

• 基础研究 •

# 髋臼后壁重建模型的建立及其生物力学分析

贾献荣

(金华文荣医院骨科,浙江 金华 321000 E-mail:JXRJJY0253@126.com)

**【摘要】** 目的:在尸体上模拟髋臼后壁缺损的模型,评价不同后壁重建方法对髋臼与股骨头接触特性的影响。方法:获取 6 具成人尸体的骨盆股骨标本,采用随机数字表法分为 A 组和 B 组。均采用后壁截骨法建立髋臼后壁 60°弧 1/2 缺损的模型;两侧缺损区分别选用不同的重建方法。其中,A 组凿取髂前上棘后方的自体髂骨以制作解剖性自体髂骨;B 组于髂后上棘前方凿取髂骨块。将髋关节置于直立位、屈曲位及后伸位,从 10~250 N 分级加载,使载荷直接作用于髋臼后壁上。采用压敏片检测不同状态下形变位移、载荷、头臼接触面积及接触应力。**结果:**在不同的髋关节状态下,A 组在一定载荷下的形变位移略大于 B 组,但差异无统计学意义( $P>0.05$ )。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,A 组(解剖重建组)头臼接触面积与 B 组(普通重建组)比较的差异无统计学意义( $P>0.05$ );其平均接触应力小于 B 组( $P<0.05$ ),说明 A 组应力集中小于 B 组。**结论:**后壁截骨法建立的尸体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; 骨折; 骨移植; 生物力学

DOI:10.3969/j.issn.1003-0034.2016.04.004

**Establishment and biomechanical analysis of reconstruction model of the posterior wall of acetabulum** JIA Xian-rong. Department of Orthopaedics, Jinhua Wenrong Hospital, Jinhua 321000, Zhejiang, 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 adult body canine cadavers and were divided into group A and group B by random number table method. Adult body 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. In the group A, the iliac bone was cut from the anterior superior iliac spine to produce the anatomic iliac bone; in the group B, the iliac bone was cut in front of the iliac spine. The hip joint was placed in the vertical position, the flexion position and the extension position, and the load was directly loaded on the posterior wall of the acetabulum by classification of 10 to 250 N. The pressure sensitive films were used to measure and calculate the deformation displacement, load, contact area, and the mean pressure and the distribution of the pressure between the acetabulum and femoral head. **Results:**Under different conditions of hip joint, the deformation displacement of group A was slightly larger than that of group B, but the difference was not statistically significant ( $P>0.05$ ). 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 group A and group B under a load of 250 N ( $P>0.05$ ). The mean contact stress of group A was significantly less than that of group B ( $P<0.05$ ), indicating the collection of pressure was less than that of group B. **Conclusion:**Adult body 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.

**KEYWORDS** Acetabulum; Fractures; Bone transplantation; Biomechanics

Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2016, 29(4):306-311 www.zggszz.com

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<sup>[1-3]</sup>。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尸体标本模型,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

髋臼三维记忆内固定系统(acetabular tridimensional memory fixation system, ATMFS)由兰州西脉记忆合金有限公司定制。取含镍 50%~53%、厚 1~2 mm 的镍钛合金材料。根据人髋臼后壁的解剖学特征,设

计制作成由髌臼网、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)℃(图 1)。

### 1.2 髌臼后壁缺损范围

髌臼关节面中心标记为 C; 人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,沿髌臼后缘向后 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

选用成人尸体 6 具,由第二军医大学解剖学教研室提供,男女不限。模型建立:取尸体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,用骨刀截取 1 块“梯形”髌臼后壁,造成后壁 60°

弧 1/2 范围缺损(图 2),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 ATMFS 后柱壁系列,用 2 把持针器在冰生理盐水中展开加压支,测量加压支间的宽度后,于顶壁和后壁 90°两处等距离钻孔,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 部分横向加压固定;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 具尸体标本共 12 个髌部,采用随机数字表法进行分组,分为 2 组,一个组是解剖重建组(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,旋髌髌内翼为新臼关节面,其嵴外缘为新臼唇缘(图 3a),并制作解剖性自体髌骨

