

数字标记点质心跟踪法在骨盆位移测量中的应用

贾永伟¹,程黎明^{1*},俞光荣¹,于 研¹,楼永坚¹,陈 博²,丁祖泉²

(1. 同济大学附属同济医院骨科,上海 200065;2. 同济大学生命科学与技术学院,上海 200092)

[摘要] **目的:**评价数字标记点质心跟踪法在骨盆位移测量中的可靠性。**方法:**选择健康成人尸体骨盆标本 6 例,保留主要的韧带和关节囊,骨盆关键部位粘贴标记点;双足站立位,0~500 N 垂直分级载荷下,CCD 采集骨盆形变图像;基于 Image J 软件,采用数字标记点质心跟踪法测量冠状面上 S₁ 椎体的垂直位移及矢状面上骶骨相对于髂骨的角位移。**结果:**骨盆形变前后标记点图像具有良好的相关性,相关系数达到 0.983;相对误差达到 1.11%。双足站立位,骨盆垂直载荷-位移曲线基本呈线性变化;侧位观察,骶骨相对于髂骨呈现屈曲运动,其载荷-角位移曲线呈非线性变化。500 N 垂直载荷下,S₁ 椎体垂直位移为(0.835 6±0.283 0) mm,骶骨相对于髂骨的角位移为(0.584±0.221)°。**结论:**基于 Image J 软件数字标记点质心跟踪法用于测试骨盆的位移,其测试方法简单、测试精度高,在生物力学上可以得到很广泛的应用。

[关键词] 骨盆;位移;数字标记点;质心计算;Image J 软件

[中图分类号] R 322.71 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 0258-879X(2007)10-1086-05

Digital marker tracing combined with center-of-mass algorithm in measuring pelvic displacement

JIA Yong-wei¹,CHENG Li-ming^{1*},YU Guang-rong¹,YU Yan¹,LOU Yong-jian¹,CHEN Bo²,DING Zu-quan²(1. Department of Orthopaedics,Tongji Hospital,Tongji University,Shanghai 200065,China; 2. School of Life Science and Technology,Tongji University,Shanghai 200092)

[ABSTRACT] **Objective:**To evaluate the reliability of the digital marker tracing method combined with center-of-mass algorithm in measuring human pelvic displacement. **Methods:** Six cadaveric specimens of the third lumbar vertebra to the proximal 1/3 part of femur were used in present study. The specimens had no structural abnormality and all the soft tissues were dissected,reserving the hip joint capsules and the ligaments of the pelvic ring and floor. Markers with black dots against white background were used to mark the key points of the pelvis. Axial loadings from the proximal lumbar (simulating the two-legged stance) were applied by MTS in the gradient of 0 N to 500 N. Images of the front and lateral views were obtained using two CCD cameras. Using Image J software,we calculated the vertical displacement of S₁ (the first sacral vertebrae) in the front view and the micro-angular rotation of sacroiliac joint in the lateral view by measuring the marker's movement. **Results:** There was good correlation between the marked points before and after deformation of the pelvis,with the average correlation coefficient being 0.983. Based on the 768×576 pixels,pixel size (mm) 0.681 5×0.681 5 image,the accuracy of the displacement was about 0.018 pixels and the comparative error could reach 1.11%. The load-displacement curves obtained in this study accorded well with the clinical results. The pelvic load-displacement curve exhibited approximately a linear behavior; the sacroiliac joint load-angular rotation curve in the sagittal plane exhibited a non-linear behavior. Under a vertical load of 500 N,the average vertical displacement of S₁ of the pelvis was (0.835 6±0.283 0) mm and the average micro-angular rotation of sacroiliac joint in lateral view was (0.584±0.221)°. **Conclusion:** Digital marker tracing method combined with the center-of-mass algorithm is a simple,accurate method for measurement of pelvic displacement,which can be widely used in biomechanical research.

