

·基础研究·

脊柱椎管损伤模型的生物力学实验研究*

郝定均¹ 谢恩¹ 张鹏飞² 张子如³ 郭华¹ 郑永红¹

摘要 目的:通过逐步增量法试验比较椎管创伤后所产生的不同变化和各自的特点,构建一种精确模拟椎体骨折的测试模型,为临床手术提供科学依据。方法:应用冲击试验机测试人脊椎标本,分别测量不同冲击力时椎管直径的试验参数,进行线性回归(最小二乘法)、方差分析、*t* 检验分析。结果:冲击后发生最小的脊柱椎管骨折时,冲击力变量和椎管骨质破裂应变有交互作用($R^2=0.85, P<0.05$)。结论:逐步增量法是构建脊柱外伤的一种可靠的方法。

关键词 骨折;椎管;脊柱;生物力学;逐步增量创伤法

中图分类号:R683 文献标识码:A 文章编号:1001-1242(2009)-09-0776-03

Biomechanical experiment study of establishment of spinal canal trauma model/HAO Dingjun, XIE En, ZHANG Pengfei, et al//Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2009, 24(9): 776—778

Abstract Objective: To construct a test model of accurate simulant of vertebral fracture and to compare the different changes and characteristics of spinal canal trauma, with incremental test to provide a scientific basis for clinical surgery. **Method:** An impact test device was used in human spinal samples for measurement. During different impacts the test parameters of spinal canal diameters were measured for analysis. **Result:** In the smallest spinal canal fracture after impact there was an interaction between impact variance and spinal canal bone fracture strain ($R^2=0.85, P<0.05$). **Conclusion:** Incremental trauma approach was found to be a reliable method in the establishment of trauma of human spine specimens.

Author's address Xi'an Red Cross Hospital, Xi'an, 710054

Key words fracture; spinal canal; spine; biomechanics; incremental trauma approach

脊柱外伤发生率较高, 占所有外伤的 37.5%—55.2%^[1]。这些伤害中 15% 是椎管破裂^[1-2], 欧美发生的比例更高, 据报道达 50%—60%^[3]。载荷运动下的脊柱试验是测量脊柱生物力学的重要方法, 实验性生物力学研究设计并且进行临床相关研究的脊柱椎管骨质破裂是热点之一^[4-6]。这些实验性研究大多需要建立脊柱椎管破裂模型, 我们采取增量创伤法从特定高度开始一个标准重量, 由一个侧向 X 射线精确监测椎管位移变化。实验方法简便可靠。

1 资料与方法

1.1 一般资料

本组取 8 具新鲜尸体脊柱标本, 剔除椎旁的软组织, 保留韧带及小关节囊的完整性, 双层塑料袋密封, -40℃ 低温冰箱保存, 实验前 24h 室温下解冻, (男 5 例, 女 3 例, 年龄 21—74 岁)。所有标本均无破损及畸形。每个脊柱标本采用 X 光检查保证无损伤, 并有相对应年龄的正常生理退变, 仔细剔除肌肉组织, 韧带和椎间盘正常。实验前脊柱标本用圆柱形楔子嵌入 S3 上半部和 L3 下半部, 并保持 L1 脊椎水平。另外, 为了在试验期间保护这些脊椎, S4 和 L2 脊椎用环氧树脂包裹紧密(图 1)。

1.2 仪器

西安交通大学机械结构强度与振动国家重点实验室的 MTS-858 双轴液压生物材料试验机; Italray 的移动 X 线机(BASIC 4003)。

1.3 方法

标本置入冲击试验机测试平台, 撞击方向来自脊柱中线正上方, L1/L2 椎间盘周围嵌入两排直径为 2.0mm 小钢珠, 一排嵌入后纵韧带, 另一排嵌入黄韧带平面(图 2), 同排小钢珠相互间彼此接近, 做到既能确定脊椎管外形, 又不影响测量结果。

实验仪器由电脑控制, 以 5.24m/s 速度下降(图 2)。仪器侧面有挡杆以防止形变过度破坏脊柱标本。经过计算机控制电-磁性的分离装置, 调节载荷变化。

测试过程中用生理盐水喷洒防止标本干燥。标本每次加载测试完毕后, 卸载一定时间, 预载, 调正, 再

* 基金项目: 陕西省自然科学基金资助(SJ08-ZT12-2); 陕西省卫生厅科学基金(HK728)

