

doi: 10.13241/j.cnki.pmb.2015.21.015

基于有限元的第 5 掌骨颈骨折钢板螺钉内固定的生物力学分析

顾松¹ 刘天苹² 沈尊理^{1△} 沈华¹ 蔡燕娴¹

(1 上海市第一人民医院手外及创伤整形修复科 上海 201620 2 中国科学院力学研究所 北京 100190)

摘要 目的:应用有限元方法建立三种不同的治疗第 5 掌骨颈骨折的钢板螺钉内固定模型,比较三种模型的生物力学稳定性,为第 5 掌骨颈骨折的临床早期功能康复提供参考。方法:选取一名健康青年志愿者,将 CT 扫描数据导入三维有限元软件建立第 5 掌骨颈骨折模型,并选取三种钢板螺钉内固定方法进行骨折固定。对三种模型施加外力荷载并进行生物力学有限元分析,对比骨折断端的最大位移和钢板螺钉的应力分布情况。结果:方法一、二、三的第 5 掌骨骨折端的最大位移分别为 0.189775 mm、0.181428 mm、0.224299 mm,以方法二的骨折端位移最小;内固定材料的最大应力分别为 1.20 KPa、1.00 KPa、1.39 KPa,以方法二的钢板螺钉应力最小。结论:采用近端三颗螺钉远端两颗螺钉的直型钢板内固定方法治疗第五掌骨颈骨折的生物力学稳定性更好,术后早期功能锻炼的安全性更高,是治疗第 5 掌骨颈骨折的理想内固定方法。

关键词 第 5 掌骨颈骨折;钢板内固定;有限元方法

中图分类号 R683.41 文献标识码 A 文章编号 1673-6273(2015)21-4056-04

Biomechanical Analysis of Plate Internal Fixation Treating the Fifth Metacarpal Neck Fracture based on Finite Element Method

GU Song¹, LIU Tian-ping², SHEN Zun-li^{1△}, SHEN Hua¹, CAI Yan-xian¹

(1 Department of Plastic, Hand and Aesthetic Surgery, Shanghai First People's Hospital, Shanghai, 201620, China;

2 Institute of Mechanics, China Academy of Sciences, Beijing, 100190, China)

ABSTRACT Objective: To establish three kinds of internal fixation plate models by dimensional finite element method(FEM), compare their stabilities and provide references for the early clinical function rehabilitation of fifth metacarpal neck fracture. **Methods:** A healthy, male volunteer was chosen and got CT scan images, using three dimensional finite element software to simulate internal fixation models of the fifth metacarpal neck fracture. Three methods of plates were used to fix the fracture. The maximum relative displacement of fracture sections and maximum stress of plates were observed and compared between three kinds of models. **Results:** In the three methods of plates, The maximum displacements of fracture sections in group 1, 2, 3 were 0.189775mm, 0.181428mm, 0.224299mm and the maximum stress of plates were 1.20KPa, 1.00KPa, 1.39KPa respectively. The second method had the smallest displacement and stress. **Conclusions:** Straight plate with three screws in the proximal and two in the distal could get more stability and safety for the early function rehabilitation of the fifth metacarpal neck fracture. It was an ideal method for the fifth metacarpal neck fracture.

Key words: The fifth metacarpal neck fracture; Plate internal fixation; Finite element method

Chinese Library Classification(CLC): R683.41 **Document code:** A

Article ID: 1673-6273(2015)21-4056-04

前言

第 5 掌骨颈骨折为手外科常见疾病,以往国内外学者多数建议对其进行保守治疗^[1],但存在一定的并发症^[1,2]。随着社会发展,手部早期康复的要求越来越高,以钢板螺钉内固定法为代表的术方法治疗第 5 掌骨颈骨折越来越为人们所接受。对于钢板螺钉内固定法,不同的钢板形状和螺钉分布,会产生不同的生物力学特性,进而影响骨折内固定术后的稳定性及早期功能锻炼的安全性,目前鲜有该方面研究的文献报道。因此,我们基于有限元方法,探讨第 5 掌骨颈骨折的三种钢板内固定方

