

[文章编号] 1000-1182(2011)02-0220-03

有限元法探讨犬下颌单侧不全截骨牵张时 非牵张侧位移趋势

刘雪梅¹ 李岩峰² 胡敏¹ 张建强² 刘斌² 范丽娜³(1.中国人民解放军总医院 口腔科, 北京 100853; 2.中国人民解放军总医院第一附属医院 口腔科, 北京 100048;
3.中国人民武装警察部队总医院 纳米研究所, 北京 100039)

[摘要] 目的 分析犬下颌单侧不全截骨牵张成骨有限元模型, 计算下颌骨非牵张侧各部分在牵张过程中位移状况。方法 模拟犬下颌单侧不全截骨牵张成骨, 当滑动骨块受力未被牵开和被牵开时观察非牵张侧关节、下颌角、喙突及牙齿等6个标志点的位移情况。结果 当滑动骨块未被牵开时, 非牵张侧下颌骨各标志点所受Von Mises应力为0, 在空间X、Y、Z三轴位移均为0; 当下颌骨滑动骨块被牵开1 mm时, 各标志点在空间X、Y、Z三轴均有位移。结论 在行半侧不全截骨牵张成骨时, 从牵张侧观察, 非牵张侧下颌骨在矢状平面上有以髁突顶点(横嵴中点)为中心的逆时针旋转趋势, 而在冠状平面上则表现为向牵张侧的近似平行的移动。

[关键词] 牵张成骨; 不全截骨法; 有限元法

[中图分类号] R 783.4 **[文献标志码]** A **[doi]** 10.3969/j.issn.1000-1182.2011.02.030

Discussing displacement trend on nontractional side of canine mandible with finite element method when distraction osteogenesis with unilateral incomplete osteotomy LIU Xue-mei¹, LI Yan-feng², HU Min¹, ZHANG Jian-qiang², LIU Bin², FAN Li-na³. (1. Dept. of Stomatology, General Hospital of People's Liberation Army, Beijing 100853, China; 2. Dept. of Stomatology, The First Affiliated Hospital of China People's Liberation Army General Hospital, Beijing 100048, China; 3. Institute of Nanometer, The General Hospital of Chinese People's Armed Police Forces, Beijing 100039, China)

[Abstract] **Objective** To discuss the trend of displacement on the side of nondistraction when distraction osteogenesis with unilateral incomplete osteotomy of canine mandible. **Methods** The method of finite element analysis was used to simulate distraction osteogenesis with unilateral incomplete osteotomy and the displacement of six marked point such as the temporomandibular joint and the angle of mandible and coracoid process and teeth were observed on nondistractional side when the transport disc was distracted with a distance and without a distance. **Results** When the transport disc was distracted without a distance, the Von Mises stress was 0 in the six marked point of nondistractional side and their displacement in 3 dimensions(X, Y, Z axis) was 0. When the transport disc was distracted with 1 mm width, all marked point had some displacement. **Conclusion** When distracted and observed from the side of distraction, the mandible at the side of nondistraction has the trend of contrarotation round the center of the transverse ridge midpoint of condyle process on the plane of sagittal, whereas it has the trend of parallel movement approximately in the direction of opposite side on the plane of coronary.

[Key words] distraction osteogenesis; unilateral incomplete osteotomy; finite element method

牵张成骨作为一种治疗技术, 以其操作简单、无需植骨、创伤小、可在儿童期治疗等优点而被学者们广泛关注和接受。本课题组前期^[1]的犬下颌单侧不全截骨牵张的动物实验结果显示: 其成骨形

状、质量好于完全截骨组, 更有利于后期修复。在动物实验的基础上, 本课题组^[2]运用有限元的方法, 对这一问题也作了深入研究。本研究进一步探讨滑动骨块受力后, 被牵开时非牵张侧下颌骨的关节、骨体、下颌角、喙突和牙齿等部分的位移情况。

1 材料和方法

在Dell Precision TM 670工作站上, 运用Mimics、Magics和MARC 2003软件建立牵张成骨(不完全截骨)

