

钳夹加压固定器治疗尺骨鹰嘴骨折的三维有限元分析

齐振熙 陈执平 何善海
(福建中医学院,福建 福州 350003)

【摘要】 目的 阐明钳夹加压固定器治疗尺骨鹰嘴骨折的工作原理,科学地指导临床应用。方法 在计算机内进行三维有限元造模,模拟肘关节的生理状态,探讨钳夹加压固定器治疗尺骨鹰嘴骨折的最佳固定方式,最佳固定力和最佳功能锻炼方法。结果 提示钩钳位置应放在尺骨鹰嘴背侧,加压力线离中性轴越远越好;横形骨折的最佳固定力为 50 N,斜形、粉碎骨折为 25 N;早期练功肌肉收缩力不可过大,肱三头肌肌力要小于 70 N,肘关节活动锻炼范围为 60°~90°。结论 钳夹加压固定器治疗尺骨鹰嘴骨折,符合骨折治疗的弹性固定准则。

【关键词】 尺骨鹰嘴骨折; 内固定器; 生物力学; 三维有限元计算

The 3-D finite element analysis in the treatment of olecranon fractures with clamp compressing fixer QI Zhenxi, CHEN Zhiping, HE Shanhai. Fujian College of Traditional Chinese Medicine (Fujian Fuzhou, 350003, China)

【Abstract】 **Objective** To explain the principle of treating olecranon fractures with clamp compressing fixer and instruct the clinical application. **Methods** The 3-D finite element model was built by computer and the physiological condition of elbow was simulated to discuss the optimum fixing methods, the optimum fixing force and the optimum functional exercise. **Results** The test showed that the olecranon hook should be placed on the dorsum of the olecranon and the farther the force line was applied away from the neutral axis the better the fixation was. It also showed that the optimum fixing force on transverse fractures was 50 N, oblique fractures and comminuted fractures were 25 N respectively, the muscular contractive force should be moderate when patients were doing early stage functional exercise, the triceps force should be lower than 70 N and the active range of elbow joint should be between 60° and 90°. **Conclusion** It was in line with the elastic fixation criterion of fractures treatment to treat olecranon fractures with clamp compressing fixer.

【Key words】 Olecranon fractures; Internal fixator; Biomechanics; 3-D finite element analysis

钳夹加压固定器是目前治疗尺骨鹰嘴骨折疗效较好的外固定器之一,经临床观察,肘关节功能恢复优良率 98.88%^[1]。本文采用三维有限元方法对钳夹加压固定器治疗尺骨鹰嘴骨折进行生物力学研究,根据骨折治疗的弹性固定准则,探讨其最佳固定方式、最佳固定力和最佳功能锻炼方法,阐明其工作原理,为指导临床应用提供科学客观的实验数据,以提高临床疗效。

1 模型建立

以成人左上肢尺骨为样本,测量其不同位置的横断面的形状大小,反复三次,求出平均值,然后按

1:1几何尺寸采用超级空间有限元计算程序 Super-Sap 93 软件版本在计算机内进行图形建模。单元体及节点的划分是以满足空间有限元计算程序的要求为原则。取尺骨上 2/3 为研究对象,从尺骨鹰嘴至远端 13.5 cm,同时假设空间结构体中组织是连续的,尺骨近端为自由边界,尺骨远端为固定边界,将研究对象截取 16 个平面,除冠状突两个横断面为 18 个单元和尺骨鹰嘴尖端为 3 个单元外,其余 13 个横断面为 9 个单元,共 156 个单元,272 个节点。每个节点有沿 x、y、z 轴三个方向的平移和绕此三轴转动的 6 个自由度。单元体序号排列是从前到后,自远端向近端;单元体内节点的排序也一样。模型坐标系为直角坐标系,按人体解剖位置,x 轴方向由内

向外, y 轴方向由前至后, z 轴方向自下而上; xy 平面为横向平面, xz 平面为矢状面, yz 平面为冠状面(见图 1)。考虑到骨质是复合材料的性质, 将鹰嘴窝附近定为松质骨, 肱骨干等为密质骨, 取密质骨弹性模量 $E=1.2 \times 10^4$ MPa, 泊松比 $\mu=0.3$ ^[2]。