法,对比其生物力学特性,以期第 5 掌骨颈骨折的临床治疗提供参考。

1 资料与方法

1.1 临床资料

选择健康男性志愿者 1 例,28 岁,身高 175 cm,体重 65 kg,手部功能完全正常,无骨骼发育异常,无手部疾病史。应用三维有限元软件,建立其右手第 5 掌骨颈骨折三种钢板螺钉内固定模型。

1.2 方法

1.2.1 仪器及材料 西门子 SIMENS CT 机、Lenovo ThinkPad T400 笔记本电脑、Mimics14.11 软件、ANSYS12.0 软件及 win7 操作系统。

1.2.2 第 5 掌骨颈几何模型的建立 采用 64 排螺旋 CT 扫描

作者简介:顾松,硕士研究生,主要研究方向:手部疾病的处理及复杂创面修复,电话:18930729536 E-mail:827512531@qq.com

△通讯作者:沈尊理,教授,博士生导师 E-mail:zunlishen@163.com

(收稿日期 2014-12-13 接受日期 2014-12-30)

左手,得到断层扫描图像;将图像数据用 DICOM 格式存入可读写光盘,并导入三维医学图像建模软件 Mimics14.11 软件。调节灰度值及对比度,通过区域增长功能选取第 5 掌骨,并通过空洞填充功能将每一断层图像中的骨髓腔填满。运用 3-matic6.0 软件生成三维粗略模型,对模型进行细化修改后,以 iges 格

式保存。

1.2.3 三种钢板内固定模型的建立 将 iges 格式的几何模型导入 ANSYS12.0 软件中。采用软件面切割功能,在掌骨颈位置随机切割出斜形骨折面(图 1),同时分别建立三种不同的内固定钢板模型(图 2.1- 图 2.3),按照临床经验安放钢板。

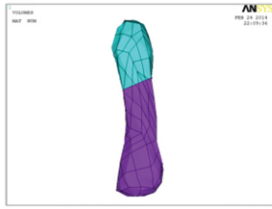


图 1 第 5 掌骨颈骨折的几何模型
Fig.1 The model of fifth metacarpal neck fracture

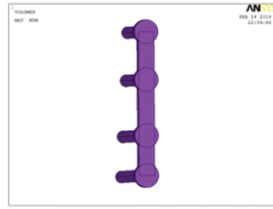


图 2.1 方法一的钢板模型
Fig.2. 1 Plate model of method 1

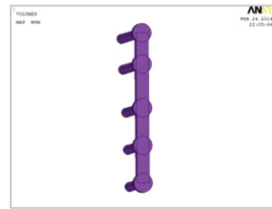


图 2.2 方法二的钢板模型
Fig. 2.2 Plate model of method 2

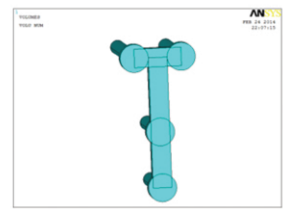


图 2.3 方法三的钢板模型
Fig. 2.3 Plate model of method 3

查阅相关文献^[3-4,6],获得骨和外固定材料的单元类型、泊松比和弹性模量(表 1)。给第 5 掌骨颈及内固定钢板赋值,并对模型进行网格划分。考虑到第 5 掌骨颈为不规则形状且会有螺钉孔,网格划分尺度为 1 mm,选用适应能力较强的四面体网格

(图 3.1- 图 3.3)。内固定钢板与第 5 掌骨的接触部分,分别选用 TARGET170 和 CONTACT174 面面接触单元,钢板和骨组织的接触有螺钉加压固定,可忽略松动的问题,故采用完全绑定。远、近骨折断面接触摩擦系数取 0.2。

表 1 第 5 掌骨颈骨折内固定的有限元模型材料属性

Table 1 Material properties of the FEM model of the fifth metacarpal neck fracture internal fixation

Material	Unit type	Elastic Modulus	Poisson's Ratio
The fifth metacarpal neck	Solid92	10000 MPa	0.3
Plates internal fixation	Solid85	110000 MPa	0.33

