

# 大鼠臂丛神经的蠕变特性

冯铁健<sup>1</sup>, 孙长江<sup>2</sup>, 罗民<sup>2</sup>, 马洪顺<sup>3</sup>

## Creep properties of rat brachial plexus

Feng Tie-jian<sup>1</sup>, Sun Chang-jiang<sup>2</sup>, Luo Min<sup>2</sup>, Ma Hong-shun<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Nanling Campus  
Hospital of Jilin  
University,  
Changchun  
130022, Jilin  
Province, China;  
<sup>2</sup>China-Japan Union  
Hospital of Jilin  
University,  
Changchun  
130031, Jilin  
Province, China;  
<sup>3</sup>Department of  
Engineering  
Mechanics, Nanling  
Campus of Jilin  
University,  
Changchun  
130022, Jilin  
Province, China

Feng Tie-jian,  
Nanling Campus  
Hospital of Jilin  
University,  
Changchun  
130022, Jilin  
Province, China

Correspondence to:  
Ma Hong-shun,  
Professor,  
Department of  
Engineering  
Mechanics, Nanling  
Campus of Jilin  
University,  
Changchun  
130022, Jilin  
Province, China  
mahs@jlu.edu.cn

Received: 2010-02-01  
Accepted: 2010-05-06

### Abstract

**BACKGROUND:** The suture anastomosis of brachial plexus injury brachial plexus is necessary to understand the mechanical creep characteristics. Previous studies mainly focus on tensile mechanical properties of brachial plexus. Reports concerning creep on the brachial plexus viscoelastic properties are few.

**OBJECTIVE:** To analyze the experimental animals creep mechanical properties of the brachial plexus in order to provide creep parameters for clinic.

**METHODS:** Shimadzu Universal testing machine was used to perform creep experiments of brachial plexus in experimental animals. The speed of creep stress increase was 0.01 GPa/s, with experimental time of 7 200 s. In total 100 experimental data were collected and processed using normalized analysis.

**RESULTS AND CONCLUSION:** Creep of animal brachial plexus specimen at 7 200 s was 5.6%. Creep values change rapidly during the first 600 seconds, and then strain was increased slowly and the value of equilibrium curve could be reached at 7 200 s. The results show that the creep curve changes in an exponential relationship, and the brachial plexus has mechanical properties of viscoelastic creep.

Feng TJ, Sun CJ, Luo M, Ma HS. Creep properties of rat brachial plexus. *Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu yu Linchuang Kangfu*. 2010;14(28): 5244-5247. [<http://www.crter.cn> <http://en.zglckf.com>]

### 摘要

**背景:** 臂丛神经损伤缝合吻合有必要了解臂丛神经蠕变力学特性。以往的研究多以臂丛神经的单项拉伸力学性质研究居多,关于臂丛神经蠕变黏弹性力学性质的研究鲜有报道。

**目的:** 以函数为研究方式观察分析实验动物臂丛神经的蠕变力学特性,为临床提供蠕变力学特性参数。

**方法:** 采用日本岛津电子万能试验机对SD大鼠臂丛神经进行蠕变实验。蠕变实验应力增加速度为0.01 GPa/s,实验设定时间为7 200 s,采集100个实验数据,以归一化分析的方法处理实验数据。

**结果与结论:** 大鼠臂丛神经试样7 200 s蠕变为5.6%。蠕变最初600 s变化较快,之后应变缓慢上升,达到7 200 s曲线基本平衡。结果表明蠕变曲线是以指数关系变化的,臂丛神经具有黏弹性蠕变力学特性。

**关键词:** 臂丛神经;蠕变;黏弹性;函数;神经组织工程

doi:10.3969/j.issn.1673-8225.2010.28.026

冯铁健,孙长江,罗民,马洪顺.大鼠臂丛神经的蠕变特性[J].中国组织工程研究与临床康复,2010,14(28):5244-5247. [<http://www.crter.org> <http://cn.zglckf.com>]

