

DOI:10.3724/SP.J.1008.2010.00775

• 研究快报 •

犬髋臼后壁重建模型的建立及其生物力学分析

张 鹏¹, 许硕贵^{2*}, 张春才², 牛云飞², 付青格²

1. 山东大学附属省立医院创伤骨科, 济南 250021
2. 第二军医大学长海医院骨科, 上海 200433

[摘要] **目的** 建立一种模拟髋臼后壁缺损的动物模型, 评价不同后壁重建方法对髋臼与股骨头间接触特性的影响。**方法** 获取 6 具新鲜成年犬骨盆股骨标本, 采用后壁截骨法建立髋臼后壁 60°弧 1/2 缺损的动物标本模型; 两侧缺损区分别选用不同的重建方法, 采用压敏片检测不同状态下头臼接触面积及接触应力。**结果** 与完整髋臼相比, 后壁重建使头臼接触面积有所减少; 在 250 N 载荷下, 解剖重建组头臼接触面积与普通重建组比较差异无统计学意义; 其平均接触应力小于普通重建组 ($P<0.05$), 说明解剖重建组应力集中小于普通重建组。**结论** 后壁截骨法建立的犬髋臼后壁缺损模型可有效模拟临床实际; 解剖重建使后壁头臼接触面积及应力分布恢复比较理想, 接近正常髋关节, 避免了局部应力集中。

[关键词] 髋臼; 骨缺损; 骨移植; 生物力学
[中图分类号] R 683.3 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 0258-879X(2010)07-0775-04

Development of a reconstructive posterior acetabular defect model in dogs and related biomechanical research

ZHANG Peng¹, XU Shuo-gui^{2*}, ZHANG Chun-cai², NIU Yun-fei², FU Qing-ge²

1. Department of Orthopaedics, Provincial Hospital Affiliated to Shandong University, Jinan 250021, Shandong, China
2. Department of Orthopaedics, Changhai Hospital, Second Military Medical University, Shanghai 200433, China

[Abstract] **Objective** To construct a model of posterior acetabular defect and evaluate the effect of the reconstructive posterior wall on the contact of the acetabulum and femoral head. **Methods** The entire pelvis and articulated femur were obtained from six fresh adult canine cadavers. Animal models of posterior acetabular defects were developed by removing the 60° arc fragment. Different measures were used to reconstruct the defect areas with iliac crest autograft. The pressure-sensitive films were used to calculate the contact area, the mean pressure and the distribution of the pressure between the acetabulum and femoral head. **Results** The contact area was smaller after reconstruction of posterior wall compared with that of intact posterior wall. The contact areas were not significantly different between the common reconstruction group and the anatomic reconstruction group under a load of 250 N ($P>0.05$). The mean contact stress of the anatomic reconstruction group was significantly less than that of the common reconstruction group ($P<0.05$), indicating the collection of pressure was less than that of the common reconstruction group. **Conclusion** Animal models of posterior acetabular defects induced by posterior wall osteotomy can effectively mimic the clinical condition; the anatomic reconstruction of the posterior wall can restore the total contact area and the distribution of the pressure within the acetabulum similar to the normal condition.

[Key words] acetabulum; bone defect; bone transplantation; biomechanics
[Acad J Sec Mil Med Univ, 2010, 31(7): 775-778]

髋臼骨折为高能量创伤, 后壁骨折最为常见。如果关节面移位、粉碎性骨折、压缩性骨折或陈旧性骨折, 累及后壁超过 40%, 伴有髋关节后方不稳定, 称之为后壁缺损^[1-3]。对于不同面积的后壁缺损, 重建方法的选择十分重要, 但目前尚无确切的选择标准。本研究采用后壁截骨法建立了髋臼后壁缺损的动物标本模型, 分析不同重建方法对头臼接触特性

