2006, 79(6):443-450.
- [11] GINANI F, SOARES D M, BARRETO M P, *et al.*. Effect of low-level laser therapy on mesenchymal stem cell proliferation: a systematic review [J]. *Lasers Med. Sci.*,2015,6(2):74-79.
- [12] SARRAF C E, OTTO W R, EASTWOOD M. In vitro mesenchymal stem cell differentiation after mechanical stimulation[J]. *Cell Prolif.*, 2011,44(1):99-108.
- [13] PEAKE M A, COOLING L M, MAGNAY J L, *et al.*. Selected contribution; regulatory pathways involved in mechanical induction of c-fos gene expression in bone cells [J]. *J. Appl. Physiol.*, 2000,89(6):2498-2507.
- [14] WALKER L M, PUBLICOVER S J, PRESTON M R, *et al.*. Calcium channel activation and matrix protein upregulation in bone cells in response to mechanical strain[J]. *J. Cell Biochem.*, 2000,79(4):648-661.
- [15] CHEN N X, RYDER K D, PAVALKO F M, *et al.*. Ca<sup>2+</sup> regulates fluid shear-induced cytoskeletal reorganization and expression in osteoblasts [J]. *Am. J. Physiol.*,2000,278:C989-997.
- [16] NINOMIYA T, HOSOYA A, NAKAMURA H, *et al.*. Increase of bone volume by a nanosecond pulsed laser irradiation is caused by a decreased osteoclast number and an activated osteoblasts [J]. *Bone*, 2007, 40(1):140-148.
- [17] CHELLINI F, SASSOLI C, NOSI D, *et al.*. Low pulse energy Nd:YAG laser irradiation exerts a biostimulative effect on different cells of the oral microenvironment: "an in vitro study" [J]. *Lasers Surg. Med.*,2010,42(6):527-539.
- [18] 史瑞新,周廷民,陈远萍. 低能量激光照射对受张力刺激的成骨细胞周期和细胞凋亡的影响[J]. 中国老年学杂志, 2011,31(5): 839-841.
- SHI R X, ZHOU Y M, CHEN Y P. Effects of low-level laser irradiation on cell cycle and apoptosis of osteoblastic cells under mechanical strain [J]. *Chinese Journal of Gerontology*, 2011, 31(5): 839-841. (in Chinese)

#### 作者简介:



史瑞新(1978—),女,河北唐山人,博士,主治医师,2002年,2011年于吉林大学口腔医院分别获得硕士、博士学位,2014年9月至今于美国阿拉巴马大学牙学院正畸科做访问学者,主要从事低能量激光照射促进正畸牙齿移动过程中骨重建的研究。E-mail: srx781110@sina.com

(本栏目编辑:曹金)

(版权所有 未经许可 不得转载)