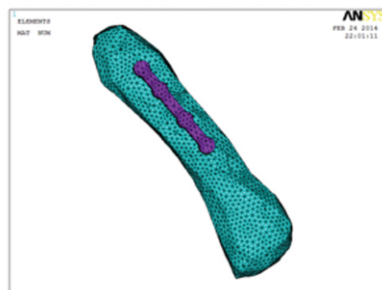


图 3.1 方法一的有限元模型网格划分
Fig. 3.1 FEM mesh model of Method 1

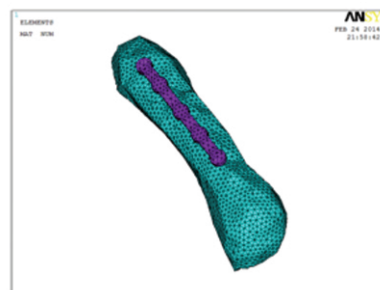


图 3.2 方法二的有限元模型网格划分
Fig. 3.2 FEM mesh model of Method 2

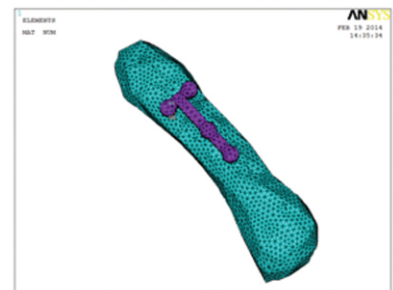


图 3.3 方法三的有限元模型网格划分
Fig. 3.3 FEM mesh model of of Method 3

1.2.4 边界条件及外力荷载 对掌骨基底施加三个方向的位移约束。研究表明日常活动状态下掌指关节的生理压力极限值为 100N^[5]。因此,以第 5 掌骨头最远端处为作用点、第 5 掌骨纵轴线为应力方向,对掌骨头施加 100N 的垂直节点压力,得出远、近骨折面的相对位移。

2 结果

施加外力负荷为 100N,骨折端位移分布云图如图 4.1~ 图 4.3 所示,内固定材料应力分布云图如图 5.1- 图 5.3 所示。骨折端最大位移对比图(图 6)表明:方法二的骨折端位移最小;内固定材料及第 5 掌骨的最大应力对比图(图 7)表明:方法二的钢板螺钉应力最小。

3 讨论

3.1 有限元方法在掌指骨骨折生物力学研究中的应用

有限元分析是一种为求得偏微分方程边值问题近似解的数值技术,其通过变分方法使误差函数达到最小值并产生稳定解。50 年代,有限元分析首先被应用于连续体力学领域,随后很快广泛应用于电磁场和流体力学等连续性问题,现已广泛应用于骨骼系统的应力分析和骨折固定装置的研究等各个方面。孟立民等基于有限元模型生物力学分析^[6]得出微型外固定支架固定治疗 Bennett 骨折的稳定性优于克氏针内固定治疗。蔡强等^[7]建立第 5 掌骨颈骨折有限元模型,分析后认为钢板模型在生物力学稳定性上有明显优势,而髓内针也是治疗第 5 掌骨颈骨折的理想内固定方法,但对于如何选择钢板形状及螺钉分布并没有进行进一步研究。

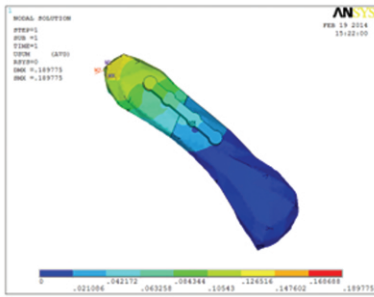


图 4.1 方法一的位移分布云图(m)

Fig. 4.1 Displacement distribution (m) of Method 1

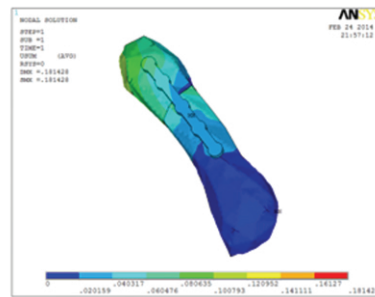


图 4.2 方法二的位移分布云图(m)