和应力分布的影响, 为后壁重建方法的选择提供依据。

1 材料和方法

1.1 内固定器材 犬髋臼三位记忆内固定系统 (ATMFS) 由兰州西脉记忆合金有限公司定制。取含镍 50%~53%、厚 1.5 mm 的镍钛合金板材。根

[收稿日期] 2010-01-20 [接受日期] 2010-03-29
[作者简介] 张 鹏, 博士. E-mail: sir_zhang@126.com
* 通讯作者 (Corresponding author). Tel: 021-81873392, E-mail: BoneXu@yahoo. cn

据实验用犬髌臼后壁的解剖特征,设计制成由髌臼网、双侧带齿加压固定支构成的 a 部分,由后壁加压

弓齿钉构成的 b 部分。热处理取向单程,形状回复温度(33 ± 2) $^{\circ}\text{C}$ (图 1A)。

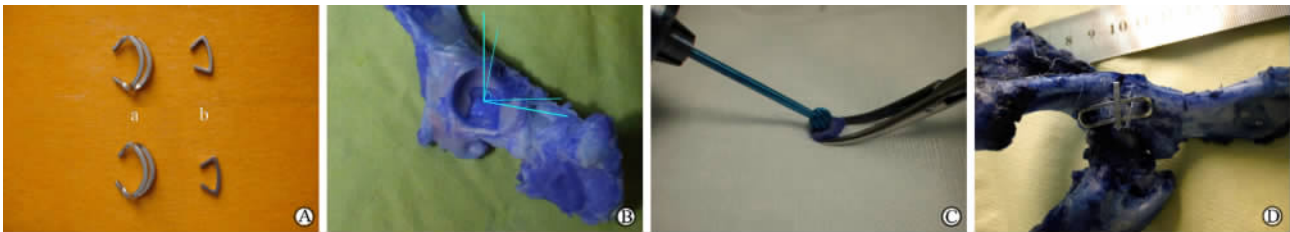


图 1 犬髌臼用 ATMFS 及髌臼后壁缺损模型实物图

Fig 1 ATMFS device for canine acetabular and model of posterior acetabular defect

A: The ATMFS device is composed of a and b parts; B: Animal models of posterior acetabular defect are developed with the 60° arc fragments removed; C: The iliac crest autograft is worn by drill and anatomic articular surface is shaped; D: The iliac crest autograft is fixed with ATMFS after implantation

1.2 髌臼后壁缺损范围 髌臼关节面中心标记为 C;犬正常站立位髌臼最高点为臼顶,标记为 V。髌臼后壁 60° 弧 1/2 缺损范围:以站立位髌臼最高点与髌臼球心连线为起始,沿髌臼缘向后 10° 为后壁缺损上缘,再沿髌臼缘向后 60° 为后壁缺损下缘。将这 60° 范围的后壁关节面等分,凿除外侧 1/2 形成后壁 1/2 缺损,其中,髌臼唇缘线与坐骨大切迹向下延长嵴线之间距离的 1/2 为后壁缺损的外缘。

1.3 髌臼后壁缺损模型的建立 选用健康 2 龄家犬 6 只,由第二军医大学实验动物中心提供,雌雄不分,体质量(15 ± 3.0) kg。模型建立:动物处死,取完整骨盆及双侧股骨,小心保留双侧髌关节囊,剔除其余软组织,用骨刀截下一块“梯形”髌臼后壁,造成后壁 60° 弧 1/2 范围缺损(图 1B),梯形底边为髌臼外缘,截骨应满足股骨头经由缺损区形成向上脱位。参照截骨下骨块的形状,凿取自体髌骨,制作成不同的植骨块嵌入缺损区,重建髌臼关节面与周围软骨下骨相平齐。选用合适的犬用 ATMFS 后柱壁系列,用两把持针器冰盐水中展开加压支,测量加压支间宽度后,于顶壁和后壁 90° 两处等距钻孔,用 a 部分跨越植骨块固定;于新臼唇缘和髌臼后壁近大切迹的骨质上钻孔,插入 b 部分横向固定;复温后 ATMFS 向原定形状回复,完成加压固定。术毕活动患肢,检查内固定是否进入关节腔和牢固程度。

