

# 大白兔桡骨不同愈合期扭转测试

宋 先 邨

**提 要** 本文介绍了一种大白兔桡骨扭转测试方法及自制的小型扭矩——转角自动绘图装置，并根据桡骨扭矩——转角曲线，判读得扭矩和转角的误差为1%，刚度和能量吸收的误差为2%。试验结果表明：正常状态兔桡骨左右侧扭转性能有一定差异，磁疗愈合较自然愈合性能有显著提高。

## 一、前 言

测量管状骨头承扭能力是研究骨头力学特性的一种适当方法。因为在扭矩作用时，骨头试样上各点沿不同方向同时存在拉伸、压缩和剪切应力，而且不象弯曲时试验受支承位置的影响。

定量分析骨头的扭转性能，需要精确测定其力学参数。本文简介了一种扭转测试方法，即利用自制的一套扭转测试装置，自动绘制兔骨扭矩——转角( $M-\varphi$ )曲线。

从 $M-\varphi$ 曲线上判读得最大扭矩 $M_{max}$ 及其相应的转角 $\varphi_{max}$ ，并算得刚度 $R_{max}$ 和能量吸收 $E_{max}$ 。对转角为8度时<sup>[1][2]</sup>，也判读得扭矩 $M$ 、刚度 $R$ 和能量吸收 $E$ 。由此得到的扭矩和转角的误差为1%，刚度和能量吸收的误差为2%。

根据医学研究的需要，这次扭转测试的有正常状态兔桡骨和人工切断不同愈合期桡骨。不同愈合期状态下，对一只兔的两侧进行了磁疗愈合与自然愈合的比较。试验结果表明：正常状态兔骨左右侧性能有一定差异，且左右侧性能高低带有随机性；磁疗愈合较自然愈合性能有显著提高。

所试验的55根兔骨，全部由湖南医学院提供，磁疗方法另有文章。

## 二、测试的装置与方法

利用电测自动绘图法。电测法就是把扭矩和转角转换成电信号，经放大后进行记录。

当力臂不变时，就可以用力传感器作为扭矩的信号传递。选定本室自制的弓形传感

器<sup>[3]</sup>传递力信号。这种传感器精度高，重量轻（仅8克重）。为使加载过程力臂长度保持不变，采用了圆形盘。力传感器与圆形盘力臂组成了扭矩信号传递。

转角信号传递采用电位计法。在力臂圆盘边缘贴上高精度线性电位器，电位器两端供以直流电压，通过滑动触头输出转角电信号，由函数记录仪放大并记录。

扭力源采用橡皮管匀速注水加载，这种加载方式，可使试样获得缓慢、均匀、连续的扭力。

整个测试系统结构比较简单，配用仪器具有通用性，信号传递方框图如图1所示，测试系统标定结果为：扭矩满量程误差不大于0.25%，线性误差不大于0.40%；转角满量程误差不大于0.10%，线性误差不大于0.30%。