[收稿日期] 2010-09-25; [修回日期] 2010-12-20

[基金项目] 国家自然科学基金资助项目(30801299); 北京市科技新星基金资助项目(2009A40); 中国博士后基金资助项目(20090450261)

[作者简介] 刘雪梅(1969—), 女, 吉林人, 主治医师, 博士

[通讯作者] 胡敏, Tel: 010-66939772

重建犬下颌节段缺失的有限元模型^[2]。在模型上限制下颌关节横嵴的运动。在截骨线两侧各0.5 mm处骨块的中心模拟实际牵张器施加一个大小相等方向相反的12 N力，通过施加载荷的办法使滑动骨块(传送盘骨段)与下颌基骨产生相对位移。犬下颌骨弹性模量和泊松比分别取10.3 GPa和0.3，假设犬下颌骨均为各向同性、均匀连续的线弹性材料；重建钛板的弹性模量和泊松比分别取110 GPa和0.34，假设其为各向同性、均匀连续的线弹性材料^[2]。本研究的坐标原点是这样确定的：由下颌骨体正中联合内侧缘向下引直线，与由两侧下颌角和骨体下缘所确定平面的交点，这个交点被规定为原点，见图1，所选标志点为：1)尖牙(牙尖)；2)第五臼齿(最高牙尖点)；3)下颌角点；4)喙突(顶点)；5)髁突后斜面后缘中点；6)髁突前斜面前缘中点。

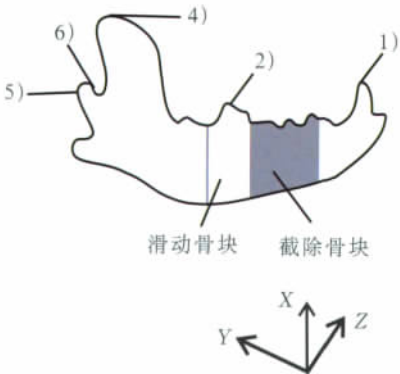


图1 各标志点及3个轴的示意图

Fig 1 The marked points and 3 dimensions mode

有限元模型模拟不完全截骨牵张成骨(截骨处剩1 mm舌侧皮质骨)，即连接处骨质剩余最小宽度而不发生断裂时，观察下颌骨一些特定标志点所受Von Mises应力。有限元模型模拟不完全截骨(截骨处剩1 mm舌侧皮质骨)，即连接处骨质剩余最小宽度而不发生断裂(骨折)的情况^[3]，然后在有限元模型上模拟牵张成骨骨块移动：当下颌骨滑动骨块移动1 mm时，观察下颌骨的非牵张侧一些特定标志点在空间X、Y、Z三轴上的位移情况。

2 结果

当连接骨片的剩余宽度是1 mm时，在受牵张力的情况下截骨处剩余骨所受Von Mises应力最接近下颌皮质骨的极限抗拉强度，这时在截骨线两侧各0.5 mm处的骨块的中心模拟实际牵张器施加一个大小相等方向相反的12 N的力，下颌骨的非牵张侧一些特定标志点所受Von Mises应力结果见图2。图2显示：非牵张侧下颌骨所受的Von Mises应力为0，这样说明非牵张侧下颌骨各点没有位移，即在空间X、Y、Z三轴位移均为0。

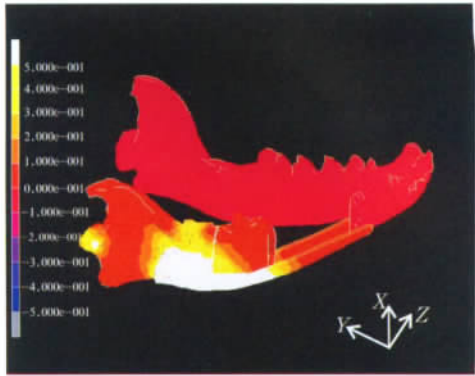


图2 不完全截骨连接骨片剩1 mm时下颌骨所受Von Mises应力
Fig 2 The Von Mises stress on canine mandible when cortical bone retained with 1 mm

