

· 基础研究 ·

# 骨盆髌臼三维记忆内固定系统对犬骨盆弓状线部骨折力学性能的影响

牛云飞,王家林,张春才,许硕贵,张鹏  
(第二军医大学附属长海医院骨科,上海 200433)

**【摘要】**目的:建立一种骨盆弓状线部骨折的动物模型,探讨骨盆髌臼三维记忆内固定系统(acetabular tri-dimensional memory fixation system,ATMFS)对骨折愈合及力学性能的影响。方法:选用10只成年杂种家犬,建立双侧髌臼臼顶上方1.5 cm处的横形骨折动物模型,分别采用ATMFS前柱固定器和6孔重建钢板内固定,于术后1、2、4、8、12周各取2只动物,行X线检查、大体观察和生物力学测试。结果:动物术后12~24 h开始站立行走,定期复查未发现骨折端移位及内固定断裂。ATMFS侧骨折端无凌乱骨痂,术后4周即可见连续性骨痂通过骨折线。生物力学测试发现术后第1、2周两侧生物力学强度差异无显著性统计学意义( $P > 0.05$ ),第4、8周ATMFS侧骨折端生物力学强度明显高于钢板侧( $P < 0.05$ ),术后第12周两侧生物力学强度差距缩小,但ATMFS侧仍大于钢板侧。结论:通过双侧髌臼臼顶上方的横形截骨能够建立可靠的骨盆弓状线部骨折动物模型,ATMFS的解剖位固定和其产生的持续顺应生理力线的压应力能够促进骨折愈合。

**【关键词】** 骨盆骨折; 骨折固定术,内; 模型,动物; 生物力学

**Effect of acetabular tri-dimensional memory fixation system (ATMFS) on the mechanical property of canine iliopectineal crest fracture** NIU Yun-fei, WANG Jia-lin, ZHANG Chun-cai, XU Shuo-gui, ZHANG Peng Department of Orthopaedics, the Affiliated Changhai Hospital of the Second Military Medical University, Shanghai 200433, China

**ABSTRACT Objective:** To establish an animal model of iliopectineal crest fracture and explore the effect of ATMFS on the mechanical property of canine iliopectineal crest fracture. **Methods:** Ten adult mixed breed dogs (no significant individual difference) were made transverse fracture at bilateral iliopectineal crest 1.5 cm above the dome of acetabulum, which were fixed with ATMFS and steel plate respectively. The X-ray, macropathological observation and biomechanical test were analyzed at 1, 2, 4, 8, 12 weeks after operation. **Results:** Animals started walking at 12 to 24 hours postoperatively. Regular examination did not detected fracture displacement and internal fixation broken. There was no disordered bony callus at ATMFS sides. Successive bone callus can be observed at 4 weeks after operation. There was on significant difference of the union strength at the first and second week ( $P > 0.05$ ) and ATMFS side was superior than the steel side at the 4th and 8th week ( $P < 0.05$ ). The disparity diminished at the 12th week but ATMFS side was still larger than steel side. **Conclusion:** The animal model can be established through transverse osteotomy at bilateral iliopectineal crest, which is an effective method to study the mechanism of compression and bone formation at pelvis and acetabulum. Anatomic fixation and persistent compression corresponding with physiological line of force with ATMFS can promote bone union.

**Key words** Pelvic fractures; Fracture fixation, internal; Model, animal; Biomechanics

Zhongguo Gushang/China J Orthop & Trauma, 2007, 20(7): 452-454 www.zggszz.com

近年来,关于骨盆髌臼骨折切开复位内固定并发症的报道逐渐增多,有复位不良、骨折移位、钢板松动、断裂、骨不连、异位骨化、慢性疼痛等<sup>[1-2]</sup>。因髌臼解剖结构复杂,部位深,前路手术涉及暴露股动脉、股静脉、股神经及闭孔血管、神经,后路手术涉及外旋肌群及坐骨神经,术中容易损伤,且失血较多,目前一直没有较好的动物模型供研究使用。本研究采用髌臼臼顶上方横形截骨法建立了犬骨盆弓状线部横形骨折的