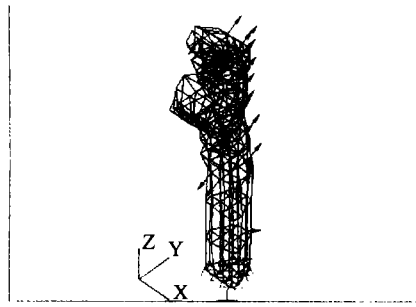


图 1 尺骨鹰嘴整体模型及力的加载情况

2 实验方法

2.1 力的加载 根据尺骨鹰嘴受间接暴力发生骨折及骨折后骨折块发生移位的受力情况, 尺骨受力主要考虑肱三头肌肌力、肱二头肌肌力、前臂及手重力、肱骨滑车对尺骨鹰嘴的关节力和钳夹加压固定器的固定力。本研究将钳夹加压固定器固定钩位置分为 a、b、c 三点, b 为尺骨鹰嘴最高点, a 为距尺骨鹰嘴最高点 5 mm 的远端, c 为距尺骨鹰嘴最高点 5 mm 的近端。固定钩位置分为 A、B、C、D、E 五点, 分别距离尺骨鹰嘴 4.7 cm、5.4 cm、6.1 cm、6.8 cm、7.5 cm(见图 2)。

力的方向是沿骨骼或肌肉肌腱收缩方向传导的。根据圣维南原理^[3], 作用于一点的力可在作用点附近分散作用于有限元网格的节点上(保证静力等效), 则这些分散的力对远处应力的影响与原先那个力的影响一致。因此, 将各作用力以 x、y、z 轴分力的形式施加到相应的节点上。

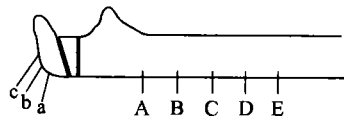


图 2 钳夹加压固定器的固定钩和固定钩位置

2.2 实验步骤 ①在前臂的活动范围中, 肘关节处于 90°位时, 力臂最大。因此, 本研究采取屈肘 90°位情况下进行力学分析。由于肱三头肌在等长收缩情况下, 最大拉张力为 220 N^[4], 根据肘关节的力学分析, 得出各力数值结果: 前臂及手的重量为 20 N, 肱二头肌肌力为 184 N, 关节力为 384 N。将各作用力

加载到模型上。②固定钩的位置 a、b、c 三点, 固定钩位置 A、B、C、D、E 五点, 组合固定方式有 15 种。在屈肘 90°位情况下, 钳夹加压固定器施加作用力 50 N, 逐个方式将钳夹加压固定器的作用力加载到模型上, 得出各种固定方式实验模型的应力值, 根据应力变化找出横形、斜形和粉碎骨折的最佳固定方式。③在屈肘 90°位采用最佳固定方式, 将钳夹加压固定器的固定力分为 25 N、50 N、75 N 施加到实验模型上, 得出在各种固定力加载下实验模型内各节点的应力变化情况, 根据应力变化得出最佳固定力。④采用最佳固定方式, 加载最佳固定力, 在屈肘 30°、60°、90°三种情况下, 得出在上述各种情况下, 实验模型内各节点的应力变化情况。根据应力变化, 找出最佳功能锻炼范围。

3 结果

在肘关节屈曲 90°位, 肱三头肌肌力为 220 N, 钳夹加压固定器在各种固定方式下施加固定力 50 N 时, 实验模型内的 z 轴应力值(见表 1)。

表 1 三种骨折固定力 50 N 时应力变化(单位: MPa)

| 骨折形式 | 固定器 | | | | | | |
|------|-----|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
| | a | | b | | c | | |
| | 前 | 后 | 前 | 后 | 前 | 后 | |
| 横形骨折 | A | -4.140 | 4.022 | -4.333 | 4.283 | -4.575 | 4.602 |
| | C | -4.096 | 4.034 | -4.289 | 4.295 | -4.531 | 4.614 |
| | E | -4.098 | 4.034 | -4.289 | 4.296 | -4.531 | 4.614 |
| 斜形骨折 | A | -2.360 | 3.029 | -2.860 | 3.155 | -3.410 | 3.550 |
| | C | -2.361 | 3.032 | -2.858 | 3.153 | -3.328 | 3.569 |
| | E | -2.366 | 3.035 | -2.862 | 3.171 | -3.329 | 3.556 |
| 粉碎骨折 | A | -2.710 | 3.525 | -2.916 | 3.719 | -3.493 | 4.076 |
| | C | -2.893 | 3.533 | -3.074 | 3.724 | -3.429 | 4.086 |
| | E | -2.897 | 3.534 | -3.076 | 3.736 | -3.430 | 4.084 |

