

• 基础研究 •

冲击载荷作用下骨盆三维有限元分析及其生物力学意义

苏佳灿¹, 管华鹏¹, 张春才¹, 陈学强², 王保华³, 吴建国², 祖泉²

(1. 第二军医大学附属长海医院骨科, 上海 200433; 2. 同济大学生命科学与技术学院)

【摘要】 目的: 探讨骨盆受到冲击载荷作用的力学行为特征, 为临床分析及判断骨盆骨折类型、力学分布、冲击载荷影响提供力学基础。方法: 采用计算机仿真模拟方法, 将所构建骨盆三维实体模型导入三维有限元分析软件 ANSYS 7.0 计算单侧髂前上棘和单侧髂骨正后方部位冲击载荷作用下骨盆的力学行为表现, 冲击载荷为 0~8 000 N, 峰值 8 000 N, 时间自 0~40 ms, 分析主应力值、应力分布情况以及主应力方向上骨盆单元的位移。结果: 冲击载荷作用于单侧髂前上棘时, 0~10 ms 主要的应力沿髂后上棘到髂前上棘分布, 在冲击后期 10 ms 以后, 骶髂关节、髌白和耻骨支都会产生较大的应力分布; 作用于单侧髂骨正后方部位时, 0~20 ms 主要的应力沿髂骨纵行传导, 应力分布并没有在冲击峰值 10 ms 时达到最大, 而是从 20 ms 之后, 应力开始向骶髂关节、双侧耻骨支、坐骨支以及髌白等部位传导并可见到明显的应力分布。结论: 分析冲击载荷作用下骨盆各部位应力分布以及骨盆各个单元在应力作用下的位移变化, 有助于临床上进行骨盆损伤内固定力点的选择以及进一步明确骨盆内在应力值分布。

【关键词】 骨盆; 冲击载荷; 有限元分析; 生物力学

Three-dimensional finite element analysis of pelvis loaded by transient stress and its biomechanical significance SU Jiacaan*, GUAN Huapeng, ZHANG Chuncai, CHEN Xueqiang, WANG Baohua, WU Jianguo, DING Zuquan. * Department of Orthopaedics, the Affiliated Changhai Hospital of the Second Military Medical University, Shanghai 200433, China

ABSTRACT Objective To explore the mechanical behavior of pelvis loaded by transient stress and provide the mechanical basis for analyzing and judging pelvic fracture classification and mechanical distribution and transient stress affection in clinics. **Methods** By means of computer simulation, reading input from reconstructed pelvic three-dimensional model into three-dimensional finite element analysis software ANSYS 7.0, calculated the pelvic mechanical behavior and analyzed the main stress value, stress distribution and pelvic unit displacement in the direction of main stress when unilateral anterior superior iliac spine and unilateral positive backside of ilium was loaded by transient stress, the stress region was 0~8 000 N, peak value was 8 000 N, time range was from 0 ms to 40 ms. **Results** When unilateral anterior superior iliac spine loaded by transient stress, 0~10 ms, stress distributed from posterior superior iliac spine to anterior superior iliac spine, and on the last 10 ms, there were greater stress distribution around sacroiliac joint, acetabulum and pubic branch. When unilateral positive backside of ilium loaded between 0 ms and 20 ms, stress transmitted along vertical direction of ilium, and after 20 ms, there were greater stress distribution on sacroiliac joint, both pubic branch, ischium branch and acetabulum. **Conclusion** Analyzing the stress distribution of pelvis and unit displacement when transient stress was loaded, can provide internal fixation point for treatment of pelvic fracture and further understanding the stress distribution of pelvis.

Key words Pelvis; Impulsive load; Element analysis; Biomechanics

Zhongguo Gushang/China J Orthop & Trauma 2007, 20(7): 455-457 www.zggssz.com

应用计算机三维仿真模拟技术, 结合三维有限元分析, 对于骨盆冲击载荷作用下应力的传导、应力作用下位移分布等进行计算和分析, 有助于分析骨盆骨折类型、判断骨折程度以及骨折复位之后的力学响应等研究, 并且能够为临床医生选择骨折复位后的固定方式及固定力点等提供力学依据^[1]。

1 临床资料

1.1 材料 成年志愿者骨盆(女性, 39岁); 个性化骨盆三维实体模型; Dell Precision 650 工作站; 模型构建 Medvol 软件; ANSYS 7.0 软件; Windows XP 操作系统; 西门子 SOMATOM Volume Zoom CT 机; 冰箱。

1.2 观察项目 ①单侧髂前上棘冲击载荷作用下 Von Mises 应力分布以及应力与时间的关系; ②单侧髂骨正后方冲击载荷作用下 Von Mises 应力分布以及应力与时间的关系。

基金项目: 第二军医大学长海医院 258 资助项目(编号: 258-5)