[KEY WORDS] pelvis;displacement;digital marker;center-of-mass algorithm;Image J software

[Acad J Sec Mil Med Univ,2007,28(10):1086-1090]

骨盆处于躯干和下肢之间,对支撑躯干保持稳定有重要意义。人体站立位,在生理载荷下,应力自 L₅、骶椎经两侧的骶髂关节、髌臼传导至两侧的股骨头,骨盆的位移主要存在于骶髂关节,垂直载荷下骶骨呈现下移及轻微的屈曲运动^[1];由于骨盆位移较小,一般的接触测量误差较大。数字图像相关法作为一种非接触的光学测量方法,已在骨科生物力学中得到应用^[2],但由于计算过程复杂,需要掌握有关的编程软件,一般医学工作者无法熟练应用。本研

究基于 Image J 免费软件,采用数字标记点质心跟踪法对骨盆微位移进行测量。该方法具有简单、方

[基金项目] 国家自然科学基金(30571895);教育部新世纪优秀人才支持计划资助项目(NCET-06-0375)。Supported by National Natural Science Foundation of China (30571895) and Program for New Century Excellent Talents of the Education Ministry(NCET-06-0375).

[作者简介] 贾永伟,博士,主治医师。

* Corresponding author. E-mail:chlm.d@163.com

便、测试精度高、处理过程可视化操作等特点,克服了数字图像相关法测量中计算相关系数的繁复过程。现将相关研究结果报道如下。

1 材料和方法

1.1 骨盆标本的准备与固定 选取经甲醛溶液防腐处理的大小相似的健康成人尸体骨盆标本 6 例,其中男性 4 例、女性 2 例,年龄 32~75 岁,中位年龄 61 岁。经过 X 线检查骨盆无缺损、畸形,保留从 L₃ 到股骨近端约 20 cm 的部分,保留骨盆耻骨联合韧带、髂腰韧带、骶髂关节周围韧带、骶棘韧带、骶结节韧带,去除其他软组织。用特制的固定装置固定骨盆(图 1),为防止加载过程中的偏斜,用牙托粉在腰椎上方浇筑一个圆柱型平台,并在平台上方留下一半球型凹槽,凹槽的大小和实验机加载球头(直径 2.0 cm)相吻合。为了模仿人站立位的姿势,调整骨盆双侧髂前上棘与耻骨联合三点形成的面与水平面垂直(图 1)。

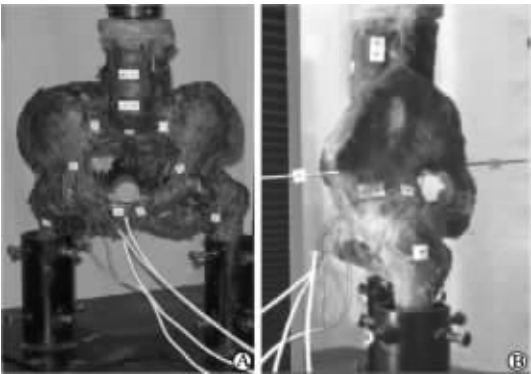


图 1 骨盆正(A)、侧(B)位图像测试系统
Fig 1 Digital image measurement system for pelvis displacement in frontal(A) and lateral(B) views

1.2 标记点粘贴 选用小五号字体的“黑点白底”的标记点,用激光打印机打印。选择两黑点中心间实际距离为 11.00 mm 的标尺来标定图像中像素尺寸(pixel size)。骨盆正位:在 S₁ 骶骨岬处贴上标记点,用以测量骶骨在加载过程中竖直方向位移(图 1)。骨盆侧位:在髂骨颈外侧粘贴标记点,用以记录侧位髂骨的位移;骶骨侧位旋转标记点:由于侧位骶骨被髂骨所遮挡,故于双侧第 2 骶前孔连线水平中点,垂直于骶骨置入特制的金属标志杆,直径 3 mm,长 30 cm。在标志杆两端侧面各粘贴一标记点(图 1)。以上所有标记点均用 502 胶水牢靠粘贴。

1.3 骨盆垂直加载及数字图像采集过程 将 CCD

摄像机(型号 MTV-1881EX,北京嘉恒中自图像技术有限公司生产)放置于万能实验机(CSS-44010 型,长春实验机研究所生产)前,并辅以强力光源照明,把两部摄像机调至与加载标本位置基本等高,摄像镜头距标本中心位置 0.7 m,分别记录骨盆正位及侧位的位移变化(图 1),连接图像采集卡、CCD 摄像机及计算机,调节摄像头的光圈及焦距,使计算机采集到的图像能清晰地看到每一个标记点。考虑到骨盆的黏弹性特征,在正式实验之前对骨盆标本进行循环加卸载以预调,消除骨盆蠕变。而后对骨盆标本进行 0~500 N 逐级加载^[2],分别采集 0、100、200、300、400、500 N 的图像,图像格式为 768 像素×576 像素的 8 位灰度图像,输入计算机的存储单元。

