

颈椎椎体骨水泥成形术后的生物力学测试

吴继功¹, 邹德威¹, 马华松¹, 靳安民², 赵卫东³, 欧阳钧³

(1 解放军 306 医院骨科 100101 北京市; 2 南方医科大学珠江医院骨科 510280 广州市;

3 南方医科大学国家生物力学重点实验室 510510 广州市)

【摘要】目的:探讨应用羟基磷灰石/甲基丙烯酸甲酯(HA/PMMA)骨水泥行颈椎椎体成形后椎体抗压缩力和刚度的变化情况。**方法:**3具成年男性新鲜尸体颈椎C4~C6标本,解离成9个脊椎节段标本,去除所有软组织,切除脊椎后部结构,仅剩下椎体部分,在MTS试验机上以5mm/min的加载速率加载椎体中心处,压缩3mm或椎体负载压力出现下降时记录压缩力、最大压缩力、最大压缩力的位移和刚度。自椎体前正中用11G的骨穿针刺入椎体1~1.5cm,注射10% HA/PMMA骨水泥2ml,固化2h后再次行压缩测试,记录在位移3mm时的压缩力、最大压缩力、最大压缩力的位移和刚度。采用配对 t 检验比较两种状态的数据。**结果:**抗压力初始/成形后平均数值为1051.8/2033N,最大抗压力1237.2/2774.3N,最大压力位移3.42/4.13mm,刚度405.8/1274.2N/mm。成形后刚度和抗压缩力明显增强。成形后椎体负载的最大抗压力增大到约2.2倍,在压缩3mm时压力最大到约1.9倍,刚度增加到3.1倍,同时达到最大压力的位移也平均增加0.71mm。没有发现渗漏现象。**结论:**注射2ml HA/PMMA骨水泥对颈椎椎体成形后可明显增强其抗压缩力和刚度。

【关键词】椎体成形术;甲基丙烯酸甲酯;羟基磷灰石;骨水泥;颈椎

中图分类号:R318.01,R687.3 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2008)-09-0677-03

Biomechanical test of cervical vertebroplasty with bone cement/WU Jigong,ZOU Dewei,MA Huasong, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord,2008,18(9):677-679

【Abstract】Objective: To determine the strength and stiffness of cervical vertebral compression fractures stabilized via anterior injection of 10% hydroxyapatite/polymethylmethacrylate(HA/PMMA) cement.**Method:** 9 vertebral bodies(C4-C6) of three fresh spines were harvested from adult male cadavers,which were disarticulated,and loaded with axial compression in 5mm/min by MTS 858 materials testing machine to determine initial strength and stiffness.The vertebral bodies were compressed in every 3mm until the loaded pressure of the vertebral bodies decreased.Vertebroplasty was performed by injecting 2ml of 10% HA/PMMA into the center of vertebral bodies,then the bodies were recrushed to determine their strength and stiffness values.The strength at 3mm,the maximum strength,and displacement and stiffness in the maximum strength were recorded respectively.The data was studied by paired t test.**Result:** The average,maximum strength,displacement for maximum strength and stiffness of vertebral body in initial state and post-vertebroplasty were 1051.8/2033N, 1237.2/2774.3N,3.42/4.13mm,405.8/1274.2N/mm respectively.The strength and stiffness after vertebroplasty was markedly increased.The maximum strength increased to 2.2 fold with 1.9 fold of the axial compression pressure loaded at 3mm,meanwhile the displacement for maximum strength increased 0.71mm averagely,stiffness increased 3.1 fold.There was no bone cement leakage found.**Conclusion:** The cervical vertebral body augmented with 2ml of 10% HA/PMMA for vertebroplasty results in increase of both strength and stiffness compared with the initial state.

