

· 基础研究 ·

家兔胫骨的三点弯测试

钟红刚^{1,2}, 刘卫华², 卜海滨², 钱民全³

(1.北京工业大学生命学院,北京 100022;2.中国中医科学院骨伤科研究所;3.中国科学院力学研究所)

【摘要】目的:探讨采用工程材料力学中抗弯梁的力学模型,通过兔胫骨三点弯测试,获得整骨材料力学测试方法实用的力学参数。**方法:**采用 10 只正常成年大耳白兔下肢骨标本,共 10 对胫骨,行三点弯力学测试。作为骨的三维实体模型建立后,虚拟加载的一种实验对比模式。支承跨距为 80 mm。**结果:**得到 10 对正常大耳白兔胫骨抗弯力学参数。胫骨最大载荷所对应的加载点挠度平均值右侧(2.737±0.262) mm,左侧(2.739±0.233) mm;胫骨的最大载荷(代表抗弯强度)的平均值右侧(17.803±2.675) kg,左侧(18.366±2.653) kg;胫骨最大载荷前载荷-挠度曲线下面积平均值右侧(23.829±4.413) kg·mm,左侧(24.725±4.101) kg·mm;胫骨载荷-挠度曲线线性部分斜率(代表抗弯刚性)平均值右侧(7.545±1.310) kg/mm,左侧(7.631±1.174) kg/mm。**结论:**正常家兔胫骨个体间差异较大,建议三点弯测试实验中采用双侧配对比较。

【关键词】 胫骨; 三点弯测试; 兔; 生物力学

Revealing mechanical property of intact rabbit tibia in three-point bending test ZHONG Hong-gang*, LIU Wei-hua, BU Hai-bin, QIAN Min-quan. *College of Life Science & Bioengineering Beijing University of Technology, Beijing 100022, China

ABSTRACT Objective: To explore the mechanical property of intact long bone through three-point bending test of rabbit tibia according to mechanics of materials. **Methods:** Ten pairs of normal rabbits tibia were treated on three-point bending test with 80 mm supporting distance in order to corroborate the virtual loading test on bone model. **Results:** Bending stiffness and strength of 10 pairs of normal rabbit tibia were obtained. The maximum flexibility of the right and the left tibia was (2.737±0.262) mm and (2.739±0.233) mm respectively. The maximum load, which indicated the bending strength, of the right and the left tibia was (17.803±2.675) kg and (18.366±2.653) kg respectively. The area under the load-flexibility curve before fail of the right and the left tibia was (23.829±4.413) kg/mm and (24.725±4.101) kg·mm respectively. The slope of the load-flexibility curve which indicate the stiffness of the right and the left tibia was (7.545±1.310) kg/mm and (7.631±1.174) kg·mm respectively. **Conclusion:** The discrepancy between different animal body is larger than conventionally required. It's suggested for performing three-point bending test of long bone of the body both sides in pair.

Key words Tibia; Three-point bending test; Rabbits; Biomechanics

Zhongguo Gushang/China J Orthop & Trauma, 2008, 21(2): 103-105 www.zggszz.com

整骨三点抗弯试验是经典的骨伤生物力学测试方法。在工程材料三点弯试验中主要是通过上述测试方法获得材料的特性常数,如弹性模量、破坏应力或破坏应变等。其先决条件是材料均匀。骨材料并不均匀,并且各向异性较强,在不同方向上有不同的材料常数。因此骨科实验中主要应用三点弯曲评价骨的整体功能。主要使用本文所述的 4 种基本参数直接比较不同组别的差别。

1 材料与方

1.1 测试样品和仪器 测试所用 10 只正常成年大耳白兔下肢骨标本,来自用于小于 1 周时间的短期中药促进皮肤切口愈合的膏贴剂实验的正常空白对照组动物。空气处死后取材、编号,左右配对,共 10 对胫骨。剔除肌肉和筋膜、骨膜后,浸入 0.9%NaCl 溶液,4℃保存。摄 X 线正侧位片,X 线片底板和数字图像系为 CR 系统。加载仪器:中国长春第二试验机厂生产