在此基础上，在受牵张力的情况下模拟滑动骨块在截骨线处被牵开(即滑动骨块受到牵张力后移动)1 mm，此时犬下颌骨不完全截骨牵张成骨滑动骨块移动1 mm时非牵张侧的各标志点在X、Y、Z三轴的位移情况见表1。由表1可以看到，不全截骨牵张时在非牵张侧矢状平面的位移趋势是以髁突顶点(横嵴中点)为中心的逆时针旋转趋势，而在冠状平面上则表现为向牵张侧的近似平行的移动，如图3和4所示。

表1 不完全截骨牵张成骨滑动骨块移动1 mm时犬下颌骨非牵张侧各标志点的三轴位移

Tab 1 The displacement of marked point in 3 dimensions when the transport disc was distracted with 1 mm width

非牵张侧标志点	节点号	X/mm	Y/mm	Z/mm
1)尖牙	1 294	-1.171 0	0.556 4	2.431 0
2)第五臼齿	7 380	-1.320 0	-0.386 2	0.848 1
3)下颌角	7 374	0.051 2	-0.424 4	0.122 6
4)喙突	7 365	-0.305 2	0.602 2	0.110 6
5)髁突后斜面后缘中点	7 659	0.034 9	-0.199 3	0.067 1
6)髁突前斜面前缘中点	7 737	-0.017 8	-0.030 5	0.052 3

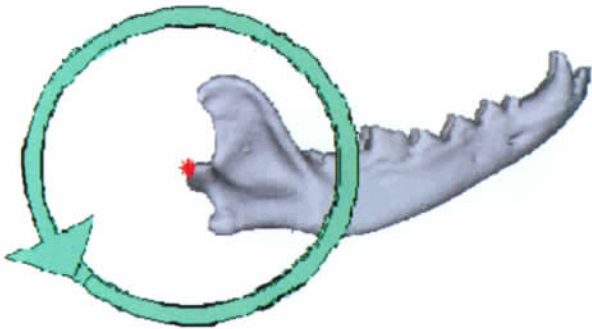


图3 不全截骨牵张时非牵张侧在矢状平面的位移趋势
Fig 3 The displacental tendency at the side of nondistracted on the plane of sagittal when distraction osteogenesis

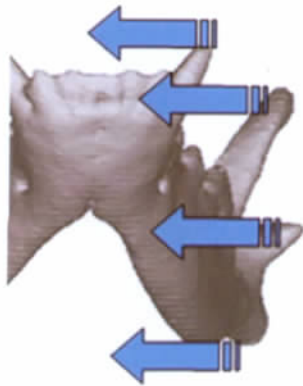


图4 不全截骨牵张时非牵张侧在冠状平面的位移趋势

Fig 4 The displacement tendency at the side of nondistraction on the plane of coronary when distraction osteogenesis

3 讨论

本课题组^[4-5]利用医用镍钛合金独特的形状记忆和超弹性设计制作了牵张器，在动物实验^[1]中实现了较大节段骨缺损的再生重建，发现保留舌侧部分骨皮质成骨形状、质量好于完全截骨组，利于后期修复。但在实际牵张过程中生物力学特点如何，下颌骨各点的位移、应力、应变如何及怎样分布并不十分明确，为了更好地发挥记忆合金牵张器具有的完全埋置、自动加力、可个体化制作、加工方便、价格便宜等优势，本课题组进行了一系列有限元法模拟研究，希望为临床应用提供理论依据和数值参考。由于犬下颌单侧不全截骨牵张重建骨缺损的牵张部位在下颌骨的某一侧，在牵张过程中下颌骨牵张侧和非牵张侧受牵张力的影响各不相同，本研究的主要目的是运用有限元法研究牵张过程中，非牵张侧的位移状况。

在下颌骨非牵张侧选择了6个标志点进行观察，这6个点基本涵盖了下颌骨边缘最突出的部位，在受牵张力下颌骨产生位移的情况下，这些突出部位的点会有比较明显的位移，便于理解整个下颌骨的位移情况，同时，还希望通过这种受力和变形推测下颌髁突区域的应力变化，从而与实测结合判断非牵张侧的关节是否在这种牵张成骨状态中受到损伤。本研究在牵张侧截骨处保留了1 mm的舌侧皮质骨，在截骨处两侧施加12 N的牵张力时观察了此时下颌骨非牵张侧一些特定标志点所受的Von Mises应力，结果显示：此时非牵张侧下颌骨所受的Von Mises应力为0，说明非牵张侧下颌骨各点没有位移，即在空间X、Y、Z三轴位移均为0。

