

# 医用硬组织黏接胶黏接胫骨中段蝶形骨折的生物力学研究\*

吕波<sup>1</sup> 屠重祺<sup>1,Δ</sup> 裴福兴<sup>1</sup> 陈孟诗<sup>2</sup> 刘雷<sup>1</sup>

1(四川大学 华西医院骨科, 成都 610041)

2(四川大学 力学系, 成都 610065)

**摘要** 在粉碎性骨折的治疗中,数目较多的骨折碎块的固定仍是一个临床常见的难题。医用硬组织黏接胶是治疗粉碎性骨折的又一新方法。采用完整新鲜人胫骨、骨块缺失的新鲜人胫骨、黏接后的新鲜人胫骨在扭转、三点弯曲、压缩等状态下的应力-应变指标变化,研究医用硬组织黏接胶黏接人胫骨蝶形骨块后的力学指标的改变。在弯曲、扭转、压缩等实验中,胫骨中段的蝶形骨缺损,显著减弱了胫骨的抗弯曲、抗扭转、抗压缩的强度。在扭转实验中,完整胫骨的扭距大于黏接后的胫骨,黏接后胫骨的扭距大于缺损的胫骨。在压缩实验中,胶体断裂前,完整胫骨的压缩曲线斜率大于黏接后的胫骨的压缩曲线斜率( $P < 0.01$ ),黏接后胫骨压缩曲线斜率大于缺损胫骨的压缩曲线斜率,并有统计学显著性差异( $P < 0.05$ )。三点弯曲实验中,在胶体断裂前,完整胫骨的曲线斜率与黏接后的胫骨无显著差异( $P > 0.05$ ),黏接后胫骨与缺损的胫骨曲线斜率有显著差异( $P < 0.05$ )。黏接后的胫骨,其弹性模量、刚度系数与完整的胫骨无显著差异( $P > 0.05$ )。医用硬组织黏接胶黏接蝶形骨块后,能显著提高其抗弯曲、抗扭转、抗压缩应力。在临床操作中,可以最大程度上减少骨折碎块固定时周围的软组织剥离,有利于骨折的愈合。

**关键词** 医用硬组织黏接胶 新鲜人胫骨干 应力 压缩 弯曲 扭转

## Biomechanical Study of Medical Hard Tissue Adhesive Bonding Butterfly Fracture Fragment in Middle Part of Fresh Human Tibia

Lu Bo<sup>1</sup> Tu Zhongqi<sup>1,Δ</sup> Pei Fuxing<sup>1</sup> Chen Mengshi<sup>2</sup> Liu Lei<sup>1</sup>

1(Orthopaedic Department of West China Hospital, Sichuan University, Chengdu 610041, China)

2(Mechanical Engineering Department, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

**Abstract** A medical hard tissue adhesive, octyl-a-cyanoacrylate, was tested in 6 fresh human tibiae. A 90° butterfly fracture fragment was made in the middle part of tibia by bandsaw. The compressive stress, torsional stress and angular deflection were assessed before and after osteotomy respectively. After adhesive bonding, the compressive stress, torsional stress and angular deflection were tested again. The butterfly fracture fragment decreased the bending strength, torsion strength, yielding strength of tibia bone. In torsion test, the torque of tibia before osteotomy is greater than bonded tibia, the bonded tibia is greater than that of the unbonded tibia. In compression test, before adhesive bonding broken, the compressive curve slope of tibia before osteotomy is greater than that of bonded tibia, the bonded tibia is greater than that of the unbonded tibia. In angular deflection test before adhesive bonding of broken, the curve slope of tibia before osteotomy is not different from that of bonded tibia ( $P > 0.05$ ), the slope the bonded tibia is greater than the slope of unbonded tibia ( $P < 0.05$ ). The elastic modulus, rigidity coefficient and moment of area inertia show no statistical difference between the bonded tibia and intact tibia. The used of medical hard tissue adhesive to bond the fracture fragment could improve the bending strength, torsion strength, yielding strength of tibia bone. In operation, it can reduce the soft tissue injury when the fracture fragment is being fixed, and this will benefit bone healing.