## 0 引言

臂丛神经损伤在临床上时有发生,对常见的牵拉性臂丛神经损伤,早期以保守治疗为主,对于神经开放性损伤,主要处理原则为神经松解,神经移植与神经移位。臂丛神经断裂,应在两断端无张力的情况下进行缝合<sup>[1]</sup>。臂丛神经损伤的病因中,牵拉伤占86.5%<sup>[2]</sup>,而臂丛神经牵拉伤的发生机制与其生物力学特性密切相关<sup>[3]</sup>。国内外学者对周围神经的生物力学特性进行了一定的研究<sup>[4-9]</sup>。但以往的研究以三维有限元计算、CT分析和臂丛神经的单向拉伸力学性质研究居多,关于臂丛神经的蠕变力学特性鲜有报道。动物臂丛神经为黏弹性固体生物材料,蠕变是黏弹性力学特性的表现形式之一,在一定的恒应力作用下的蠕变是为了适应臂丛

神经生理功能的需要而存在。本次实验以黏弹性蠕变的观点研究大鼠臂丛神经的蠕变力学特性,观察动物臂丛神经应变与时间的变化规律,得出动物臂丛神经的蠕变数据和曲线。并以归一化分析的方法处理实验数据,构建动物臂丛神经的归一化蠕变函数方程。

## 1 材料和方法

**设计:** 以函数为描述方式的单因素观察性实验。

**时间及地点:** 于2007-03在吉林大学力学实验中心完成。

**材料:** 雄性6月龄SD大鼠10只,体质量320~350 g,由长春高新医学动物实验中心提供(许可证号:scxk(吉)2003-2004)。实验过程中对动物的处置实验符合中华人民共和国科技

部关于善待实验动物的指导性意见的规定<sup>[10]</sup>。

### 主要试剂与仪器:

试剂与仪器	来源
异戊巴比妥钠	山东新华制药股份有限公司
硫化钠	上海新宝精细化工厂
撑开器	杭州汇大医疗器械有限公司
读数显微镜	长春第三光学仪器厂
电子万能试验机	日本岛津制作所

### 实验方法:

**标本获取:** 大鼠臂丛神经根暴露用80 g/L异戊巴比妥钠40 mg/kg腹腔注射麻醉, 100 g/L硫化钠脱毛, 冲洗。取锁骨下切口, 切开皮肤, 钝性分离胸大肌及深层胸小肌, 离断锁骨的胸骨端, 以撑开器向上、向下牵开肌肉, 可见臂丛神经束部, 向其近端分离直至根部, 暴露C<sub>5</sub>~T<sub>7</sub>神经根, 用玻璃分针无损伤游离各神经根, 以手术刀从根部切开C<sub>6</sub>、C<sub>7</sub>臂丛神经标本, 置于生理盐水中, 立即上机实验。

**蠕变实验方法:** 取臂丛神经10个试样, 首先测量试样的原始尺寸, 以读数显微镜测量试样的尺寸, 试样长7.4~7.6 mm, 直径为0.49~0.52 mm。首先对试样进行预调处理, 参照文献的方法对试样反复加、卸载10次预调处理后实验<sup>[11-19]</sup>。实验在(36.5±1.0) °C的温度场下进行。将试样装夹在软组织实验夹具上, 夹具与有机玻璃连接, 玻璃缸内装有pH值为7.4的生理盐水, 试样置于生理盐水中, 夹具上端装夹在试验机上夹头上, 夹具下端装夹在试验机下夹头上。以0.005 GPa/s的应力增加对试样施加常应力, 当应力达到2.78 MPa, 应变达到45.6%, 使应力保持恒定, 应变随着时间的改变不断上升。计算机程序设定从时间t(0)开始采集数据, 每0.6 s采集1个数据, 采集10次, 之后每10 s采集一个数据, 采集40次; 之后136 s采集1个数据, 采集50个数据, 共采集100个数据, 历时7 200 s。达到设定时间后打印机自动打印出实验数据和曲线。