1 西安市红十字会医院脊柱外科, 710054

2 西北工业大学

3 西北大学

作者简介: 郝定均, 男, 教授, 主任医师

收稿日期: 2007-07-03

进行下一次加载测定。逐步增量法初始的冲击力为 28.5N, 每次增加 17.2N。每次实验测量并记录两排小钢珠的距离, 即椎管直径, X 线测定脊柱标本外伤后的变化, 测量记录椎管直径的变化(图 1, 3)。如果载荷-应变测试结果没有达到设计要求 (即椎管破裂), 载荷重复增量 17.2N。直到产生有效应变(椎管破裂阈值)。

$$L\%=(L_n-L_0)/L_0$$

L_n 和 L_0 分别表示实验前后的椎管直径, $L\%$ 表示椎管直径变化率。

1.4 观测指标

冲击速度(m/s); 撞击力量(N); 脊柱受损变形。各临界点的试验参数见表 1。

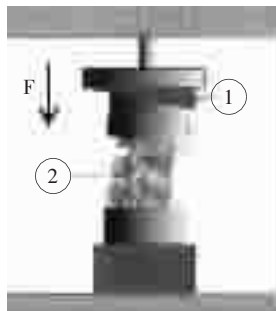


图 1 脊柱实验模拟图

- ①圆柱形楔子嵌入 S3 上半部和 L3 下半部, 保持 L1 脊椎水平
②椎体标本



图 2 脊柱椎管 X 线图

图中双排金属小球标明椎管直径

表 1 各组脊柱在不同载荷运动状态下
下载荷-应变比值变化 (%)

载荷(N)	标本 1	标本 2	标本 3	标本 4	标本 5	标本 6	标本 7	标本 8
45.7	47.5	26	16	0	0	0	0	0
63	71	42	42.1	28.2	26.5	22.6	4.45	0
80.2		53.5		53.2	45	38.2	30.1	0
97.5				76	55.4		52.4	0
114.7					65.7			9.4
132								28.8
149.2								58.8

1.5 数据处理和统计分析

本实验的大量实验数据以线性回归 (最小二乘法)、方差分析、 t 检验加以处理, 采用统计软件 SPSS 10.0 分析完成。回归分析冲击力和椎管破裂骨折的关系。

2 结果

本次试验产生椎管骨折阈值是 28.5—149.2N (88.85 ± 37 N), 椎管初始骨折的直径的改变为 4.5%—47.1% ($23.1\% \pm 11.7\%$)。椎管的直径变化和冲击力之间没有发现相关性 ($R_2=0.438$) (图 4)

根据观察到的数据分析, 如果仅分析第一次椎管骨折后增加冲击力和增加的椎管应变之间的回归分析数据显示有高度相关 ($R_2=0.85, P<0.05$) (图 5)。

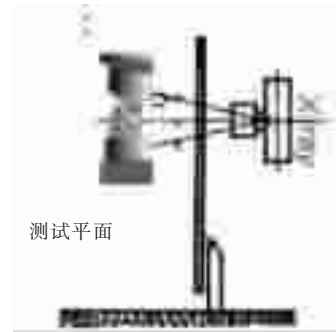


图 3 测试平面示意图

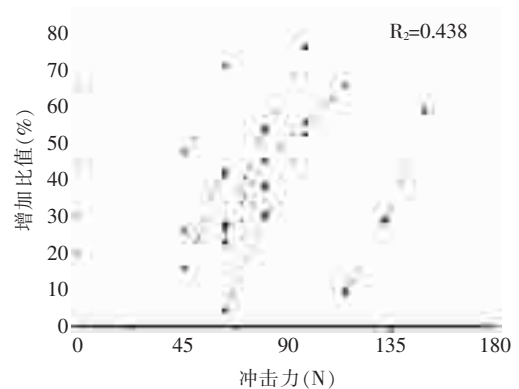


图 4 冲击力-椎间管直径比值散点图

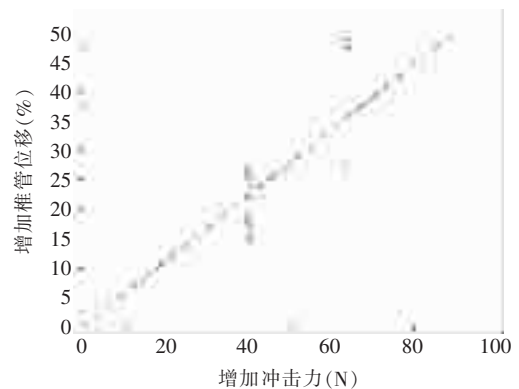


图 5 增加冲击力-增加的椎管应变回归分析

3 讨论

脊柱生物力学实验是为了研究椎体骨折力学因素, 以便进行相应临床研究^[7-8]。目前模拟脊柱椎管破裂通常采用的测量方法是重物从一定高度坠下对脊柱产生的三维变化。这种方法有很多弊端, 如脊柱骨折因为标本、密度、周围肌肉、韧带等不同而产生