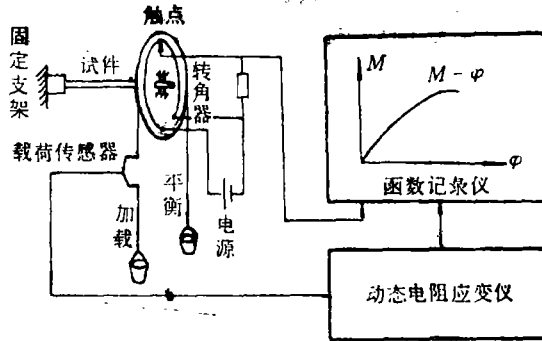


图 1

### 三、试验结果与误差分析

#### 1. 试验结果

对于正常兔骨，断口为大约 45° 角的斜断口，引起破裂的主要是拉伸应力。不同愈

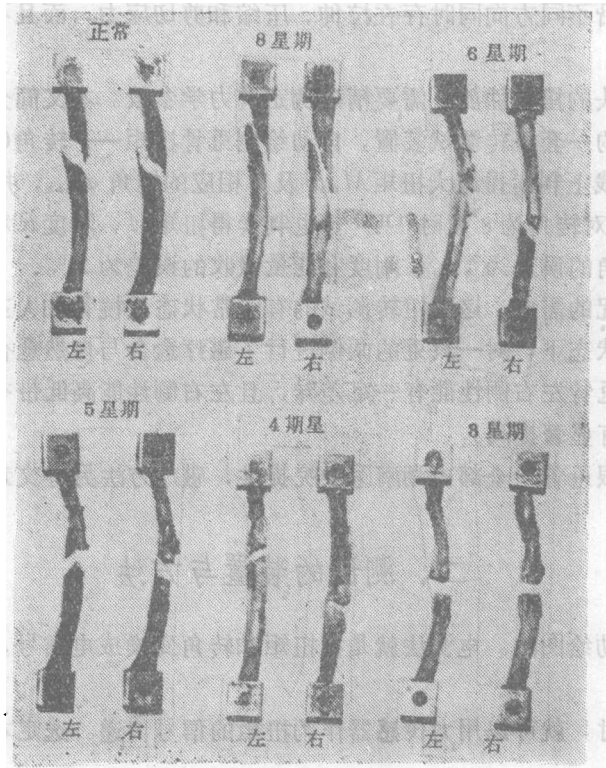


图 2

合期的试样断口，视愈合时间而定，愈合期长的，一般为  $45^\circ$  角斜断口，愈合期短的，断口一般在人工切断处，且不为斜断口。兔骨断口见图 2。

试验中得到的  $M-\varphi$  曲线，如图 3 所示。图中  $M-\varphi$  曲线的初始段  $oo'$  是竖直线，表现出只有载荷增加没有角位移（转角），这是因为电位器绕组上滑动弹簧触头摩擦力所致。这一摩擦力通过多次反复标定，证实在实验过程中是常量。因此，在处理数据时，应去掉  $oo'$  段，在新的坐标  $M\circ\varphi$  下进行计算，这样处理的物理意义，是消除了转角器触头所产生的摩擦力矩。

根据  $M-\varphi$  曲线，取四种骨头扭转性能参数：(1) 最大扭矩，(2) 转角，(3) 刚度，(4) 能量吸收。刚度是扭矩与转角之比，能量吸收是  $M-\varphi$  曲线下的面积，即图 4 所示阴影面积。对于最大扭矩对应的刚度和能量吸收分别记为  $R_{max}$  和  $E_{max}$ 。

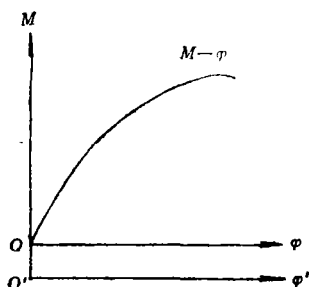


图 3

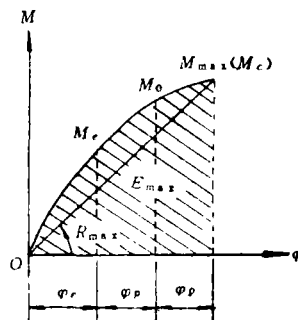


图 4

愈合期短的兔骨，其角位移很大。对这样的曲线，为了比较结果，在角位移为  $8^\circ$  时，求其扭矩  $M_8$ 、刚度  $R_8$  和能量吸收  $E_8$ 。

计算  $M-\varphi$  曲线下的面积，采用辛卜生积分公式，即

$$E = \frac{1}{2} M_0 \varphi_0 + \frac{\varphi_p}{3} (M_0 + M_0 + 4M_0)$$

式中符号意义见图 4。在具体计算中，对有些  $M-\varphi$  曲线下的面积，分成多块进行计算。

由记录仪自动绘制的  $M-\varphi$  曲线（原始曲线见图 5），计算得的正常兔骨和不同愈合期兔骨的扭矩、转角、刚度和能量吸收见表 1 和表 2。

根据统计方法，计算出兔骨左右侧性能差，见表 3。

全部愈合状态兔骨左侧为磁疗愈合，右侧为自然愈合。

## 2. 误差分析

根据扭转测试系统，对测试精度作如下分析：

扭矩有三种因素：载荷  $P$ 、扭力臂  $L$ 、载荷读数。载荷误差  $\delta_p$  不大于 0.1%，力臂（圆盘的半径）误差  $\delta_L$  不大于 0.4%。转角有两种因素：转角  $\varphi$  和转角读数。转角器误差 不大于 0.3%，用辛卜生公式计算  $M-\varphi$  曲线下的面积误差不大于 0.4%。

