

文章编号:1004-7220(2009)05-0444-04

成人桡骨头切除术后并发症的三维有限元分析

张建新¹, 田洪波², 陈日齐³

(1. 厦门市中医院, 厦门 361009 2. 山东省济南市中医院 骨科, 济南 250011 3. 福州大学 土木工程学院, 福州 350003)

摘要: 目的 通过三维有限元模拟研究桡骨头切除术后并发症的原因和机理。方法 用三维有限元分析法研究桡骨头的应力传导作用, 以及桡骨头切除后应力传导分布改变对肘、腕关节稳定性的影响。结果 正常情况, 经桡骨头传导的应力值约占肘关节总应力值的 58%, 经过肱尺关节传导的应力值约占肘关节总应力值 36.85%。桡骨头切除后, 肱尺关节外侧部分承受的应力值约占肘关节总应力值的 43%, 内侧部分的应力值约占肘关节总应力值的 21.6%, 和桡骨头切除前相比较, 外侧较内侧增加的幅度显著增大。结论 桡骨头在肘关节应力传导中占据了主导地位, 桡骨头切除后破坏了肘关节的正常应力分布, 对肘、腕关节的稳定性有较大的影响。临床上应严格掌握桡骨头切除术的适应证。

关键词: 成人; 桡骨头切除; 并发症; 三维有限元分析

中图分类号: R318.01 文献标志码: A

Three-dimensional limited element analysis of the complication after resection of head of radius for adults

ZHANG Jian-xin¹, TIAN Hong-bo², CHEN Ri-qi³. (1. Xiamen Chinese Traditional Medicine Hospital, Xiamen 361009, China 2. Jinan Chinese Traditional Medicine Hospital, Jinan 250011, China 3. College of Civil Engineering of Fuzhou University, Fuzhou 350003, China)

Abstract: Objective To adopt a three-dimensional limited element analytic method to research into the cause and mechanism of the complications taking place after resection of head radius. **Method** To adopt a three-dimensional limited element analytic method to research into the stress transmission action of the head radius and the distribution alteration of the stress transmission after resection of head radius impacting on the stability of elbow and wrist. **Result** In normal cases, the stress value transmitted via head of radius takes 58% of the stress placed, 36.85% via humeroulnar joint. The head of radius places a leading role in the stress transmission of the elbow joint. After resection of the head of radius, the lateral of humeroulnar joint bears about 43% of the stress placed while the medial part bears about 21.6% of the stress. To compare with that before the resection of the head of radius the stress on the lateral is obviously increased more than the medial part. **Conclusions** The head of radius places a leading role in the stress transmission of the elbow joint. The resection of the head radius breaks the normal distribution of the stress on the elbow joint and produces great effect on the stability of the elbow joint and wrist joint. Therefore, in clinics we should pay great attention to the indication of resection of the head of radius.

Key words: Adult; Resection of head radius; Complication; Three-dimensional limited element analysis

收稿日期:2009-01-04; 修回日期:2009-02-16

基金项目:福建省科技厅青年科技人才创新项目(2005J078)

作者简介:张建新(1965-), 主任医师, 研究方向:骨骼生物力学。

通讯作者:张建新, Tel:15959222068; E-mail:fjzjx@126.com。

桡骨头骨折是一种关节内骨折,约占全部肘部创伤的11%、全身骨折的0.8%^[1]。其发生常常因为纵向传导的暴力引起。对于桡骨头骨折的治疗尚存在争议^[2-3]。切除桡骨头是改善前臂旋转功能和肘关节屈伸功能的有效方法之一^[4],但是否将其切除一直存在着争议,因为临床上发现桡骨头切除后可出现多种远期并发症,如肘、腕关节疼痛、下尺桡关节脱位和半脱位、肘外翻角增大、创伤性肘关节炎^[5-6]。本研究用三维有限元分析法研究桡骨头的应力传导作用,以及桡骨头切除后应力传导分布改变对肘、腕关节稳定性的影响,明确桡骨头切除术后并发症的原因和机理,旨在对该手术的疗效做一客观的评价。指导临床严格应用桡骨头切除术的适应症,减少桡骨头切除术后并发症的发生。

