

# 不同加载速度对大鼠骨生物力学特性的影响

邓雪梅 刘跃 谢力勤

**摘要** 本实验观察了在三一点弯曲力学实验中,在不同运动速度(5 mm/min, 20 mm/min)的加载条件下,即在不同的加载速度时,大鼠肱骨最大载荷、弹性载荷、最大挠度、弹性挠度、最大应力、弹性应力、最大应变、弹性应变8项骨生物力学指标的变化特点。结果表明:与5 mm/min 加载速度相比较,在20 mm/min 加载速度下,骨最大载荷、弹性载荷、最大挠度、弹性挠度显著增加( $P < 0.05$ );骨最大应力、弹性应力、最大应变、弹性应变无明显变化,提示:三一点弯曲力学实验中,在一定范围内提高加载速度,主要影响骨结构力学特性,而对骨材料力学特性无明显影响。

**关键词** 加载速度 骨生物力学 大鼠

## Effects of different loading speeds on bone biomechanical properties of rats

Deng Xuemei, Liu Yue, Xie Liqin

Institute of Space Medical Engineering, Beijing 100094, China

**Abstract** Under the condition of different loading speeds, the changes in ultimate load, elastic load, ultimate deformation, elastic deformation, ultimate stress, elastic stress, ultimate strain, and elastic strain were observed in the three-point bending experiments. Results showed that at 20 mm/min loading speed, compared to 5 mm/min, ultimate load, elastic load, ultimate deformation and elastic deformation increased significantly ( $P < 0.05$ ), but ultimate stress, elastic stress, ultimate strain and elastic strain had no change. It is suggested that the increases in the loading speed mainly affect structural properties of bone, but nearly have no effects on material properties.

**Key words** Loading speed Biomechanics Rats

骨生物力学着重研究骨骼的生物力学特性,骨的生物力学特性主要受下列三个方面的影响①被试样品种类;②骨年龄及解剖部位;③试验条件<sup>[1]</sup>。弯曲实验是骨生物力学重要的实验方法之一,主要适用于小型动物的长骨研究,现今广泛应用于实验室对骨质量的研究。选用一定的加载速度是进行弯曲实验的前提试验条件。由于目前没有统一的骨力学实验标准,国内外文献已报道的弯曲试验的加载速度也不尽相同。加载速度不同,对骨生物力学指标有哪些影响?影响程度如何?尚不完全清楚。本实验仅就不同的加载速度这一试验条件因素,初步观察

了在不同加载速度作用下,8项生物力学指标的变化情况。

## 1 材料和方法

1.1 实验动物:雄性,SD大鼠13只,体重(153±19)克,(由中国科学院动物研究所提供)断头处死大鼠,取双侧肱骨,去净附着软组织。

1.2 力学实验方法及指标测定:

1.2.1 本实验使用英国制造QTS-25流变仪进行三一点弯曲力学实验,跨距为15 mm,以5 mm/min的加载速度作用于大鼠左侧肱骨,以20 mm/min的加载速度作用于大鼠右侧肱骨。

1.2.2 骨结构力学指标的测定:记录载荷-变形曲线,从曲线上直接计算如下指标,最大载

荷、弹性载荷、最大挠度、弹性挠度。

1.2.3 骨材料力学指标的测定:在解剖镜下,分别测量骨横截面外层长轴(B),骨横截面外层短轴(H),骨横截面内层长轴(b),骨横截面内层短轴(h),计算骨横截面惯性矩( $J = \pi (BH^3 - bh^3)/64$ ),而后根据公式计算最大应力、弹性应力、最大应变、弹性应变指标<sup>[2]</sup>。

1.3 统计学处理:实验数据经中文 EXCEL5.0统计软件进行 *t* 检验,  $P < 0.05$  有显著性差异。

## 2 结果

2.1 两组大鼠肱骨直径和皮质面积见表1。

由表1可知,大鼠两侧肱骨直径和皮质面积无差别。排除了因两侧骨尺寸和皮质面积差异

对生物指标的影响。

表1 大鼠两侧肱骨直径和皮质面积

组别 (mm/min)	n	直径(mm)	皮质面积(mm <sup>2</sup> )
5	13	2.60±0.13	3.42±0.41
20	13	2.59±0.18	3.50±0.45

2.2 不同加载速度对大鼠骨结构生物力学指标影响见表2。

由表2可知,与5 mm/min 加载速度相比较,在20 mm/min 加载速度下,骨最大载荷、弹性载荷、最大挠度、弹性挠度显著增加。

2.3 不同加载速度对大鼠骨材料力学指标影响见表3。

表2 不同加载速度对大鼠骨结构力学指标的影响

组别 (mm/min)	n	最大载荷 (kg)	弹性载荷 (kg)	最大挠度 (mm)	弹性挠度 (mm)
5	13	6.55±0.77	5.44±0.97	0.73±0.16	0.52±0.19
20	13	6.98±0.88*	6.49±0.96*	0.86±0.23*	0.64±0.15*

注:两组间比较, \*  $P < 0.05$

表3 不同加载速度对大鼠骨材料力学指标的影响

组别 (mm/min)	n	最大应力 (N/mm <sup>2</sup> )	弹性应力 (N/mm <sup>2</sup> )	最大应变	弹性应变
5	13	194.18±41.28	159.23±30.60	0.05±0.01	0.03±0.02
20	13	198.07±29.59	166.18±26.80	0.05±0.02	0.03±0.01