注: 计算时取 A、C、E 三点的应力值, 即可看出其应力变化趋势。

在屈肘 90°位, 钳夹加压固定器置于最佳固定方式, 固定力和肱三头肌肌力变化时, 实验模型内节点 z 轴应力变化情况(见图 3、4、5)。

将钳夹加压固定器置于最佳固定方式, 横形骨折施加最佳固定力 50 N, 斜形骨折、粉碎骨折施加最佳固定力 25 N, 在屈肘 30°、60°、90°三种情况下, 实验模型内节点 z 轴应力变化(见表 2)。

4 讨论

4.1 固定钩与钳的最佳固定位置 骨外固定器治疗尺骨鹰嘴骨折, 固定钩、固定钳的位置放在骨折端哪个部位, 骨折固定可获得最佳稳定性, 最符合生物力学的要求, 临床文献报道尚无一致的意见^[1,5-7]。通过本实验的研究可以看出, 虽然各种工

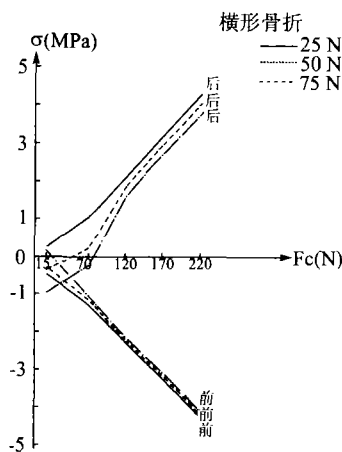


图 3 横形骨折固定力和 Fc 应力变化曲线(注:Fc 为肱三头肌力)

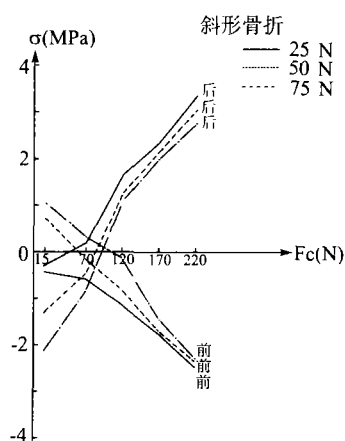


图 4 斜形骨折固定力和 Fc 应力变化曲线(注:Fc 为肱三头肌力)

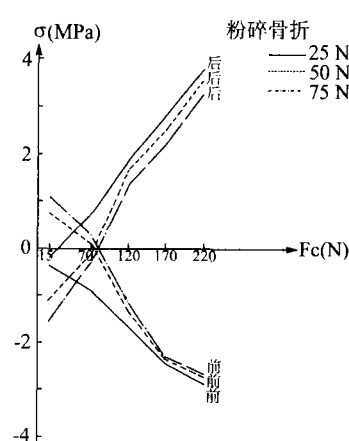


图 5 粉碎骨折固定力和 Fc 应力变化曲线(注:Fc 为肱三头肌力)

表 2 三种骨折最佳固定力下屈肘练功应力变化(单位:MPa)

| 屈肘角度 | 横形骨折 | | 斜形骨折 | | 粉碎骨折 | |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 前 | 后 | 前 | 后 | 前 | 后 |
| 30° | -1.219 | 0.689 | -1.062 | 0.593 | -1.131 | 0.677 |
| 60° | -0.632 | -0.055 | -0.570 | -0.012 | -0.536 | -0.043 |
| 90° | -0.276 | -0.376 | -0.431 | -0.306 | -0.354 | -0.178 |

况之间相互无明显差别,但仍有一定的规律,固定钩的钩尖位置从 a 点至 c 点,尺骨鹰嘴背侧 z 轴应力值逐渐增大,说明固定钩的钩尖位置越靠近尺骨鹰嘴关节面的背侧,z 轴受张应力越小;固定钩位置从 A 点至 E 点,尺骨鹰嘴背侧 z 轴应力值逐渐增大,说明固定钩位置越远离骨折线,z 轴受张应力越大。从而可以得出:钳夹加压固定器对骨折施加的加压力线应通过张力侧,而且离中性轴越远越好。结合临床实践,我们认为:不管是横形骨折还是斜形骨折,固定钩的钩尖位置应选择 a 点,固定钩位置应选择 A 点为宜。