1.4 髌臼后壁缺损的重建 6 只犬共 12 髌,随机分为 2 组,解剖重建组(A 组):凿取髌前上棘后方的自体髌骨;测量髌臼直径,用与髌臼直径对应的磨钻,旋锉髌内翼为新臼关节面,其嵴外缘为新臼唇缘,制作成解剖性自体髌骨(图 1C)。将制作的髌骨

块植入后壁缺损区,然后用 ATMFS 的后柱壁系列三维固定(图 1D)。普通重建组(B 组):于髌后上棘前方凿取髌骨块,以髌内翼为新臼关节面,植入后壁缺损区;然后用 ATMFS 的后柱壁系列三维固定。

1.5 生物力学测试 制作可多向调节的万能旋转加载夹具。将髌骨嵌夹于夹具中,再将股骨干用夹具固定于加载平台上。力学测试采用 WE-10A 万能材料实验机,将髌关节置于直立位、屈曲位及后伸位加载,使载荷直接作用于髌臼后壁上。测试前先预载 10 N,然后按 50 N 递增,直至 250 N 分级加载,加载速率控制在 1.5 mm/min。在髌臼上固定应变式传感器、应变式位移计以测量髌臼的分离位移和应力强度。在股骨处安装高精度数字显示光栅位移传感器(型号 KG-101)和千分表同时测量纵向位移和水平位移(精度达 0.01%)。在测定位移等指标后,压敏片置于髌臼与股骨头之间,按 1.5 mm/min 的速率加载至 250 N,测定髌臼的平均压力和接触面积,根据压力及面积计算出平均接触应力 $\sigma(\text{N}/\text{cm}^2)$ 。

1.6 统计学处理 采用 SPSS 11.0 软件分析,数据以 $\bar{x}\pm s$ 表示,以方差分析和 t 检验进行处理,检验水平(α)为 0.05。

2 结 果

2.1 形变位移与载荷 髌臼为半球形壳体,在植骨固定后进行加压测试时,其产生纵向位移(纬线方向位移)和横向位移(经线方向位移)。从纬线及经线两个方向测定两组植骨的稳定性;在不同的载荷作用下,髌臼位移随载荷的增加而增大。结果(表 1)显示:在不同髌关节状态下,解剖重建组在一定载荷

下的经线及纬线方向上的形变位移略大于普通重建组,但差异无统计学意义。

表 1 纬线方向($\Delta\gamma$)、经线方向($\Delta\theta$)位移
Tab 1 Relation of load-migration in latitude($\Delta\gamma$)with longitude($\Delta\theta$)

($n=6, \bar{x}\pm s, l/mm$)

Load F/N	Anatomic reconstruction			Common reconstruction		
	Flexion status	Erection status	Extension status	Flexion status	Erection status	Extension status
Latitude						
50	0.29±0.05	0.19±0.03	0.35±0.02	0.26±0.04	0.19±0.03	0.31±0.03
100	0.41±0.04	0.28±0.03	0.47±0.04	0.38±0.03	0.24±0.03	0.46±0.02
150	0.47±0.03	0.39±0.04	0.59±0.04	0.42±0.04	0.36±0.04	0.55±0.04
200	0.62±0.05	0.47±0.04	0.57±0.03	0.57±0.04	0.43±0.04	0.58±0.03
250	0.65±0.04	0.56±0.04	0.74±0.03	0.67±0.05	0.55±0.04	0.70±0.05
Longitude						
50	0.32±0.04	0.21±0.03	0.35±0.02	0.28±0.02	0.17±0.04	0.33±0.02
100	0.38±0.04	0.30±0.02	0.46±0.04	0.36±0.03	0.23±0.03	0.43±0.04
150	0.45±0.02	0.42±0.04	0.58±0.03	0.41±0.03	0.39±0.04	0.53±0.05
200	0.59±0.05	0.47±0.05	0.70±0.05	0.52±0.04	0.45±0.04	0.62±0.05
250	0.67±0.05	0.52±0.04	0.79±0.04	0.63±0.04	0.49±0.05	0.75±0.04