注: \* 两组间比较  $P < 0.05$

由表3可知,与5 mm/min 加载速度比较,在20 mm/min 加载速度下,骨最大应力、弹性应力、最大应变、弹性应变无明显变化。

## 3 讨论

本实验结果表明,提高加载速度可显著提高骨结构力学特性。骨最大载荷、弹性载荷、最大挠度、弹性挠度主要受骨的几何形状和尺寸大小的影响,本实验选用同一大鼠两侧肱骨并

排除上述因素对骨结构力学指标的影响。当加载速度提高时,骨变形的速度超过了进行充分塑性变形所需要的临界变形速度,塑性变形过程受到约束与限制,使材料屈服点升高,塑性有可能降低,形变硬化过程也受到影响,从而增加了材料的脆化倾向<sup>[3]</sup>。这是提高上述4项骨结构力学指标的原因,这也是骨在高应变率下,导致骨折发生的原因之一。

(下转第21页)

患者腰椎 BMD 增加 0.65%~5.67%，四肢及全身 BMD 亦有增加<sup>[2]</sup>。每天用量 20mg，6 个月后，骨转换率均明显降低，腰椎 BMD 增加 3.7%，股骨 BMD 得到保持，短期应用 ALN 即出现显著疗效<sup>[3,4]</sup>。Hirsch<sup>[4]</sup> 等提出，腰椎骨 BMD 的变化是初步疗效的标志，全身和股骨 BMD 的变化是进一步疗效的标志。本研究中，使用的剂量是每天 10mg，男女性患者除腰椎 BMD 明显增加外，全身及股骨上段 BMD 亦有增加。将腰椎骨 BMD 增加作为第一个终点 (Primary endpoint)，全身和股骨 BMD 上升作为第二个终点 (second endpoint) 为标准来评价，ALN 每天用 10mg 剂量对中国人群是恰当的，疗效既可靠且稳定，能达到治疗的目的。使用相同的剂量，女性比男性疗效相对显著。目前，抗骨质疏松的药物较多，但能促进大多数患者的多部位骨密度上升的药物不多，ALN 的疗效是最强的。

### 3.2 ALN 对骨代谢的影响

Harris<sup>[5]</sup> 的研究表明，服用 ALN 一个月，患者骨吸收代谢即受到明显抑制，第 3~6 个月达到最大程度；同期内，骨形成的标志物如血清骨钙素和碱性磷酸酶亦下降。这种骨代谢的变化与骨吸收被抑制、骨丢失减少甚至停止的机制是一致的。本研究男女性患者血清碱性磷酸酶均下降。本研究中尚显示白细胞降低、男女性血钙、血磷变化的不同趋势均有待进一步研究。

### 3.3 应用 ALN 的安全性和耐受性

应用 ALN 半年，患者表现的副作用不多，亦不严重。多为服药初期轻度恶心，两周后，既

使不停药，恶心症状多可自动消失。便秘、皮疹、头晕亦多为轻度，用药初期出现并在短期内消除。除便秘在服药 3 个月内尚可见外，其他副作用均在 1 个月内自行消失。这些便秘者常为老人习惯性者，有些在服药前即存在，有些在服药后略有加重。增加饮水量和进食蔬菜水果即可缓解。所以，每天服用 10mg ALN 是安全的、可耐受的。

### 参 考 文 献

- 1 Sato M. Bisphosphonate action, alendronate localization in rat bone and effects on osteoclast ultrastructure. *J Clin Invest*. 1991; 88:2095-2105.
- 2 Bone HG, Downs RW Jr, Tucci JR, et al. Dose-response relationships for alendronate treatment in osteoporotic elderly women. Alendronate Osteoporosis Study Centers. *J Clin Endocrinol Metab*. 1997; 82(1):265-274.
- 3 Buffo L, Rossini M, Buoncristiano A, et al. Diphosphonates: an alternative to estrogen therapy in postmenopausal osteoporosis. Experience with alendronate. *Minerva Ginecol*. 1996; 48(6):263-272.
- 4 Rossini M, Gatti D, Zamberlan N, et al. Long-term effects of a treatment course with oral alendronate of postmenopausal osteoporosis. *J Bone Miner Res*. 1994; 9(11):1833-1837.
- 5 Hirsch LJ, Pryor Tillotson S. An overview of the results of clinical trials with alendronate, a promising treatment of osteoporosis in postmenopausal women. *Ann Ital Med Int*. 1995; 10 Suppl:22S-26S.
- 6 Harris ST. The effects of short term treatment with alendronate on vertebral density and biochemical markers of bone remodeling in early postmenopausal women. *J Clin Endocrinol Metab*. 1993; 76:1399-1406.

(上接第9页)

骨材料力学特性主要受骨的多孔性，胶原排列走向，矿盐质量等因素的影响，本实验中尽管骨结构力学指标发生显著性变化，但其材料力学指标无明显改变，究其原因，主要是与骨矿盐质量、骨胶原纤维走向和多孔性无明显变化有关。

结论：三点弯曲力学实验中，在一定范围内

提高加载速度，主要影响骨结构力学特性，而对骨材料力学特性无明显影响。

### 参 考 文 献

- 1 崔伟, 刘成林. 基础骨生物力学(一). 中国骨质疏松杂志, 1997, 4: 82-85.
- 2 过邦辅编译. 临床骨科生物力学基础. 上海: 上海远东出版社, 1993. 461-462.
- 3 邓增杰, 周敬恩. 工程材料的断裂与疲劳. 北京: 机械工业出版社, 1995. 209.