

文章编号: 1004-7220(2008)06-0471-04

下颌角整形术对下颌骨应力以及 颞下颌关节功能的影响

齐向东¹, 李勤¹, 张美超², 焦培峰², 钟世镇², Philippe G. Young³

(1. 广州军区总医院 整形外科, 广州 510010; 2. 南方医科大学, 广州 510515; 3. 英国埃克塞特大学)

摘要: 目的 分析基于东方经典美丽分析面罩的下颌角整形术对人体下颌骨及颞下颌关节功能的影响。方法 获取病人术前和术后头部CT图像数据, 通过Simpleware有限元建模软件生成计算模型, 利用Abaqus软件观察手术前后模型上的应力分布及数值大小。结果 获得了具有良好形态的下颌骨三维有限元模型, 根据在不同部位施加不同负荷模拟模型各部分的力学改变, 发现手术前后下颌骨部及关节附近的应力分布有差异。结论 基于东方经典美丽分析面罩的下颌角整形术, 手术前后对病人的下颌骨及颞下颌关节附近的应力减小。

关键词: 东方经典美丽分析面罩; 下颌角整形术; CT图像; Simpleware 三维建模; 有限元分析; 手术规划
中图分类号: R318.01 **文献标志码:** A

Biomechanical analysis of the mandibular osteotomy on the function of mandibular bone and joint

Qi Xiang-dong¹, Li Qin¹, ZHANG Mei-chao², JIAO Pei-feng², Zhong Shi-zhen², Philippe G. Young³ (1. Department of Laser and Plastic and Cosmetic Surgery, Guangzhou LiuHua Hospital, Guangzhou, 510010, China; 2. NanFang medical university, Tianhebei road, Guangzhou, 510515, China; 3. School of Engineering, Computer Science and Mathematics, University of Exeter, UK)

Abstract: Objective To analyze the effects of mandibular Osteotomy based on the Orient Classical Beauty Analysis Mask on the functions of mandibular bone and joint. Meanwhile a precise and quick method of the finite element(FE) modeling before the mandibular osteotomy was developed. **Methods** The CT data from the same patient pre- and post-mandibular osteotomy were obtained and imported into the ScanIP Module(Simpleware, Simpleware LTD., Exeter, UK). And after the segmentation of the interest regions, the two 3D geometrical models were built up, respectively. Then high-quality meshing was performed in the ScanFE module and the two corresponding FE models were solved in the ANSYS to obtain each stress status under the same loading. **Results** the 3D FE models including mandible and mandibular joint were created successfully, which kept the accurate anatomical shape. By the configuring material properties, setting the boundary conditions and loading the forces on the different areas, the mechanical status of the models under different loading conditions were simulated and shown to be un-similar. **Conclusion** There were obvious changes on the patient's joint functions after the mandibular Osteotomy based on Orient Classical Beauty Analysis Mask. The 3D FE modeling software Simpleware and other FE analysis solvers could be integrated to make the biomechanical analysis and the pre-operation plan.

Key words: Orient classical beauty analysis mask; Mandibular osteotomy; CT images; Simpleware 3D FE model; Finite element analysis; pre-operation plan

收稿日期: 2008-08-19; 修回日期: 2008-09-28

基金项目: 国家自然科学基金(30771136), 广东省自然科学基金(06019202)

作者简介: 齐向东(1968-), 研究方向: 整形外科数字化, 虚拟仿真

通讯作者: 齐向东, Tel: 13828418380; E-mail: qixdcn@yahoo.com.cn



下颌角肥大 (prominent mandibular angle)^[1]的病人可以通过下颌骨截骨手术达到美容的目的,近年东方民族以“瓜子脸”或“鹅蛋脸”形为美^[2],因此轮廓整形日渐风靡。由此带来了一些问题,最常见的有:(1)没有规范的美学标准,存在手术效果预期模糊在临床工作中常可见到手术后不能接受容貌改变的病人;(2)手术简单粗暴,手术中血管神经损伤、出血性休克、意外骨折,甚至发生手术后关节功能障碍等;(3)对手术后下颌骨的生理功能没有前瞻性研究。这些临床问题向我们提出规范手术操作及进行术前评估的要求。

