

· 基础研究 ·

儿童与成人桡骨远端屈曲型骨折产生机制的比较研究

程方荣, 崔红新, 王学昌, 程方玉
(河南中医学院, 河南 郑州 450008)

【摘要】 目的: 用平面有限元法及生物力学原理对儿童与成人桡骨远端屈曲型骨折裂纹走向及移位过程进行定量研究, 比较两者产生机制的不同之处, 以指导临床诊治。方法: 收集儿童及成人桡骨的 X 线片, 分别建立儿童与成人桡骨远端屈曲型骨折的模型, 用有限元法计算桡骨中各点的应力分布。在骨折即将发生的瞬间, 将桡骨隔离, 对其进行受力分析, 依据生物力学原理分析比较两者骨折裂纹走向及移位和复位过程的区别。结果: 桡骨远端屈曲型骨折的裂纹走向: 儿童由掌远斜向背近, 成人由背远斜向掌近。生物力学研究结果表明, 桡骨远端屈曲型骨折复位过程是: 儿童以拔伸回旋手法为主, 成人以拔伸折顶手法为主。结论: 对于儿童桡骨远端屈曲型骨折压垫应置于远折端的背桡侧及近折端的掌侧, 对成人压垫应置于远折端的掌桡侧及近折端的背侧。

【关键词】 桡骨骨折; 生物力学; 儿童; 成年人

Comparative study on the difference of mechanism causing flexion-type fracture of distal radius between in children and adults CHENG Fang-rong, CUI Hong-xin, WANG Xue-chang, CHENG Fang-yu Henan College of TCM, Zhengzhou 450008 Henan, China

ABSTRACT Objective To design quantitative study on the fracture line and the process of displacement of flexion-type fracture of distal radius occurred in children and adults by using finite element and biomechanics methods to compare the differences of mechanism of the two type fractures in children and adults, so as to guide clinical treatment. **Methods** The X-rays of radius in children and adults were collected. At first, the models of children's and adult's flexion-type fracture of distal radius were established respectively in computer. Then the stress analysis at every point of the radial was calculated using finite element method. At last the differences in the fracture line, the process of displacement and reduction between the two models were analyzed based on biomechanical principle. **Results** The fracture line of the flexion-type fracture of distal radial was as follows. The children's fracture line moved from the distant point of volar to the near point of the back slantingly, while that of the adult's was from the distant point of the back to the near point of volar slantingly. The process of reduction was that traction and convolution could be mainly applied to children's while the traction and pushing mainly to adults. **Conclusion** As far as flexion-type fracture of distal radial is concerned, pressure pad for children should be placed at the back radial surface of the distal end and the volar of the proximal end while for adults pressure pad should be placed at the volar radial surface of the distal end and the back of the proximal end.

Key words Radius fractures; Biomechanics; Child; Adult analysis

Zhongguo Gushang/China J Orthop & Trauma 2007, 20(6): 386-388 www.zggssz.com

桡骨远端屈曲型骨折临床常见, 骨折发生过程及移位机制目前尚缺乏定量研究, 特别是儿童与成人由于两者骨折发生机制的不同目前尚未受到重视, 使其临床治疗时未加区别而在一定程度上影响了临床疗效。为此, 我们用平面有限元法及生物力学原理对两者骨折时裂纹走向及移位过程进行了定量研究, 提出临床治疗时手法整复及压垫放置等应区别对待, 对指导临床治疗具有重要意义。

1 平面有限元法研究

1.1 骨内应力分布 在郑州市中心医院骨科收集了儿童及成人桡骨的 X 线片, 分别建立平面有限元模型。对儿童及成人桡骨分别剖分成 215 个单元及 292 个节点。采用 SAP 有限元软件, 输入各节点的平面直角坐标和各单元的骨生物力学参数^[1]。由于桡骨远端屈曲型骨折是由于跌倒时腕掌屈手背触地而致伤, 在骨折的瞬间, 前臂与地面呈一夹角。采用抽象简化的研究方法, 忽略肌肉力的作用, 仅考虑地面对腕关节的反冲力及肘关节以上部分身体对桡骨的冲击力。所以有限元软件计算的边界条件是: 腕关节处的桡骨下端固定, 前臂以