Fig. 4.2 Displacement distribution (m) of Method 2

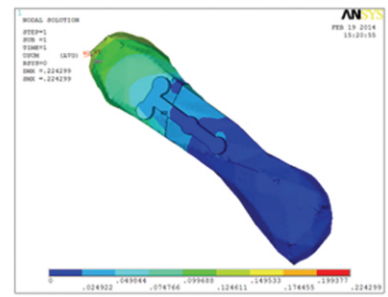


图 4.3 方法三的位移分布云图 (m)

Fig. 4.3 Displacement distribution (m) Method 3

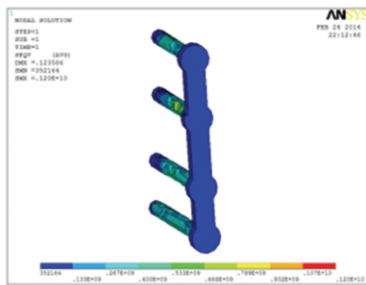


图 5.1 方法一的钢板应力分布云图 (Pa)

Fig. 5.1 Stress distribution (Pa) of Method 1

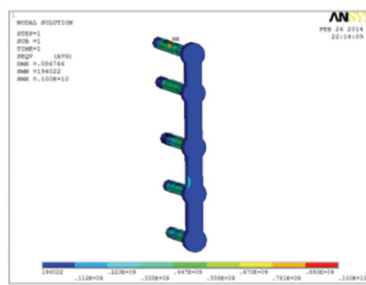


图 5.2 方法二的钢板应力分布云图 (Pa)

Fig. 5.2 Stress distribution (Pa) of Method 2

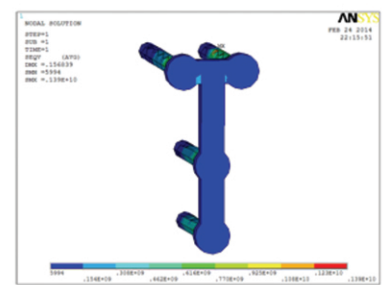
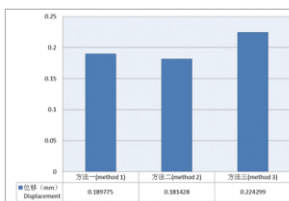
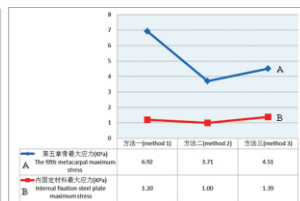


图 5.3 方法三的钢板应力分布云图 (Pa)

Fig. 5.3 Stress distribution (Pa) of Method 3

图 6 骨折端的最大位移对比图
Fig. 6 Maximum displacement of fracture section图 7 第 5 掌骨及内固定材料的最大应力对比图
Fig. 7 Maximum stress of the fifth metacarpal and plate

本研究基于第五掌骨颈骨折的有限元模型,分析了不同的钢板形状和螺钉分布导致的不同生物力学特性,将骨质简化为均匀的弹性介质,与实际骨质不均匀、中空的生物力学性状有一定的差距。同时,骨头与螺钉之间的摩擦简化为接触面模型,与实际螺钉接触情况也略有不同,在以后的研究中还需要进一步的改进。

3.2 第五掌骨颈骨折手术方法的选择

第 5 掌骨颈骨折又称“拳击手骨折”,约占手部所有骨折的 20%,大多为握拳时第 5 掌骨受到暴力冲击所致。对于掌侧成角小于 30 度的稳定第 5 掌骨颈骨折,一般建议采用保守治疗^[8]。而随着社会进步,人们对手部功能的要求越来越高,手术治疗第 5 掌骨颈骨折也越来越为人们所接受。目前,国内外治疗第 5 掌骨颈骨折的手术方法多种多样^[9-16]。文献报道的钢板螺钉内固定法主要包括 T 型、L 型、Y 型及直行钢板等^[17,18],治疗效果满意,但掌骨颈骨折线靠近关节囊,钢板植入时容易损伤掌指关节相关结构^[19],若再缺少早期功能锻炼,非常容易造成关节僵直。闫玉明等^[20]回顾性总结了多种内固定手术治疗的 342 例指掌骨骨折,其中 74 例出现术后并发症,主要包括伤口