**主要观察指标:** 蠕变数据和曲线, 应变与时间的变化规律。

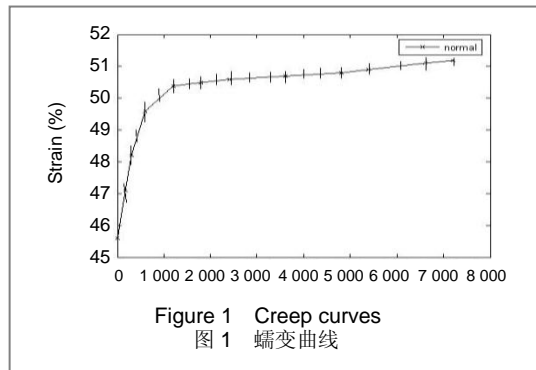
**设计、实施、评估者:** 设计、实施、评估为本文全部作者, 均受过正规培训, 采用盲法评估。

**统计学分析:** 统计学处理由第一作者完成, 采用SPSS11.0软件(SPSS公司, 美国)进行统计分析, 数据用 $\bar{x} \pm s$ 表示。

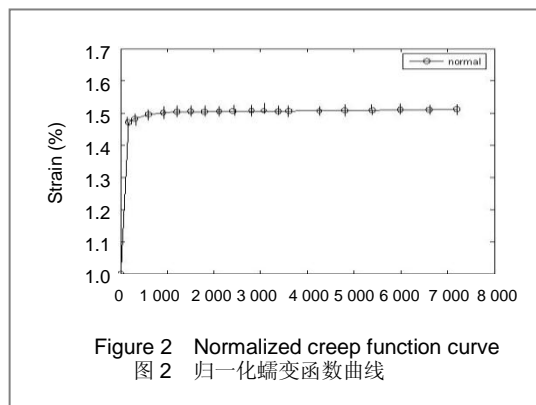
## 2 结果

**2.1 数量分析** 实验共纳入6月龄SD大鼠10只, 全部进入结果分析, 无脱失。

**2.2 蠕变曲线拟合与归一化蠕变函数曲线拟合** 对10个试样蠕变数据, 每个试样取20个点进行蠕变曲线拟合见图1。



对归一化蠕变函数数据每个试样取20个点进行曲线拟合见图2。



**2.3 归一化蠕变函数方程的建立** 由图1可以看出蠕变曲线是指以指数关系变化的, 因此设:

$$J(t) = a + be^{-t} \quad (1)$$

式中a、b为待定常数

$$\text{令 } \varphi(c,d) = \sum_{i=1}^n [G(t) - G_{\text{实}}]_i^2$$

$$\text{则 } \frac{\partial \varphi}{\partial c} = 0 \quad \frac{\partial \varphi}{\partial d} = 0 \quad \text{即:}$$

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{11} a + \sum_{i=1}^{11} e^{-t} b = \sum_{i=1}^{11} J_{\text{实}} \\ \sum_{i=1}^{11} a e^{-t} + \sum_{i=1}^{11} (e^{-t})^2 b = \sum_{i=1}^{11} e^{-t} J_{\text{实}} \end{cases} \quad (2)$$

将实验数据代入(2)式解出各组的a、b值, 将

<sup>1</sup> 吉林大学南岭校区医院, 吉林省长春市 130022;  
<sup>2</sup> 吉林大学中日联谊医院, 吉林省长春市 130031;  
<sup>3</sup> 吉林大学南岭校区工程力学系, 吉林省长春市 130022

冯铁健, 女, 1956年生, 吉林省长春市人, 汉族, 1991年长春市职工医科大学毕业, 主要从事药剂学与生物医学工程学研究。

通讯作者: 马洪顺, 教授, 吉林大学南岭校区工程力学系, 吉林省长春市 130022  
mahs@jlu.edu.cn

中图分类号: R318  
文献标识码: B  
文章编号: 1673-8225 (2010)28-05244-04

收稿日期: 2010-02-01  
修回日期: 2010-05-06  
(20100201002/ZW Z)

a、b值代入(1)式得出臂丛神经归一化蠕变函数方程见公式(3)。

$$J(\dot{\epsilon}) = \begin{cases} 1 & t = 0 \\ 1.5816 - 0.2190e^{-t} & t > 0 \end{cases} \quad (3)$$