动物模型,分别采用髌臼三维记忆内固定系统(ATMFS)前柱固定器和重建钢板内固定,对两种固定形式下骨折愈合的力学性能进行了比较研究,报告如下。

## 1 材料与方法

**1.1 实验动物** 10只雄性成年杂种家犬,体重(15 ± 3.0) kg (第二军医大学动物中心提供)。

**1.2 弓状线部骨折动物模型的建立** 杂种家犬称重,3%戊巴比妥钠腹腔内麻醉(30~45 mg/kg),仰卧位,四肢外展位固定于动物手术台边缘,任选一侧前肢建立静脉通道,术前、术

中分别静滴先锋 预防感染 (2 g/只),并用 5%葡萄糖氯化钠液、平衡液、低分子右旋糖酐各 500 ml 静脉滴注,维持静速 (4~5 ml/min)至手术结束。双侧髂腹股沟区备皮,1%安尔碘消毒 2次,铺无菌单,做髂前上棘至耻骨峭直切口,切开皮肤、皮下组织,钝性分离腹前外侧肌及其筋膜,显露神经血管鞘,探查耻骨弓状线的走行及髌臼前柱壁,可见神经血管鞘紧贴于髌臼前柱壁上缘,将其向下牵拉,显露弓状线白顶部,用骨膜剥离器剥离骨膜,显露此处骨段,以骨刀于白顶上缘约 1.5 cm 处垂直于骨面截骨,造成白顶上方的横形骨折。

### 1.3 内固定及分组

采用配对设计,10只动物双侧骨盆弓状线部任选一侧行 ATMFS 内固定,另一侧行重建钢板内固定。术后 1、2、4、8、12周各取 2只动物行 X线检查,大体观察和生物力学测试。

**1.3.1 ATMFS侧** ATMFS前柱固定器含镍 50%~53%,余为钛,厚 1.5 mm,形状回复温度为 (33±2),由前柱弓及双侧加压臂支组成(兰州西脉记忆合金有限公司定制)。将其置入冰水中,展开加压支,测量长度后分别与骨折端上下等距钻孔,骨折端解剖复位后,打入固定器,注射 40~50 生理盐水,可见骨折间隙进一步减少,活动术侧髌关节,骨折端固定牢固,双氧水、生理盐水伤口冲洗后,滴入  $8 \times 10^4$  U 庆大霉素,逐层缝合。

**1.3.2 重建钢板侧** 将骨折端复位,置好 6孔钢板(医用 316L 不锈钢,长×宽×厚为:40 mm×5 mm×1.5 mm,螺钉直径 1.5 mm,上海浦卫医疗器械公司定制),上下各以 2枚螺钉固定,活动术侧髌关节,骨折端固定牢固,确认螺钉未进入关节,伤口冲洗后,滴入  $8 \times 10^4$  U 庆大霉素,逐层缝合。

**1.4 术后处理** 术后再次静滴先锋 (2 g/只),羟乙基淀粉 250 ml,5%葡萄糖氯化钠液维持静滴 (4~5 ml/min)至动物清醒。分笼饲养,自由活动,常规进食,每日经口喂先锋 (2 g/只),连用 5 d,逐日观察动物行走步态及伤口愈合情况。

### 1.5 观察项目与方法

**1.5.1 影像学检查** 术后 1、2、4、8、12周再次麻醉动物,摄骨盆后前位 X线片,观察骨折愈合情况。

**1.5.2 大体观察** 术后 1、2、4、8、12周各处死 2只动物,对骨盆弓状线骨折端行大体观察,了解骨折复位及愈合情况。

**1.5.3 生物力学测试** 取出术后各观察点动物骨盆中的内固定器,离断双侧髌膝关节及耻骨联合,保留股骨,取出半骨盆,分别安装加载夹具,在 WE-10A 万能材料试验机上于中立位加载测试,测试前预载 10 N,然后按 50 N 递增,直至 600 N 分级加载,加载速率控制在 1.5 mm/min,直至再骨折,记录标本再骨折时的加载数值。

**1.6 统计学处理** 数据结果均以均数±标准( $\bar{x} \pm s$ )表示,采用 SPSS 11.5 软件进行数据处理,统计方法采用重复测量设计的方差分析,两组间比较用 *t* 检验,显著性水平为  $P < 0.05$ 。

## 2 结果

所有动物术后 3~5 h 清醒,均存活,术后 12~24 h 开始站立,1周内稍有跛行,1周后恢复正常行走,1只动物一侧伤口持续渗出,2周后停止。手术前后动物体重无明显改变。

**2.1 影像学观察** 术后定期骨盆后前位 X线片显示:骨折端复位良好,固定牢固,无内固定松动、移位、断裂。术后

2周,两侧弓状线部骨折线清晰可见;术后 4周,ATMFS侧骨折线模糊,断端可见少量连续性骨痂,而钢板侧骨折线仍较清晰,断端可见较多凌乱骨痂;术后 8周,ATMFS侧骨折线基本消失,断端连续性骨痂密度进一步增高,钢板侧骨折线模糊,断端骨痂连续;术后 12周,ATMFS侧骨折线消失,基本达到骨性愈合,钢板侧断端连续性骨痂密度增高,仍可见模糊的骨折线(图 1,2)。

