

# 老龄腰椎松质骨的剪切力学变化

吕雅平<sup>1</sup>, 李云鹤<sup>2</sup>, 刘轶凡<sup>2</sup>, 马洪顺<sup>3</sup>

## Shear mechanical properties of lumbar trabecular bone in aged people

Lü Ya-ping<sup>1</sup>, Li Yun-he<sup>2</sup>, Liu Yi-fan<sup>2</sup>, Ma Hong-shun<sup>3</sup>

### Abstract

**BACKGROUND:** Shear mechanical properties of lumbar trabecular bone should be understood in treating osteoporosis, bone remodeling, bone reconstruction, as well as the choice of fracture fixed equipment.

**OBJECTIVE:** To explore whether the shear mechanical properties of lumbar trabecular bone is different in young and aged normal fresh cadavers.

**METHODS:** Experimental samples were from 4 normal fresh corpse, aged 22, 28, 70 and 75 years, were provided by Department of Anatomy, Norman Bethune Medical University. Spinal column thoracic vertebra L<sub>2</sub>-L<sub>5</sub> specimen were obtained from corpse within 1 hour and cut into 40 mm×5 mm×5 mm pieces. The specimen were tested on electronic universal testing machine with speed of 5 mm/min, the shear load, stress, strain and other data would be printed automatically, and the morphology of fracture surface was observed.

**RESULTS AND CONCLUSION:** Majority of the fracture surfaces were comminuted, minority were transverse or oblique fracture. The macroscopic observation showed that trabecular arranged compact in the thoracic vertebra cancellous bone of the youth group, which was sparse arrangement and presented with senile osteoporosis in the aged group. The shear force, shear stress and strain of the youth group was greater than that of the aged group [(37.19±3.25), (28.34±3.42) N; (1.49±0.13), (1.13±0.14) MPa; (1.40±0.50)%, (0.90±0.20)%,  $P < 0.05$ ]. It demonstrated that the impact mechanics properties of thoracic vertebra cancellous bone are different between the youth and aged groups.

Lü YP, Li YH, Liu YF, Ma HS. Shear mechanical properties of lumbar trabecular bone in aged people. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu yu Linchuang Kangfu. 2010;14(9): 1595-1598. [http://www.crter.cn http://en.zglckf.com]

### 摘要

**背景:** 骨质疏松、骨重建、骨再造、腰椎骨折固定器械的选择等都需要了解青年尸体和老年尸体腰椎松质骨的剪切力学特性。

**目的:** 比较老年尸体松质骨和青年尸体腰椎松质骨是否具有不同的剪切力学性质。

**方法:** 实验标本取自正常国人新鲜尸体 4 具, 由白求恩医科大学解剖教研室提供, 年龄分别为 22, 28, 70, 75 岁。人死亡后 1 h 之内, 解剖尸体取出腰段脊柱 L<sub>2</sub>-L<sub>5</sub> 标本。将标本沿前、后、左、右纵向切成长 40 mm, 宽 5 mm, 高 5 mm 的试样, 在电子万能试验机上进行实验, 以 5 mm/min 的实验速度对试样施加剪切力, 实验结束后, 打印机自动打印出剪切力、应变剪切应力等数据。观察每个试样的宏观断口形貌。

**结果与结论:** 剪切试样破坏后分别对两组试样的破坏断口进行大体观察发现, 多数为横断口, 少数为斜断口, 青年组腰椎松质骨小梁排列细密, 老年组腰椎松质骨小梁排列稀疏, 孔隙较大。青年组剪切力、剪切应力和应变均显著高于老年组 [(37.19±3.25), (28.34±3.42)N; (1.49±0.13), (1.13±0.14)MPa; (1.40±0.50)%, (0.90±0.20)%,  $P < 0.05$ ]。提示青年组脊柱腰椎松质骨和老年组脊柱腰椎松质骨具有不同的剪切力学特性。