(3)式代表实验动物臂丛神经的蠕变特性。

### 3 讨论

实验中, 臂丛神经为软组织, 软组织蠕变实验是一种长时间实验, 长时间保持应力恒定, 试样长时间夹持不产生松动, 实验环境温度的保持, 实验过程中试样保湿都是关系到实验成败的关键。实验采用具有控制应力和应变增加速度和能使应力、应变保持恒定的电子万能试验机, 设定合适的自动控制增益系数。采用自研制的软组织专用夹具, 使标本装夹后不产生松动, 采用环境温箱以温控仪控制温度。采用将试样置于生理盐水槽中, 生理盐水槽与试验机连接, 使试样保湿, 解决了臂丛神经蠕变实验的关键问题。

在正常生理状态下, 周围神经能在一定范围适应外力的牵张, 表现出一定程度的抗张性。目前的研究发现这种抗张性存在如下结构基础: 第一, 神经干、神经束、神经纤维在其周围的组织床上均迂曲存在的<sup>[8]</sup>, 意味着神经纤维初始长度比神经干要长, 这使得神经在被牵拉时, 可以通过神经干、神经束、神经纤维迂曲的消失, 使受到的力得到吸收与中和<sup>[7]</sup>, 从而保护神经组织、体现出一定的抗张强度; 第二, 在神经内结缔组织膜中, 均含有胶原纤维。胶原纤维韧性大, 抗拉力强, 能抵御一定程度的机械刺激, 具有较高的抗张性。但在神经的牵拉伤的机制中, 神经连续性的存在并不意味着神经的损伤都可修复。只有在比例极限载荷内的损伤才是可逆的, 界定比例极限时的应力、应变和张力, 对于彻底揭示神经牵拉伤的机制以及评价神经断裂后缝合口张力, 对修复效果的影响<sup>[1]</sup>。本次研究在蠕变实验设计时充分考虑了这个问题, 通过对臂丛神经拉伸预实验, 确定了其比例极限时的应变为30%, 所以实验设定恒应变为28.2%, 保证了在比例极限之内进行蠕变实验。

蠕变实验结果表明, 最初600 s之内蠕变量较大, 之后应变缓慢上升, 达到7 200 s时曲线基本达到平衡, 7 200 s蠕变量为5.6%, 蠕变曲线是以指数关系变化的。实验定量的得出了大鼠臂丛神经的蠕变数据和曲线, 应变与时间的变化规律, 归一化蠕变函数方程, 实验方法也可以适用于不同物种、不同部位的神经。臂丛神经的流变特性与其胶原纤维, 弹性纤维的构型, 排列方向, 水分的含量有关, 当胶原纤维和弹性纤维受到破坏, 排

列方向发生改变时, 当臂丛神经的水份流失时, 将会影响材料的流变特性<sup>[15]</sup>。以往研究对胎儿尸体臂丛神经进行了蠕变实验<sup>[20]</sup>, 而本实验大鼠臂丛神经的蠕变力学特性与胎儿尸体蠕变特性存在着较大差异, 说明不同物种臂丛神经的流变特性是不同的。也提示了各物种之间臂丛神经由于水分的含量, 胶原纤维排列的差异, 蠕变特性具有一定的差异。

本实验有以下两种特征: ①记录了动物臂丛神经在恒应力长时间作用下试样的蠕变数据和曲线。②以归一化的方法处理实验数据。通过实验得出的应变与时间的变化规律可以定量的分析动物臂丛神经的蠕变特性。蠕变是神经组织对变形适应性的反应, 机制尚不清楚, 但神经的蠕变特性对于认识吻合口张力, 确定神经损伤后张力临界点具有重要意义。在恒定应力作用下应变随着时间延长而不断上升的这种蠕变现象对神经移植吻合后神经修复再生具有重要意义。在长时间恒定的生理载荷作用下移植吻合的神经发生的形变可以限制其张开和移位, 有利于神经的修复, 再生和功能重建。