1 材料与方法

1.1 材料

台式电脑1台, Super-Sap(1993年Algor型)软件1套,正常成人的肘关节和前臂(包括下尺桡关节)在肘关节伸直位时横断CT图像1套,清华紫光扫描仪1台,量角器、直尺、坐标纸等。

1.2 模型建立方法

用CT对正常成人的肘关节和前臂(包括下尺桡关节)在肘关节伸直旋前位进行CT断层成像;在CT成像过程中,要求标本在桡骨纵轴方向保持不动,每隔1~3mm的不等间距扫描1次。用扫描仪对CT图像进行扫描存入计算机,得到表示肘关节和前臂的每层横截面的图像,打印出来,并临摹于透明坐标纸上,临摹时根据图像的显影描绘图像中的骨骼、关节软骨,并根据尸体解剖情况描绘韧带、骨间膜等不能显影的软组织,其他部分予以去除,严格区分密质骨、松质骨、关节软骨及软组织等各种特性材料的边界。首先建立肘关节三维坐标系:其中X轴由桡侧向尺侧为正方向,Y轴由后向前为正方向,Z轴由下向上为正方向。确定各个节点的坐标,划分单元,采用8节点6面体的单元,组建包括肘关节内外侧副韧带、环状韧带和骨间膜的正常成人肘关节伸直位时的三维空间力学模型(见图1)。在坐标系内按有限离散的原则划分成1029个(其中密质骨657、松质骨330、韧带9、骨间膜12、软骨21)单元,1543个节点,将每个节点坐标值输入安装了Su-

per-Sap93的电脑,运算后即完成建模。通过删除桡骨头部分的节点和单元,建立桡骨头切除后的肘关节和前臂的三维有限元模型。上述模型中涉及的各种组织材料均简化为各向同性的均质性弹性材料,有关材料的弹性性能常数均采用文献^[7](见表1)。

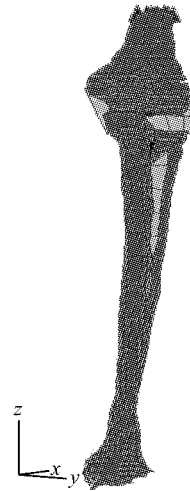


图1 三维有限元模型

Fig.1 Three-dimensional limited element model

表1 组织材料、弹性性能和单元数

Tab.1 Organisational and elastic properties and unit

弹性性能	皮质骨	松质骨	侧副韧带	骨间膜	软骨
弹性模量/GPa	17.50	0.8	0.43	0.43	0.12
泊松比	0.3	0.3	0.45	0.45	0.49
单元数	657	330	9	12	21

1.3 加载方法

本实验采用正常肘关节伸直位时,固定肱骨端,分别从腕关节加载100、150、200、250N的轴向压力,根据圣维南原理^[7],力的作用点位于腕关节共34个节点上,每点上力的大小为 $F/34$ 。通过计算机运算,测定记录桡骨头、肱尺关节内外侧关节面及尺骨鹰嘴中间嵴和骨间膜的应力值。对桡骨头切除以后肘关节的有限元模型重复以上的加载过程,测定记录并比较桡骨头切除前后肱尺关节内、外侧关节面、尺骨鹰嘴中间嵴和骨间膜的应力值变化。

2 结果

正常情况,肘关节面的接触包括肱桡关节和肱尺关节的接触,模型中桡骨头、肱尺关节内、外侧关

节面及尺骨鹰嘴中间嵴的接触面积分别为 0.985, 1.67, 1.36, 1.03 cm²。经桡骨头传导的应力值约占肘关节总应力值的 58.00%; 经肱尺关节传导的应力值约占肘关节总应力值的 36.85%, 其中肱尺关节外侧部分承受的应力值约为总应力值的 16.00%, 肱尺关节内侧部分的应力值约占 11.50%, 尺骨鹰嘴中间嵴约占 9.35%; 骨间膜约占肘关节总应力值的 4.70%。表 2 所示为桡骨切除前应力分布值。

表 2 桡骨头切除前的应力分布 (单位 KPa)

Tab 2 The stress before resection of radial head (Unit KPa)