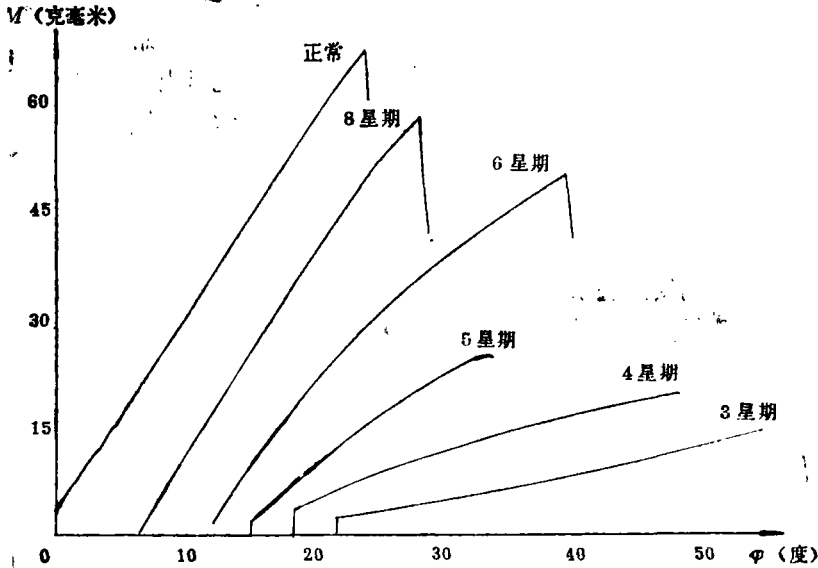


图 5

计算扭矩 $M$ 、转角 $\varphi$ 、刚度 $R$ 和能量吸收 $E$ 用下列式子:

$$M = PL; \varphi = \text{转角读数}$$

$$R = PL/\varphi; E = KPL\varphi$$

根据上述各种误差因素,如采用绝对值和法来算, $M$ 、 $\varphi$ 、 $R$ 、 $E$ 的相对误差 $\delta_M$ 、 $\delta_\varphi$ 、 $\delta_R$ 、 $\delta_E$ ,则

$$\delta_M = 0.8\%; \delta_\varphi = 0.7\%$$

$$\delta_R = 1.5\%; \delta_E = 1.9\%$$

各误差因素都是独立的随机误差,其正负号引起同号的误差的概率不是很大,所以采用绝对值和法偏于保守,尤其对误差因素多的,计算就更为保守。采用方和根法计算,其误差比上列数据小。因为上列误差已很小,满足要求,所以,最后取

$$\delta_M = \delta_\varphi = 1\%; \delta_R = \delta_E = 2\%$$

上面分析了系统误差。再看正常状态兔骨扭转性能,从表1中看到,兔骨分散性是大,对于整体的分散性,是因为兔子体重即骨的几何尺寸大小悬殊。试验中看到,有的兔骨很粗,有的则很细,粗的兔骨承扭能力强,细的则弱,这就造成了整体兔骨性能的分散性。对于一只兔骨的两侧桡骨,扭转性能的差别有的超过10%,这主要是由于兔本身发育不平衡引起的。试验结果表明:正常兔骨左右侧扭转性能高低带有随机性。

