DOI:10.16016/j.1000-5404.1995.03.023

技术与方法

大白鼠坐骨神经在活体状态下的轴向力学性质

Axial biomechanical properties of the rat scistic nerve *in vivo*

成海平* 何光篪 刘正津 (第三军医大学基础部解剖学教研室)重庆,630038
邹昭文 (重庆建筑大学)重庆,630000
张立楚 (重庆建筑工程专科学校)重庆,630000

离体软组织的生物力学试验方法已被广泛采用,而活体软组织,特别是神经组织的活体力学试验则报道甚少。神经组织是人及动物体内耐受缺O_2能力最差、理化环境要求极其严格的组织,要维持神经系统的正常结构和生理功能,不仅供O_2要充分,而且对离子强度、pH值和温度等要求极高,离体后易于失活,神经组织的离体力学试验的结果很不可信。因此,神经组织的生物力学研究,一般需在活体上进行[1~3],但活体软组织的形态和生理环境以及力学试验的方法远较离体软组织复杂,目前还没有一种满意方法在活体上进行拉伸试验。本实验采用HLC-I型生物活组织力学试验机,将大白鼠坐骨神经(SCN)视为柔索,根据柔索的受力特性,用"弦式加载"法[3],对活体状态下的SCN进行轴向拉伸试验,初步探讨大白鼠坐骨神经在活体状态下的生物力学特性。

1 材料和方法

成年Wistar大鼠坐骨神经6例,动物用3%戊巴比妥钠腹腔麻醉(3 mg/kg),暴露坐骨神经,钝性分离,在HLC-I型生物活组织力学试验机上进行"弦式加载"试验。将坐骨神经定位在弦式加载定向器的套钩上,中部加载,被测部分用油溶性颜料设标志(图1)。

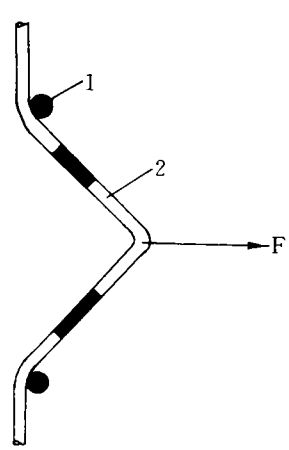


图1 弦式加载试验原理图

* 现在本校附属西南医院康复理疗科

采用程控摄相方式作非接触性位移记录,底片记录的位移,采用CC-I型显微尺寸分析仪测量。

力学试验完毕后,将SCN迅速进行横断面冰冻切片,苏木精染色,用图像分析系统进行原始断面的测量。

2 实验数据处理与分析

2.1 弦式加载(活体拉伸试验)受力分析(图2)

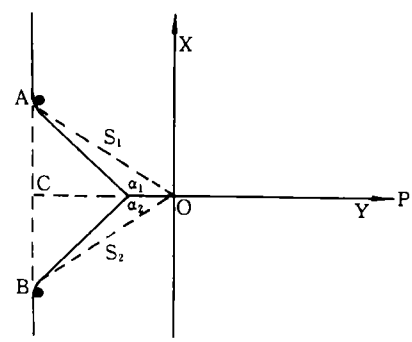


图2 弦式加载试验受力分析

设:弦式加载定向器套钩A,B之间的距离为L,加载过程中某一时刻的弦式加载负荷为P,P的方向与L垂直作用点为O,$AO=S_1$,$BO=S_2$,$CO=H$,$CB=X$,$\angle COA=\alpha_1$,$\angle COB=\alpha_2$,S_1、S_2方向的分力分别为R_1、R_2,$Sin\alpha_1$、$Sin\alpha_2$,$Cox\alpha_1$、$Cos\alpha_2$分别为a,b,c,d。根据二力平衡条件和平行四边形法则

$$R_1=pb/(bc+ad) \quad (1)$$

2.2 应力和伸长度的计算

设坐骨神经变形前后的断面面积为S_0,S,长度为L_0,L,并假设鼠坐骨神经为不可压缩材料,变形前后的体积相等,那么:

$$S_0L_0=SL \quad (2)$$

$$S=S_0L_0/L \quad (3)$$

引伸长度定义:

$$\lambda=L/L_0 \quad (4)$$

则

$$S=S_0/\lambda \quad (5)$$

Cauchy应力为:

$$\sigma=R_1/S \quad (6)$$

2.3 活体鼠坐骨神经的轴向线性本构方程

通过弦式加载试验,采用2.1和2.2的算法进行数据处

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

理，获得 Euler 应力和伸长度之间一一对应的实验数据，根据数据类型，对 σ 和 λ 进行直线回归分析（见表 1），和直线拟合（图 3），得直线回归方程（7）式。

$$\sigma=350.9306\lambda-351.6922 \quad (7)$$

$$\sigma=350.9306(\lambda-1.002) \quad (8)$$

表 1 活体组 Wister 大鼠 SCN 材料常数

No	a± s (kPa)	b± s (kPa)	r± s
1	−395.5913	394.5363	0.9915
2	−472.3387	470.5321	0.9734
3	−297.5818	297.0718	0.9727
4	−358.7789	356.6980	0.9663
5	−267.1779	268.0648	0.9960
6	−318.6848	318.6806	0.9897
X	−351.6922	350.9306	0.9816
s	71.4218	73.5484	0.0123