F/N	桡骨头	肱尺关节外侧关节面	肱尺关节内侧关节面	尺骨鹰嘴中间嵴	骨间膜
100	59.3	17.8	12.7	10.2	4.1
150	91.1	26.0	19.6	15.3	7.2
200	124.6	32.2	23.4	19.8	11.8
250	156.8	40.0	29.0	24.2	15.0

桡骨头切除后, 肱尺关节外侧部分的应力值约占总应力值的 43%, 内侧部分的应力值约占总应力值的 21.6%, 尺骨鹰嘴中间嵴约占 15.4%, 骨间膜约占 19.7%。表 3 所示为桡骨切除后应力分布值。

表 3 桡骨头切除后的应力分布 (单位 KPa)

Tab 3 The stress after Resection of radial head (Unit KPa)

F/N	肱尺关节外侧关节面	肱尺关节内侧关节面	尺骨鹰嘴中间嵴	骨间膜
100	54.6	26.2	19.2	20.7
150	81.5	40.1	28.4	33.8
200	108.4	54.2	37.4	50.4
250	134.3	69.0	46.7	71.8

对桡骨头切除前、后, 肱尺关节内、外侧面, 尺骨鹰嘴中间嵴, 骨间膜承受的应力值进行 *t* 检验, 结果显示 *p* 值均小于 0.05, 说明桡骨头切除后各部位的应力均有显著性增加。对桡骨头切除后肱尺关节内、外侧关节面的应力增加幅度进行 *t* 检验, 结果显示 *p* 值小于 0.05, 说明桡骨头切除后肱骨关节外侧关节面应力增加幅度明显大于内侧关节面。

3 讨论

3.1 有限元模型的可行性

国内外大量研究^[8-11]表明, 采用三维有限元进

行骨骼力学的研究是科学可行的。本课题在准确建立肘关节和前臂的骨性结构三维有限元空间力学模型时, 考虑了肘关节内外侧副韧带和环状韧带、骨间膜等软组织对桡骨头及肘关节的影响, 准确地运用解剖知识将这些软组织加入肘关节和前臂的三维有限元模型, 使模型更接近前臂和腕关节运动的力学特点, 更接近于解剖学实际情况, 能够更好地用来分析肘关节及前臂的应力分布。通过建立肘关节和前臂的三维有限元力学模型, 研究桡骨头切除术后并发症的原因和机理是可行的。

3.2 桡骨头的应力传导作用

正常情况下, 桡骨头的生理作用包括两部分, 即传导应力和维持肘关节外侧的稳定性, 两者之间密不可分。而桡骨头传导应力的大小随肘关节的位置不同而异, Morrey 等^[12] 研究证明, 当肘关节处于伸直位时, 肱桡关节的接触面积比屈曲位时大, 经桡骨头传导的应力亦较大。故笔者研究肘关节在伸直位时桡骨头的应力传导, 能够说明桡骨头切除术后肘、腕关节应力传导的改变。实验结果表明, 经桡骨头传导的应力值约占肘关节总应力值的 58%, 与 Morrey^[12] 及杨运平等^[13] 的研究结论相似。这充分证明了桡骨头在肘关节应力传导中的主导地位。

3.3 桡骨头切除后对肘关节稳定性的影响

桡骨头切除后远期常表现为肘关节疼痛、活动受限, 主要是由于桡骨头切除后继发肘外翻及骨性关节炎所致。由本实验可见, 桡骨头切除后, 肱尺关节内侧、外侧关节面以及尺骨鹰嘴中间嵴、骨间膜承受的应力值均比桡骨头切除前明显增加, 且肱尺关节外侧关节面的应力值增加幅度较大。这与肘关节在应力状态下外翻的形态变化相一致。随着时间的推移、轴向负荷的积累将出现肱尺关节的外侧较内侧退行性变更严重, 这与临床观察^[14] 一致。

3.4 桡骨头切除后对腕关节稳定性和骨间膜的影响

桡骨头切除后远期常表现为腕关节疼痛、桡骨干上移或下尺桡关节半脱位。这种并发症主要是由于桡骨头切除后应力传导改变, 肘关节外侧稳定性降低, 桡骨残端前后滑动影响前臂骨间膜而引发的。正常情况下, 骨间膜是尺桡骨之间的坚韧的纤维, 其纤维方向由尺骨远端斜行向上止于桡骨, 骨间膜的载荷传导作用降低了肱桡关节间的应力, 从而保护了该关节^[12], 同时对稳定上下尺桡关节及维持前臂