#### 四、几点看法

1. 人工切断愈合8星期时,兔骨的扭转性能接近正常状态的性能。

表 1 正常兔软骨扭转性能

试样编号	$M_{max}$ (N·m)		$M_8$ (N·m)		$\varphi_{max}$ (度)		$R_{max}$ (N·m/度)		$R_8$ (N·m/度)		$E_{max}$ (N·m·度)		$E_8$ (N·m·度)	
	左	右	左	右	左	右	左	右	左	右	左	右	左	右
1	0.249	0.257	0.093	0.108	33.9	24.2	0.0079	0.0108	0.0116	0.0135	5.298	3.512	0.400	0.432
2	0.365	0.307	0.162	0.150	23.3	21.1	0.0157	0.0146	0.0202	0.0188	4.985	3.724	0.671	0.600
3	0.388	0.328	0.150	0.181	29.3	23.3	0.0133	0.0138	0.0188	0.0164	6.872	4.273	0.635	0.524
4	0.466	0.650	0.203	0.219	19.3	25.7	0.0255	0.0253	0.0254	0.0274	4.304	8.908	0.812	0.677
5	0.503	0.538	0.171	0.166	25.8	29.8	0.0195	0.0181	0.0213	0.0206	6.626	8.540	0.712	0.685
6	0.521	0.424	0.149	0.116	36.3	30.0	0.0143	0.0141	0.0186	0.0145	10.559	6.478	0.594	0.465
7	0.535	0.524	0.190	0.225	25.8	25.8	0.0207	0.0203	0.0237	0.0281	7.345	6.228	0.808	0.900
8	0.614	0.705	0.210	0.225	24.0	26.4	0.0256	0.0248	0.0269	0.0281	7.527	10.690	0.841	0.900
9	0.758	0.682	0.262	0.246	20.9	25.8	0.0362	0.0265	0.0353	0.0307	7.925	9.585	1.130	0.983
平均	0.489	0.491	0.179	0.176	26.4	26.1	0.0198	0.0167	0.0233	0.0220	6.847	7.098	0.733	0.705

表 2 不同愈合期免骨扭转性能

愈合期	试样编号	$M_{max}$ (N·m)		$M_g$ (N·m)		$\varphi_{max}$ (度)		$R_{max}$ (N·m/度)		$R_g$ (N·m/度)		$E_{max}$ (N·m·度)		$E_g$ (N·m·度)	
		左	右	左	右	左	右	左	右	左	右	左	右	左	右
8 星期	1	0.318	0.536	0.252	0.219	11.7	21.3	0.0272	0.0252	0.0315	0.0274	2.119	6.101	1.053	0.677
	2	0.391	0.141	0.219	0.099	15.8	16.8	0.0248	0.0084	0.0274	0.0123	3.550	1.523	0.877	0.412
	3	0.609	0.480	0.296	0.296	21.8	13.9	0.0279	0.0345	0.0370	0.0370	7.789	3.575	1.256	1.068
	平均	0.439	0.386	0.256	0.205	16.4	17.3	0.0266	0.0227	0.0320	0.0256	4.486	3.733	1.062	0.786
6 星期	1	0.174	0.166	0.028	0.051	40.9	39.2	0.0043	0.0042	0.0037	0.0064	3.380	3.994	0.118	0.204
	2	0.328	0.168	0.121	0.065	27.8	28.4	0.0118	0.0059	0.0151	0.0081	5.167	2.509	0.483	0.259
	3	0.455	0.340	0.178	0.172	27.2	20.6	0.0167	0.0163	0.0223	0.0215	7.085	4.165	0.712	0.688
	4	0.524	0.412	0.179	0.175	30.5	20.0	0.0172	0.0206	0.0224	0.0219	9.469	3.598	0.706	0.700
平均	0.370	0.272	0.127	0.116	31.6	27.1	0.0125	0.0118	0.0159	0.0145	6.270	3.592	0.505	0.463	