的 WD-1 型材料试验机。测试过程由计算机人机交互程序控制。计算机采集存储数据并实时显示载荷-挠度曲线,自动计算各参数。

1.2 测试方法 三点弯曲试验结果也可将载荷转换为弯矩来表示。其中有一个重要的概念,截面弯矩,一般表示为 M_w 。在计算时需要用到跨距 L ,如图 1 所示。本文试验中兔胫骨加载点截面弯矩 $M_w = PL/4$,其中 P 为载荷。因此在表 1 中用星号标明本文三点弯测试所用跨距。一般根据不同的实验目的选用不同部位的长骨,按工程材料试验方法两端简支,按样本长度设定固定的跨距,在两支连线的中线加载。加载点位移,即加载点与两支连线的垂直距离的变化,称为加载点的挠度。随着载荷增加,骨弯曲变形,直至开裂分离,产生弯断型骨折,如图 1 所示。在骨折愈合和骨质疏松病理和疗效实验中经常使用大鼠和家兔的四肢长骨。

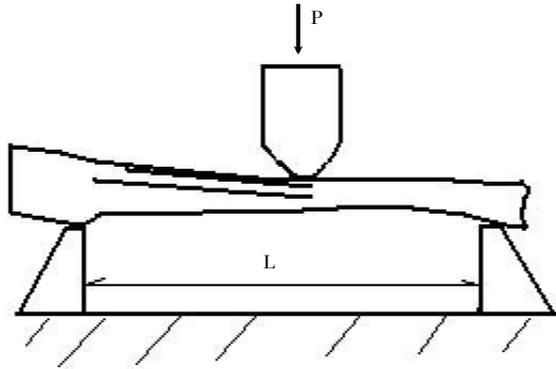


图 1 兔胫骨三点弯曲试验示意图 P 代表载荷, L 代表跨距

Fig.1 Three-point-bending test of rabbit tibia P indicated load and L was the supporting distance

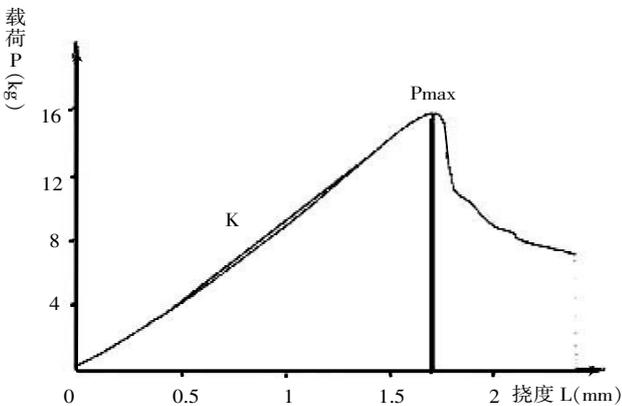


图 2 载荷-挠度曲线, 其中 K 为斜率, Pmax 为最大载荷

Fig.2 Load-flexibility curve, in which K was the slope, and Pmax was the maximum loading

三点弯试验所得典型的载荷-挠度曲线如图 2 所示。采用曲线载荷最高值作为破坏载荷, 本文以 Pmax 表示, 计算抗弯强度。采用曲线线性部分斜率计算抗弯刚性, 本文将斜率记为 K。为了了解愈合过程或者骨质疏松代谢过程骨内胶原含量的变化, 有时还取到达破坏载荷之前载荷-挠度曲线下的面积和达破坏载荷时加载点的挠度, 本文分别记为 A 和 f, 作为能量吸收和变形能力指标。

本文采用三点弯曲试验方法测试实验兔胫骨的抗弯刚性和强度。三点弯跨距设为 80 mm, 加载速度 5 mm/min。胫骨支点分别为胫骨结节和胫骨下端前面。胫骨处于俯卧状态, 加载点位于胫骨后侧两支点连线中点位置, 向前加载, 如图 1 所示。包括取材和测试, 所有操作在 48 h 内完成, 骨标本始终保持湿润。

1.3 计算与统计方法 取载荷-挠度曲线中加载达到最大载荷 20% 和 80% 两点的连线, 计算其斜率, 如图 2 所示。采用曲线上最大载荷作为破坏载荷 Pmax, 取达到最大载荷时的挠度值 f 作为最大挠度。通过采样数据数字积分, 求达到最大载荷前, 载荷-挠度曲线下的面积 A, 这个面积一般接近三角形。左右两侧分别求平均值, 计算均方差。为比较左右两侧胫骨的力学性能, 将同一实验兔胫骨测试得到的上述 4 种参数左右两侧测试数据相比, 通过比值的相对误差分析两侧胫骨力学特性的对称性。