愈合欠佳、肌腱粘连、骨折畸形愈合、骨折不愈合及指骨短缩等,因而认为内固定生物力学不稳定和术后没有进行早期功能锻炼是术后并发症的主要原因。只有达到可靠的固定强度,才能保证患者术后早期功能锻炼的安全性。

本研究结果表明骨折端近端三颗螺钉远端两颗螺钉的直型钢板生物力学稳定性相对更好,内固定材料应力更小,术后进行早期握拳及伸屈掌指关节等活动时安全性更高,不易发生钢板松动、螺钉断裂等情况,从而提高手部功能康复的有效性。本研究通过有限元模型的建立与计算,为临床选择提供了一定的理论依据。

参考文献(References)

- [1] 王亦聰. 骨与关节损伤[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2005: 694
Wang Yi-cong. Fractures And Joint Injuries [M]. Beijing: People's medical publishing house, 2005: 694
- [2] Ali A, Hamman J, Mass DP. The biomechanical effects of angulated boxer's fractures[J]. J Hand Surg Am, 1999, 24(4): 835-44
- [3] 张景僚, 顾立强, 张美超, 等. 骶髂关节脱位钉板内固定与关节拉力螺钉内固定两种置入方法的三维有限元分析[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2010, 14(13): 2329-2332
Zhang Jing-liao, Gu Li-qiang, Zhang Mei-chao, et al. Three-dimensional finite element analysis of screw-plate fixation and joint lag screws fixation for sacroiliac joint dislocation [J]. Journal of Clinical Rehabilitative Tissue Engineering Research, 2010, 14(13): 2329-2332
- [4] 徐洪璋, 余斌. 髌骨骨折 AO 张力带内固定有限元模型的建立和分析[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2011, 15(13): 2339-2344
Xu Hong-zhang, Yu Bin. Construction and analysis of a finite-element model of patella fracture fixed with AO tensile force girdle[J]. Journal of Clinical Rehabilitative Tissue Engineering Research, 2011, 15(13): 2339-2344