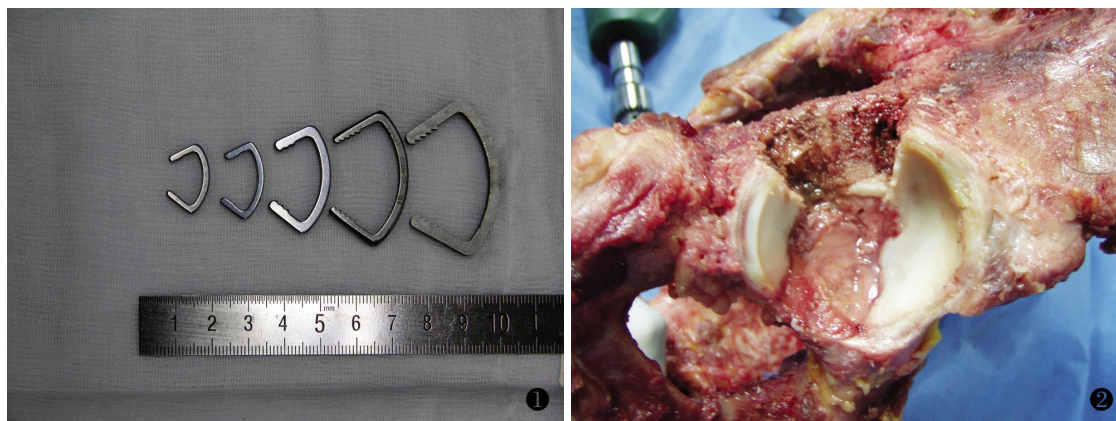


图 1 各尺寸弓齿钉的直观图 图 2 髌臼后壁梯形范围缺损

Fig.1 Chart of the size of the bow teeth screw Fig.2 Acetabulum posterior wall trapezoidal range defect

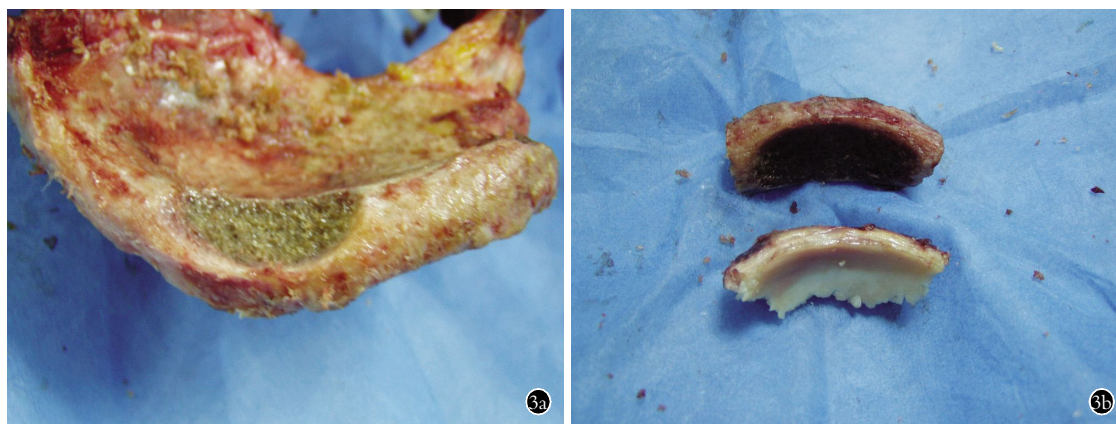


图 3 解剖性自体髌骨的制作过程 3a. 用与髌臼直径对应的磨钻,旋髌髌内翼为新臼关节面,其嵴外缘为新臼唇缘 3b. 解剖性自体髌骨与髌臼后壁梯形缺损骨块

Fig.3 Production process of anatomy autogenous iliac bone 3a. Used the drill corresponding with acetabulum diameter to iliac wing to gain the new acetabular articular surface, the outer edge of the ridge was the new acetabular lip 3b. Anatomy autogenous iliac bone and acetabulum posterior wall trapezoidal range defect