2 测试结果

2.1 由测试曲线获得 4 种参数 从实验兔胫骨三点弯载荷-挠度曲线取得 4 种参数(见表 1)。胫骨最大载荷所对应的加载点挠度平均值右侧(2.737±0.262) mm, 左侧(2.739±0.233) mm; 胫骨最大载荷(抗弯强度)的平均值右侧(17.803±2.675) kg, 左侧(18.366±2.653) kg。

胫骨最大载荷前载荷-挠度曲线下面积平均值右侧(23.829±4.413) kg·mm, 左侧(24.725±4.101) kg·mm; 胫骨载

表 1 10 只家兔双侧胫骨三点弯测试结果*

Tab.1 Results of three-point-bending test of double side tibia of the 10 rabbits*

序号	最大挠度(mm)		最大载荷(kg)		面积(kg·mm)		斜率(kg/mm)	
	右侧	左侧	右侧	左侧	右侧	左侧	右侧	左侧
1	2.73	2.91	15.81	16.92	21.06	23.87	6.19	7.13
2	2.41	2.56	19.67	21.36	23.07	27.09	8.91	9.18
3	2.65	2.75	22.74	23.58	29.86	31.68	10.05	9.70
4	2.90	2.66	18.85	17.15	25.32	22.45	7.84	7.35
5	2.90	2.65	19.26	18.83	27.57	24.73	8.06	8.14
6	2.49	2.58	15.78	17.25	18.80	21.89	7.56	7.46
7	2.88	2.60	19.44	18.13	26.16	22.83	7.94	7.92
8	2.79	3.04	16.45	19.70	21.27	27.80	6.76	7.31
9	2.39	2.46	13.40	14.30	16.51	16.97	6.13	6.17
10	3.24	3.19	16.64	16.43	28.68	27.94	6.01	5.97
平均值	2.737	2.739	17.803	18.366	23.829	24.725	7.545	7.631
均方差	0.262	0.233	2.675	2.653	4.413	4.101	1.310	1.174
相对误差	9.6%	8.5%	15%	14%	19%	17%	17%	15%

注: *跨距 80 mm

Note: With 80 mm supporting distance

表 2 三点弯测试结果左右配对比较
Tab.2 Right to left ratio of the three-point-bending test results

序号	最大挠度 (右侧/左侧)	最大载荷 (右侧/左侧)	面积 (右侧/左侧)	斜率 (右侧/左侧)
1	0.938	0.934	0.882	0.868
2	0.940	0.921	0.851	0.971
3	0.962	0.964	0.942	1.036
4	1.090	1.099	1.128	1.067
5	1.094	1.023	1.115	0.990
6	0.967	0.915	0.859	1.014
7	1.107	1.072	1.146	1.003
8	0.918	0.835	0.765	0.925
9	0.972	0.937	0.973	0.993
10	1.016	1.013	1.026	1.008
平均值	1.00	0.97	0.97	0.99
均方差	0.07	0.08	0.13	0.06
相对误差	7.0%	8.0%	13.2%	6.0%

荷-挠度曲线线性部分斜率平均值右侧 (7.545±1.310) kg/mm, 左侧(7.631±1.174) kg/mm。

结果表明,即使采用正常兔胫骨进行相对简单的三点弯曲试验,如果不按同一个体左右侧配对进行修正,相对误差较大。单一量纲测试项目中,最大挠度相对误差左侧为 9.6%,右侧为 8.5%;最大载荷相对误差左侧为 15%,右侧为 14%。两量纲计算项目中,面积相对误差左侧为 19%,右侧为 17%;斜率相对误差左侧为 17%,右侧为 15%。

10 只家兔共 20 根胫骨三点弯试验中,最大力值 Pmax 与胫骨载荷-挠度曲线线性部分斜率 K 有一定的线性相关性。Pmax 代表骨的抗弯强度,后者代表骨抗弯刚性,与弹性模量相关。采用双因素皮尔逊相关指数(Pearson Correlation)检验,自由度为 20,得到两者相关系数为 0.903,显著性水平 < 0.001。对本组三点弯试验,最大力值 Pmax 关于斜率 K 的线