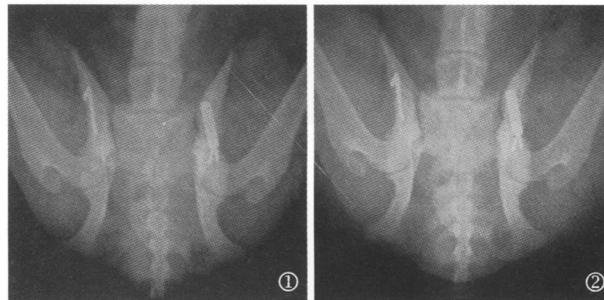


图 1 术后 4 周,ATMFS 侧骨折线模糊,钢板侧骨折线仍较清晰

图 2 术后 8 周,ATMFS 侧骨折线基本消失,钢板侧骨折线模糊

**Fig. 1** Fracture line blurred at ATMFS side but distinct at steel side in the 4th week postoperatively **Fig. 2** Fracture line vanished at ATMFS side but still visible at steel side in the 8th week postoperatively

**2.2 大体观察** 术后 1周,可见两侧骨折端复位良好,骨折线清晰。术后 2周,双侧截骨端无移位,ATMFS侧可见骨折端周围骨膜反应性增厚,骨膜下有少量机化的纤维组织;钢板侧可见骨折端周围主要为机化的纤维组织。术后 4周,ATMFS侧可见断端骨膜下皮质骨连续,无凌乱性骨痂,骨折线模糊不清(图 3,4)钢板侧骨折端周围可见有较多凌乱的骨痂组织。术后 8、12周,ATMFS侧可见断端皮质骨连续,无凌乱骨痂,截骨线看不清;钢板侧骨折断端可见到较多骨痂组织跨越骨折端,截骨线模糊不清。

**2.3 生物力学测试结果** ATMFS侧和钢板侧犬骨盆标本在达到最大承载力时均在原截骨处发生再骨折。术后 1、2周时,两侧骨盆弓状线骨折端力学强度均较低,ATMFS侧略高于钢板侧,无明显统计学差异;第 4、8周时骨折端力学强度增高,ATMFS侧明显高于钢板侧,且有显著性统计学差异 ( $P < 0.05$ );第 12周时,两侧骨盆弓状线力学强度继续升高,ATMFS侧升高趋势较为平缓,两侧对比无统计学差异 ( $P > 0.05$ ),但 ATMFS侧仍高于钢板侧(表 1)。

## 3 讨论

**3.1 骨盆髌臼骨折动物模型建立存在的问题** 骨盆髌臼骨折手术治疗存在多种并发症,采用适当的动物模型进行研究解决相关并发症的有效方法。因解剖复杂,损伤较大,建立合适的模型仍存在较多问题。动物没有充分的血源,建立复杂性骨盆髌臼骨折模型面临的主要问题是出血问题。因术中需同时截断前后柱,一侧入路不易达到较好的复位固定效果,前后联合入路术中失血多,如得不到充分的补充,很可能引起动物失血性休克、死亡,同时进行双侧截骨对比研究更为困难。另外,四足着地的哺乳动物髌臼周围解剖和人类存在一定的差异,股动静脉及股神经呈斜行向外,其根部正好位于髌

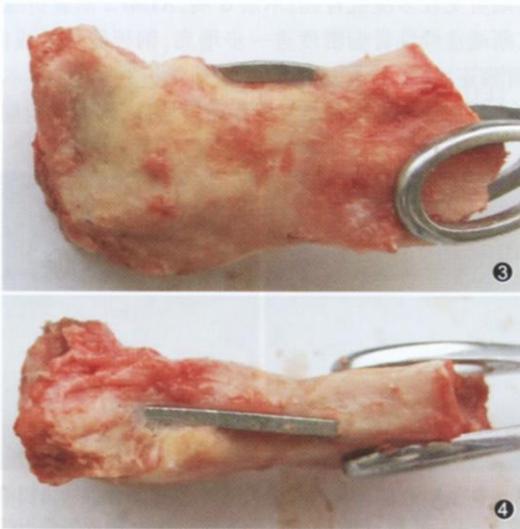


图3.4 术后4周, ATMFS侧可见断端皮质骨连续, 无凌乱骨痂, 骨折线模糊不清

Fig.3.4 In the 4th week after ATMFS internal fixation, cortical bone was successive, bony callus was ordered, fracture line was blurred

表 1 骨盆弓状线部骨折动物模型的最大承载力测试结果 ( $\bar{x} \pm s, N$ )

Tab 1 Result of biomechanical test of maximal union strength ( $\bar{x} \pm s, N$ )

时间 (week)	ATMFS侧	钢板侧
Times(week)	ATMFS side	Steel side
1	40.6 ±12.3	38.6 ±18.6
2	70.6 ±17.5	62.4 ±14.2
4	180.2 ±21.5*	130.7 ±15.8
8	370.6 ±32.5*	318.0 ±29.7
12	420.2 ±24.7	397.0 ±29.7