当下颌骨的滑动骨块被牵开时，牵开的间隙被新骨取代，这时由于有相对位移发生，滑动骨块之外的一些结构可能也会发生较大的变化，为了了解这一情况，本研究进而在有限元模型上模拟了牵张

成骨拉开1 mm间隙的情况，以观察非牵张侧各点此时的位移情况。这一过程在实际动物实验中需要一定的时间，往往是通过较缓慢的牵拉实现的，软、硬组织有着逐步适应的变化，用有限元模型完全模拟这一过程有一定难度和局限性；另外，因摩擦力的存在，也会使应力较多地集中在引导滑动骨块前移的重建钛板上，机械的牵开骨块让其移动的结果可能会使下颌骨一些部位失真，但至少目前的研究模型能把下颌骨在牵引中各部分变化的趋势放大，可以找到一些规律性的结论。本研究发现：在有限元模型上模拟牵张成骨拉开1 mm间隙时，非牵张侧（左侧）下颌骨特定标志点的变化：在内外方向上，下颌角点、髁突后斜面后缘中点的运动情况是向着牵引侧下颌骨运动的；在前后（Y轴）方向上，第五臼齿、髁突前斜面前缘中点的运动情况是向前的，但运动幅度较喙突、下颌角小，也不影响前后运动的整体趋势。所以非牵张侧的结论应该是：在行半侧不全截骨牵张成骨时，从牵张侧观察，非牵张侧下颌骨在矢状平面上有以髁突顶点（横嵴中点）为中心的逆时针旋转趋势，而在冠状平面上则表现为向牵张侧的近似平行的移动。

【参考文献】

- [1] Zhou HZ, Hu M, Hu KJ, et al. Transport distraction osteogenesis using nitinol spring: An exploration in canine mandible[J]. J Craniofac Surg, 2006, 17(5): 943-949.
- [2] 李岩峰, 胡敏, 吴子恒, 等. 不完全截骨牵张成骨重建犬下颌骨节段缺失的有限元模型建立[J]. 华西口腔医学杂志, 2009, 27(2): 135-138.
LI Yan-feng, HU Min, WU Zi-heng, et al. Establishment of a finite element model: Canine segmental mandibular reconstruction by partial-cortical-cutting distraction osteogenesis[J]. West China J Stomatol, 2009, 27(2): 135-138.
- [3] 李岩峰, 胡敏, 范丽娜, 等. 有限元法探讨犬下颌不全截骨牵张的最佳截骨量[J]. 北京口腔医学, 2007, 15(5): 248.
LI Yan-feng, HU Min, FAN Li-na, et al. Determination of optimum corticotomy of canine mandibular partial-cortical-cutting distraction osteogenesis by finite element analysis[J]. Beijing J Stomatol, 2007, 15(5): 248.
- [4] 胡敏, 姚军, 谢旻, 等. 应用内置钛镍记忆合金牵张器在下颌骨牵张成骨的初步研究[J]. 中国药物与临床, 2003, 3(6): 465-469.
HU Min, YAO Jun, XIE Min, et al. Study on mandibular distraction osteogenesis by TiNi-SMA distractor[J]. Chin Remed Clin, 2003, 3(6): 465-469.
- [5] 周宏志, 胡敏, 刘洪臣, 等. 钛镍牵引器重建犬下颌骨节段缺失的初步研究[J]. 中华口腔医学杂志, 2003, 38(5): 333-335.
ZHOU Hong-zhi, HU Min, LIU Hong-chen, et al. Reconstruction of segmental mandibular defect of canine using titanium-nickel distractor[J]. Chin J Stomatol, 2003, 38(5): 333-335.

(本文编辑 汤亚玲)