

实验研究 Experimental Research

采用 X 线平片结合三点弯测试计算胫骨皮质弹性模量

钟红刚^{1,3}, 刘卫华¹ 卜海滨¹, 董福慧¹, 钱民全², 孟和¹

(1 中国中医科学院望京医院(原骨伤科研究所)生物力学实验室, 100700;

2 中国科学院力学研究所, 100190; 3 北京工业大学生命科学与生物工程学院, 100124)

摘要: [目的]为了实现骨的力学特性的无损检测。[方法]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,获得整骨材料力学特性。在此基础上通过对 X 线正位和侧位平片相关计算机图像处理,计算截面惯性矩。最终获得胫骨特定横截面处的骨质的弹性模量。[结果]本文所测 20 个家兔胫骨样本,前后方向三点弯跨距为 80mm 条件下,右侧胫骨载荷—挠度曲线线性部分斜率平均值 7.545 ± 1.310 (kg/mm),左侧 7.631 ± 1.174 (kg/mm)。通过 X 线平片计算获得前后方向弯曲加载点截面惯性矩平均值,右侧胫骨为 42.20 ± 7.29 (mm⁴),左侧胫骨为 41.47 ± 4.82 (mm⁴),两者比值 右侧/左侧= 1.02 ± 0.07 。右侧胫骨弹性模量平均值 18.84 ± 2.32 (GPa),左侧胫骨为 19.29 ± 2.35 (GPa)。两侧比值 右侧/左侧= 0.98 ± 0.046 。[结论]对于长骨中部皮质骨弹性模量计算值与实验测试文献报道接近。本文方法对骨质疏松和骨折愈合过程无损评价具有一定的实用价值。

关键词: X 线平片, 三点弯测试, 胫骨皮质, 弹性模量

为了简便直观,骨科临床对于长骨的力学特性描述方法常采用材料力学弯曲梁模型。

在不同骨折固定方法中,穿针外固定方法对骨折局部干扰较小。例如对于采用半环式骨折复位固定器治疗胫腓骨骨干骨折^[1],至少可以在正位片获得无固定装置干扰的胫骨骨折部位的 X 线片。如果采用多杆复位固定器^[2],合理设置投照方向,则可以同时在正位和侧位获得无固定装置干扰影像的胫腓骨骨折部位的 X 线片。在动物实验中,文献^[3]采用穿针滑动固定器固定家兔胫骨实验性骨折,获得愈合过程每周 1 次正位和侧位 X 线片,由于断端上下 2cm 长度没有固定装置影像干扰,保证了定量评价骨折愈合过程的足够精度。

本文利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,获得整骨材料力学特性。在此基础上通过对 X 线正位和侧位平片相关计算机图像处理,计算截面惯性矩。最终获得胫骨特定横截面处的骨质的弹性模量。

1 材料与方法

1.1 家兔胫骨三点弯测试

详见文献^[4]。胫骨测试所用 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成年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。照 X-线正、侧位平片。X—线拍片底板和数字图像系为 CR 系统。

三点弯跨距设为 80mm,加载速度 5mm/分钟。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中点,向前加载。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。

所有操作在 48 小时内完成。骨标本始终保持湿润。

1.2 截面惯性矩计算

本文通过实验家兔胫骨侧位片 X—线灰度得到微元面积,计算三点弯测试加载点横截面的截面惯性矩,详见文献^{[5][6]}。

1.3 弹性模量计算

按传统的材料力学简支梁模型，胫骨横截面的形状决定的截面惯性矩和骨材料弹性模量以及跨距共同决定载荷—挠度曲线的参数。载荷与加载点挠度关系如式(1)所示。

$$f = PL^3 / (48E J_z) \tag{1}$$

$$E = KL^3 / (48 J_z) \tag{2}$$

式中 f ——加载点挠度； P ——支撑点连线中点所加载荷； L ——跨距； E ——弹性模量； J_z ——截面惯性矩。跨距 L 是测试时设定为 80mm。本文中，采用式 (2) 计算弹性模量。弹性模量 E 在线性范围内被设为在胫骨加载点横截面内为常数。