差异^[9],难以控制骨折的程度。本次实验在寻找脊柱骨折规律的研究中,设计了一种有效的、精确的模拟产生脊柱骨折的方法,可在医学等领域中广泛应用。

在研究脊柱骨折的过程中,发现能得到精确测量脊柱骨折阈值的逐步增量法,揭示脊柱骨折的微量变化的超高分辨率的某些方法,并找到解决方法。现在国外大部分学者研究脊柱骨折也都采用了这个类似的方法^[7]。利用大重量法制造椎管骨折,现在已经很少用了。本实验采用的是控制试验的外力,逐步增量的冲击力不断增加,椎管被严密观测,直到骨折产生,能模拟产生可控制不同程度的脊柱骨折。

本实验发现,人脊柱标本发生初始椎管破裂骨折的平均冲击力为 88N,这也代表脊柱椎管骨折的阈值。一组人体脊椎骨标本不仅可以模仿产生唯一接近伤害阈值初始的椎管骨折,而且可以模仿不同程度椎管骨折的发展变化。产生初始椎管骨折的冲击力从 28.5—149.2N,产生初始椎管骨折以后,逐步增加冲击力与椎管变形之间相关性非常显著,本方法使人体脊椎骨脊柱标本产生不同程度的椎管骨折成为可能的,椎管初始破裂骨折和各种椎管骨折是可以精确的模拟。分析认为,脊柱骨折后,通过韧带轴向复位,虽可使与韧带相连的骨块重新排列复位并恢复伤椎外形,但复位后椎体呈“蛋壳”样改变,这种变化非常小,本实验用小钢珠模拟椎管直径,X线分析以达微量准确的检测,微量变化也能被检测到。

本实验对脊柱所加载荷是模拟人直立行走时腰椎负载的峰值变化(10—16N)的应变,符合临床实际情况。本实验采用测量椎管间应变,反映了椎管受损程度。本实验着重研究了外力和椎管间应变关系,通过比较各个运动参数,得出在脊柱骨折发现了在产生最小的脊柱椎管破裂后,增加载荷和椎管骨质破裂应变有交互作用初步结论,这项技术使建立更精

确的椎体骨折模型成为可能。尽管本实验所采用爆裂性骨折模型的制作方法在生物力学实验中被广泛应用,并且本实验也考虑到神经肌肉等稳定结构对脊柱的稳定效果,但是由于体外实验也只能评价机体阶段性局部的状况,不能评价整体远期效果。因此,本研究也存在一定局限性,还需临床及生物力学进一步研究。

参考文献

- [1] Jackson AB, Dijkers M, Devivo MJ. A demographic profile of new traumatic spinal cord injuries: change and stability over 30 years [J]. Arch Phys Med Rehabil, 2004, 85 (11): 1740—1748.
- [2] Zhu Q, Lane C, Ching RP, et al. Oxland Translational constraint influences dynamic spinal canal occlusion of the thoracic spine: An in vitro experimental study [J]. J Biomech, 2008, 41(1):171—179.
- [3] Melton LJ 3rd, Kallmes DF. Epidemiology of vertebral fractures: implications for vertebral augmentation [J]. Acad Radiol, 2006, 13(5):538—545.
- [4] 王茂斌. 发展神经康复学,推动临床康复医学大踏步前进[J]. 中国康复医学杂志, 2007, 22(06):717—719.
- [5] 刘铁军,赵盟杰,沙可夫,等. 脊髓损伤患者自主神经功能障碍的临床研究[J]. 中国康复医学杂志, 2008, 23(06):513—514.
- [6] LaPlaca MC, Simon CM, Prado GR, et al. CNS injury biomechanics and experimental models [J]. Progress in Brain Research, 2007, 161:13—26.
- [7] 王于领,梁崎,黄东锋,等. 脊髓独立测量量表Ⅱ中文版的开发及信度和效度研究[J]. 中国康复医学杂志, 2007, 22(8):714—717.
- [8] Saiwei Yang, Lee-Wei Wang. Biomechanical comparison of the stable efficacy of two anterior plating systems [J]. Clinical Biomechanics, 2003, 18(6): S59—S66.
- [9] Nabil A. Ebraheim, Ali Hassan, Ming Lee, et al. Functional anatomy of the lumbar spine [J]. Seminars in Pain Medicine, 2004, 2(3):131—137.