上部分身体对桡骨的冲击力作用于肘关节处的桡骨上端,方向与桡骨轴线成 45°角沿掌侧向下。将该边界条件输入计算机,利用有限元软件计算得到如图 1、2所示儿童与成人桡骨的应力分布。

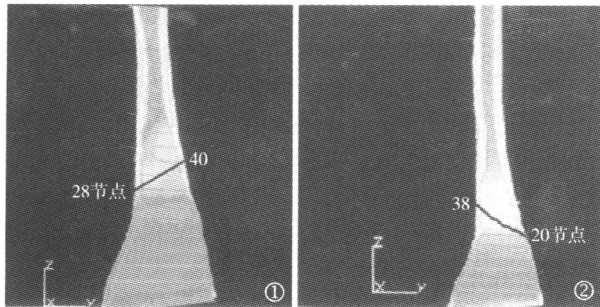


图 1 儿童应力分布图 图 2 成人应力分布图

Fig. 1 Diagram of children's stress analysis Fig. 2 Diagram of adult's stress analysis

由于松质骨远小于密质骨的抗断强度^[1],又由于儿童骨骼的抗压强度小于抗张强度^[2],所以当外力达到极限载荷时,在儿童桡骨远端受压应力的掌侧松质骨与密质骨的交界处——28节点最先达到抗压强度。此时28节点以上各单元为密质骨,所受应力虽较大,但并未达到抗压强度;28节点以下各单元受压应力较小,也未达到抗压强度,所以裂纹首先在28节点处产生,如图1所示。成人桡骨的应力分布如图2所示,由于成熟骨的抗张强度小于抗压强度^[3],所以当载荷达到最大时,桡骨远端表面受张应力的背侧松质骨与密质骨的交界处——20节点最先达到抗张强度。此时20节点以上各单元为密质骨,所受张应力虽较大,但还未达到抗张强度;20节点以下各单元受张应力较小,也未达到抗张强度,所以成人骨折裂纹首先在20节点处产生。

平面有限元法计算表明:桡骨远端骨折屈曲型的裂纹,儿童首先产生于桡骨远端表面松质骨与密质骨交界处受压应力的掌侧;成人则首先产生于其受张应力的背侧。

1.2 骨折裂纹走向 桡骨远端屈曲型骨折时,腕关节固定,身体由于惯性绕前臂旋转一定角度时骨折。这时桡骨所受外界冲击力有2个分量,其中平行于骨轴线的分量使桡骨产生压缩,垂直于骨轴线的分量使其产生弯曲。骨折是压缩与弯曲变形共同导致的,而弯曲变形又由掌侧的压应变与背侧的张应变组合而成。

由数学的张量分析理论可知^[4],较粗的骨骼整体受压缩或拉伸载荷作用时,其内部与骨轴线垂直的方位上受压应力或张应力最大,但与骨轴线约成45°角的斜方位上受切应力最大。而骨的抗切强度最小,所以骨在受切应力最大的方位上最薄弱。如前所述,儿童桡骨骨折裂纹首先在28节点处产生,沿着与骨轴线约成45°角受最大切应力的方向发展,即由掌侧沿斜方位向背侧发展,如图1所示。由于背侧近端各点的应力比其远端各点的应力大,近端又较远端细,使近端的面转动惯量较小,对弯曲变形的抵抗能力较小,同时近端弯曲变形的曲率又比远端大,所以导致裂纹由掌侧向背侧近端发展,即由28节点沿斜方位发展到40节点,最后形成与骨轴线约成45°角的短斜形裂纹。