2.2 头臼接触面积与载荷 压敏片置于髌臼与股骨头之间,按 1.5 mm/min 的速率加载至 250 N,测定髌臼的平均压力和接触面积,根据压力及面积计算出平均接触应力 $\sigma(N/cm^2)$ 。结果(表 2)显示,与完整的髌臼相比,后壁重建使头臼接触面积有所减

少。在 250 N 载荷下,解剖重建组头臼接触面积与普通重建组比较差异无统计学意义。解剖重建组平均接触应力小于普通重建组,经 t 检验,组间差异有统计学意义($P<0.05$)。这说明解剖重建组应力集中小于普通重建组。

表 2 250 N 载荷下头臼接触面积及接触应力
Tab 2 Contact area and contact stress at a load of 250 N

($n=6, \bar{x}\pm s$)

Group	Flexion status		Erection status		Extension status	
	Contact area A/cm^2	Mean pressure $\sigma/(N\cdot cm^{-2})$	Contact area A/cm^2	Mean pressure $\sigma/(N\cdot cm^{-2})$	Contact area A/cm^2	Mean pressure $\sigma/(N\cdot cm^{-2})$
A	6.07±1.18	24.31±1.97 *	7.58±1.37	21.25±2.16 *	5.12±1.20	28.25±2.47 *
B	5.92±1.33	31.45±2.62	7.39±1.20	28.03±2.35	4.97±1.32	35.61±2.29

A: Anatomic reconstruction group; B: Common reconstruction group. * $P<0.05$ vs group B

3 讨 论

有关髌臼骨折和缺损重建的实验研究仍处于初级阶段,尚无一种动物模型能全面模拟出人体髌关节的受力特点。Olson 等^[1]通过凿取山羊髌臼的背侧壁(等同于人类的后壁)建立了髌臼骨折的动物模型。本研究参考其方法,采用后壁截骨法建立了一种犬髌臼后壁缺损的动物标本模型,模拟了后壁缺损的发生机制和常见部位,该模型比较接近临床实际情况,简单可靠,可以重复。骨盆和下肢完全靠髌关节连结,后壁重建骨块进行内固定后,其力学加载后的头臼接触特性完全由植骨方法决定,可以客观

评估在主要负重状态下不同植骨重建方法的头臼应力和应力分布情况。加载情况下微小的移位所造成的髌臼与股骨头间的不匹配,就会造成髌臼与股骨头间的接触面积、压强等指标产生明显变化^[2-5],这种集中于局部应力变化将成为创伤性关节炎的发生病理基础。髌臼后壁骨折缺损后,打破了原有髌臼向周边分散负荷的整体效应,周边负荷减少,势必使负重顶区负荷增加^[5-6]。后壁重建后,髌臼与股骨头的对位关系良好,但是髌关节的生物力学行为还是发生了显著改变,这种变化可以通过髌臼与股骨头特殊的解剖结构加以解释。正常不负重情况下,髌关节呈轻度不对称性,股骨头直径略大于髌臼直径。

在轻度负重时,主要是髌臼前后壁负重,而髌臼顶区并不负重;当负重达到大约体质量的 1/4~1/2 时,股骨头与髌臼顶区才开始发生接触;在较大负重时,通过关节软骨和松质骨骨小梁的微小变形,使头臼相称,臼顶同时受力,从而获得最大的负重面积,降低单位面积上的负荷^[6]。所以,髌臼前后壁从开始负荷,即起到了向髌臼周边分散负荷的作用。