性回归方程 $P_{max} = 1.9444 \times K + 3.3303$ 。回归方程检验 F 值为 79.48,显著性水平 < 0.001。方程表明本组实验中,正常兔胫骨材料的弹性模量越高,抗弯强度越高。

2.2 测试参数的同一个体配对比较 不同动物个体间各参数差别较大,但同一个体左右胫骨差别较小。如表 2 所示,右侧/左侧比值平均为 0.99,比值的均方差为 0.06,即左右两侧相对差别为 6%。最大载荷和其对应的加载点挠度都与胫骨的强度即破坏应力直接相关,右侧/左侧比例值平均值分别为 0.97 和 1.00,比值的均方差分别为 0.08 和 0.07,即左右两侧相对差别分别为 8%和 7%。这些值中除左右差别外,实际还包含实验测试误差。因此,在应用整骨三点弯测试方法进行骨的力学特性评价中,尽量采用同一个体左右侧对照,可明显提高测试精度。

3 讨论

最大载荷前载荷-挠度曲线下面积反映三点弯测试中胫骨在宏观破坏前吸收的能量。无论个体间或同一个体左右之间差别都超过 10%,与最大载荷和最大挠度两者各自相对误差范围的和相当,可用多因素变量的误差分析解释。这个面积还与宏观破坏发生后的残余强度等因素有关。然而,一旦宏观破坏发生,胫骨的功能即完全丧失,肌肉和神经血管系统就会受到损伤。因此整骨测试常常重点关注宏观破坏发生前的现象。本文结果显示,10 只动物个体间相对误差已达到 10%左右,与文献报道大鼠股骨三点弯结果的精度相似^[1-2]。通过双侧胫骨自身对照,进行配对比较能明显改善个体差异造成的影响。

参考文献

- 1 刘虹丽,丁小颖,丘明才,等. 成骨生长肽羧基端片断及其衍生物对去卵巢大鼠生物力学性能的影响. 医用生物力学,2005,20(2): 81-84.
- 2 王磊,张先龙,曾炳芳. 低强度脉冲超声对实验性骨质疏松性骨折愈合骨痂力学性能的影响. 医用生物力学,2005,20(4),235-238.

(收稿日期:2007-09-15 本文编辑:王玉曼)

**中国中医科学院望京医院骨伤科和风湿科
进修招生通知**

中国中医科学院望京医院(中国中医科学院骨伤科研究所)为国家中医药管理局批准的全国中医骨伤专科医疗中心和全国重点骨伤学科”单位。全院共有床位 500 余张,其中骨伤科床位近 300 张。骨伤科高级专业技术职称人员 40 余名,博士生导师 8 名,硕士生导师 15 名,具有雄厚的骨伤科临床、教学与科研能力,是全国中医骨伤科医师培训基地。开设创伤、脊柱、骨关节、关节镜及推拿等专科,在颈椎病、腰椎间盘突出症、骨关节病、创伤骨折、■外翻等专病方面的治疗独具特色,部分专病的治疗在国内居领先水平,在国际上享有盛誉。每周三安排知名专家授课,为中、西医骨科医师培训提供充裕的理论学习与临床实践的机会。

风湿免疫科为国家中医药管理局风湿病重点专病单位,具有较深厚的风湿病研究基础及先进的研究设施,治疗风湿类疾病有独特疗效。

我院每年 3、9 月招收两期进修生(要求具有执业医师资格),每期半年或 1 年(进修费 3 600 元/年)。欢迎全国各地中、西医医师来我院进修学习。

Http://www.wjhospital.com.cn

地址:北京市朝阳区花家地街中国中医科学院望京医院医务处 邮编:100102 电话:(010)64721263 联系人:苏霞。

乘车路线:404、416、420、701、707、710、952,运通 101、107、201 路等到望京医院(花家地街)下车。

北京站:乘 420 路公共汽车可直达;乘 403 至丽都饭店换 404 路望京医院(花家地街)下车。

北京西客站:823 路公共汽车至东直门换 404 路至望京医院。