通讯作者: 苏佳灿 E-mail: sujiaocan@sohu.com

1.3 方法

1.3.1 骨盆三维有限元模型的构建及验证 按照文献 [1] 进行。

1.3.2 冲击载荷加载方向 对骨盆三维实体模型单侧髂前上棘侧方以及单侧髂骨正后方实施冲击载荷加载。

1.3.3 冲击载荷时间 在骨盆三维模型髂前上棘部位 10个节点平均分配力的大小, 方向是侧面冲击由右至左, 力的峰值为 8 000 N, 上升时间 4 ms, 下降时间 12 ms, 在骨盆三维模型单侧髂骨部位 10个节点平均分配力的大小, 方向是正后方冲击髂骨, 力的峰值为 8 000 N, 上升时间 10 ms, 下降时间 30 ms, 每个单元的材料属性设定, 应变率 $\epsilon = 0.1$ 泊松比 $\nu = 0.3$

2 结果

2.1 单侧髂前上棘冲击载荷作用

2.1.1 Von Mises应力分布 冲击载荷作用过程中, 骨盆 Von Mises应力分布, 见图 1(绿色部分表示应力作用区域)。0~ 10 ms主要的应力沿髂后上棘到髂前上棘分布, 在冲击后期 10 ms以后髋髂关节、髌臼和耻骨支都会产生较大的应力分布。

2.1.2 Von Mises应力与时间的关系 在 10 ms时刻通过计算可以得到 Von Mises应力最大单元是 174 454号单元, 此单元是由节点: 49 051、49 035、49 034、49 052构成。Von Mises应力最小的单元是 79 946号单元, 此单元是由节点: 23 562、23 467、23 559、23 557构成。髂前上棘受到冲击的接触点单元是 106 889号单元, 此单元是由节点: 30 878、30 859、30 876、29 362构成的四面体单元。在冲击达到峰值时 174 454号单元的应力并没有达到最大值, 在 11 ms时其应力才达到峰值。单侧髂前上棘冲击载荷作用下 Von Mises应力

与时间成正比。

2.2 单侧髂骨正后方冲击载荷作用

2.2.1 Von Mises应力分布 冲击载荷作用过程中, 骨盆 Von Mises应力分布, 见图 2(绿色部分表示应力作用区域)。0~ 20 ms主要的应力沿髂骨纵行传导, 应力分布并没有在冲击峰值 10 ms时达到最大, 而是从 20 ms之后, 应力开始向髋髂关节、双侧耻骨支、坐骨支以及髌臼等部位传导并可见明显的应力分布。

2.2.2 Von Mises应力与时间的关系 采用三维有限元方法 [2], 计算冲击达到峰值时最大应力受力单元的应力 - 时间曲线, 可以发现单侧髂骨正后方冲击载荷作用下 Von Mises应力与时间成正比。

3 讨论

随着交通事故及工伤事故增多, 骨盆骨折发病率逐年增多, 目前已占骨折总例数的 1% ~ 3%, 尽管医疗技术已有很大提高, 骨盆骨折病死率仍在 5% ~ 20%, 致残率约 50% ~ 60%。研究表明, 有大约 2/3 的骨盆骨折是由交通事故导致的, 通过调查发现其中 7.5% 的患者正面受到冲击导致骨折, 50% 的患者骨折是由侧面受到冲击导致的。对于这种骨折的分析和治疗使外科医生在临床中面临挑战。很多学者利用尸体标本做冲击试验, 对此进行研究, 得到很多实验数据 [2-3]。

目前对骨盆进行生物力学研究的实验主要有: 利用光弹性材料制成三维模型进行力学实验; 利用压敏片测量骨盆标本进行加载后的应力分布; 在计算机中建立三维模型利用有限元的方法分析其应力及应力分布情况。在已有的数值分析方法中, 有限单元法是一种十分有力的求解工具。有限单元法是随着电子计算机的发展而迅速发展起来的一种现代计算方法, 它的出现是数值分析方法研究领域内重大突破性的进