4.2 最佳固定力和肌肉锻炼的最佳收缩力 钳夹加压固定器治疗尺骨鹰嘴骨折,就是将固定器固定在尺骨鹰嘴的张力侧,利用固定器来吸收张力,以便使骨折本身能接受轴向压力。从图 3、4、5 中可以看出,在肱三头肌张力为 15 N,固定力为 25 N 时,对于横形骨折,鹰嘴背侧 z 轴应力是正值,仍表现为张应力;而固定力为 75 N 时,鹰嘴背侧 z 轴应力虽然表现为压应力,但关节侧 z 轴应力是正值,表现为张应力;只有固定力为 50 N 时,背侧和关节侧 z 轴应力均是负值,表现为压应力。所以,横形骨折的最佳固定力是 50 N。对于斜形、粉碎骨折,当固定力分别为 50 N、75 N 时,鹰嘴关节侧均表现为张应力;只有固

定力为 25 N 时,背侧和关节侧都表现为压应力。因此,斜形、粉碎骨折的最佳固定力是 25 N。

骨折早期练功的主要形式是肌肉锻炼。但肌肉活动也要循序渐进,一开始肌肉就作强烈的收缩活动,可能导致骨折端错位。从图 3、4、5 中可以看出,横形、斜形和粉碎三种类型骨折均采用最佳固定力,当肱三头肌肌力为 70 N 时,尺骨鹰嘴背侧就开始出现张应力;当肱三头肌肌力为 120 N 时,就产生明显的张应力。所以,尺骨鹰嘴骨折采用钳夹加压固定器治疗,骨折早期进行肌肉活动时,肌肉的收缩力不可过大,肱三头肌肌力应小于 70 N。

4.3 肘关节最佳功能锻炼范围 从表 2 看出,三种类型的骨折在屈肘 60° 时,尺骨鹰嘴背侧 z 轴应力均表现轻微的压应力;在屈肘 30° 位时,尺骨鹰嘴背侧都产生张应力。所以,无论是哪种类型的骨折,肘关节的最佳功能锻炼范围均在 60°~90° 之间。

4.4 钳夹加压固定器治疗尺骨鹰嘴骨折符合弹性固定准则 从图 3、4、5 中可以看出尺骨鹰嘴骨折复位固定在屈肘 90° 位,肱三头肌力不超过 70 N 时,骨折端表现为压应力,是稳定的。在实际应用中,前臂由三角巾或颈腕带悬吊,此时,前臂重力被部分或完全抵消,肱二头肌肌力和肘关节力也将相应减小。从图 3、4、5 中还可以看出,骨折固定稳定时,骨折端还存在一个相对恒定的压应力。在肱三头肌肌力不大于 70 N 时,肌肉的舒缩活动和肘关节在 60°~90° 范围内的屈伸活动,使骨折端交替出现紧缩、舒张,断端间的压应力随着活动而变化,这正是临床初期骨折端需要得到的间断性生理应力。恒定的生理应力和间断性的生理应力刺激,促使骨痂生长以加速

骨折愈合。钳夹加压固定器治疗尺骨鹰嘴骨折较少有功能替代。在骨折早期由于新生骨组织弹性模量小于固定器弹性模量,因而主要承受载荷的是固定器,这对于保持骨折端的稳定是必要的。但由于固定器的杠杆力量,新生骨组织也承受正常功能状态下的受力形式,随着断面愈合程度的增强,载荷将越来越多地被新生骨组织承受。当重建的骨组织接近正常功能状态时,载荷将由修复的骨组织承担。因此,整个治疗过程中,固定器不存在明显功能替代。

综上所述,应用钳夹加压固定器治疗尺骨鹰嘴骨折,具有固定稳定,较少功能替代,断端间存在生理应力,是符合弹性固定准则的。

参考文献

- 1 姜友民,陈振华,陈纛红. 钳夹加压固定器治疗尺骨鹰嘴骨折. 中国骨伤,1994,7(5):21.
- 2 刘献祥,陈日齐,张文光. 肱骨髁上部的三维有限元分析研究. 中国中医骨伤科杂志,1996,4(5):8.
- 3 徐芝纶. 弹性力学(上册). 北京:人民教育出版社,1979. 25.
- 4 过邦辅. 临床骨科生物力学基础. 上海:上海远东出版社,1993. 344.
- 5 邵亚平. 鹰嘴钩治疗尺骨鹰嘴骨折 43 例. 中国骨伤,1999,12(3):59.
- 6 王菊芬,戴振国,朱惠芳,等. 抓鹰器治疗尺骨鹰嘴骨折(附 38 例报告). 山东中医杂志,1991,10(3):14.
- 7 庞桂根,顾云伍,张铁良. 应用鹰嘴复位固定器治疗尺骨鹰嘴骨折. 中华骨科杂志,1992,12(4):264.