### 4 参考文献

- [1] Lu YP, Liu YF, Li YH, et al. Zhongguo Zuzhi Gongcheng yu Linchuang Kangfu. 2009;13(52):10321-10324. 吕雅平, 刘铁凡, 李云鹤, 等. 以函数为描述方式观察动物臂丛神经的应力松弛特性[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2009, 13(52): 10321-10324.
- [2] Gu YD. Shanghai: Shanghai Medical University Press. 1992: 8-10. 顾玉东. 臂丛神经损伤与疾病的诊治[M]. 上海: 上海医科大学出版社, 1992: 8-10.
- [3] Greening J, Dilley A, Lynn B. In vivo study of nerve movement and mechanosensitivity of the median nerve in whiplash and non-specific arm pain patients. Pain. 2005;115(3):248-253.
- [4] Van Hoof T, Mabilde C, Leybaert L. Technical note: the design of a stereotactic frame for direct MRI-anatomical correlation of the brachial plexus. Surg Radiol Anat. 2005;27(6):548-556.
- [5] Van Hoof T, Gomes GT, Audenaert E. 3D computerized model for measuring strain and displacement of the brachial plexus following placement of reverse shoulder prosthesis. Anat Rec (Hoboken). 2008;291(9):1173-1185.
- [6] Ren LD, Xie JP. Zhongguo Shengwu Yixue Gongcheng Xuebao. 1994;13(2):273-276. 任力铎, 谢佳萍. 大白鼠周围神经的生物力学性质研究[J]. 中国生物医学工程学报, 1994, 13(2):273-276.
- [7] Wang W, Yin ZS, Zhang HH, et al. Anhui Yike Daxue Xuebao. 2003;38(6):421-424. 王伟, 尹宗生, 张寒虹, 等. 大鼠臂丛神经力学特性实验研究[J]. 安徽医科大学学报, 2003, 38(6):421-424.
- [8] Bahma J, Wein B, Alhares G. Assessment and treatment of glenohumeral joint deformities in children suffering from upper obstetric brachial plexus palsy. J Pediatr Orthop B. 2007;16(4): 243-251.
- [9] Van Hoof T, Games GT, Audenaert E, et al. 3D computerized model for measuring strain and displacement of the brachial plexus following placement of reverse shoulder prosthesis. Anat Rec (Hoboken). 2008;291(9):1173-1185.
- [10] The Ministry of Science and Technology of the People's Republic of China. Guidance Suggestions (Instructions) for the Care and Use of Laboratory Animals. 2006-09-30. 中华人民共和国科技部. 关于善待实验动物的指导性意见. 2006-09-30.
- [11] Quan TG, Chen P, Tang GZ, et al. Zhongguo Zuzhi Gongcheng yu Linchuang Kangfu. 2007;12(2):289-291. 权铁刚, 陈鹏, 唐广志, 等. 中指伸肌腱缝合修复前后的应力变化特点[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2007, 12(2):289-291.
- [12] Luo M, Meng GW, Ma HS. Shengwu Yixue Gongcheng Yanjiu. 2007;26(2):131-134. 罗民, 孟广伟, 马洪顺. 骨质疏松动物模型骨的拉伸、压缩、扭转实验研究[J]. 生物医学工程研究, 2007, 26(2):131-134.