**关键词:** 老年人尸体; 脊柱; 青年人尸体; 腰椎松质骨; 剪切力; 剪切应力; 剪切应变; 骨力学

doi:10.3969/j.issn.1673-8225.2010.09.017

吕雅平, 李云鹤, 刘轶凡, 马洪顺. 老龄腰椎松质骨的剪切力学变化[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2010, 14(9):1595-1598. [http://www.crter.org http://cn.zglckf.com]

## 0 引言

国内外学者对骨的力学性质, 尤其是密质骨的力学性质做了大量的研究<sup>[1-10]</sup>, Yamada<sup>[1]</sup>对人和动物尸体骨的力学性质进行了系统的研究, 包括马、牛、猪、人尸体湿的长骨密质骨的拉伸强度极限、最大伸长百分比、拉伸时的弹性模量、压缩强度极限、最大压缩百分比, 压缩弹性模量, 拉伸时剪切强度限、扭转弹性模量。Evans<sup>[2]</sup>、Reilly和Burstein<sup>[3]</sup>也进行了一定的收集研究工作。为研究骨的力学性质

Rhineland<sup>[4]</sup>、Bourne<sup>[5]</sup>对长骨的宏观和微观结构进行了研究。Amtmann<sup>[6]</sup>对骨的强度与骨的质量密度关系进行了研究。Frost<sup>[7]</sup>对于控制骨生长的应力现象进行了研究。马洪顺等<sup>[9]</sup>研究了国人新鲜尸体长管状骨的力学性质, 对股骨、胫骨、尺骨、桡骨进行了拉伸、压缩、弯曲、冲击等实验, 观察了拉伸、弯曲、压缩最大载荷、最大应力、最大应变等指标和冲击功、冲击韧性指标。李桂田等<sup>[10]</sup>研究了国人新鲜尸体短管状骨的力学性质, 观察了骨的弯曲最大载荷、最大弯矩, 冲击功等指标。

关于松质骨的力学性质研究, 国内外报道

<sup>1</sup>Mechanical Science and Engineering College of Daqing Petroleum Institute, Daqing 163318, Heilongjiang Province, China; <sup>2</sup>First Chemical Factory of China Petroleum Daqing Petrochemical Company, Daqing 163318, Heilongjiang Province, China; <sup>3</sup>Department of Engineering Mechanics, Nanling Campus of Jilin University, Changchun 130022, Jilin Province, China

Lü Ya-ping, Lecturer, Mechanical Science and Engineering College of Daqing Petroleum Institute, Daqing 163318, Heilongjiang Province, China mahs@jlu.edu.cn

Received: 2009-10-15  
Accepted: 2010-01-03

<sup>1</sup>大庆石油学院机械科学与工程学院, 黑龙江省大庆市 163318; <sup>2</sup>中国石油大庆石化公司化工厂, 黑龙江省大庆市 163318; <sup>3</sup>吉林大学南岭校区工程力学系, 吉林省长春市 130022

吕雅平, 女, 1963年生, 黑龙江省大庆市人; 1987年大庆石油学院毕业, 讲师, 主要从事实验力学与生物力学的研究。mahs@jlu.edu.cn

中图分类号: R318  
文献标识码: B  
文章编号: 1673-8225 (2010)09-01595-04

收稿日期: 2009-10-15  
修回日期: 2010-01-03  
(20091015004/WL-Z)

较少, Gibson<sup>[11]</sup>、Ashman等<sup>[12]</sup>、Keaveny等<sup>[13]</sup>对松质骨的力学性质进行了研究, 郭玉明等<sup>[14]</sup>对松质骨的黏弹性力学性质进行了研究, 观察了松质骨应力松弛、蠕变数据和曲线, 还观察了应力、应变与时间的变化规律。

以往的研究多为研究动物或人青年尸体腰椎松质骨的力学特性。青年尸体和老年尸体腰椎松质骨剪切力学特性会相似吗? 作者的观点是想要确切解决问题, 实验标本为正常国人男性青年尸体标本和正常国人老年男性尸体标本, 实验为以年龄分组, 不存在因年龄和性别的偏倚。