**Key words** Medical hard tissue adhesive Fresh human tibia shaft Stress Compression Bending Torsion

### 1 前言

随着高能创伤所致骨折的严重程度增高及发

病率逐渐增长,粉碎性骨折已成为临床上常见的难治性疾病<sup>[1]</sup>。在其中,骨折碎块的固定不当,是导致内固定失败、骨折延迟愈合或不愈合的主要原因之一。目前常用的骨折碎块固定材料有螺丝钉、钢丝等,但对于数目较多的骨折碎块,其固定仍是一个临床常见的难题。医用硬组织黏接胶是以 a-氰基丙烯酸

\* 四川省科技厅基金资助项目(1007)

Δ联系人。E-mail: Intern-2@hotmail.com

酸高碳烷酯为主体改性后研制而成,在湿性环境中能产生较大黏接强度,是治疗粉碎性骨折的又一新方法<sup>[2]</sup>。Kim<sup>[3]</sup>和 Cheski 等<sup>[4]</sup>报道,氰基丙烯酸基酯黏接胶治疗眶周、眶底、颧骨,及前鼻窦的骨折,取得良好疗效,但对负重骨黏接后的生物力学改变还缺乏相关的实验研究。

## 2 材料和方法

### 2.1 材料

医用硬组织黏接胶购自广州白云医用胶有限公司,主体为  $\alpha$ -氰基丙烯酸正辛酯。新鲜人胫骨干,长 15~20 cm,由四川省骨库中心提供,生理盐水纱布包裹后-80℃保存。

### 2.2 方法

在 JL-WAW60 微机控制电液伺服万能试验机(吉林金力实验技术有限公司)、WD-10A 万能试验机(广州实验仪器厂)、NJ-50B 扭转试验机(银川青山实验机厂)上,首先测定完整的新鲜人胫骨在扭转、三点弯曲、压缩等状态下的应力-应变指标,然后于测试前一天,在 37℃的生理盐水中复温,沿胫骨嵴制出占周径 1/2 的 90°的蝶形骨折模型,测定胫骨缺损状态下的扭转、三点弯曲、压缩等应力-应变指标;将缺损的胫骨截骨面用干纱布擦干后,用医用硬组织黏接胶将蝶形骨块原位黏接,24 h 后测定扭转、三点弯曲、压缩等应力-应变指标。具体方法如下:

**2.2.1 扭转实验** 将新鲜人胫骨骨干用 2.5 mm 克氏针固定在扭转试验机上,测定扭 1°~8°的完整、缺损、黏接后的扭距,绘出扭转曲线。

**2.2.2 压缩实验** 将新鲜人胫骨制成两端骨面平行的标准试件,在试验机上测定其压应力-应变曲线,并测定其曲线斜率。

**2.2.3 三点弯曲实验** 在试验机上,胫骨嵴向下,于胫骨后方加载应力,分别测定完整的胫骨、缺损的胫骨及黏接后胫骨的应力-应变曲线,测定曲线斜率、惯性矩和弹性模量、刚度系数。人胫骨干中段截面外形近似于为三角形,内形近似于椭圆形。其惯性矩为:

$$I = BH^3/36 - \pi bh^3/64.$$

式中: B 为三角型的底边长, H 为高, b 为椭圆形的短径, h 为长径。

在小变形、骨材料为各同向性的基本假设下,在集中应力 P 的作用下,在三点弯曲实验时,试件跨中挠度 f 与力学量的关系如下:

$$f = -pL^3/48EI$$

式中: L 为支座间的距离,即长骨的跨度; E 为骨的弹性模量。在曲线的线性范围内,相应 f 值,可解得骨的弹性模量:  $E = PL^3/48If$

设整体骨的抗弯刚度(EI)定义为刚度系数(K),则  $K = PL^3/48f^{[5]}$

## 3 结果

### 3.1 扭转实验

扭转实验结果如图 1 所显示的完整的胫骨干、缺损的胫骨干、碎块黏接后的胫骨干在扭转实验机上扭转 1°~8°的曲线结果。完整的胫骨较黏接后的胫骨抗扭转强度明显强,黏接后的胫骨较缺损的胫骨抗扭转强度明显强。

