

有限元分析法对椎体成形术的力学评价

方国芳 靳安民 林荔军 敖俊 于博 闵少雄 张辉

中图分类号: R318.01; R687.3 文献标识码: A 文章编号: 1006-7108(2008)02-0098-03

摘要:目的 利用有限元方法分析椎体成形术应力变化的影响,以指导临床实践。方法 在已建立的腰段骨质疏松性椎体压缩性骨折三维有限元模型(L_1/L_2 , L_2 为骨折模型)上,模拟经皮穿刺椎体成形术(PVP)过程。在 L_2 椎体中置入骨水泥,轴向加载 500 N 状态下记录手术前后病椎椎体终板、骨小梁、骨水泥及邻近椎体终板的应力变化。结果 手术前后,病椎终板的应力发生明显减少,而松质骨的应力没有明显的变化,单侧注入骨水泥与双侧注入骨水泥病椎终板的应力也不同,但相差并不大。邻近椎体终板手术前后无明显改变。结论 椎体成形术,由于注入骨水泥后,病椎的应力发生了转移,终板的应力明显减少,松质骨的应力没有明显变化,而单侧注入骨水泥与双侧注入骨水泥对病椎终板的应力影响不大,手术前后对邻近椎体的应力影响不大。

关键词: 经皮穿刺椎体成形术; 有限元分析; 力学评价

Mechanic evaluate the percutaneous vertebroplasty with finite element analysis FANG Guofang, JIN Anmin, LIN Lijun, AO Jun, YU Bo, MIN Shaoxiong, ZHANG Hui. Orthopaedics Centre of Zhujiang Hospital, Southern Medical University, Guangzhou 510282, China

Abstract: **Objective** Mechanically evaluate the percutaneous vertebroplasty(PVP) with finite element analysis in order to guide the clinic treatment. **Methods** To establish L_1/L_2 three-dimensional finite element model of lumbar (L_1/L_2) osteoporotic vertebral compression fracture (only L_2 fractured). For simulating PVP, column-like PAMA mass was placed into L_2 vertebra unilaterally and bilaterally. The von mise stress changes on endplate, cancellous bone and cement before and after the operation were analysed and recorded respectively. **Results** After operation, the von mise stress of the L_2 vertebra endplate decreased greatly, but the cancellous bone did not show noticeable change. The von mise stress of bilateral group is a little smaller than the unilateral group. The mise stress of L_1 endplate did not change with the operation. **Conclusions** After PVP, parts of von mise stress of the endplate tranferred to the cement, the mise stress of the endplate reduced, but mise stress of the cancellous bone did not decrease. The difference of change between unilateral group and bilateral group was so small that it almost can be neglected. PVP would not increase the mise stress of the adjacent vertebral body.

Key words: PVP; Finite element analysis; Mechanic evaluation

经皮穿刺椎体成形术(percutaneous vertebroplasty PVP)是近年来较多应用于治疗疼痛性椎体压缩骨折的一种微创手术^[1]。虽然 PVP 临床应用疗效较好,但也存在不少并发症,如邻近椎体骨折发生率是否增加,是否需要双侧骨水泥注入目前仍存在分歧。本研究利用已有的腰段骨质疏松性椎体压缩性骨折的病理三维有限元模型,通过模拟 PVP 术在 L_2 注入骨水泥,分析手术前后病椎终板、骨小梁、骨水泥应力,及邻近椎体应力变化情况,

从而为临床提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 模型建立

选 20 位志愿者,先行 X 光照片,排除腰椎畸形,进行腰椎 64 排 CT 平扫。64 排 CT 文件直接导 simpleware 2.1 软件中进行三维建模,根据 CT 值区分皮质骨、松质骨、椎间盘^[2]。模拟 PVP 过程在 L_2 椎体置入骨水泥,沿椎弓根方向,平行 L_2 椎体上表面,改变部分松质骨单元的材料性质为骨水泥(PAMA)的材料性质,形成两类圆柱形骨水泥块^[3],弹性模量 3000 MPa,泊松比 0.41,一侧约 4.0 mL^[4,5]。

1.2 PVP 有限元分析

将模型导入 abaqus 6.51 中进行运算。根据脊柱运动的特点结合标本的实验方法,脊柱的运动侧重于研究轴向压缩加载状态,本研究不探讨腰椎的活动,而且旋转及侧弯对本研究的结果影响并不大,故不予探讨。