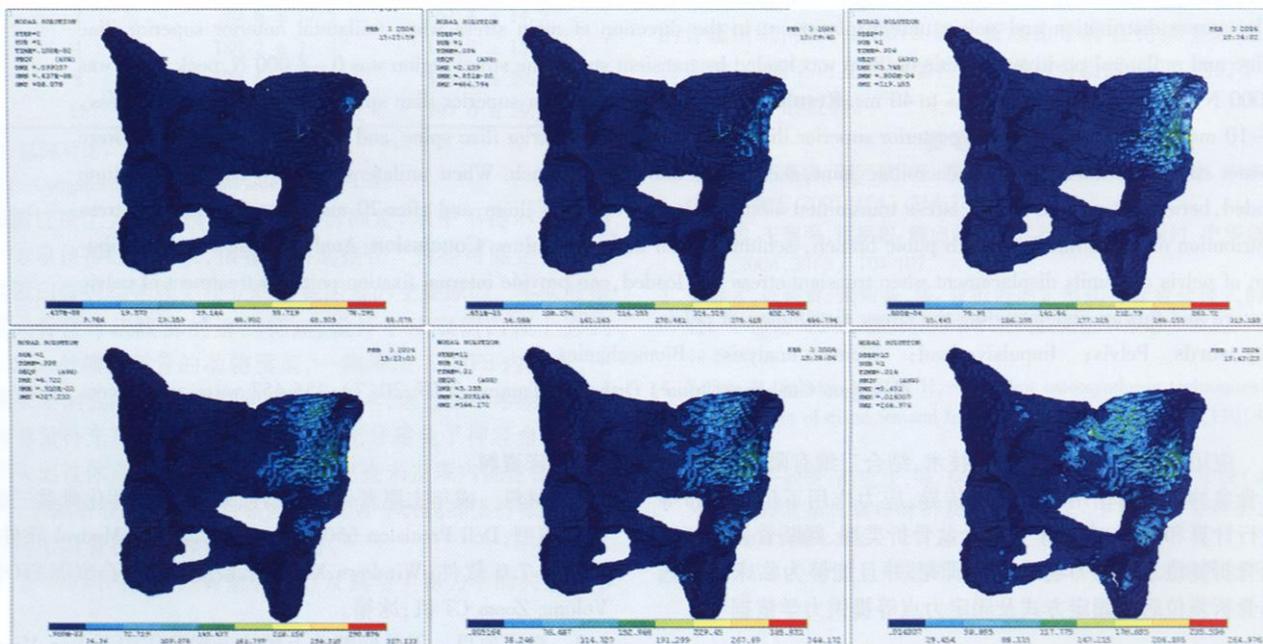


图 1 单侧髂前上棘冲击载荷过程中 Von Mises 应力的分布

Fig.1 The stress distribution of Von Mises during impulsing in unilateral anterior superior iliac spine

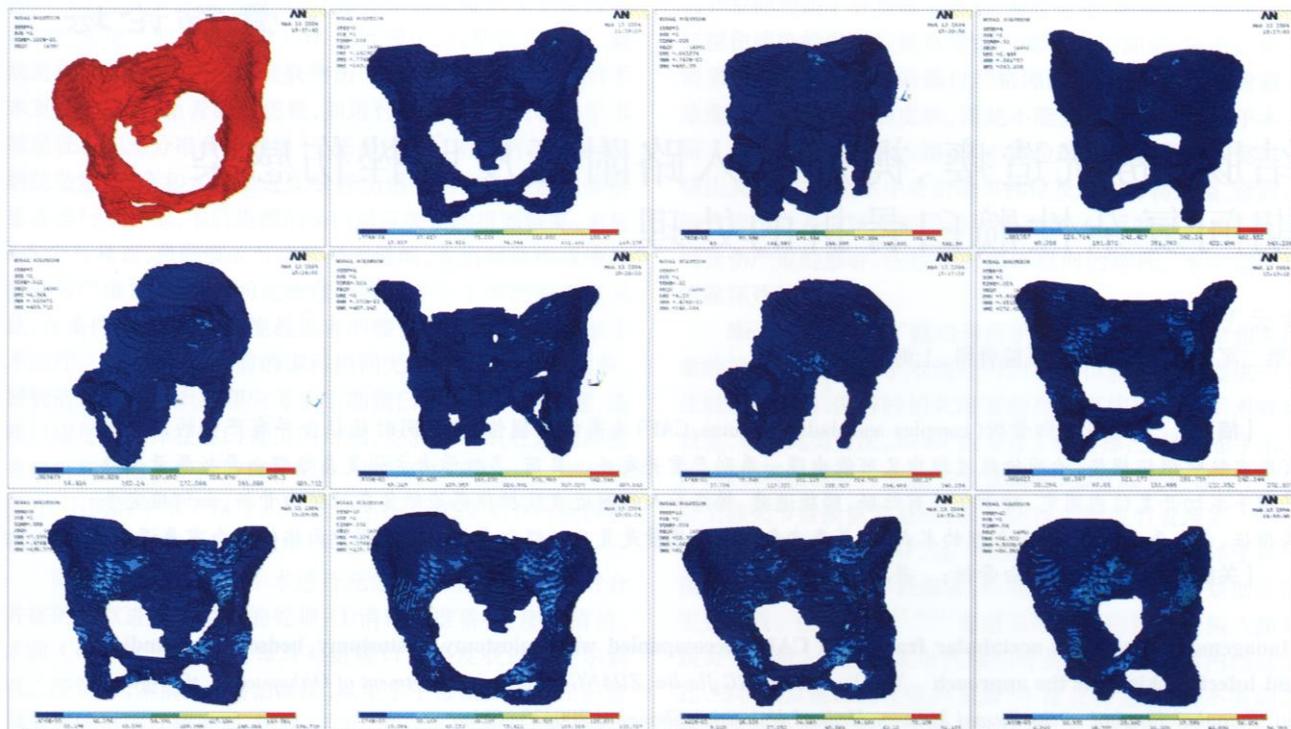


图2 单侧髌骨正后方冲击载荷过程中 Von Mises 应力的分布

Fig.2 The stress distribution of Von Mises during impulsing in unilateral positive backside of ilium