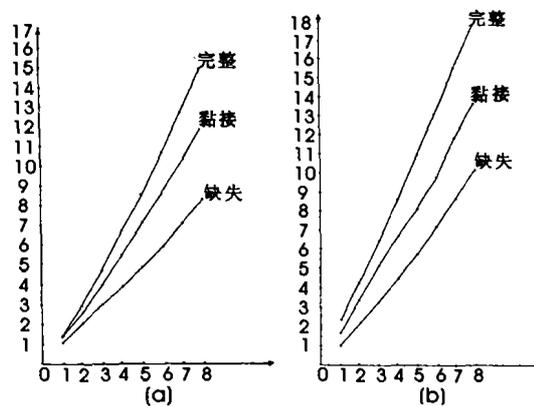


图 1 扭转实验结果

(a)正向扭转结果;(b)反向扭转结果

Fig 1 Torsional test curve

(a)Curve of obverse torsion;(b)Curve of reverse torsion

### 3.2 压缩实验

完整的胫骨、黏接后的胫骨、缺损的胫骨压缩应力-应变曲线图如图 2。

完整的胫骨、黏接后的胫骨、缺损的胫骨压缩曲线斜率见表 1。

表 1 压缩曲线斜率(KN/mm)

Table 1 The slope of compressive curve(KN/mm)

试件 Test sample	完整 Before osteotomy	黏接 After bonding	缺失 After osteotomy
1	20.00	14.05	11.71
2	26.49	15.10	8.88
3	25.79	15.22	13.84
4	19.60	19.49	14.49
5	20.42	13.11	9.59
	22.46±3.38	15.39±2.45	11.70±2.490

完整与黏接  $t = 3.789 > 3.3, P < 0.01$

黏接与缺失  $t = 2.364 > 2.306, P < 0.05$

表 1 中所示,压缩应力作用下,完整的胫骨、碎

块黏接后的胫骨、缺损的胫骨其压缩应力-应变曲线的曲线斜率有显著差异。完整的胫骨的曲线斜率大于黏接后的曲线斜率,黏接后的胫骨的曲线斜率大于缺损的胫骨的曲线斜率。

### 3.3 三点弯曲实验

完整的胫骨、碎块黏接后的胫骨、缺损的胫骨三点弯曲曲线见图 3。

完整的胫骨、黏接后的胫骨、缺损的胫骨三点弯曲曲线斜率见表 2。

如表 2 所示,完整的胫骨的曲线斜率大于黏接后的胫骨,黏接后的胫骨的曲线斜率大于缺损的胫骨,完整的胫骨曲线斜率与黏接后的胫骨相比无显著差异,黏接后胫骨的曲线斜率与缺损的胫骨的曲线斜率有显著差异。

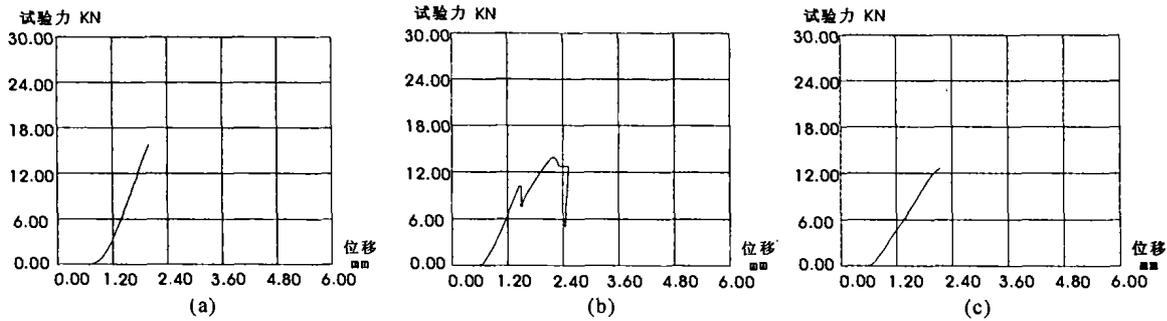


图 2 压缩曲线

(a)完整压缩曲线;(b)黏接后压缩曲线;(c)缺失压缩曲线

Fig 2 Compressive curve

(a) Compressive curve of tibia before osteoectomy; (b) Compressive curve of tibia after bonding; (c) Compressive curve of tibia after osteoectomy