本实验可为现有的理论提供关键证据。青年尸体腰椎松质骨和老年尸体腰椎松质骨比较尤为引起人们的兴趣。因为这种方法适用于不同物种不同部位的松质骨。作者的目的是观察青年尸体腰椎松质骨和老年尸体腰椎松质骨剪切力、应变、切应力有一个什么程度的区别? 这些问题都需要阐明。

通过青年尸体腰椎松质骨和老年尸体腰椎松质骨剪切力学特性研究可以明确青年尸体和老年尸体腰椎松质骨受多大剪切力、应力、应变, 会引起损伤, 损伤后两组试样断口形貌如何。这些问题一旦阐明对于彻底揭示腰椎松质骨损伤的机制既具有理论意义又具有临床价值。

骨力学是生物学的重要分支, 研究骨组织在外力作用下的力学特性和骨受力后的生物效应, 是对骨质进行评定的一种可靠方法。近年由于骨质疏松、重建、骨再造、矫形外科开展的人工关节置换术等都需要了解松质骨的力学特性。鉴于临床实际的需要, 作者对国人老年和青年新鲜尸体椎骨进行剪切实验研究, 得出了青年和老年人尸体腰椎松质骨的剪切力、应变、应力指标, 观察了两组试样的断口形貌, 得出了一些结论。

## 1 材料和方法

**设计:** 随机对照体外实验。

**时间及地点:** 实验于2006-02在吉林大学力学实验中心完成。

**材料:** 实验标本取自正常国人新鲜尸体4具, 由白求恩医科大学解剖教研室提供, 年龄分别为22, 28, 70, 75岁。人死亡后1 h之内, 解剖尸体取出腰段脊柱L<sub>2</sub>~L<sub>5</sub>标本。立即装入塑料袋中密封后置于-20 °C冰箱内保存。

**主要仪器:**

仪器	来源
电子万能试验机(AG-10TA)	日本岛津制作所
读数显微镜	长春市第三光学仪器厂

## 实验过程:

**剪切实验:** 标本存放3 d后, 取出标本, 在常温下解冻后, 以骨据沿L<sub>2</sub>、L<sub>3</sub>、L<sub>4</sub>、L<sub>5</sub>标本前、后、左、右侧相同部位纵向切割试样, 每组各20个试样, 试样长40 mm, 宽6 mm, 高6 mm, 利用读数显微镜测量试样的长度、宽度和高度。

腰椎松质骨为黏弹性材料, 所以必须对试样进行预调处理, 本实验按参考文献[15-20]的方法对每个试样进行预调处理后实验。分别将两组试样装入剪切实验夹具内, 之后置于试验机工作台上, 以5 mm/min的实验速度对试样施加剪切力, 切断试样, 实验结束后, 打印机自动打印出剪切力、应力、剪切应变等。

**主要观察指标:** 每个试样的剪切力、应变、剪切应力和每个试样的宏观断口形貌。

**设计、实施、评估者:** 实验设计及评估为第一作者, 干预实施为全体作者, 均经过正规培训, 采用盲法评估。

**统计学分析:** 由第一作者采用SPSS 11.0软件完成统计处理, 计数资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示, 采用完全随机分组单因素方差分析进行数据分析, 组间比较采用t检验,  $P < 0.05$ 为差异有显著性意义。

## 2 结果

### 2.1 青年组腰椎松质骨试样剪切实验结果 见表1。

表1 青年组腰椎松质骨试样剪切实验结果  
Table 1 The shear test results of trabecular bone specimen in two groups

Sample number	Youth group		
	Shear force (N)	Strain (%)	Shear stress (MPa)
1	37.21	1.41	1.48
2	32.83	0.92	1.31
3	39.44	1.80	1.58
4	36.17	2.22	1.45
5	35.22	0.71	1.48
6	38.24	1.32	1.53
7	33.73	1.51	1.35
8	41.26	1.93	1.65
9	39.64	0.71	1.59
10	31.71	1.22	1.27
11	40.61	1.53	1.63
12	35.25	1.23	1.41
13	38.78	0.64	1.55
14	34.82	1.12	1.39
15	39.26	1.71	1.57
16	44.33	1.53	1.77
17	38.24	1.81	1.53
18	33.73	2.12	1.35
19	39.26	0.61	1.57
20	34.15	1.93	1.37
$\bar{x} \pm s$	37.19±3.25 <sup>a</sup>	1.40±0.50 <sup>a</sup>	1.49±0.13 <sup>a</sup>