本研究利用手术前后的CT图像重建模型,以东方经典美丽分析面罩为手术标准,分析下颌角整形是否对人体的下颌骨及颞下颌关节功能产生影响,从而寻求一个评判下颌角整形术在形态和力学角度是否安全的有限元建模方法^[3]。

1 材料与方法

1.1 有限元模型的几何特征

对1名24岁,身高165 cm,体重52 kg的女性下颌角肥大病人,行术前与术后0.75 cm层距的螺旋CT扫描,获得重建下颌骨的原始数据。

首先,利用Simpleware软件(Exeter, UK)的ScanIP模块对术前的CT扫描数据进行三维重建,获得术前下颌骨三维模型;参照东方经典美丽分析面罩,模拟下颌角截骨手术,利用软件的Sandpaper功能,不断调整强度值及操作角度,修整得到理想下颌骨模型,据此制订手术计划,手术时截骨量依照设计进行;术后8 w再做CT检查并重建术后三维模型^[4]。通过ScanIP模块的图像分割功能将模型分为密质骨、松质骨和牙齿三部分,并运用二值过滤器和高斯光滑过滤器对三维模型进行光滑操作,最终获得与病人下颌骨真实几何形状和拓扑结构基本一致的三维几何模型(见图1)。

其次,将ScanIP模块建好的上述三维几何模型导入到Simpleware软件的ScanFE模块中,对三维几何模型进行基于体素的六面体有限元网格划分,然后再采用四面体单元进行表面光滑,最终生成包含六面体和四面体混合网格的高质量有限元计算模型。对计算模型赋予3种不同的材料属性,

设定边界条件和静态牙齿咬合力载荷。最后,采用商用有限元计算软件ABAQUS分别求解术前和术后下颌骨的Mises应力分布,并做对比讨论。



图1 手术前后三维模型
Fig. 1 OP. and PO. 3D model

1.2 材料属性

根据下颌骨的解剖学特点和材质密度及力学属性情况,将模型的材料分布分为三部分:

牙齿采用各向同性均匀分布材料,弹性模量20 GPa,泊松比0.15。

松质骨和密质骨采用表1的各向异性非均匀材料属性。

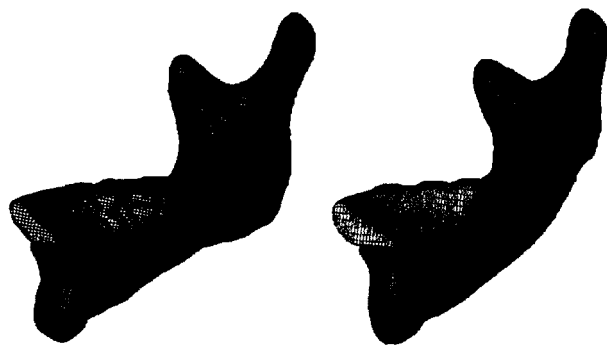


图2 手术前后有限元模型。基于计算的考虑(对称性)选取其中半个下颌骨
Fig. 2 OP. and PO. finite element models

1.3 边界条件

由于本研究中只对下颌骨进行咬合力作用下的静态响应分析,故可把颞下颌关节对下颌骨的约束

表 1 TMJ 骨性结构的材料力学性能
Tab. 1 Mechanical properties of materials in bone

材料	线性各向同性			线性各向异性							
	E/GPa	ν	E/GPa			G/GPa			ν		
			X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
皮质骨	13.7	0.30	13	13	19	5.9	5.9	5.3	0.22	0.29	0.42
松质骨	79.3	0.30	27.3	0.273	0.823	0.123	0.123	0.115	0.19	0.11	0.34

限制情况抽象为下颌骨髁突上的固定端全约束，也就是设定髁突上颞下颌关节作用部位各节点的自由度均为零，以消除有限元求解计算中的刚体位移。同时考虑到下颌骨在几何形状、拓扑结构、材料分布、颞下颌关约束、牙齿咬合力分布等方面的对称情况，为节省计算时间，选取一半下颌骨进行分析，故在剖开面上施加对称边界条件，如图 3 所示。