1.4 测试的基本原理 图 2 为同一坐标系下试件变形前后的数字标记点图像。试件表面的某一数字标记点在变形前位于 P 点(质心坐标为 x, y),变形后移动到 P₁ 点(质心坐标为 x_1, y_1)。该标记点沿 X 轴、Y 轴方向上的位移量分别为 u, v ,则变形前后数字标记点的位移为: $u = x_1 - x, v = y_1 - y$ 。

数字标记点质心坐标的计算:通过灰度值加权平均法^[3]计算数字标记点的质心坐标。

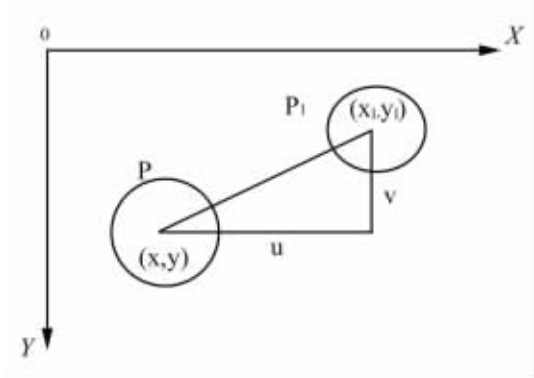


图 2 试件变形前后标记点位移示意图
Fig 2 Sketch map of digital marker displacement before and after deformation of specimen

1.5 基于 Image J 软件骨盆各标记点位移的计算 采用 Image J 软件(NIH 免费下载)的图像处理工具箱对 CCD 摄像机拍摄的图像进行图像处理;包括对采集图像的亚像素重建、反相、标记点定位,标记点的图像分割、质心的计算;根据标记点图像质心位置的改变测算正位骨盆 S₁ 椎体的垂直位移(图 3);根据侧位髂骨标志线两标记点质心的连线与髂骨两标记点质心的连线的夹角变化测算侧位髂骨相对于髂骨的角位移(图 4)。

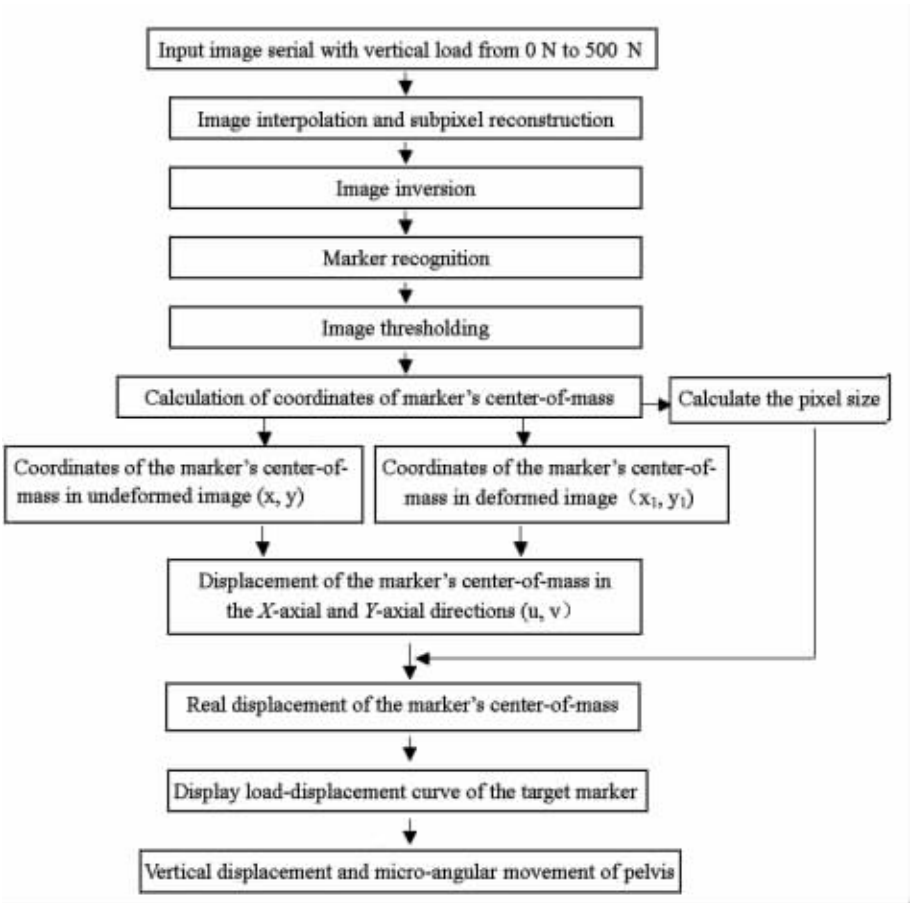


图 3 数字标记点质心跟踪法处理示意图

Fig 3 Process of digital marker tracing method combined with center-of-mass algorithm