(收稿:2002-08-26 编辑:李为农)

· 短篇报道 ·

套筒鹅头钉钢板治疗股骨转子间骨折

王文龙 刘安平 田新水
(资兴矿业集团总医院骨科,湖南 郴州 423404)

我自 1998 年以来采用套筒鹅头钉钢板治疗中老年股骨转子间骨折 36 例,取得了良好的效果,报告如下。

1 临床资料

本组 36 例,男 27 例,女 9 例;年龄 30~85 岁,平均 54 岁。受伤原因:坠落伤 13 例,交通伤 10 例,滑倒伤 5 例,井下伤 8 例。采用 Evan's 分型,Ⅰ型 5 例,Ⅱ型 9 例,Ⅲ型 14 例,Ⅳ型 8 例,Ⅰ、Ⅱ型属稳定型骨折,Ⅲ、Ⅳ型属不稳定型骨折。其中 14 例合并高血压、冠心病、矽肺、糖尿病。受伤时间为 30 min 至 5 d。入院后均经皮肤牵引或胫骨结节牵引术。予牵引 2~7 d 后手术。

2 手术方法

采用硬膜外麻醉,并全部心电监护。伤侧臀部垫高 15°~20°,取股骨粗隆部前外侧大切口,于大转子下 2 cm 横断股外侧肌并拉开,十字切开髋关节囊,显露股骨大、小转子、骨折端、股骨颈与股骨头部分。以钢丝或螺钉固定骨折处骨块,解剖复位,于大转子顶点下 2~3 cm 处用颈干角定位器选择 125°~127°颈干角,以外侧骨皮质前后径中点,水平钻入直径 3.2 mm 定位导针。因无床旁摄片或 X 线透视,探查定位针进入股骨头颈,但未进入髋臼,沿此导引针扩孔,细克氏针探查孔四周均为骨质,拧入自攻丝鹅头钉,套入鹅头钉钢板,拧入螺帽。钢板下方有 5~6 孔,用螺钉固定。冲洗后关闭伤口,放置引流管。术中出血约 200~600 ml,手术时间约为 90~150 min。术后常规抗感染,脱水消肿,丁字鞋制动。术后 1 d 练习股四头肌活动,术后 3 d 主动活动髋关节膝关节,术后 2 周拄双拐杖下床活动,3~6 个月后摄片根据骨折愈合

情况采用单拐杖活动。对于高龄老年人,骨质疏松严重,下床活动时间应延长。

3 结果

根据骨折类型治疗结果评定:优,骨折愈合良好,无髋内翻或外旋畸形。行走无痛,下蹲达到或接近正常范围,功能恢复到骨折前状态;良,骨折愈合良好,髋关节有轻度内翻,患肢缩短在 2 cm 以内。行走无痛,需或无需用手杖支持,功能恢复接近正常;可,骨折愈合较差,有髋内翻或外旋畸形。髋关节疼痛,功能明显受限,不能负重或行走。本组优 23 例,良 9 例,可 3 例,死亡 1 例,为术后 2 d 因心肌梗塞复发致死。1 例因引流口感染经换药而痊愈,髋外旋,髋内翻畸形各 1 例,髋关节疼痛 4 例,伤肢短缩畸形 1 例,膝关节疼痛或僵硬 6 例。

4 讨论

套筒鹅头钉钢板作为 DHS 的一种新型内固定器材,在设计上具有良好的生物力学性能,有效地解除了股骨转子间骨折的内固定问题。套筒鹅头钉钢板可承受人体负重时的轴向载荷,有利于早期下床活动。同时避免了头颈钉尾无退路,钉头穿透股骨头皮质的现象,具有放置方便,抗内翻弯曲强度大,固定牢固。术后能早期下床活动,骨折愈合快的优点。

本组发生髋关节畸形,主要是术中复位不良,颈干角控制不够准确。髋关节疼痛,考虑是粗大的鹅头钉造成股骨颈的血供障碍和股骨头的压力增高有关。伤肢短缩畸形,可能与骨质疏松,负重过早,骨质吸收有关。膝关节疼痛或僵硬,主要是缺乏早期的股四头肌和膝关节功能训练。

(收稿:2002-08-14 编辑:王宏)