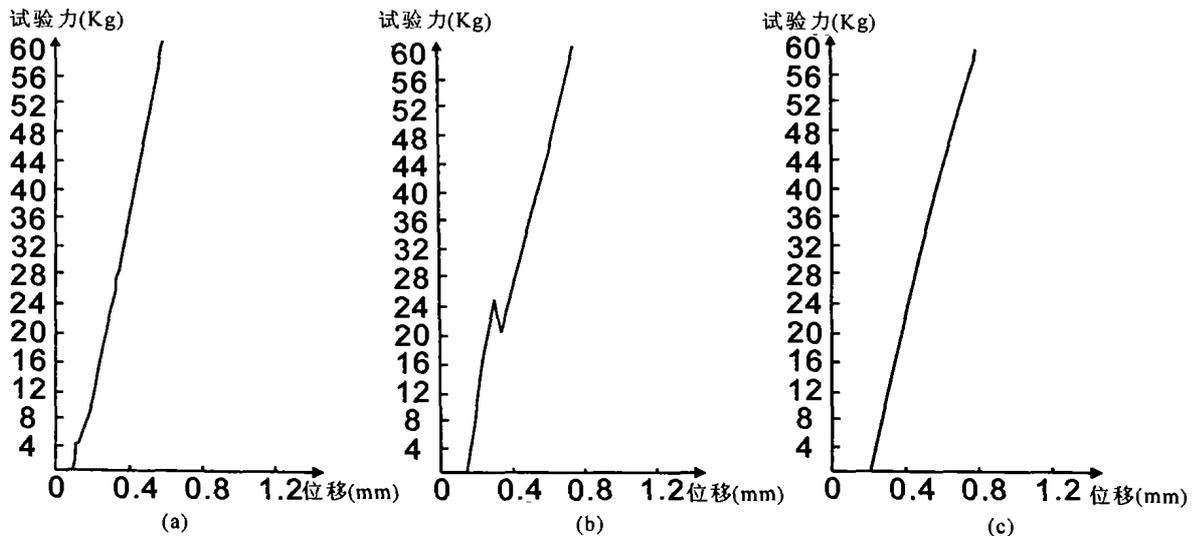


图 3 弯曲曲线

(a)完整弯曲曲线;(b)黏接后弯曲曲线;(c)缺失弯曲曲线

Fig 3 Angular deflection Curve

(a)Angular deflection before osteoectomy; (b)Angular deflection after bonding; (c)Angular deflection after osteoectomy

表 2 三点弯曲曲线斜率(KN/mm)

Table 2 The slope of Angular deflection test(KN/mm)

试件 Test samples	完整 Before	黏接 After bonding	缺失 After osfeoectomy
1	0.8916	0.7898	0.7118
2	1.6160	1.1107	0.7221
3	1.4700	1.1956	0.7241
4	1.3854	1.2495	0.8983
5	1.1081	0.9408	0.8042
	1.2942±0.2913	1.0573±0.1898	0.7721±0.0797

完整与黏接  $t=1.523 < 2.306 P > 0.05$ , 黏接与缺失  $t=2.787 > 2.306 P < 0.05$

如表 3 所示,黏接后的胫骨,其弹性模量在胶体断裂、碎块脱落前,与完整的胫骨相比,无显著差异。黏接后的胫骨,其刚度系数与完整的胫骨相比,无显著差异。

## 4 讨论

作为一种理想的医用胶粘剂应满足粘合强度高、强度在一段时间内保持一定水平、常温不加压下

表 3 三点弯曲惯性矩、弹性模量及刚度系数  
Table 3 The Inertial quadrature, of angular deflection test

试件 Test sample	惯性矩 $10^{-8}$ Inertial quadrature	弹性模量(Gpa) Elastic modulus		刚度系数( $10^2$ ) Rigidity	
		完整 Before osteoectomy	黏接 After bonding	完整 Before osteoectomy	黏接 After bonding
1	1.793	6.362	5.636	1.141	1.011
2	1.101	18.787	12.907	2.068	1.421
3	1.216	15.467	12.580	1.881	1.530
4	1.686	10.513	9.482	1.772	1.599
5	1.419	9.991	8.483	1.418	1.204
	1.4431±0.45	12.224±4.896	9.818±3.019	1.656±0.373	1.353±0.243