### 2.2 老年组腰椎松质骨试样剪切实验结果 见表2。

表2 老年组腰椎松质骨试样剪切实验结果  
Table 2 The shear test results of trabecular bone specimen in two groups

Sample number	Aged group		
	Shear force (N)	Strain (%)	Shear stress (MPa)
1	29.81	0.93	1.19
2	32.14	1.14	1.29
3	25.26	0.84	1.01
4	30.65	0.73	1.23
5	31.48	0.62	1.26
6	24.32	0.93	0.97
7	27.15	1.12	1.09
8	22.38	1.09	0.89
9	29.64	0.58	1.19
10	28.14	0.69	1.13
11	20.63	0.72	0.83
12	33.16	0.81	1.33
13	28.12	1.15	1.12
14	26.51	0.96	1.06
15	29.37	0.73	1.17
16	33.72	0.66	1.34
17	30.61	0.95	1.22
18	28.42	1.12	1.13
19	26.15	1.21	1.05
20	29.16	1.09	1.17
$\bar{x}\pm s$	28.34±3.42	0.90±0.20	1.13±0.14

<sup>a</sup> $P < 0.05$ , vs. aged group

**2.3 两组腰椎松质骨剪切实验断口形貌大体观察** 剪切试样破坏后分别对两组试样的破坏断口进行大体观察发现, 多数为横断口, 少数为斜断口, 青年组腰椎松质骨骨小梁排列细密, 老年组腰椎松质骨骨小梁排列稀疏, 孔隙较大。

### 3 讨论

剪切实验是研究生物材料损伤机制的重要方法。人腰椎松质骨不同于金属材料, 可以加工成标准试样。为了有可比性, 本实验对人腰椎标本在同一方向取样, 试样的几何尺寸一致, 选择了电子万能试验机, 对试样预调处理, 解决了实验的关键问题。本实验比较了青年和老年尸体腰椎松质骨的剪切力、应变、切应力等力学特性, 目的是获得青年尸体和老年尸体的剪切力学特性。由于腰椎是脊柱的组成部分, 因此, 实验方法也可以对不同部位松质骨进行比较。实验方法有以下几种特征: ①记录了青年和老年尸体腰椎松质骨在同一实验速度, 同一环境温度下的剪切力学特性。②按年龄分组均为男性, 避免了年龄和性别产生的偏倚。分别对青年和老年组标本前、后、左、右相同部位纵向取样, 每个试样均为松质骨, 不带有皮质骨, 减小了由于取样部位不同所带来的偏倚。③以统计分析和 $t$ 检验方法评估实验数据的误差, 通过实验得出的数据可以定量比较两组实验的剪切力学特性。实验结果表明, 青年组腰椎松质骨剪切力为(37.19±3.25) N, 剪切应力为(1.49±0.13) MPa, 应变为(1.40±0.50)%。老年组腰椎松

质骨剪切力为(28.34±3.42) N, 剪切应力为(1.13±0.14) MPa, 应变为(0.90±0.20)%。青年组腰椎松质骨剪切力、应变、切应力显著大于老年组( $P < 0.05$ )。

本实验中腰椎松质骨剪切实验断口多数为横断口, 少数为斜断口。宏观观察青年组腰椎松质骨骨小梁排列细密, 老年组腰椎松质骨骨小梁排列稀疏, 孔隙较大, 呈现出老年骨质疏松的表现形式。近年来研究表明<sup>[21]</sup>: 骨小梁的三维微细结构的改变也影响骨的生物力学特性。老年性缓慢的骨丢失主要由于成骨的功能降低。松质骨的骨量丢失较皮质骨开始为早, 并且下降速度快, 国内调查结果发现, 男性在30岁开始松质骨丢失, 40多岁皮质骨丢失, 骨矿密度随年龄增加, 累计平均丢失率增加, 65岁后的男性普遍存在不同程度的骨质疏松症, 70岁以后出现较快的骨丢失<sup>[21]</sup>。所以老年男性应注意预防骨质疏松症的发生和发展, 尤其注意避免发生各种骨折。