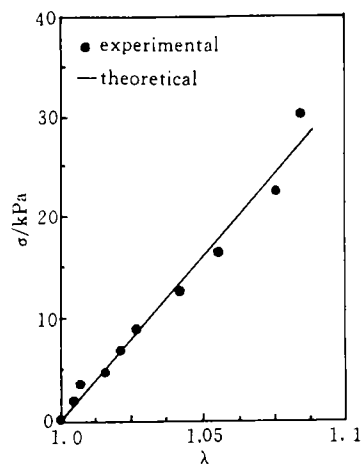


图 3 活体 SCN 应力（σ）—应变（λ）关系拟合曲线

根据虎克定律：

$$\epsilon=\sigma/E^{[4]} \quad (9)$$

其中 $\epsilon=\Delta L/L_0$，E 为弹性模量。

$$\because \lambda=(L_0+\Delta L)/L_0$$
$$=L_0/L_0+\Delta L/L_0$$
$$=1+\epsilon$$
$$\therefore \epsilon=\lambda-1 \quad (10)$$

由（9）式得

$$\sigma=E\epsilon \quad (11)$$

将（10）代入（11）

$$\sigma=E(\lambda-1) \quad (12)$$

（8）式与（12）式的形式十分相拟，（12）式中右边被乘项与（8）式的被乘项几乎相等：

$(\lambda-1.002)\approx(\lambda-1)$

另外，回归分析，$r=0.9816\pm0.0123$

所以大白鼠坐骨神经在 0～36 kPa 的轴向应力范围内，应力变关系基本服从虎克定律。弹性模量为 350.9306 kPa。

3 讨论

神经组织的正常生物力学行为，象神经传导功能一样，必需在正常生理条件下，才能反映出它的固有特性。如果轴突中断（如离体），轴浆双向流动被阻断。正常情况下，神经微管上含有 ATP，囊泡壁上有 ATP 酶和能与微管相附着的结合点；ATP 酶作用于 ATP，后者放出能量使微管与囊发生附着结合，而后脱离接触，这些生理现象和生理结构在离体后必然受到破坏而影响它们真实的力学特性。为了保持神经组织在活体状态下进行生物力学试验，Orf（1978 年）采用圆柱体移置法给兔坐骨神经施加张力，结合形态观察确定临界切除长度，但由于未能测定力的大小，最终又采取了离体拉伸试验。通过离体试验结果来推算兔坐骨神经在活体状态下的应力应变关系，结果表明：兔坐骨神经在活体状态下的应力应变关系在比例极限内，成线性相关。Chang（1988 年）介绍了一种活体拉伸试验方法，在 Instron 试验机上，附加了立体不锈钢架来倒置固定动物（猫），再设计了三个金属环并用优质胶将环粘在猫脊髓的三个不同节段表面，下环连在试验机的下十字关上，中环和上环分别连接在负荷箱和上十字关上，实现了活体拉伸功能。这种方法的固定方式太复杂，端点效应易引起金属环从脊膜上滑脱。而本试验采用“弦式加载”法，一方面，试件无损定位在定向器的套钩上，而不是将试件卡死，改变了传统轴向拉伸试验的夹持方式。拉伸过程中，试件在定向器的套钩上可自由滑动，保持了神经组织的生物学活性，另一方面，遵循了轴向拉伸的基本原理，而且试件夹持方式十分简便。实验结果表明：活体坐骨神经的轴向力学特性基本上服从虎克定律（见式 8），这一结果与 Orf 的试验结果相似，应力应变之间关系为直线相关，其理论值与实验值具有良好的拟合性。相关系数 $r=0.9816\pm0.0123$。

关键词 坐骨神经；活体；生物力学

中图法分类号 R318.01

参考文献

1 Chang GL, Hung TK, Fung WW. An *in vivo* measurement and analysis of viscoelestic properties of the spinel cord of cats. J Biomech Eng, 1988; 110: 115

2 Orf G. Critical resection length and gap distance in peripheral nerves. Acts Naurochiurgica, 1987; 26(Suppl): 1

3 成海平，何光臾，刘正津. HLC－1 型生物活组力学试验机的研制和应用. 四川解剖学杂志，1993; 12(1、2): 15

（收稿：1994-07-18；修回：1995-05-25）

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net