1.4 载荷选取

载荷也就是牙齿的咬合力选取如下 3 种工况。
(1) 正常人最大咬合力： $30\text{ kg} \times 10\text{ N/kg} \div 2=150\text{ N}$ ，模拟正常咀嚼时牙齿的受力情况，见图 4；
(2) 2 倍最大咬合力： $150 \times 2=300\text{ N}$ ，模拟咀嚼某些硬物时的牙齿受力情况，见图 5；
(3) 10 倍最大咬合力： $150 \times 10=1\,500\text{ N}$ ，模拟咀嚼时牙齿的极端受力情况，以充分考察比较术前和术后下颌骨的强度变化，见图 6。



图 3 手术前后对称边界条件
Fig. 3 OP. and OP. symmetric boundary conditions

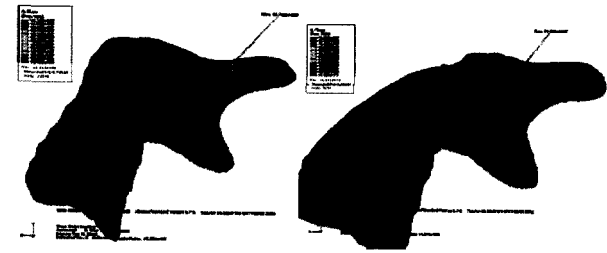


图 4 手术前后正常人最大咬合力 150 N 时 Mises 应力分布
Fig. 4 PO. and OP. the maximum oalusal force 150 N Mises stress distribution in normal human

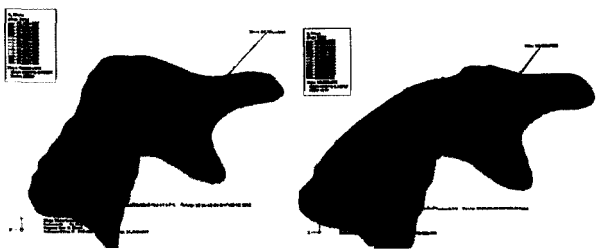


图 5 手术前后 2 倍最大咬合力 300 N 时 Mises 应力分布
Fig. 5 Stress distribution under 300 N OP. and PO.

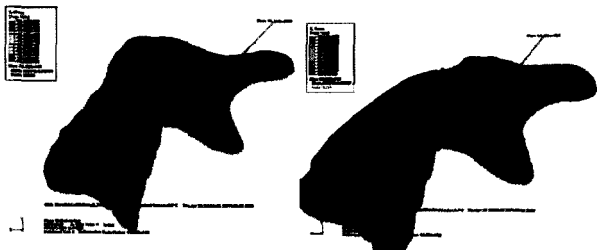


图 6 手术前后 10 倍最大咬合力 1.5 kN 时 Mises 应力分布
Fig. 6 Stress distribution under 1.5 kN OP. and PO.

咬合力载荷主要施加在尖牙以后的磨牙上面，如图 3 中黄色箭头所示。

2 结果

通过分析计算，发现术后下颌骨的应力分布与术前下颌骨模型在最大咬合力甚至是在 10 倍于最大咬合力的作用下，两者的应力分布区域基本一致，主要应力区域均在髁突前后面，但从选择的 10 个测量点的应力分析看，手术前后在 150 N 时，下颌体部的应力无显著性差异($P=0.839$)；髁突前面的应力存在显著性差异($P=0.000$)；在 300 N 时，下颌体部位的应力亦无显著性差异($P=0.931$)。从而说明了下颌角整形术对咬合力作用下的下颌骨的应力分布区域无显著变化，在应力分布上，下颌体部在正常咬合力 150 N 和 300 N 时的应力均无显著变化。髁突部位在 150 N 和在 300 N 时，由于手

表2 手术前后应力分布区域测量点应力统计
Tab. 2 Statistic of the stress of mesare point PO.