【Key words】 Vertebroplasty; Polymethylmethacrylate; Cervical vertebra; Hydroxyapatite; Bone cement

【Author's address】 Department of Orthopaedics,the 306th Hospital of PLA,Beijing,100101,China

椎体成形术最早用于治疗转移瘤和血管瘤,目前已经成为治疗骨质疏松性椎体压缩性骨折的

常规微创手术方法。在胸腰椎离体标本注入骨水泥后,有关生物力学的测试结果提示能显著增强椎体的刚度和强度^[1],但对于颈椎椎体成形后的强度和刚度较少报道。本研究采用添加部分羟基磷灰石(HA)的甲基丙烯酸甲酯(PMMA)骨水泥

第一作者简介:男(1967-),医学博士,副主任医师,研究方向:脊柱脊髓损伤

电话:(010)66356729-2089 E-mail:docwjg@163.com

注入离体颈椎椎体成形, 测量成形后椎体的强度和刚度的变化, 为临床实施颈椎椎体成形术提供参考。

1 材料与方法

1.1 标本制备

3 具成年男性新鲜尸体颈椎 C4~C6 标本, 年龄 35~48 岁, 平均 41 岁, 经颈椎正侧位 X 线摄片排除颈椎骨折或其他疾患, 保留颈椎两侧肌肉组织, -80℃冰柜保存, 保存期 6~12 个月。实验前 24h 取出在室温下自然解冻, 用 XR36 型(NORLAND) 双能 X 线骨密度吸收仪 (dualenergy X rayabsorptiometry, DEXA) 测定每个椎骨的骨密度 (bone mineral density, BMD)。将标本去除椎旁软组织并自椎间盘处离断, 去除所有软组织, 单个脊椎从椎弓根处切除椎体后部结构, 去除椎间盘和部分软骨板, 只剩下椎体和终板, 保留椎体后壁的静脉血管丛。

1.2 测试方法

先测试初始状态的压缩力, 复制压缩骨折模型, 并进行骨水泥注射成形, 再测试成形后的压缩力和刚度。

利用 Mini Bio 858 型材料测试系统 (MTS 公司, 美国) 进行抗压缩实验, 9 个椎体分别置于两水平的测试平板夹间, 以 5mm/min 的加载速率进行压缩实验, 加载轴线位于椎体中心处, 如 3mm 位移内出现最大抗压缩力, 即椎体的负载压力出现下降时停止压缩, 最大抗压缩力的判定标准为力的峰值后下降超过 5%; 如在 3mm 内未出现负载压力下降, 则继续压缩至负载出现最大抗压缩力, 记录出现最大抗压缩力的位移。记录最大抗压缩力和在压缩 3mm 时的抗压缩力, 如在压缩 3mm 内出现压缩力峰值后下降超过 5%, 则抗压缩力和最大抗压缩力为同一个数值。压缩过程中由计算机数据采集系统以 10Hz 频率记录试验机的载荷-位移信号, 椎体出现塌陷或压缩骨折的标准为载荷-变形曲线出现最高点, 即椎体的负载压力出现下降。记录所有标本初始状态测试数据。

PMMA 液 20ml、粉 16g (Stryker Howmedica Osteonics 公司提供)、硫酸钡 2g、自制微粒状羟基磷灰石粉 2g, 试验前在 0℃~4℃冰箱内存放 24h, 手工混合成为牙膏糊状, 用 11G 椎体成形骨穿针

(Stryker Howmedica Osteonics 提供) 从椎体前正中部位穿刺进入 1~1.5cm, 用 10ml 注射器注入 2ml 骨水泥。用生理盐水湿纱布包裹后用塑料袋封装, 放置在 37℃恒温箱固化 2h 后同前行压缩测试。

1.3 统计学处理

相应的数据应用 Excele 软件计算, 力-位移曲线可计算出压缩实验在压缩 3mm 时抗压缩力 (压缩 3mm 内取最大值)、最大压缩力、刚度和最大压缩力时的位移。刚度为力-位移曲线中线性部分的斜率, 采用线性回归计算出斜率。采用 SPSS 10.0 (SPSS 公司) 统计软件包对数据进行分析, 配对 *t* 检验比较处理数据, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