旋转功能起重要作用^[15]。本实验中,桡骨头切除前经前臂骨间膜传导的应力值约占肘关节总应力值的4.7%,桡骨头切除后肘关节失去肱桡关节接触和桡侧的支撑作用,经前臂骨间膜传导的应力约占肘关节总应力值的19.7%,约增加15%。随着时间的推移和重体力劳动的损害,骨间膜将松弛致张力降低,失去对力的传导,甚至造成前臂骨间膜广泛撕裂,使维持尺桡骨纵向稳定的能力降低,同时桡骨头缺失后肌肉的张力使桡骨上移,将出现下尺桡关节脱位,进而引起肘、腕关节不适和疼痛。这说明桡骨头切除后前臂骨间膜在稳定桡骨干及肘关节中也起非常重要作用,所以合并前臂骨间膜损伤时单纯做桡骨头切除应慎重,最好行假体置换。

总之,桡骨头是肘关节的重要组成部分,在维持肘关节外侧稳定性的同时,在肘关节应力传导中占据了主导地位,约占肘关节总应力值的58%,对肘关节正常的应力分布发挥着重要作用。桡骨头切除后破坏了肘关节的正常应力分布,并发症较多,对肘、腕关节的稳定性有较大的影响。提示临床上应严格掌握其适应症,桡骨头切除只能作为改善患肢功能的最后选择。

参考文献:

- [1] Jensen SL, Olsen BS, Sojbjerg JO. Elbow Joint Kinematics after Excision of the Radial Head [J]. J Shoulder Elbow Surg, 1999, 8(3): 238-241.
- [2] Rodriguez-Merchan EC. Controversies on the treatment of irreducible elbow dislocation with an associated no salvageable radial head fracture [J]. J Orthop Trauma, 1995, 9: 341.
- [3] 荣国威,王承武主编.骨折[M].北京:人民卫生出版社,2004: 501-502.
- [4] 克伦肖A.H主编.坎贝尔骨科手术大全[M].上海:上海远东出版社,1991: 922-924.
- [5] 蒋协远,张健.桡骨头成形术[J].中国医刊,2004, 39(4): 15-18.
- [6] Wening JV, Wobing, Jungbluth KH. Resection of the radius head in multiple and comminuted fractures: clinical results and critical evaluation compared with the literature [J]. Unfallchirurgie, 1993, 19: 175-182.
- [7] 王以进,王介麟.骨科生物力学[M].北京:人民军医出版社,1989: 310.
- [8] Schmidt H, Heuer F, Drumm J, et al. Application of a calibration method provides more realistic results for a finite element model of a lumbar spinal segment [J]. Clinical Biomechanics, 2007, 22(4): 377-384.
- [9] 张建新,王和鸣,陈日齐,等.三维有限元法分析横形斜形骨折对骨折愈合的影响[J].医用生物力学,2005, 20(4): 226-230.
- [10] 余慧琴,顾苏熙,李明,等.脊柱侧凸三维有限元模型的建立及其意义[J].医用生物力学,2008, 23(2): 136-139.
- [11] 李建设,顾耀东,Mark Lake,等.踏跳瞬间足后部骨骼的三维有限元分析[J].医用生物力学,2008, 23(2): 127-130.
- [12] Morrey BF, An KN, Stormont TJ. Force transmission through the radial head [J]. Bone Joint Surg (Am), 1988, 70: 250-256.
- [13] 杨运平,徐达传,樊继宏,等.桡骨头的应力传导作用及其临床意义[J].中华骨科杂志,2001, 21(2): 84-86.
- [14] 李涛,唐天骊,刘巍,等.桡骨头骨折的治疗.中华创伤杂志[J]. 2004, 20(6): 379-381.
- [15] 王文峰.前臂骨间膜在尺、桡骨干双骨折治疗中的意义[J].卫生职业教育,2003, 10(1): 179.