咬合力/N	下颌体部		髁突前面	
	术 前	术 后	术 前	术 后
150	2.22 ± 0.77 ☆	2.15 ± 0.74 ☆	3.64 ± 0.51 ★	2.23 ± 0.12 ★
300	45.1 ± 2.3 ◇	45 ± 15.0 ◇	71.7 ± 11.0 ◆	48.5 ± 18.0 ◆

☆: P=0.891; ◇: P=0.931; ★: P=0.000; ◆: P=0.000

术造成了应力分布的改变，术后的应力反而减小，从统计学分析，手术前后应力均存在显著性差异(P=0.000)。说明下颌角整形术虽然改变了下颌骨在咬合时的应力分布，但不会增加该处骨折的危险性；髁突前部的应力由于术前减小，因此引起该处骨折的可能性降低。

3 讨论

3.1 计算机辅助如何避免手术的并发症

对于下颌角截骨的研究大多集中在三维骨组织重建和计算机辅助设计上，虽然在形态上可以了解下颌骨的结构，但是由于没有建立带血管神经束的模型而失去了真实性，并且对手术前后下颌骨及颞颌关节的生理力学分析很少，从而使研究不完善。本课题组从2002年逐步开始了个性化下颌骨显微结构建模、手术模拟及定量截骨等研究，通过模型建立，了解血管神经分布，并通过模型的三维立体旋转让医生在手术前了解手术区域，做到心中有数。

3.2 截骨标准建立的意义

下颌骨为面部的主要骨性支架，下颌角肥大可以通过下颌骨截骨手术达到美容的目的，随着整形技术和病人对容貌的认知度提高，个性化整形的要求也不断提高，没有以五官比例以及真实数据为客观依据的模糊整形遭到拒绝。

术中截骨线的设计和截骨量的精确确定是手术成功的关键，目前对下颌角肥大病人多以头颅正侧位和下颌全景X线片作为诊断和设计手术的依据，也有利用头面部螺旋CT片作参考，但利用这些二维影像数据很难设计出完全适合病人具体情况的截骨线和截骨量，实际手术中还主要依靠医生的经验^[5,6]。

研究在重建术前颅骨模型上进行模拟手术，并根据东方经典美丽分析面罩得出截骨线和截骨量数据^[3]，术后病人面部轮廓改善效果良好。然而如何评价手术的效果才客观科学呢？由于东西方文化的差异及人种的不同，对于面型的美学认识不同，

随着社会的进步，人类对美的追求会有时代的特征，判断疗效需要一个量化的指标。根据医生对全球3万名来自不同地区和种族的测试者进行18名畸形、正常、美的容貌图片排序研究看来，97%的排序一致率证明了美的共性。因此我们课题组根据整形医生在整形时依据的“三庭五眼”、侧貌美学线及《人体标准数据集》等比率和数据，利用计算机优选技术将面型的标准网格化，从而得到了以瞳孔间距为个性特征线的美学面罩，虽然有一定的局限性，但已经得到较为广泛的推广，是对评价标准建立的一种尝试。

3.3 下颌骨截骨前后力学特征的变化

许多学者担心截骨后下颌骨的力学问题以及正常咀嚼对颞颌关节的影响，是否存在截骨后关节的应力变化，从而导致颞颌关节的并发症。本研究通过建立病人截骨前后的下颌骨有限元模型，力学分析后发现，术后下颌骨的应力分布与术前下颌骨模型有数值上的差异。在下颌骨体部，手术前后的应力无显著性差异；而在髁突部分，手术前后的差异有显著性，从具体数值来看，应力减小。说明依据东方经典美丽分析面罩进行的下颌角整形术不仅解决了病人容貌不美的问题，而且在生物力学上降低术后下颌骨应力的分布，因此可以说下颌骨截骨的美容手术在力学分布方面是安全的，对咬合力作用下的下颌骨强度没有影响。

总之，本研究只进行了下颌角整形术后下颌骨静态强度的初步分析。在真实情况中，下颌骨要经常承受除静态载荷之外的动态载荷甚至某些极端载荷。由于动态载荷的影响要远甚于静态载荷，同时疲劳载荷也可能对术后的下颌骨构成影响，故下一步的研究将围绕以下两点展开：（1）研究多次咬合可能导致的疲劳损伤，对术后下颌骨的影响的仿真计算研究；（2）在极端载荷作用下（比如受冲击载荷），比较术前、术后两种不同的模型受力分析情况。

(下转第485页)