注: 双侧对比, \*  $P < 0.05$

Note: Comparison between two sides, \*  $P < 0.05$

白前柱壁上方, 如进行前柱壁骨折固定, 术中不得不过度向下方牵拉神经血管束, 很容易引起损伤。这些可能是目前骨盆髌臼骨折动物模型建立时存在困难的主要原因。本实验根据犬骨盆弓状线部的解剖特点, 设计了从双侧白顶上方约 1.5 cm 处横行截骨的动物模型, 一侧采用 ATMFS 内固定, 一侧采用钢板内固定, 双侧同时进行手术, 通过围手术期充分的血容量补充及有效抗生素的应用, 充分避免了神经血管损伤和失血性休克等严重并发症, 定期复查未发现内固定松动、断裂, 双侧后肢功能未受明显影响, 表明弓状线部横行截骨建立双侧骨盆骨折动物模型是可行的。

3.2 不同内固定的骨愈合特点及其与生物力学的关系 本

实验发现: 犬骨盆弓状线采用两种不同的方式固定后, 呈现了不同的骨愈合特点。ATMFS侧骨折端无凌乱骨痂, 术后 4 周即可见到外骨膜下的连续性骨痂通过骨折线, 骨折愈合时间明显快于钢板侧, 而钢板侧骨折端可见到较多凌乱的骨痂组织。生物力学测试发现术后第 4、8 周 ATMFS 侧骨折端生物力学强度明显高于钢板侧 ( $P < 0.05$ )。根据国际公认的 AO、BO (biological osteosynthesis) 两种骨愈合理论<sup>[3-4]</sup>, 骨折端在坚强固定下, 可以达到不产生大量无序性骨痂的二期愈合; 骨折端在存在一定程度微动的基础上, 则产生大量凌乱无序性骨痂, 为三期愈合方式, 不是理想的骨样骨板替代。本实验中 ATMFS 侧骨折端无凌乱性骨痂, 钢板固定侧骨痂组织较多且凌乱, 我们认为, 这主要与两种内固定后骨折端的生物力学特点和局部组织的骨膜及血供有关。ATMFS 具有与钢板内固定后不同的生物力学特点<sup>[5]</sup>: ATMFS 可在骨块之间提供持续纵向压应力, 其力值在骨折愈合过程中持续存在, 不因骨折线的吸收而消失; 而钢板属于高度有序奥氏体 B2 晶格, 材料性能决定了骨折的固定是一种器械性替代, 其不能为骨块之间提供持续纵向压应力。ATMFS 侧功能活动形成的生理性应力持续通过骨折端, 从骨块传向骨块, 而非钢板固定后所形成的“骨折端 - 钢板 - 骨折端”应力传导方式。ATMFS 提供的压应力能够满足早期进行渐进性关节功能锻炼的要求, 记忆压应力和生理性应力结合形成骨折端的持续性成骨力值, 可有效刺激骨折端的组织形成与分化, 促进骨愈合; 而钢板侧虽然也可以满足早期功能锻炼的要求, 但是由于钢板的应力遮挡效应, 骨折固定端成为旷置端, 没有得到充分的生理性应力刺激, 因而骨折愈合时间明显比对侧慢。钢板固定后骨折端的骨痂较多且凌乱并非由于过度的微动而产生, 而是由于骨盆弓状线部血供较丰富, 局部骨膜较厚, 虽未受到较多的生理性应力刺激, 但骨膜内及断端骨髓中的间充质细胞分化而来的成骨细胞仍大量无序性增殖, 因而产生较多凌乱的骨痂组织; 相反, ATMFS 侧骨折端由于存在持续生理性应力刺激, 骨膜下可见到连续性骨痂通过骨折线, 其生物力学强度明显高于钢板侧。

参考文献

- 1 王庆贤, 张英泽, 彭阿钦, 等. 髌臼骨折手术治疗的并发症. 中华创伤骨科杂志, 2005, 7(4): 314-317.
- 2 杨洪武, 王黎明, 郑祖根. 髌臼骨折手术治疗并发症探讨. 中华创伤杂志, 2004, 20(2): 104-107.
- 3 张春才, 许硕贵, 张雪松, 等. 骨折内固定形式与骨愈合模式的探讨——兼论 MO 概念的提出. 中华现代临床医学杂志, 2003, 2(8): 44-54.
- 4 Schutz M, Schafer M, Bail H, et al. New osteosynthesis techniques for the treatment of distal femoral fractures. Zentralbl Chir, 2005, 130(4): 307-313.
- 5 张春才, 许硕贵, 禹宝庆, 等. 应用髌臼三维记忆内固定系统 (ATMFS) 治疗复杂性髌臼骨折及其临床意义. 中华创伤骨科杂志, 2004, 6(4): 364-368.

(收稿日期: 2007 - 03 - 20 本文编辑: 王宏)