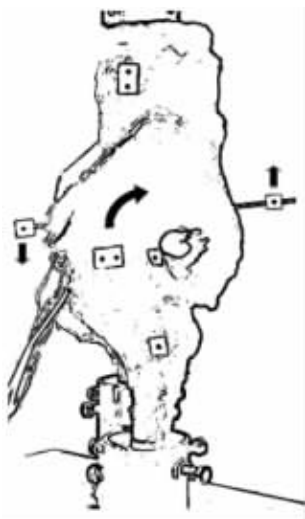


图 4 骨盆侧位骶髂关节角位移测试示意图

Fig 4 Sketch map of measurement of sacroiliac joint angular rotation from lateral view

1.6 数字标记点质心跟踪法的测试精度 本实验通过相对无位移实验来验证图像测量系统的测试精度。通过人为平移骨盆,对产生整体位移的骨盆拍

摄多幅图像,此时骨盆内部相对无位移。以标尺作为测试对象,理论上多幅图像中,标尺的两个标记点之间的距离应该完全相等,但由于系统误差及热噪声的影响,CCD 拍摄的图像中,两个标记点之间的距离在不同的图像中会产生差异。

2 结 果

2.1 正常骨盆 S₁ 椎体的垂直位移 正常骨盆在 0~500 N 的垂直载荷下, S₁ 的垂直位移分别为 0、(0.184 0±0.047 7)、(0.343 9±0.086 5)、(0.515 1±0.157 1)、(0.670 7±0.213 3)、(0.835 6±0.283 0) mm, S₁ 椎体呈现下移,其载荷位移曲线基本呈线性变化(图 5);6 个骨盆之间的曲线斜率有所差异。

2.2 正常骨盆侧位骶骨相对于髌骨的角位移 侧位观察,正常骨盆在 0~500 N 的垂直载荷下,正常骨盆骶骨相对于髌骨的角位移分别为 0°、(0.110±0.061)°、(0.218±0.102)°、(0.332±0.148)°、(0.461±0.195)°、(0.584±0.221)°,骶骨相对于髌

骨呈现屈曲运动,其载荷-角位移曲线呈非线性变化(图 6)。

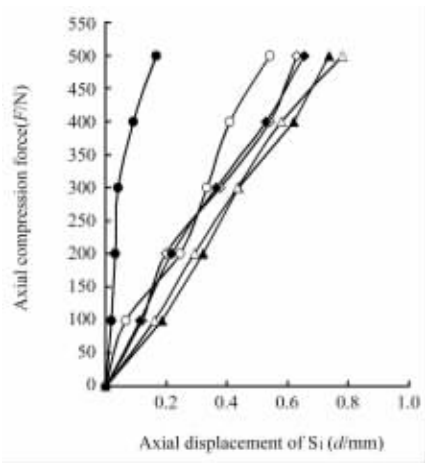


图 5 6 个骨盆 S₁ 的垂直载荷-位移曲线
Fig 5 Vertical load-displacement curves of S₁ in six pelvises

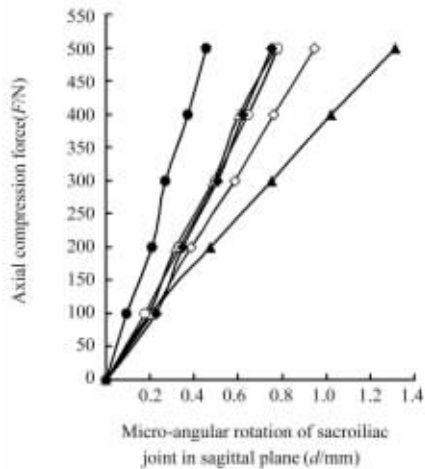


图 6 6 个骨盆骶骨相对于髂骨的载荷-角位移曲线
Fig 6 Load-angular rotation curves of sacroiliac joint in six pelvises