在初始状态下骨密度测量结果为 $0.7249 \pm 0.052 \text{g/mm}^3$ 。注射过程没有发现骨水泥经椎体后的静脉丛、骨折的缝隙及椎弓根处的渗漏。在初始状态和成形术后压缩 3mm 抗压力、抗最大压力、最大压力位移、刚度数值见表 1。经过配对 *t* 检验显示具有明显差异 ($P < 0.05$), 注入骨水泥成形后椎体负载的最大压力增大到约 2.2 倍, 在压缩 3mm 时压力最大到约 1.9 倍, 刚度增加到 3.1 倍, 同时达到最大压力的位移也平均增加 0.71mm。

表 1 颈椎椎体成形前、后的抗压缩力、最大抗压缩力的位移、刚度 ($\bar{x} \pm s, n=9$)

	初始状态	椎体成形后
压缩 3mm 压力 (N)	1051.8±143.7	2033.0±481.7 ^①
最大抗压力 (N)	1237.2±264.3	2774.3±661.4 ^①
最大压力位移 (mm)	3.42±0.41	4.13±0.28 ^①
刚度 (N/mm)	405.8±62.6	1274.2±437.6 ^①

注: ①与初始状态比较 $P < 0.05$

3 讨论

椎体成形术或后凸成形术治疗转移瘤、血管瘤以及胸腰椎骨质疏松骨折已经在临床广泛应用。在颈椎的应用多为血管瘤和转移瘤^[2,3], 临床随访结果表明有很好的疗效, 但较少应用在颈椎骨质疏松的患者上。文献研究显示^[4], 骨密度对颈椎终板力学强度有显著影响, 颈椎终板的最大压缩力、刚度与骨密度呈正相关关系。骨密度降低出现骨质疏松时, 表现为骨小梁变薄、变细, 甚至出

现断裂,骨的脆性增加,这种疏松而脆弱的椎体受压时很容易出现骨折。在颈椎终板的局部抗压试验显示^[9],中心部抗压力最差,接近椎体后缘的抗压力较强,提示颈椎的承重在颈椎的中后柱。在骨质疏松后,会引起终板的抗压力减小,椎间隙的髓核承载的负荷主要分散到终板的四周,周边的皮质骨应力增加,继而增生,使颈椎的退变加速。本试验的结果提示,向椎体内注入骨水泥可增加椎体的抗压力。虽然本研究采用的是非骨质疏松性颈椎标本,但结果显示成形后可以达到较初始状态更高的强度和刚度,增强了颈椎的终板抗压力。

在颈椎前路手术中,螺钉的松动、脱出、置入 cage 切割终板等是导致颈椎内固定失败的主要原因^[6]。骨质疏松患者因骨和钉界面连接不牢固而使颈椎不容易获得坚强固定,而且颈椎前路的钢板固定中螺钉相对较细,固定多为单侧皮质骨,在老年骨质疏松椎体更容易发生椎体内切割。在胸腰椎用 PMMA 骨水泥强化对骨质疏松椎弓根螺钉固定^[7],在钉道内注入骨水泥,其拔出力增大明显。本试验结果显示颈椎椎体成形后提高了椎体的抗压缩力和刚度,但未行螺钉抗拔出力试验,不过从理论上分析,在骨质疏松的颈椎椎体上行骨水泥成形后可减少螺丝钉松动、脱出和避免终板塌陷的发生。

目前临床应用最多的骨水泥 PMMA 存在许多缺陷^[8],如骨水泥和骨相容性欠佳,不能和骨表面有较强的结合,注入后在骨水泥和正常骨的界面存在纤维组织裂隙,导致骨-水泥界面不能和骨组织直接愈合。相关的文献报道以 PMMA 为基质添加 HA 后可以增加骨水泥的生物活性^[9]。研究显示添加 HA 还可以减少在 PMMA 聚合过程中的产热^[10],动物试验显示添加 HA 后其生物相容性增强^[11],还有研究证实添加 HA 后可提高成骨细胞相容性^[12]。本试验采用添加 10% HA 的 PMMA 骨水泥,测试显示对骨水泥的黏度和聚合时间影响不大,成形后的椎体刚度和抗压缩力均增加,为使用添加 HA 的 PMMA 提供了参考。