- and reconciliation[J]. *Cell Struct Funct*, 2001, 26 (6): 633-638.
- [43] D'Avino PP, Savoian MS, Glover DM. Cleavage furrow formation and ingression during animal cytokinesis: a microtubule legacy[J]. *J Cell Sci*, 2005, 118 (Pt 8): 1549-1558.
- [44] Giansanti MG, Farkas RM, Bonaccorsi S, *et al.* Genetic dissection of meiotic cytokinesis in *Drosophila* males[J]. *Mol Biol Cell*, 2004, 15 (5): 2509-2522.
- [45] Octaviani E, Effler JC, Robinson DN. Enlazin, a natural fusion of two classes of canonical cytoskeletal proteins, contributes to cytokinesis dynamics[J]. *Mol Biol Cell*, 2006, 17 (12): 5275-5286.
- [46] Eggert US, Kiger AA, Richter C, *et al.* Parallel chemical genetic and genome-wide RNAi screens identify cytokinesis inhibitors and targets[J]. *PLoS Biol*, 2004, 2 (12): e379.
- [47] Skop AR, Liu H, Yates J, 3rd, *et al.* Dissection of the mammalian midbody proteome reveals conserved cytokinesis mechanisms[J]. *Science*, 2004, 305 (5680): 61-66.
- [48] Yoshizaki H, Ohba Y, Parrini MC, *et al.* Cell type-specific regulation of RhoA activity during cytokinesis[J]. *J Biol Chem*, 2004, 279 (43): 44756-44762.
- [49] Fuentealba LC, Eivers E, Geissert D, *et al.* Asymmetric mitosis: Unequal segregation of proteins destined for degradation[J]. *PNAS*, 2008, 105 (22): 7732-7737.
- [50] Narumiya S, Yasuda S. Rho GTPases in animal cell mitosis[J]. *Curr Opin Cell Biol*, 2006, 18 (2): 199-205.
- [51] Kuo SC. Using optics to measure biological forces and mechanics[J]. *Traffic*, 2001, 2 (11): 757-763.
- [52] O'Connell CB, Warner AK, Wang YL. Distinct roles of the equatorial and polar cortices in the cleavage of adherent cells[J]. *Curr Biol*, 2001, 11 (9): 702-707.
- [53] Roy P, Rajfur Z, Pomorski P, *et al.* Microscope-based techniques to study cell adhesion and migration[J]. *Nat Cell Biol*, 2002, 4 (4): E91-E96.
- [54] Shuster CB, Burgess DR. Transitions regulating the timing of cytokinesis in embryonic cells[J]. *Curr Biol*, 2002, 12 (10): 854-858.
- [55] Reichl EM, Effler JC, Robinson DN. The stress and strain of cytokinesis[J]. *Trends Cell Biol*, 2005, 15 (4): 200-206.
- [56] Robinson DN, Girard KD, Octaviani E, *et al.* Dictyostelium cytokinesis: from molecules to mechanics[J]. *J Muscle Res Cell Motil*, 2002, 23 (7-8): 719-727.

(上接第 474 页)

参考文献:

- [1] 宋儒耀. 美容整形外科学[M]. 北京: 北京出版社, 1990, 278.
- [2] Back SM, Kim SS, Bincliget A. The prominent mandibular angle: preoperative management, operation technique, and results in 42 patients[J]. *Plast Reconstr Surg*, 1980, 83: 272-278.
- [3] 齐向东, 秦建增, 钟世镇. 面部轮廓修复的快速测量分析诊断系统[J]. *中国实用美容整形外科杂志*, 2005, 16 (4): 246-248.
- [4] Liao JM, Wang XH, Li ZH, *et al.* The clinical anatomic study on the blood supplying system and its vessel architecture of the mandible[J]. *Chinese Journal of Clinical Anatomy*, 2005, 23 (1): 27-30.
- [5] Ma L, Wang B. The progress of Surgical treatment on prominent mandibular angle[J]. *Chinese Journal of Aesthetic Medicine*, 2004, 13 (3): 373-375.
- [6] Wang YM, Yang JY, Mu XZ, *et al.* The comparison of the Methods and syndrome in operating enlarged mandibular angle[J]. *China Medicine Bulletin*, 2002, 2 (8): 12-13.