2 结果

如表 1 所示。

表 1 三点弯实验曲线斜率和加载点截面惯性矩及弹性模量

Table 2-7 Inertia moment integration and elastic module of the tibia transverse section at loading site

序号	斜率(Kg/mm)			加载点截面惯性矩(mm ⁴)			弹性模量(GPa)		
	右侧	左侧	右/左	右侧	左侧	右/左	右侧	左侧	右/左
1	6.19	7.13	0.87*	46.02	34.40	1.34*	14.05	21.66	0.65*
2	8.91	9.18	0.97	45.42	45.54	1.00	0.51	21.06	0.97
3	10.05	9.70	1.04	56.19	49.14	1.14	18.69	20.64	0.91
4	7.84	7.35	1.07	41.18	39.91	1.03	19.90	19.25	1.03
5	8.06	8.14	0.99	45.91	47.87	0.96	18.35	17.78	1.03
6	7.56	7.46	1.01	39.26	37.96	1.03	20.13	20.53	0.98
7	7.94	7.92	1.00	43.82	40.92	1.07	18.95	20.22	0.94
8	6.76	7.31	0.93	34.06	36.25	0.94	20.76	21.09	0.98
9	6.13	6.17	0.99	40.69	41.93	0.97	15.74	15.38	1.02
10	6.01	5.97	1.01	29.43	40.77	0.72*	21.36	15.30	1.40*
平均值	7.55	7.63	1.00	42.20	41.47	1.02	18.84	19.29	0.98
样本数	10	10	9	10	10	8	10	10	8
标准差	1.31	1.17	0.04	7.29	4.82	0.07	2.32	2.35	0.046
相对误差			4%		7%			4.6%	

* 所标志的数在计算平均值时被剔除

本文所测 20 个家兔胫骨样本，前后方向三点弯跨距为 80mm 条件下，右侧胫骨载荷—挠度曲线线性部分斜率平均值 7.545 ± 1.310 (kg/mm)，左侧 7.631 ± 1.174 (kg/mm)。通过 X 线平片计算获得前后方向弯曲加载点截面惯性矩平均值，右侧胫骨为 42.20 ± 7.29 (mm⁴)，左侧胫骨为 41.47 ± 4.82 (mm⁴)，两者比值 右侧/左侧 = 1.02 ± 0.07 。右侧胫骨弹性模量平均值 18.84 ± 2.32 (GPa)，左侧胫骨为 19.29 ± 2.35 (GPa)。两侧比值 右侧/左侧 = 0.98 ± 0.046 。

本文计算所得家兔胫骨弹性模量与文献[7]报道用应变片实测结果相近。

3 讨论

本文计算结果虽然只是针对家兔胫骨进行的，但是所需三点弯测试数据和 X 线平片都可在临床人体获得^[2]。X 线片的分辨率越来越高，为本文计算提供了良好的技术基础。

X 线平片是骨折愈合的常规评判标准之一。医生通常结合患者功能恢复和经验判断愈合时间。通常有经验的大夫可以凭借 X 线平片判断钢板固定时间过长造成的骨质疏松。本文计算可以帮助实现量化评价。

目前的骨密度测试可以给出不同 X 光子能量的扫描灰度图，但由于扫描空间精度在 1mm 左右，如果用本文方法计算精度不够。计算机三维扫描成像技术可以较好分解空间重叠影像。但是由于费用高，且一次普通 CT 扫描局部 X 射线辐射量相当于平面投照的百倍量级^[8]，应用受限。因此，本文方法作为 X 线影像生物力学分析的基础，具有较大应用前景。