1.2.1 轴向压缩加载参照脊椎三维运动实验的标本加载模式,在椎体模型上增加一加载装置,为使载荷的影响均匀化,实验中使载荷分布于 L_1 上位终板的所有节点。模型分别给予轴向压缩加载实验,加载条件为 $500\text{ N}^{[2]}$ (模拟生理状态下的重力作用),沿冠状方向。分别记录模拟 PVP 手术前后,单双侧注入骨水泥,有限元模型在相同的载荷条件下 L_2 上位终板、骨小梁、骨水泥的应力分布情况。

1.3 记录及分析

1.3.1 记录 对病椎的终板、骨小梁、骨水泥及邻近椎体终板的应力各分 5 部分记录,前部、后部、左侧、右侧和中部。对上述状态进行静力学分析的结

果取可全面反映应力水平的 Von Mises Stress 表示,以数据和三维图形的方式输出,具体见图 1 及表 1。

1.3.2 分析 将记录的结果导入 SPSS 13.0 的 ONE-WAY ANOVA 及 T 检验模块中进行分析。对比术前、术后、单、双侧骨水泥注入的病椎终板、骨小梁、骨水泥及邻近椎体终板应力改变。

2 结果

2.1 病椎终板的应力

如图 1 所示术前病椎终板应力平均为 1343.96 Pa ,且较均匀分布,单侧注入 4 mL 骨水泥后应力明显减少,以注入侧减少明显,平均应力值为 879.18 Pa ,双侧注入后终板双侧的应力均减少,平均值为 797.19 Pa ,经统计分析结果, F 值为 75.76 , $P < 0.001$ 。经过 SNK 两两比较,术前组与单、双侧注入骨水泥的 $P < 0.001$ 。表明手术前后病椎终板的应力明显减少,也就是说术后病椎可以承载更大的压力。而单侧注入骨水泥组与双侧注入骨水泥组的