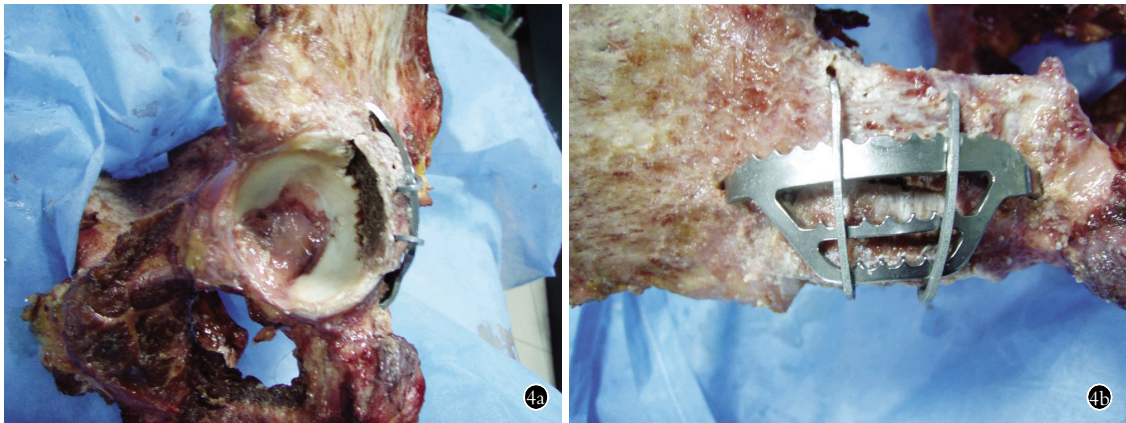


图 4 将解剖性自体髂骨块植入后壁缺损区,并用 ATMFS 的后柱壁系列三维固定

Fig.4 The anatomic iliac bone was implanted into the posterior wall defect area, and was fixed with the three-dimensional fixation of ATMFS of the posterior column wall

(图 3b)。将制作的髂骨块植入后壁缺损区,然后用 ATMFS 的后柱壁系列三维固定(图 4)。另一个组是普通重建组(B 组):于髂后上棘前方凿取髂骨块,以髂内翼为新臼关节面,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。将髂骨嵌于夹具中,再将股骨干用夹具固定于加载平台上。力学测试采用 WE-10A 万能材料试验机,将髋关节置于直立位、屈曲位及后伸位加载,使载荷直接作用于髋臼后壁上。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。在髋臼上固定应变式传感器、应变式位移计以测量髋臼的形变位移和应力强度。形变位移的测量: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横向位移,精度达万分之一。应力强度:在测定位移等指标后,压敏片置于髋臼与股骨头之间,按 1.5 mm/min 的速率加载至 250 N,测定髋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  $\alpha(N/cm^2)$ 。

### 1.6 统计学处理

采用 SPSS 16.0 统计软件,计量资料以  $(\bar{x} \pm s)$  表示,以 *t* 检验和 *F* 检验进行处理;计数资料用方差分析。以  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 两组形变位移与载荷的比较

髋臼为半球形壳体,在植骨固定后进行加压测试时,其产生纵向位移和横向位移。从纵向及横向两个方向测定两组植骨的稳定性;在不同的载荷作用下,髋臼位移随载荷的增大而增大( $P < 0.05$ )。在不同的髋关节状态下,A 组在一定载荷下的经线及纬线方向上的形变位移略大于 B 组,但差异无统计学意

义( $P > 0.05$ ),见表 1。

### 2.2 两组头臼接触面积与接触应力的比较

压敏片置于髋臼与股骨头之间,按 1.5 mm/min 的速率加载至 250 N,测定髋臼的平均压力和接触面积,根据压及面积计算出平均接触应力  $\alpha(N/cm^2)$ 。结果显示,与完整的髋臼相比,后壁重建使头臼接触面积有所减少。在 250 N 载荷下,A 组头臼接触面积与 B 组比较差异无统计学意义。A 组平均接触应力小于 B 组,经 *t* 检验,组间差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ ),见表 2,说明 A 组应力集中小于 B 组。

## 3 讨论

有关髋臼骨折和缺损重建的实验研究仍处于初级阶段,目前尚无一种动物模型能全面模拟出人体髋关节的受力特点。Vulcano 等<sup>[4]</sup>通过凿取山羊髋臼的背侧壁(相当于人类的后壁),建立了髋臼骨折的动物模型。本研究利用尸体髋臼为取材对象,最大程度地模拟了活体人类髋关节的解剖学特性及受力特点,采用后壁截骨法建立了一种髋臼后壁缺损的模型,同时模拟了后壁缺损的发生机制和常见部位,该模型十分接近临床实际情况,简单可靠,可以重复。骨盆和下肢完全靠髋关节连结,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髋臼与股骨头间的不匹配,就会造成髋臼与股骨头间的接触面积、压强等指标产生明显变化<sup>[5]</sup>,这种集中于局部应力变化将成为创伤性关节炎的发病病理基础。髋臼后壁骨折缺损后,打破了原有髋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<sup>[6-7]</sup>。后壁重建后,髋臼与股骨头的对位关系良好,但是髋关节的生物力学行为还是发生了显著改变,这种变化可