续表 2

5 星 期	1	0.219	0.217	0.122	0.110	16.5	16.3	0.0133	0.0119	0.0153	0.0136	2.014	2.205	0.468	0.441
	2	0.409	0.465	0.265	0.276	14.6	23.0	0.0278	0.0202	0.0332	0.0348	3.057	6.950	1.116	1.218
	3	0.453	0.427	0.216	0.184	26.3	22.1	0.0160	0.0193	0.0270	0.0230	6.595	5.331	0.863	0.736
	4	0.524	0.440	0.207	0.174	22.6	24.6	0.0329	0.0177	0.0259	0.0217	6.540	6.277	0.830	0.694
	平均	0.401	0.367	0.203	0.167	20.6	22.1	0.0200	0.0173	0.0254	0.0233	5.052	5.191	0.830	0.772
4 星 期	1	/	0.118	/	0.097	/	13.7	/	0.0086	/	0.0121	/	1.032	/	0.366
	2	0.160	0.057	0.065	0.013	30.3	37.8	0.0053	0.0015	0.0061	0.0017	3.013	1.162	0.318	0.052
	3	0.352	0.264	0.063	0.056	39.2	40.6	0.0064	0.0070	0.0066	0.0070	5.650	5.749	0.212	0.224
	4	0.266	0.144	0.168	0.126	13.7	11.1	0.0210	0.0130	0.0235	0.0157	1.932	0.662	0.860	0.530
	平均	0.233	0.151	0.102	0.073	27.7	25.6	0.0109	0.0075	0.0127	0.0091	3.532	2.201	0.443	0.299
3 星 期	1	0.065	0.032	0.010	0.007	40.8	39.3	0.0016	0.0008	0.0013	0.0009	1.320	0.566	0.041	0.029
	2	0.135	0.063	0.019	0.008	38.5	41.2	0.0035	0.0015	0.0024	0.0010	2.327	1.145	0.077	0.033
	3	0.216	0.253	0.096	0.110	26.2	24.3	0.0063	0.0104	0.0120	0.0136	3.475	3.640	0.416	0.441
	4	0.280	0.255	0.195	0.185	18.7	16.5	0.0212	0.0186	0.0244	0.0232	1.950	2.623	0.864	0.624
	平均	0.177	0.151	0.060	0.076	29.6	30.6	0.0087	0.0066	0.0100	0.0097	2.266	1.999	0.335	0.332

2. 人工切断愈合兔骨的扭转性能随着愈合期的增加而提高, 在4—5星期的阶段内, 提高的幅度较其它愈合期要大。

3. 人工切断磁疗愈合(左侧)与自然愈合(右侧)有显著差异。其中愈合期为4星期时差异最大, 即最大扭矩、刚度、能量吸收在90%以上; 转角8度时, 扭矩、刚度、能量吸收在140%以上。

参加实验工作的还有管于球同志。

本试验得到陈荣锦副教授的指导, 在此特表谢意。

表3 兔骨左右侧扭转性能差

差值% 状态	项目	$M_{max}$	$\varphi_{max}$	$R_{max}$	$E_{max}$	$M_8$	$R_8$	$E_8$
正 常		13.7	18.7	10.3	35.6	12.0	12.0	12.0
8 星 期		54.4	36.0	61.3	109.7	45.4	45.9	50.2
6 星 期		40.3	21.4	22.1	43.1	12.2	12.6	12.2
5 星 期		3.6	-6.4	15.2	4.5	10.7	10.6	10.5
4 星 期		89.8	0.1	107.8	91.2	146.0	144.0	185.7
3 星 期		54.1	-5.2	76.8	49.6	43.3	44.2	41.8

注: 左右差(%)计算式

$$\text{正常状态} \frac{|左-右|}{[左+右]/2} \times 100\% [4]; \quad \text{愈合状态} \frac{左-右}{右} \times 100\%$$

### 参 考 文 献

- [1] J. Biomethanics, Temporal Changes in the Physical of Healing Fractures in Rabbits, 1977. Vol. 10, PP 689-699.
- [2] The Journal of Bone and Joint Surgery; The Four Biomechanical Stages of Fracture Repair, 1977. Vol. 59-A, No. 2.
- [3] 宋先骅、郑文龙, 旧试验机的技术改造, 试验机与材料试验, 1982年第4期。
- [4] Acta orthop. Scand. 49, 497-505, Studies on Mechanical Strength of Bone, 1976.



# A Torsion Test of a Big White Rabbit Radii in Different Period of Healing

Song Xiancun

## Abstract

This paper introduces a testing method of the torsion of a big white rabbit radii and a small-size self-made torque-angle-automatic drawing device. According to torque-angle curves of the radii, the error of torque moment and the torsion angle is one percent and the error of torsional rigidity and energy absorption is two percent. The testing results show, there is certain difference in torsional properties between the rabbit left radius and its right radius in the normal condition, there is a more remarkable increase in the properties of magnetic therapy healing than those of natural healing.