3 讨论

3.1 垂直载荷下骨盆的位移 本实验研究结果显示,双足站立位,骨盆在垂直载荷下,骶骨相对于髂骨呈下移运动,载荷-位移曲线基本呈线性,500 N 垂直载荷下,S₁ 椎体的垂直位移平均为(0.835 6±0.258 3) mm。Varga 等^[5]报道双足站立位 S₁ 椎体垂直位移平均为 1.67 mm;吴乃庆等^[6]报道双足站立位 500 N 垂直载荷下骶骨和髂骨的相对位移为 1.76 mm;康红军等^[7]报道单足站立位骶骨的垂直位移为(4.144±0.538) mm;Shaw 等^[8]报道坐立位骶骨的垂直位移为 1.8 mm;Dujardin 等^[9]报道单侧

坐骨坐立位,310 N 垂直载荷下,骶骨相对于髂骨的垂直位移 0.22~0.35 mm。本实验结果和其他作者的结果差别的原因在于:(1)所选择的标本差异。(2)标本的固定方式不同也可能带来差异,我们用标本固定的夹具把双侧股骨用螺钉牢牢固定在金属套筒中,由于固定牢靠,髌臼内壁髌骨处的垂直位移仅为 0.02 mm 左右,所以本实验标本固定方式对结果影响不大。(3)选择是站立位还是坐立位,是单侧半骨盆还是全骨盆的模式。(4)测试方法的精度。

3.2 垂直载荷下骶髂关节的角位移 生理载荷下骶骨运动有一种倾向,即以 S₂ 作为支点而向前旋转,这种旋转倾向是由于站立位重量加于脊柱的缘故^[10-11]。许多实验已经证实生理载荷下正常骨盆骶骨有相对于髂骨屈曲的运动;但具体角度的大小争议较多,主要原因是没有找到精确的测量方法来测量骶骨的角运动。

本实验 6 个骨盆在 500 N 垂直载荷下,侧位骶骨的角位移平均为(0.584±0.221)°,与文献报道差别不大。康红军等^[7]报道单足站立位骶骨角位移为(0.226±0.061)°;Dujardin 等^[9]报道单侧坐骨坐立位,310 N L₄ 椎体垂直载荷下,骶骨角位移为 0.24°~1.92°。文献^[12]对于骨盆双足站立位,矢状面垂直于骶骨盆面钉入特制的金属杆,应用千分表测量金属杆两侧标示点上下位移,而后换算成骶骨前曲角度。由于是接触测量,其过程肯定比较复杂,另外,仅仅通过测量骶骨的前曲角度,忽略了髌骨的旋转角度,算出的结果可能会产生一定的偏差。

本实验正常骨盆在 0~500 N 的垂直载荷下,骶骨相对于髌骨呈现屈曲运动,其载荷角位移曲线呈非线性变化,其原因与骶髌关节的结构及生物力学特性有关:钱齐荣等^[13]的结果显示,骶髌关节两侧关节面均呈凹凸不平的形态,而且分布不均匀,高低起伏变化较大。骶骨后方的坚强韧带在体质量作用下趋于紧张,将髌骨拉拢,使骶髌关节面凹凸咬合面增大,从而使骶髌关节面间的摩擦阻力增大。垂直载荷下,骶髌关节的咬合程度及骶髌关节周围的韧带的松紧程度发生改变,从而导致骶骨相对于髌骨的角位移并不呈线性变化。

3.3 基于 Image J 软件的数字标记点质心跟踪法的提出 本实验所用的数字标记点质心跟踪法是数字散斑相关方法^[14]理论上提出来的一种测量物体形变的光测方法,在图像的识别和处理上吸取

了数字标记点图像相关方法^[15-16]及散斑图像相关数字技术^[17]的有关优点。数字标记点质心跟踪法的特点如下:(1)采用白底黑点的标记点对试件的关键部位进行跟踪,标记点抗干扰能力强,识别方便,克服了计算相关系数的繁复过程。(2)标记点图像经插值、阈值化处理后,采用灰度加权平均法进行质心计算,通过标记点质心位置的改变测试试件的位移。(3)图像处理和质心计算基于 Image J 免费图像处理软件,处理过程可以进行可视化操作,一般的科研工作者都可以使用^[18-19]。