表 1 两组髋关节不同位置下形变位移在不同载荷下的比较( $\bar{x}\pm s$ , L/mm)Tab.1 Comparison of the deformation displacement under different load stress on different positions between two groups ( $\bar{x}\pm s$ , L/mm)

载荷	解剖重建组(n=6)			普通重建组(n=6)			F 值	P 值
	屈曲位	直立位	后伸位	屈曲位	直立位	后伸位		
纵向								
50 N	0.31±0.05	0.18±0.04	0.41±0.02	0.33±0.03	0.21±0.02	0.28±0.02	1.81	>0.05
100 N	0.43±0.03	0.28±0.02	0.48±0.03	0.35±0.02	0.24±0.04	0.46±0.02	3.37	>0.05
150 N	0.45±0.02	0.36±0.03	0.57±0.05	0.41±0.03	0.39±0.04	0.51±0.03	1.77	>0.05
200 N	0.61±0.05	0.49±0.03	0.52±0.05	0.53±0.04	0.43±0.03	0.58±0.02	2.38	>0.05
250 N	0.62±0.03	0.59±0.04	0.71±0.02	0.69±0.05	0.53±0.03	0.72±0.05	0.87	>0.05
t 值	8.26	5.21	10.69	6.92	6.02	7.06		
P 值	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05		
横向								
50 N	0.31±0.05	0.25±0.02	0.36±0.02	0.26±0.02	0.19±0.04	0.39±0.02	1.21	>0.05
100 N	0.39±0.03	0.32±0.02	0.48±0.03	0.34±0.02	0.26±0.02	0.48±0.03	0.39	>0.05
150 N	0.43±0.02	0.41±0.03	0.55±0.04	0.46±0.02	0.42±0.04	0.51±0.05	1.63	>0.05
200 N	0.58±0.05	0.43±0.02	0.70±0.05	0.55±0.03	0.47±0.03	0.67±0.05	0.19	>0.05
250 N	0.62±0.05	0.57±0.03	0.79±0.04	0.68±0.03	0.52±0.05	0.79±0.03	0.04	>0.05
t 值	7.99	7.31	7.51	6.15	5.90	7.94		
P 值	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05		

表 2 两组髋关节不同位置下 250 N 载荷下头臼接触面积及平均接触应力的比较( $\bar{x}\pm s$ )Tab.2 Comparison of the contact area of acetabulum and femoral head and average contact stress under 250 N load on different positions between two groups( $\bar{x}\pm s$ )

组别	髋关节数(个)	屈曲位		直立位		后伸位	
		接触面积(cm <sup>2</sup> )	平均接触应力(N/cm <sup>2</sup> )	接触面积(cm <sup>2</sup> )	平均接触应力(N/cm <sup>2</sup> )	接触面积(cm <sup>2</sup> )	平均接触应力(N/cm <sup>2</sup> )
解剖重建组	6	12.15±1.93	18.31±1.57	16.84±1.95	14.27±2.32	10.52±1.89	21.53±2.27
普通重建组	6	11.22±1.54	20.45±2.28	14.39±1.70	16.03±2.39	9.97±1.25	23.11±2.72
t 值		0.92	4.89	2.32	11.29	0.59	10.09
P 值		>0.05	<0.05	>0.05	<0.05	>0.05	<0.05

以通过髋臼与股骨头特殊的解剖结构加以解释。正常不负重情况下,髋关节呈轻度不对称性,股骨头直径略大于髋臼直径。在轻度负重时,主要是髋臼前后壁负重,而髋臼顶区并不负重;当负重达到大约体质量的 1/4~1/2 时,股骨头与髋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<sup>[8]</sup>。所以,髋臼前后壁从开始负荷,即起到了向髋臼周边分散负荷的作用。本研究发现:髋骨后部边缘较厚,而顶部较薄,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,并不能恢复正常髋臼形态,X 线片显示股骨头与重建髋臼未达到解剖学匹配<sup>[9]</sup>。如果旋髌髂内翼,制作头臼对应的解剖性髋骨用作新臼关节面,称之为解剖重建法(anatomic reconstruction)。汤洋等<sup>[10]</sup>在 ATMFS 后柱壁系列的基础上,首次临床应用了自体髋骨解剖性重建法:测量髋臼直径,用与髋臼直径对应的髋臼锉,以髋前上棘后方 40 mm 处为圆心,旋髌髂内翼为新臼关节面,其嵴外缘为新臼唇缘,按照术前设计凿取相匹配的自体髋骨;在新“髋骨臼面”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:对于犬完整的髋臼,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髋臼关节面,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髋臼后壁缺损的尸体模型,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,接近正常髋关节,避免了局部应力集中。