展。本研究希望利用有限元的方法在计算机中模拟在交通事故中骨盆侧面、正面以正后方及受到冲击载荷作用的情况,来分析骨盆的受力分布以及可能发生骨折的部位^[4]。

骨盆骨折的致伤机制多系直接暴力致伤,其中骨盆左右侧面或前后面被机动车辆或重物挤压是最常见的外伤。骨盆内侧面受到挤压时,损伤多局限在耻骨支和耻骨联合处,骨折可包括一侧耻骨单支或上下支骨折,或两侧耻骨下、下支骨折,有时可伴一侧髌骨骨折。后侧受到挤压,将造成耻骨部和髌骨部联合骨折,其损伤可能包括耻骨联合分离合并髌髌关节脱位,或耻骨联合分离合并髌骨骨折,或一侧耻骨上下支骨折合并髌髌关节脱位或髌骨骨折。间接暴力致伤如肌肉突然收缩引起的髌前上棘撕脱骨折等^[5-6]。

实验结果发现,当冲击载荷作用于单侧髌前上棘时,0~10 ms主要的应力沿髌后上棘到髌前上棘分布,在冲击后期10 ms以后髌髌关节、髌臼和耻骨支都会产生较大的应力分布;作用于单侧髌骨部位,0~20 ms主要的应力沿髌骨纵行传导,应力分布并没有在冲击峰值10 ms时达到最大,而是从20 ms之后,应力开始向髌髌关节、双侧耻骨支、坐骨支以及髌臼等部位传导并可见到明显的应力分布。

Tiik认为,作用在骨盆上的暴力分为外旋暴力、内旋暴力和垂直剪切力3种。外旋暴力常由外力作用于髌后上棘或作用于单髌或双髌上的强力外旋力所造成,如外力进一步延伸,则可引起髌髌前韧带和髌髌韧带损伤;内旋暴力或侧方挤压力可由暴力直接作用在髌髌上而产生半骨盆向内旋转或所谓“桶柄式”骨折,或外力间接通过股骨头作用于骨盆产生同侧损伤。垂直剪力为纵向暴力,可造成骨盆的纵向明显移位和

广泛软组织的破坏。外旋力造成的“开书型损伤”在外旋位是不稳定的,而内旋力或侧方挤压伤所造成的“关书型损伤”在内旋位是不稳定的。但二者在垂直平面上是稳定的,除非混合有剪式应力将后侧韧带撕裂。如髌髌后同时复合撕裂,则垂直亦不稳定。

研究骨盆冲击载荷作用下应力的传导和分布的意义如下:①有助于根据不同伤者受伤方式和着力点,分析可能出现的骨折或者损伤;②有助于从力学上对于骨折类型进行分析;③有助于对骨折的程度进行判断;④避免对骨折部位诊断上的遗漏。

参考文献

- 1 张春才,苏佳灿,禹宝庆. 人体髌髌数字模型仿真学. 上海:第二军医大学出版社,2004 166-184.
- 2 SU Jir can ZHANG Ben YU Baoqing et al Three dimensional finite element analysis of acetabulum loaded by static stress and its biomechanical significance. JM ed Coll PLA, 2005 20(6): 377-382
- 3 苏佳灿,张春才,许硕贵,等. 记忆生物力学作用下骨折愈合过程血管形成的特点. 中国临床康复, 2002, 6(4): 518-521.
- 4 苏佳灿,禹宝庆,张春才,等. 桡骨远端解剖型镍钛记忆合金接骨器治疗桡骨远端骨折记忆生物力学计算与分析. 中国临床康复, 2002 6(18): 2690-2691
- 5 Claes LE, Heigek CA, Neidlinger WC, et al Effects of mechanical factors on the fracture healing process. Clin Orthop Relat Res, 1998 355 (Suppl): 132-147
- 6 SU Jir can, ZHANG Churr cai XU Shuo gui et al Clinical significance of three dimensional finite element analysis on humerus fracture. JM ed Coll PLA, 2002 17(3): 214-216

(收稿日期: 2007-04-01 本文编辑:王宏)