由于标本有限和生物材料的各种差异的限制, 实验数据有一定的离散性, 但对临床还是有一定的参考价值的。

### 4 参考文献

- [1] Yamada H. Strength of Biological Materials. The Williams and Wilkins Co, Baltimore. 1970;36(3):965-969.
- [2] Evans FG. Mechanical Properties of Bone. Charles Thomas, Springfield, Illinois. 1973;42(1):178-181.
- [3] Reilly DT, Burstein AH. Review article. The mechanical properties of cortical bone. J Bone Joint Surg Am. 1974;56(5):1001-1022.
- [4] Rhinelander FW. Circulation of bone. In The Biochemistry and Physiology of Bone, edited by G. H. Bourne, p., Academic Press, New York ed. 1972:72-78
- [5] Bourne GH. The Biochemistry and Physiology of Bone. Vol.1. Structure. Vol.2 Physiology Pathology Vol.3. Development and Growth. Academic Press, New York Second Edition. 1972;32(2): 269-272.
- [6] Arntmann E. Ergebnisse der Anatomie und Entwicklungsgeschichte. 1971;44(1):89-92.
- [7] Frost HM. The Laws of Bone Structure. C.C. Thomas, Springfield. 1964:11.
- [8] Young JZ. The Life of Mammals. Oxford University Press, London. 1957;37(2):326-330.
- [9] Ma HS, Lin X, Chu HD, et al. Shiyan Jishu yu Shiyanji. 1990;30(2): 37-40.  
马洪顺, 林曦, 褚怀德, 等. 人长管状骨生物力学性能[J]. 试验技术与试验机. 1990, 30(2): 37-40.
- [10] Li GT, Liu Y, Yang QJ, et al. Baiqien Yike Daxue Xuebao. 1986; 12(6): 492-494.  
李桂田, 刘彦, 杨清江, 等. 正常人短状骨机械性能的研究和骨折端口分析[J]. 白求恩医科大学学报, 1986, 12(6): 492-494.
- [11] Gibson J. The mechanical behavior of cancellous bone. J Biomech. 1985;18(2):317-320.
- [12] Ashman RB, Rho JY. Elastic modulus of trabecular bone material. J Biomech. 1988;21(3):177-181.
- [13] Keaveny TM, Hayes WC. A 20-year perspective on the mechanical properties of trabecular bone. J Biomech Eng. 1993;115(4B): 534-542.
- [14] Guo YM, Jia XL, Zhang HM, et al. Zhongguo Shengwu Yixue Gongcheng Xuebao. 1999;18(4):250-255.  
郭玉明, 贾潇凌, 张宏民, 等. 国人胫骨力学性质的实验研究[J]. 中国生物医学工程学报, 1999, 18(4): 250-255.
- [15] Zhang Q, Gao M, Li P, et al. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu yu Linchuang Kangfu. 2009;13(35):6867-6870.  
张翘, 高明, 李鹏, 等. 三种固定器械置入固定胫骨骨折的生物力学分析[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2009, 13(35): 6867-6870.
- [16] Wu ZK, Liu JC, Li B, et al. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu yu Linchuang Kangfu. 2009;13(26):5052-5055.  
吴舟凯, 刘景臣, 李博, 等. 骶2椎弓根内进钉固定拧紧力与骶骨的应变分布规律[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2009, 13(26): 5052-5055.
- [17] Mu DL, Xu GA, Ma HS, et al. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu yu Linchuang Kangfu. 2008;12(26):5007-5010.  
穆德龙, 徐国安, 马洪顺, 等. 在扭矩作用下胫骨和外固定器钢钉上各测点的应变电测量[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2008, 12(26): 5007-5010.