#### 参考文献

- [1] Calafi LA, Roult ML. Anterior pelvic external fixation; is there an optimal placement for the supra-acetabular pin[J]. *Am J Orthop (Belle Mead NJ)*, 2013, 42(12): E125-127.
- [2] Mittag F, Straub M, Schäfer R, et al. No red cell alloimmunization or change of clinical outcome after using fresh frozen cancellous allograft bone for acetabular reconstruction in revision hip arthroplasty: a follow up study[J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2012, 13: 187.
- [3] Higgins TF, Rothberg DL, Daubs MD. Spinopelvic dissociation as a complication of iliac crest bone graft harvest using an acetabular reamer[J]. *J Spinal Disord Tech*, 2012, 25(6): 345-349.
- [4] Vulcano E, Murena L, Falvo DA, et al. Bone marrow aspirate and bone allograft to treat acetabular bone defects in revision total hip arthroplasty: preliminary report[J]. *Eur Rev Med Pharmacol Sci*, 2013, 17(16): 2240-2249.
- [5] 王辉, 毕大卫, 胡钢锋, 等. 自制三维解剖锁定钢板固定复合型髋臼骨折的解剖学研究[J]. *中国骨伤*, 2013, 26(2): 149-152. Wang H, Bi DW, Hu GF, et al. Homemade 3D anatomic locking plate fixation for complex acetabular fracture of anatomical study [J]. *Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma*, 2013, 26(2): 149-152. Chinese with abstract in English.
- [6] 曹林虎, 谭伦, 林旭, 等. 非骨水泥人工全髋关节置换术中髋臼骨缺损重建方式选择及对臼杯位置影响的研究[J]. *中国修复重建外科杂志*, 2015, 31(18): 91-93. Cao LH, Tan L, Lin X, et al. Non bone cement total hip arthroplasty acetabular bone defect reconstruction and the acetabular cup position effect[J]. *Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi*, 2015, 31(18): 91-93. Chinese.
- [7] 宋迎春, 王钢, 卢超, 等. 构建前柱钢板髋臼区安全置钉的三维模型[J]. *中国组织工程研究*, 2014, 24(22): 3481-3486. Song YC, Wang G, Lu C, et al. Structured a three dimensional model of safety screw of the acetabular region of the anterior column plate [J]. *Zhongguo Zu Zhi Gong Cheng Yan Jiu*, 2014, 24(22): 3481-3486. Chinese.
- [8] 周华, 高仕长, 周程鹏, 等. 三维重建模拟经皮拉力螺钉固定髋臼前柱骨折的解剖学研究[J]. *中国临床解剖学杂志*, 2015, 7(2): 1010-1014. Zhou H, Gao SC, Zhou CP, et al. Anatomic study of 3D model reconstruction of percutaneous pulling force Screw fixation acetabular anterior column fractures[J]. *Zhongguo Lin Chuang Jie Pou Xue Za Zhi*, 2015, 7(2): 1010-1014. Chinese.
- [9] 李永奖, 蔡春元, 张力成, 等. 满足日常生活活动范围的髋臼假体角度安全范围及杯颈前倾角组合[J]. *中国骨伤*, 2011, 24(11): 930-934. Li YJ, Cai CY, Zhang LC, et al. Meet the range of activity of daily living of safety range of acetabular component angle and anterior cervical inclination combination[J]. *Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma*, 2011, 24(11): 930-934. Chinese with abstract in English.
- [10] 汤洋, 章云童, 张春才, 等. 髋臼后壁解剖学测量及定量分析[J]. *中国骨伤*, 2014, 27(12): 1024-1028. Tang Y, Zhang YT, Zhang CC, et al. Acetabular posterior wall anatomical measurements and quantitative analysis[J]. *Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma*, 2014, 27(12): 1024-1028. Chinese with abstract in English.

(收稿日期:2015-11-20 本文编辑:王玉蔓)