3.4 数字标记点质心跟踪法测量骨盆位移的优点 一般生物力学的实验,试件的位移结果可以通过万能实验机所示的载荷-位移曲线得到,对于骨盆来讲,由于内部结构复杂,单单通过整体的垂直压缩位移并不能反映骨盆内部的形变情况,也不能对骨盆内部的旋转情况进行检测。本实验基于 Image J 软件对骨盆形变图像进行数字图像处理,通过跟踪标记点在骨盆变形前后质心位置的改变来计算骨盆的垂直位移及骶骨相对于髌骨的角位移。数字标记点质心跟踪法是一种较实用的方法,它具有测试方法简单、测试精度高、对测试环境要求低,以及配合不同检测要求可以对物体内部的力学参数进行测量的特性;为我们以后骨盆肿瘤切除后不同修复重建的稳定性研究及骨盆骨折后不同内固定的稳定性研究提供了可靠的非接触测量的方法,在人体其他部位的生物力学研究上也可以得到广泛的应用。

[参 考 文 献]

- [1] Forst S L, Wheeler M T, Fortin J D, et al. The sacroiliac joint: anatomy, physiology and clinical significance[J]. Pain Physician, 2006, 9: 61-67.
- [2] 严望军, 蔡 斌, 陈 语, 等. 枕颈部后路经关节螺钉内固定的生物力学研究[J]. 中华医学杂志, 2006, 86: 872-875.
- [3] Simonian P T, Routt M L Jr, Harrington R M, et al. Biomechanical simulation of the anteroposterior compression injury of the pelvis: an understanding of instability and fixation [J]. Clin Orthop, 1994, 309: 245-256.

- [4] <http://imagej.sourceforge.net/docs/menus/analyze.html>
- [5] Varga E, Hearn T, Powell J, et al. Effects of method of internal fixation symphyseal disruptions on stability of the pelvic ring [J]. Injury, 1995, 26: 75-80.
- [6] 吴乃庆, 王道新, 沈家维, 等. “π”棒及“T”形钢板治疗垂直不稳定骨盆骨折[J]. 中华骨科杂志, 1997, 17: 51-55.
- [7] 康红军. 骨盆损伤后骶髂关节稳定性的生物力学研究[D]. 河北医科大学, 2004.
- [8] Shaw J A, Mino D E, Werner F W, et al. Posterior stabilization of pelvic fractures by use of threaded compress rods. Case reports and mechanical testing [J]. Clin Orthop, 1985: 240-254.
- [9] Dujardin F H, Roussignol X, Hossenbaccus M, et al. Experimental study of the sacroiliac joint micromotion in pelvic disruption[J]. J Orthop Trauma, 2002, 16: 99-103.
- [10] runner C, Kissling R, Jacob H A. The effects of morphology and histopathologic findings on the mobility of the sacroiliac joint[J]. Spine, 1991, 16: 1111-1117.
- [11] Stureson B, Selvik G, Uden A. Movements of the sacroiliac joint: A roentgen stereophotogrammetric analysis[J]. Spine, 1989, 14: 162-165.
- [12] 马春光. 骨盆韧带的生物力学研究及旋转不稳定骨盆骨折的治疗[D]. 河北医科大学, 2003.
- [13] 钱齐荣, 贾连顺, 高建新, 等. 骶髂关节面形态的测量及其生物力学意义[J]. 临床骨科杂志, 2002, 5: 1-5.
- [14] Yamaguchi I. Speckle displacement and deformation in the diffraction and image fields for small object deformation[J]. Opt Acta, 1981, 28: 1359-1376.
- [15] 王怀文, 亢一澜, 富东慧. 数字标记点识别方法及其在材料性能测试中的应用[J]. 实验力学, 2002, 17: 433-437.
- [16] 夏赣民, 陈金龙, 计欣华. 数字标记点相关法在脊柱生物力学中的应用研究[J]. 中国生物医学工程学报, 2005, 24: 554-559.
- [17] 王言磊, 欧进萍. 散斑图像相关数字技术在薄壁钢管混凝土长柱变形测量中的应用[J]. 实验力学, 2006, 21: 527-531.
- [18] Austin J C, Phornphutkul C, Wojtys E M. Loss of knee extension after anterior cruciate ligament reconstruction: effects of knee position and graft tensioning[J]. J Bone Joint Surg Am, 2007, 89: 1565-1574.
- [19] Liu J, Ebraheim N A, Haman S P, et al. Effect of the increase in the height of lumbar disc space on facet joint articulation area in sagittal plane[J]. Spine, 2006, 31: E198-E202.

[收稿日期] 2007-05-21

[修回日期] 2007-10-08

[本文编辑] 曹 静