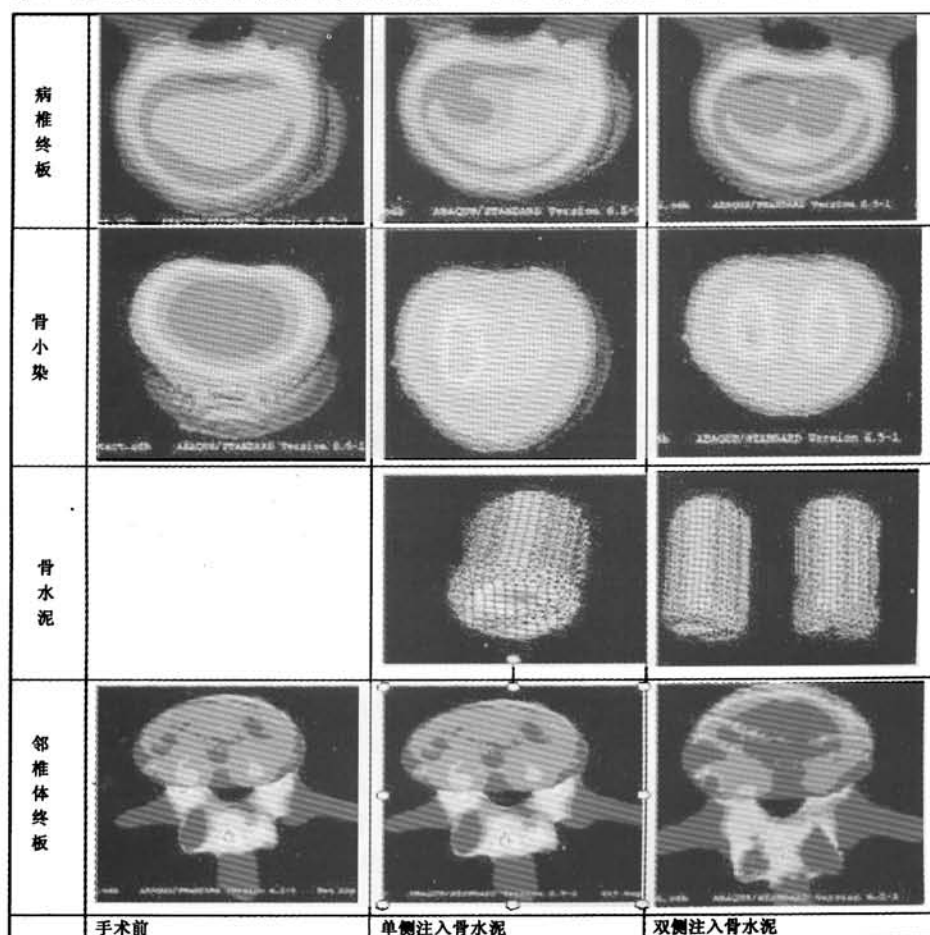


图 1 PVP 病椎的应力分布图

$P = 0.09 > 0.05$, 统计学上差异无显著性, 因此单双侧注入骨水泥对于病椎的终板应力无明显改变。

2.2 骨小梁的应力

如图 1 所示术前病椎骨小梁平均为 305.56 Pa, 同一平面较均匀分布, 单侧注入 4 mL 骨水泥后骨小梁的应力有所改变, 注入侧有所增加, 其余部分减少, 平均应力值为 303.95 Pa, 双侧注入后终板双侧的应力均增加, 平均值为 310.37 Pa, 经统计分析结果, $P = 0.449$ 。也就是说 3 组的应力在统计学上差异无显著性。故总体上, 术前、后, 单、双侧骨小梁的应力没有发生明显的改变, 局部应力的分布情况是有发生改变的。

2.3 骨小泥的应力改变

从图 1 所示, 术前原本为骨小的部分被骨水染所替代, 故局部的应力发生了变化, 单侧注入骨水泥组的平均应力为 578.54 Pa, 双侧注入骨水泥组的应力为 518.47 Pa。经过 T 检验, T 值为 4.79, $P = 0.017$ 。故统计学上两组差异有显著性。但是两组的应力相差仅为 60Pa, 故两组的应力差较小。

2.4 邻近椎体终板的应力改变

从表 1 所示, 术前邻近椎体下终板平均为 829.79 Pa, 同一平面较均匀分布, 单侧注入 4 mL 骨水泥后邻近椎体下终板的应力平均值 866.83 Pa, 双侧注入骨水泥后邻近椎板下终板应力平均值为 837.90 Pa, 经统计分析结果, F 值为 0.325, $P = 0.723$ 。也就是说术前、后终板应力在统计学上差异无显著性。故总体上, 术前、后邻近终板的应力没有发生明显的改变。

表 1 手术前后应力分布表

部位	手术前	单侧注入骨水泥	双侧注入骨水泥
病椎终板	1343.96 Pa	879.18 Pa	797.19 Pa
骨小梁	305.56 Pa	303.95 Pa	310.37 Pa
骨水泥		578.54 Pa	518.47 Pa
邻近终板	829.79 Pa	866.83 Pa	837.90 Pa

3 讨论

3.1 手术前后, 由于注入骨水泥后, 病椎的终板应力明显减少, 一部分压由骨水泥承载, 也就是应力在病椎中发生了重新分布, 同样的压力在术后对病椎的压强比术后明显减少了, 病椎的应力就相对减少, 病椎的终板可以承载更大的压力。故可以缓解临床症状。

3.2 单侧注入骨水泥组与双侧注入骨水泥组, 两组的终板应力虽然有差别, 但相差不大, 相对于手术前后的差别, 就更显得比较小了。手术前后终板的应力减少约 35%, 而双侧注入骨水泥组比单侧组仅减少 7%。两组在骨小梁的应力改变方面总体上差异无显著性。在操作上由于进行双侧骨水泥注入增加创伤及破坏, 而对病椎的稳定性增加无太大作用。进行 PVP 手术时仅行单侧注入骨水泥就可以了。

3.3 手术前后邻近椎体的终板应力并没有发生明显改变, 但是临床上却发现邻近椎体继发性骨折的发生率明显增加。这可能是由于病椎的终板的应力减少, 患者无意识增加活动强度, 造成邻近椎体终板应力增加有关, 但具体原因仍待临床上多中心研究来辩证。

【 参 考 文 献 】

[1] John M Mathis, Wade Wong. Percutaneous Vertebroplasty: Technical Considerations. J Vasc Interv Radio, 2003, 14 953-960.

[2] 陈响, 李海云, 杨新建. 一种基于影像特征经皮椎体成形术生物力学稳定性评估的有限元模型. 中国组织工程研究与临床康复, 2007, 9 1796-1800.

[3] Liebschner Ma, WS, Keaveny TM, et al, Effects of Bone Cement Volume and Distribution on Vertebral Stiffness After Vertebroplasty. Spine, 2001, 26 1547-1554.

[4] 陆声, 徐永清, 张美超, 等. 骨质椎体增加后对相邻椎体生物力学影响的有限元研究. 中华创伤骨科杂志, 2006, 9 864-867.

[5] 徐晖, 李健, 程立明, 等. 椎体成形术后相邻椎体终板应力变化的有限元分析. 中国临床解剖学杂志, 2005, 13 307-309.

(收稿日期: 2007-09-25)