- [13] Sun SD, Zhao CF, Ma HS. Shengwu Yixue Gongcheng Yanjiu. 2007;26(2):128-130.  
孙树东,赵长福,马洪顺.腰椎松质骨应力松弛蠕变方程[J].生物医学工程研究,2007,26(2):128-130.
- [14] Zhao BL, He FJ, Zhong XC, et al. Shengwu Yixue Gongcheng Yanjiu. 2007;26(2):125-127.  
赵宝林,何凤江,钟显春,等.模拟股骨颈骨折螺丝钉内固定应力松弛分析[J].生物医学工程研究,2007,26(2):125-127.
- [15] Wang GQ, Wang ML, Ma HS. Shengwu Yixue Gongcheng Yanjiu. 2007;26(2):121-124.  
王桂琴,王墨林,马洪顺.大鼠颈总动脉与脑膜中动脉粘弹性测试[J].生物医学工程研究,2007,26(2):121-124.
- [16] Wang YF, Gao M, Ma HS. Beijing Shengwu Yixue Gongcheng. 2007;26(5):535-538.  
王玉发,高明,马洪顺.拇展肌与拇收肌移位吻接术后粘弹性实验研究[J].北京生物医学工程,2007,26(5):535-538.
- [17] Luo M, Meng GW, Ma HS. Beijing Shengwu Yixue Gongcheng. 2007;26(4):418-421.  
罗民,孟广伟,马洪顺.骨质疏松动物模型治疗的粘弹性实验研究[J].北京生物医学工程,2007,26(4):418-421.
- [18] Quan TG, Gao M, Ma HS. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu yu Linchuang Kangfu. 2009;13(4):697-700.  
权铁刚,高明,马洪顺.手指屈肌腱应力松弛蠕变实验[J].中国组织工程研究与临床康复,2009,13(4):697-700.
- [19] Cao L, Zuo DH, Ma HS. Shiyanshi Jishu yu Shiyanshi. 2005;45(4):41-42.  
曹黎,左东辉,马洪顺.自体动、静脉移植动物血管拉伸实验研究[J].试验技术与试验机,2005,45(4):41-42.
- [20] Ma HS, Zhang ZJ, Li XH, et al. Zhongguo Shengwu Yixue Gongcheng Xuebao. 2004;23(3):274-278.  
马洪顺,张忠君,黎晓华,等.胎儿臂丛神经上干粘弹性实验研究[J].中国生物医学工程学报,2004,23(3):274-278.

## 来自本文课题的更多信息--

**利益冲突:** 课题未涉及任何厂家及相关雇主或其他经济组织直接或间接的经济或利益的赞助。

**课题的创新点:** 以往的研究多以动物臂丛神经单向拉伸实验研究居多。有关动物臂丛神经的蠕变特性研究鲜有报道。文章对臂丛神经进行蠕变力学特性研究,以归一化分析的方法建立了臂丛神经的归一化蠕变函数方程,归一化蠕变函数方程的建立对研究臂丛神经的损伤机制具有重要意义。

**课题评估的“金标准”:** 应力松弛,蠕变是研究生物固体材料黏弹性力学的重要方法,应力松弛蠕变是衡量生物材料黏弹性力学特性的金标准。

**设计或课题的偏倚与不足:** 由于生物材料的个体差异性,实验数据有一定离散,但对临床还是有一定参考价值的。

**提供临床借鉴的价值:** 实验得出的臂丛神经应变与时间的变化规律,蠕变数据等为临床臂丛神经损伤修复提供了蠕变力学参数指标。

## CRTER 杂志“软组织工程”栏目关于“组织器官构建”的组稿内容:本刊学术部

- |                       |                            |                      |
|-----------------------|----------------------------|----------------------|
| ○ 生肌中药对组织工程皮肤 VEGF 表达 | 建组织工程软骨                    | ○ 组织工程皮肤植入重度联合免疫缺陷小鼠 |
| ○ 原位构建工程化心肌组织的研究      | ○ BMSCs 与 PLGA 支架构建组织工程化软骨 | 的研究                  |
| ○ 组织工程皮肤在经皮吸收的应用      | ○ 组织工程化皮肤低温保存的研究           | ○ 组织工程人角膜内皮在兔角膜透明中的效 |
| ○ 组织工程化静脉瓣的研究         | ○ 在兔胸骨舌骨肌内构建组织工程管状软骨       | 果研究                  |
| ○ 组织工程带血管蒂脂肪瓣生长研究     | ○ 血管内皮祖细胞在组织工程皮肤构建的研       | ○ 组织工程化细胞移植修复关节软骨的损伤 |
| ○ 生物反应器在血管组织工程中的研究    | 究                          | ○ 内皮祖细胞在血管组织工程化过程中的生 |
| ○ 组织工程化肌腱修复运动训练致肌腱组织  | ○ 细菌纤维素构建组织工程角膜基质的方法       | 物学意义                 |
| 缺损                    | ○ 组织工程化肌腱应用于肌腱运动损伤的修       | ○ 组织工程心肌片层的体外构建      |
| ○ 聚乙醇酸-乳酸共聚物复合生长因子体内构 | 复                          | ○ 组织工程人角膜内皮的体外重建     |