成熟骨的裂纹则首先在桡骨远端背侧20节点处产生,沿着与骨轴线约成45°角受最大切应力的方位发展,接着再沿与骨轴线垂直(受最大张应力)的方位发展,然后再沿受最大切应力的方位发展,如此反复,裂纹走向是由背侧斜向掌近,即由20节点沿斜方位发展到36节点,最后形成与骨轴线约成45°角的锯齿形裂纹,如图2所示。

因此,从侧面观,桡骨远端骨折屈曲型的裂纹走向:儿童由掌侧斜向背近,成人则由背侧斜向掌近。

2 生物力学分析

2.1 桡骨的受力分析 在骨折即将发生的瞬间,将桡骨隔离,对其进行受力分析,忽略肌肉及其他软组织力的作用。桡骨受地面对其的冲击力 N ,作用点在腕关节与桡骨下端的接触中心,方向偏向掌侧上。另外受肘关节以上的身体对其的作用力 F ,作用点在肱桡关节与桡骨头的接触中心,方向偏向掌侧下,由牛顿第二定律得:

$$\vec{N} + \vec{F} - m\vec{a} \approx 0 \tag{1}$$

$-m\vec{a}$ 为桡骨受到的惯性力,其方向与桡骨加速度 \vec{a} 的方向相反。显然,惯性力的方向偏向背侧下,作用点在桡骨重心。桡骨受力如图3所示。在尚未发生骨折的瞬间,3力可近似看作平面平衡力系。若设桡骨纵轴方向为 X 轴,垂直方向为 Y 轴,列出平衡方程:

$$N_x - F_x - ma_x = 0 \tag{2}$$

$$N_y + F_y - ma_y = 0 \tag{3}$$

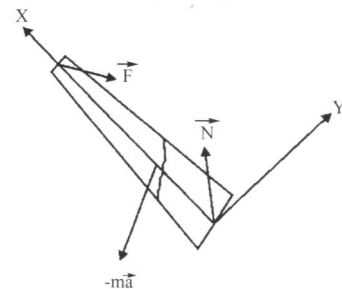


图 3 桡骨受力图

Fig. 3 Stress diagram of radius

2.2 移位和复位过程 骨折后,由于暴力及肌肉等软组织收缩力的作用,使得骨折发生移位。在骨折发生的瞬间,采用隔离体法分析,以骨折断面为分界面把桡骨分为远折端与近折端两部分,如图4所示。远折端受力为 N , N 的 X 分量使其向近折端移位, N 的 Y 分量使其向掌侧移位,由于腕关节固定,故远折端相对于过骨折断面中心的转轴不产生力矩。近折端所受合力的 X 分量为 $-(F_x + ma_x)$,负号指力的方向沿 X 轴负方向,即指向远折端,使近折端向远折端移位,产生重叠;所受外力的 Y 分量为 $F_y - ma_y$,方向指向背侧,使近端向背侧移位。同时 F_y 与 $-ma_y$ 分别对过骨折断面中心的转轴产生逆时针和顺时针的力矩,由于 F_y 产生的逆时针的力矩更大,从而使近折端向背侧旋转,产生一偏转角。

因此,桡骨远端屈曲型骨折的移位过程是:远端向近掌侧、近端向远背侧成角,多同时伴有旋转、短缩移位。根据骨折复位是移位的反过程的治疗原则,复位时应在充分拔伸下旋转复位。

由于骨折时的具体体位不同,受力情况也较复杂,若外力 N 、 F 、 ma 的平行(即 X 轴)分量远大于垂直(即 Y 轴)分量,则形成骨折线短斜的成角移位,而不伴有侧方移位。此时儿童与成人骨折的复位均应以拔伸为主。