参考文献

- [1]钟红刚, 张兴平, 金阳, 等.骨折复位固定器疗法定量问题探讨[J]. 医用生物力学. 2001, 16(3): 147-149.
- [2]Uthoff H.K, Current Concepts of External Fixation of Fracture, Springer-Verlag, 1982.
- [3]钟红刚, 赵宏普, 宋跃, 等. 穿针滑动固定家兔胫骨实验性骨折愈合过程断端位移测试[J] 中国骨伤 2001, 14 (10): 604-605.
- [4]钟红刚, 刘卫华, 卜海滨, 钱民全.家兔胫骨三点弯测试[J].中国骨伤. 2008, 21(2):103-105.
- [5]钟红刚, 骨的三点弯测试与裂纹尖端分子拉伸的计算机模拟[D], 北京工业大学博士学位论文, 2008,3 (2) .36-38.
- [6]钟红刚, 刘斌, 张万强,等, 利用 X 线平片分析骨折愈合的等效最弱截面[J], 医用生物力学, 2011, 3(2): 103-105.
- [7]陈永强, 戴克戎, 等. 混杂复合接骨板的实验研究. 中华骨科杂志. 1995, 15(8).
- [8]李宗生,王洪生, 儿童髌部和股骨的 CT 低剂量扫描[J], 浙江临床医学, 2009, 11 (2): 198-199.

单边多平面可调式骨外固定器的设计及生物力学研究

董谢平 沈录峰 李振肃 吴小辉 王锦程

(江西省人民医院, 334000)

摘要: 战场、灾害事故现场屡现单发或伴发四肢重度开放粉碎性骨折的重症伤员, 且常成批出现, 加之现场医疗环境和条件恶劣, 已有的骨外固定器或属复位优先型而难以应用, 或因病情和医疗条件所限, 行损伤控制性复位固定后待条件改善再作二次复位固定时, 需另寻合适穿钉点重新固定, 或须配置繁杂的组件方能原钉位调整固定。

为此, 作者设计了一种零部件相对简单, 易于消毒携带, 穿针随意, 固定后调节余量较大, 能方便地进行二次复位固定, 特别适于在战场、灾害事故现场、急救转运途中及其它恶劣环境下, 或在不具备影像监视条件的手术室或基层医疗单位内, 或在全身伤病情危重需优先抢救生命时, 对单一或大批量四肢开放粉碎性骨折伤员进行损伤控制性复位固定, 并在医疗条件改善、病情允许时迅速调整复位、实施无创性二次固定使骨折得到确定性治疗的单边多平面可调式骨外固定器, 并对其进行生物力学试验。

我们采用成年大猪股骨标本 24 具, 制作成粉碎骨折模型 12 个, 分为安装自制单边多平面可调式骨外固定器实验组和安装 AO 管状外固定器的对照组, 分别从轴向、剪切、旋转三种状态下进行生物力学检测。并推论单边多平面可调式骨外固定器在二次复位时调节范围。

结果显示实验组和对照组在抗压力、抗剪切、抗旋转方面无明显差异。单边多平面可调式骨外固定器能在伤肢 1/3 周径范围内任意安装固定钉进行临时复位固定, 再次复位时不需重新置钉即可利用原组件重新获得牢固固定。

关键词: 单边多平面可调式骨外固定器, 设计, 生物力学

为便于在出现大批量伤员的战场和灾害事故现场等非正常医疗环境下对四肢开放性骨折患者进行及时、有效的损伤控制性救治^[1,2], 并在医疗条件改善后能够方便、无创地调整复位固定, 使骨折得到确定性治疗, 作者设计了一种单边多平面可调式骨外固定器, 对其与 AO 管状外固定器在纵向加载、侧方加载和扭转实验中的稳定性等进行了比较研究, 并对其在二次复位时的调节范围进行了推论, 报道如下。

1 材料与方法

1.1 器械设计 单边多平面可调式骨外固定器由远近端支架、万向联轴器、锁钉器和Schanz螺钉及配