最大压缩力反映椎体的载荷能力,刚度则反映轴向载荷下抵抗变形能力的大小,当椎体负荷超过其最大承受能力时椎体发生塌陷。本试验结果显示,颈椎在注入骨水泥成形后无论刚度还是抗压缩力都远远超过了初始完整状态。注入骨水泥 2ml 后,试验数据显示增强效果明显,说明对于

颈椎而言,2ml 就可以达到明显的增强效果。但是由于本试验是在离体的单个成人颈椎椎体上进行的压缩试验,不含颈椎小关节、韧带等影响,对完整的颈椎力学性能还有待进一步测试。此外,本试验是在骨密度正常的椎体上进行的,对骨质疏松的椎体更精确的作用还需进一步测试。

4 参考文献

1. Belkoff SM, Morney M, Fenton DC, et al. An in vitro biomechanical evaluation of bone cements used in percutaneous vertebroplasty[J]. Bone, 1999, 25(Suppl 2): 23-26.
2. Sun G, Cong Y, Xie Z, et al. Percutaneous vertebroplasty using instruments and drugs made in China for vertebral metastases [J]. Chin Med J (Engl), 2003, 116(8): 1207-1212.
3. Martin JB, Gailloud P, Dietrich PY, et al. Direct transoral approach to C2 for percutaneous vertebroplasty[J]. Cardiovasc Intervent Radiol, 2002, 25(6): 517-519.
4. 李鉴铁, 赵卫东, 朱青安, 等. 骨密度与颈椎终板结构生物力学性质的关系[J]. 中国临床解剖学杂志, 2003, 21(3): 269-272.
5. Li JY, Zhu QA, Yuan L, et al. Role of biomechanical property of the endplate in anterior cervical fusion[J]. Firt Mil Med Univ, 2003, 23(5): 402-408.
6. 郭永飞, 陈德玉, 徐建伟, 等. 颈前路钛网植骨融合术后钛网沉降的原因分析[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2005, 15(7): 409-413.
7. 樊仕才, 朱青安, 王柏川, 等. 胸腰椎体用聚甲基丙烯酸甲酯强化对骨质疏松椎弓根螺钉固定的生物力学作用[J]. 中华骨科杂志, 2001, 21(20): 93-96.
8. Downes S, Kayser MV, Blunn G, et al. An electron microscopical study of the interaction of bone with growth hormone loaded bone cement[J]. Cells Mater, 1991, 1: 171-176.
9. Vallo CI, Montemartini PE, Fanovich MA, et al. Polymethylmethacrylate-based bone cement modified with hydroxyapatite [J]. J Biomed Mater Res, 1999, 48(2): 150-158.
10. Castaldini A, Cavallini A. Setting properties of bone cement with added synthetic hydroxyapatite [J]. Biomaterials, 1985, 6(1): 55-60.
11. Shinzato S, Kobayashi M, Mousa WF, et al. Bioactive polymethyl methacrylate-based bone cement: comparison of glass beads, apatite and wollastonite-containing glass ceramic, and hydroxyapatite fillers on mechanical and biological properties[J]. J Biomed Mater Res, 2000, 51(2): 258-272.
12. Dalby MJ, Di Silvio L, Harper EJ, et al. Increasing hydroxyapatite incorporation into poly(methylmethacrylate) cement increases osteoblast adhesion and response [J]. Biomaterials, 2002, 23(2): 569-576.

(收稿日期: 2008-05-04 修回日期: 2008-08-04)

(英文编审 郭万首)

(本文编辑 卢庆霞)