[18] Meng FJ, Quan TG, Ma HS. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu yu Linchuang Kangfu. 2008;12(48):497-500.  
孟繁军, 权铁刚, 马洪顺. 正常国人升主动脉, 腹主动脉, 肾主动脉血管松弛函数及力学性质[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2008, 12(48): 497-500.

[19] Wu YT, Zhang Q, Yu T, et al. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu yu Linchuang Kangfu. 2009;13(13):2451-2454.  
武云涛, 张翹, 于涛, 等. 加压螺丝钉内固定股骨胫骨折的蠕变实验[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2009, 13(13): 2451-2454.

[20] Zhang YZ, Piao CD, Li P, et al. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu yu Linchuang Kangfu. 2009;13(9):1621-1624.  
张延哲, 朴成东, 李鹏, 等. 定量分析钢板及椎弓根固定脊柱骨折脱位后的应力松弛[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2009, 13(9): 1621-1624.

[21] Liu ZH. Beijing: Science Press. 1998:553.  
刘忠厚. 骨质疏松学[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 553.



关于数字化医学的学术争鸣：本刊学术部

文题	内容	网站点击更多
“数字人”技术:应用领域有多宽?	从长远看,“数字人”在医疗卫生领域的应用非常明确。打个比方,有了“数字人”,“他”就能代替人类试服新药、接受手术。因为“数字人”可以将人的所有人体信息收集储存在电脑里,医生在开处方前,将药物的影响数据输入电脑,“数字人”就会显示服药后的反应,这样就能协助医生对症下药,为疾病诊断、新药和新医疗手段的开发提供参考。在“数字人”身上“开刀”,还解决了医学教学中解剖标本有限的难题。“数字人”还可以模拟肿瘤生长和治愈过程,并进行手术三维模拟、血流动力学模拟、药代动力学模拟等。比如说,在肿瘤患者做完CT与核磁共振扫描检查后,电脑将影像模拟组建这位患者的数字化虚拟人体。模拟完成后,医生戴上三维立体眼镜,手持虚拟手术刀,对患者的数字化虚拟人体实施仿真模拟手术,检验手术效果。	<a href="http://cn.zgckf.com/Html/2009_12_29/2_2461_2009_12_29_89148.html">http://cn.zgckf.com/Html/2009_12_29/2_2461_2009_12_29_89148.html</a>
数字人体与数字化虚拟人:区别何在?	“数字人体—人体系统数字学”概念的提出者、中科院遥感所研究员毕思文认为,数字人体和数字化虚拟人两者有着本质的区别。首先,数字人体的研究对象是活人,是建立在以多时空、动态的人体系统为研究对象,以人体实时观测、网络和计算机信息处理为主体的技术系统。而“数字化虚拟人”或“虚拟人”等研究的对象是死人,是将尸体用刀切削成为成千上万个人体切片,然后照相,在电脑里对其进行整合,重建人体三维结构。	<a href="http://cn.zgckf.com/Html/2010_02_01/2_2461_2010_02_01_93826.html">http://cn.zgckf.com/Html/2010_02_01/2_2461_2010_02_01_93826.html</a>
机器人做手术:可行还是不可行?	奥地利著名外科学家认为:手术机器人的最大优点是能消除外科医师不同程度存在的操作时手的颤抖而使手术解剖更加精细和平稳,这对于高精度的手术,如心脏和脑部手术以及长时间的复杂手术尤其重要。从而使得外科介入对病人创伤再次微小化。尽管称为机器人手术,但操作意图和指令是由医师发出的,外科操作则以腹腔镜技术为基础。仍然需要造气腹创造手术空间,腹壁打孔建立手术器械通道。 马里兰大学医学中心学者认为:一套系统目前要花费100万美元,价格昂贵,而且体积庞大,不易搬动。这种手术方式需要术前的计划非常周密,常规的手术目前还不需要这么高的要求。	<a href="http://cn.zgckf.com/Html/2009_12_25/5/2_2461_2009_12_25_88619.html">http://cn.zgckf.com/Html/2009_12_25/5/2_2461_2009_12_25_88619.html</a>