完整与黏接弹性模量  $t=0.963 < 2.306 P > 0.05$ ; 完整与黏接刚度系数  $t=1.523 < 2.306 P > 0.05$

粘合、固化速度快等要求。目前关于医用硬组织黏接胶黏接骨折的生物力学研究报道较少。Gosain<sup>[6]</sup>报道了黏接胶和可吸收钢板螺钉联合固定骨折与钛合金钢板螺钉固定骨折的生物力学对比研究,发现在拉伸实验中,单独黏接组和可吸收钢板-黏接胶组的抗拉能力均差于钢板螺钉组;黏接系统在 150-200 N 的拉力下,可吸收钢板-黏接组在钢板和骨的黏接面开裂,单独黏接组在黏接的骨面间断裂;钢板螺钉组的抗拉载荷大于 300 N 而单独使用黏接胶组与可吸收钢板-黏接胶组无显著差异。在压缩实验中,可吸收钢板和黏接胶组与钛合金钢板螺钉组及可吸收钢板螺钉组无显著差异,均在 150~200 N 时断裂。因此认为,在骨折断端拉伸应力较大时,应选择钢板螺钉内固定系统,在骨折断端间压缩应力较大时,可以选择可吸收钢板-黏接胶内固定系统。Amarante 等<sup>[7]</sup>报道了  $\alpha$ -氰基丙烯酸基酯黏接胶黏接皮质骨的生物力学研究,认为在固定截骨的骨块时,黏接胶组与钢板螺丝钉组抗扭转能力无显著差异。

目前所报道的关于  $\alpha$ -氰基丙烯酸基酯黏接胶的生物力学研究的实验模型多采用动物的颅骨截骨开窗或长骨干横断后的断端黏接模型,尚无人长骨干骨折碎块缺损的标准生物力学实验模型。我们在人胫骨干中段沿胫骨脊制作出占胫骨周径 1/2 的蝶形骨折缺损模型,并进行生物力学指标的测定。该实验模型与临床上的骨折类型相似。在弯曲、扭转、压缩等实验中可以看出,胫骨中段的蝶形骨缺损,显著减弱了胫骨的抗弯曲、抗扭转、抗压缩等能力。在扭转实验中,完整胫骨的扭距大于黏接后的胫骨,黏接后的胫骨的扭距大于缺损的胫骨;在压缩实验中,胶体断裂前完整胫骨的压缩曲线斜率大于黏接后的胫骨的压缩曲线斜率,黏接后的胫骨压缩曲线斜率大于缺损胫骨的压缩曲线斜率,并有统计学显著性差

异;从三点弯曲实验来看,在胶体断裂前,完整胫骨的曲线斜率与黏接后的胫骨无显著差异,黏接后的胫骨与缺损的胫骨曲线斜率有显著差异;黏接后的胫骨,其弹性模量、刚度系数与完整的胫骨无显著差异。说明医用硬组织黏接胶黏接蝶形骨折碎块后,能明显提高其抗弯曲、抗扭转、抗压缩应力。由于其细胞毒性和组织毒性较小<sup>[8,9]</sup>,有望使用于临床骨折碎块的黏接固定。

## 参 考 文 献

- 1 Templeman D, Thomas M, Varecka T, *et al.* Exchange reamed intramedullary nailing for delayed union and nonunion of the tibia. *Clin Orthop*, 1995; 315 : 169
- 2 Shapiro AJ, Dinsmore RC, North JH. Tensile strength of wound closure with cyanoacrylate glue. *Am Surg*. 2001; 67(11) : 1113
- 3 Kim YO. Use of cyanoacrylate in facial bone fractures. *J Craniofac Surg*. 1997; 8(3) : 229.
- 4 Cheski PJ, Matthews TW. Endoscopic reduction and internal cyanoacrylate fixation of the zygoma. *J Otolaryngol*, 1997; 26(2) : 75
- 5 Chen MS, Lai ShX, Li L, *et al.* To select and measure the biomechanical properties of bone of rat. *J Biomed Eng*, 2001; 18(4) : 547 [陈孟诗, 赖胜祥, 李良等. 大鼠的骨生物力学指标选取及测试. *生物医学工程学杂志*, 2001; 18(4) : 547]
- 6 Gosain AK, Song LSh, Corrao AM. Biomechanical evaluation of titanium, biodegradable plate and screw, and cyanoacrylate glue fixation systems in craniofacial surgery. *Plastic And Reconstructive Surgery*, 1998; 101(3) : 582
- 7 Amarante TJ, Constantinescu MA, Connor DO. Cyanoacrylate Fixation of the Craniofacial Skeleton; An Experimental study. *Plastic And Reconstructive Surgery*, 1995; 95(4) : 639
- 8 Ricci B, Ricci F, Bianchi PE. Octyl 2-cyanoacrylate in sutureless surgery of extraocular muscles; an experimental study in the rabbit model. *Graefe's Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2000; 238 : 454
- 9 Hallock GG. Expanded Application for Octyl-2-cyanoacrylate as a Tissue Adhesive. *Annals of Olastic Surgery*, 2001; 46(2) : 185 (收稿: 2003-05-23)