- [5] Butz KD, Merrell G, Nauman EA. A biomechanical analysis of finger joint forces and stresses developed during common daily activities[J]. Comput Methods Biomech Biomed Engin, 2012, 15(2):131-140
- [6] 孟立民, 苏啸人, 张银光, 等. 微型外固定支架和克氏针治疗 Bennett 骨折的三维有限元分析 [J]. 中国组织工程研究, 2012, 16(9): 1626-1630
- Meng Li-min, Su Xiao-ren, Zhang Yin-guang, et al. Three-dimensional finite element analysis of mini-external fixation and kirschner wire internal fixation for the treatment of Bennett fracture[J]. Chinese Journal of Tissue Engineering Research, 2012, 16(9): 1626-1630
- [7] 蔡强, 陆芸, 孟立民, 等. 第 5 掌骨颈骨折内固定方法的有限元模型比较[J]. 山东医药, 2012, 52(45): 22-25
- Cai Qiang, Lu Yun, Meng Li-min, et al. Comparison of the element model of the fifth metacarpal neck fracture fixation methods[J]. Shandong Medical Journal, 2012, 52(45): 22-25
- [8] Arafa M, Haines J, Noble J, et al. Immediate mobilization of fractures of the neck of the fifth metacarpal[J]. Injury, 1986, 17(4): 277-278
- [9] 桑成林, 曹学成, 王平山, 等. 弹性髓内钉对掌骨骨折的外科治疗[J]. 现代生物医学进展, 2011, 11(24): 4870-4872
- Sang Cheng-lin, Cao Xue-cheng, Wang Ping-shan, et al. The surgical treatment of elastic intramedullary nailing on metacarpal fractures[J]. Progress in Modern Biomedicine, 2011, 11(24): 4870-4872
- [10] 明立功, 明立山, 明立阳, 等. 经皮克氏针内固定治疗第 5 掌骨颈骨折[J]. 实用手外科杂志, 2011, 25(1): 75-77
- Ming Li-gong, Ming Li-shan, Ming Li-yang, et al. Closed reduction and fixation with Kirschner wires for the fifth metacarpal neck fracture[J]. Journal of Practical Hand Surgery, 2011, 25(1): 75-77
- [11] 王武, 韩小平, 曹鹏. 逆行髓内针治疗第五掌骨颈骨折的疗效观察 [J]. 国外医药抗生素分册, 2013, 34(5): 235-236
- Wang Wu, Han Xiao-ping, Cao Peng. Observation on the Therapeutic Effect of Anterograde Intramedullary Nail in Treating Fifth Metacarpal Neck Fracture [J]. World Notes on Antibiotics, 2013, 34 (5): 235-236
- [12] 高斌礼, 刘刚, 田乐, 等. 髓内针内固定治疗第 5 掌骨颈骨折的临床研究[J]. 生物骨科材料与临床研究, 2014, 11(1): 50-52
- Gao Bin-li, Liu Gang, Tian Le, et al. A clinical study on the surgical treatment of the intramedullary fixation of the neck fractures of the fifth metacarpal[J]. Orthopaedic Biomechanics Materials and Clinical Study, 2014, 11(1): 50-52
- [13] 刘增兵, 戴允东, 梁虎, 等. 微型外固定支架治疗第 5 掌骨颈骨折疗效分析[J]. 河北医科大学学报, 2014, 35(7): 820-822
- Liu Zeng-bin, Dai Yun-dong, Liang Hu, et al. Analysis of the therapeutic effect of mini-external fixation treating the fifth metacarpal neck fractures [J]. Journal of Hebei Medical University, 2014, 35(7): 820-822
- [14] 李金亮, 徐九峰, 张晓光. 双克氏针逆行髓内固定治疗第 5 掌骨颈骨折[J]. 临床骨科杂志, 2012, 15(4): 480
- Li Jin-liang, Xu Jiu-feng, Zhang Xiao-guang. Double Kirschner antegrade intramedullary fixation for the treatment of the fifth metacarpal neck fractures[J]. Journal of Clinical Orthopaedics, 2012, 15(4): 480
- [15] 赵萌. 交叉弹性髓内钉固定治疗移位掌骨颈骨折的临床研究[J]. 创伤外科杂志, 2014, 16(4): 336-338
- Zhao Meng. Clinical research of cross elastic nail fixation of displaced metacarpal neck fractures [J]. Journal of Traumatic Surgery, 2014, 16(4): 336-338
- [16] 谢杰, 池雷霆. 单根通用克氏髓内针闭合复位内固定治疗第四、五掌骨骨折 36 例临床分析 [J]. 岭南急诊医学杂志, 2013, 18(4): 287-288
- Xie Jie, Chi Lei-ting. The Clinical Analysis of 36 Patients with Fourth and Fifth Metacarpal Fracture Treated by Closed Reduction and Internal Intramedullary Fixation of Single Universal Kirschnerwire [J]. Lingnan Journal of Emergency Medicine, 2013, 18(4): 287-288
- [17] 张长青, 金东旭, 施慧鹏. 掌指骨骨折 AO 微型钢板内固定 25 例报告[J]. 中华手外科杂志, 2002, (02): 71-72
- Zhang Chang-qing, Jin Dong-xu, Shi Hui-peng, et al. Internal fixation using AO steel miniplates for metacarpal and phalanx fractures: report of 25 cases[J]. Chinese J Hand Surgery, 2002, (02): 71-72
- [18] 劳杰, 顾玉东, 徐建光, 等. 应用 AO 微型不锈钢板内固定治疗手部骨折[J]. 中华手外科杂志, 2002, (02): 66-68
- Lao Jie, Gu Yu-dong, Xu Jian-guang, et al. Internal fixation with AO mini-plate for treatment of hand fractures[J]. Chinese J Hand Surgery, 2002, (02): 66-68
- [19] Manueddu CA, Della Santa D. Fasciculated intramedullary pinning of metacarpal fractures[J]. J Hand Surg(B r), 1996, 21(2): 230-236
- [20] 闫玉明, 张伟平, 廖勇, 等. 指掌骨骨折内固定术后并发症原因分析及对策[J]. 中国骨伤, 2011, (03): 199-201
- Yan Yu-ming, Zhang Wei-ping, Liao Yong, et al. Analysis and Prevention of the complications after treatment of metacarpal and phalangeal fractures with internal fixation [J]. China J Orthop Trauma, 2011, (03): 199-201