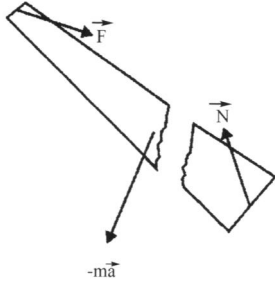


图 4 桡骨远折端、近折端受力分析图

Fig. 4 Stress diagram of distal and proximal segment of radius

若外力 N 、 F 、 ma 的垂直(即 Y 轴)分量远大于平行(即 X 轴)分量,对儿童甚至可形成背靠背短缩移位。

结论:由于儿童与成人骨折时的体位相同,所以移位趋势相同。但因两者骨折线的走向不同(如图 5、6 所示),使儿童桡骨骨折端形成了特殊的背靠背移位,导致儿童桡骨骨折时移位机制和复位过程亦相应不同,复位时应以回旋折顶手法为主,而成人桡骨骨折时则传统的折顶手法即可复位。

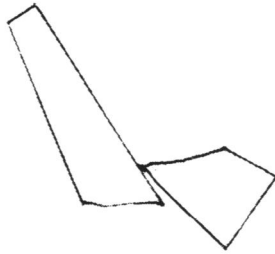


图 5 儿童骨折移位

Fig. 5 Displacement diagram of children

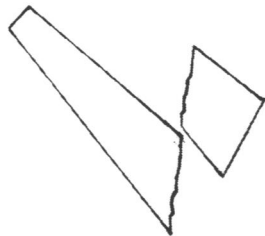


图 6 成人骨折移位

Fig. 6 Displacement diagram of adults

3 压垫的放置

由于儿童与成人骨的力学性质不同,导致骨折裂纹的走向不同,因此临床治疗短缩移位骨折时,压垫的放置应加以区别:桡骨远端屈曲型骨折,儿童由于骨折线“由掌远斜向背

近”,因此压垫应放置在远折端的背侧及近折端的掌侧;成人的骨折线“由背远斜向掌近”,因此压垫应放置于远折端的掌侧及近折端的背侧。

4 其他类型桡骨骨折的探讨

以上是对桡骨远端屈曲型骨折的探讨,需指出,由于创伤机制的相似性,以上研究方法对其他长骨的骨折也有一定的指导意义。

需要说明的是:以上讨论仅限于加载速度不太快时产生的骨折,而骨折类型不仅决定于力的大小、方向、作用点,另外还与暴力的作用时间有关。在加载速度不太快的情况下,骨折时已储存的能量可通过一个单纯的裂隙快速释放,骨与软组织较能保持完整,骨折稍有或没有移位。而在高速加载时,较大的储存能量不能通过一条裂隙快速释放,从而多发生粉碎性骨折^[4]。

参考文献

- 1 程方荣,崔红新,王学昌,等.用有限元法研究桡骨远端伸直型骨折的机制.中医正骨,2005 17(6): 21.
- 2 王学昌,程方荣,崔红新,等.少年儿童桡骨远端伸直型骨折 113 例.中国骨伤,2006 19(4): 236.
- 3 余国建.医用物理学.北京:中国中医药出版社,2005 17
- 4 程方荣,王学昌,王健智.桡骨远端骨折的生物力学分析.中医正骨,2001 13(2): 43

(收稿日期:2006-11-7 本文编辑:连智华)

本刊关于一稿两投和一稿两用等现象的处理声明

文稿的一稿两投、一稿两用、抄袭、假署名、弄虚作假等现象属于科技领域的不正之风,我刊历来对此加以谴责和制止。为防止类似现象的发生,我刊一直严把投稿时的审核关,要求每篇文章必须经作者单位主管学术的机构审核,附单位推荐信(并注明资料属实、无一稿两投等事项)。希望引起广大作者的重视。

为维护我刊的声誉和广大读者的利益,凡核实属于一稿两投和一稿两用等现象者,我刊将择期在杂志上提出批评,刊出其作者姓名和单位,并对该文的第一作者所撰写的一切文稿 2 年内拒绝在本刊发表,同时通知相关杂志。欢迎广大读者监督。

《中国骨伤》杂志社