本研究发现:髌骨后部边缘较厚,而体部较薄,截面呈楔形,外突内凹,与正常关节面轮廓接近,内侧为坚硬的皮质骨。在临床中,内侧皮质骨往往不经修剪直接用作新臼关节面,即普通重建法(common reconstruction);该方法只是提供后方稳定,防止股骨头脱位,并不能恢复正常髌臼形态,X 线片显示股骨头与重建髌臼未达到解剖学匹配^[7]。如果旋髌髖内翼,制作头臼对应的解剖性髌骨用作新臼关节面,我们称之为解剖重建法(anatomic reconstruction)。张春才等^[8]在 ATMFS 后柱壁系列的基础上,首次临床应用了自体髌骨解剖性重建法:测量髌臼直径,用与髌臼直径对应的髌臼锉,以髌前上棘后方 40 mm 处为圆心,旋髌髖内翼为新臼关节面,其嵴外缘为新臼唇缘,按照术前设计凿取相匹配的自体髌骨;在新“髌骨臼面”的松质骨上钻洞,将带有关节面的碎骨嵌入其中。然后用 ATMFS 的后柱壁系列将碎骨块聚合到压应力状态,从而达到术中解剖复位、恢复头臼对应关系的目的。

普通重建后,应力峰值在重建臼面的皮质骨提前出现,造成负荷不能正常分散,局部负荷集中,单位面积软骨内应力增加,导致头臼磨损。解剖重建后,应力峰值在重建臼面的松质骨提前出现,但是通过关节软骨和松质骨骨小梁(松质骨骨小梁应力大约是皮质骨的 1/50)的微小变形,使头臼相称,从而获得较大的负重面积,降低单位面积上的负荷。本实验证实:对于犬完整的髌臼,头臼接触面积集中在

臼顶(cranial regions)和尾侧(caudal regions);在 250 N 载荷下,解剖重建组的头臼接触面积略大于普通重建组,而平均接触应力小于普通重建组,说明解剖重建组应力集中小于普通重建组,说明解剖性重建有利于负荷均匀分布于髌臼关节面,并向四周分散,避免了臼顶负重区的应力集中。

综上所述,本研究采用后壁截骨法建立了髌臼后壁缺损的动物标本模型,模拟了临床实际情况;解剖重建使后壁头臼接触面积及应力分布恢复比较理想,接近正常髌关节,避免了局部应力集中。

[参考文献]

[1] Olson S A, Connolly E A, Smith S, Hamel A J, Sharkey N A, Bay B K. Development of an animal model of acetabular fractures[J]. Clin Orthop Relat Res, 2004(423): 64-73.

[2] Olson S A, Bay B K, Pollak A N, Sharkey N A, Lee T. The effect of variable size posterior wall acetabular fractures on contact characteristics of the hip joint[J]. J Orthop Trauma, 1996, 10: 395-402.

[3] Olson S A, Bay B K, Hamel A. Biomechanics of the hip joint and the effects of fracture of the acetabulum[J]. Clin Orthop Relat Res, 1997(339): 92-104.

[4] Sparks D R, Beason D P, Etheridge B S, Alonso J E, Eberhardt A W. Contact pressures in the flexed hip joint during lateral trochanteric loading[J]. J Orthop Res, 2005, 23: 359-366.

[5] Furman B D, Olson S A, Guilak F. The development of posttraumatic arthritis after articular fracture[J]. J Orthop Trauma, 2006, 20: 719-725.

[6] 宋朝晖, 张英泽, 潘进社, 彭阿钦, 王庆贤, 王珺琛. 髌臼后壁骨折对髌臼与股骨头之间应力的影响[J]. 中华创伤杂志, 2002, 18: 91-93.

[7] 孙俊英, 洪天禄, 唐天骊. 自体游离髌骨移植重建髌臼后壁陈旧性骨折缺损[J]. 中华骨科杂志, 2000, 20: 709-711.

[8] 张春才, 许硕贵, 禹宝庆, 王家林, 苏佳灿, 沈洪兴, 等. 髌臼粉碎性骨折合并压缩性缺损的治疗与对策[J]. 中华创伤骨科杂志, 2005, 7: 1010-1014.

[本文编辑] 贾泽军