

· 基础研究 ·

骶髂关节解剖型棒-板内固定系统的生物力学评价

郑琦¹, 毕大卫², 石仕元¹, 费骏¹, 魏威¹, 祖罡², 汪翼凡¹, 王以进³

(1.浙江中医药大学附属中西医结合医院, 浙江 杭州 310003; 2.萧山区第一人民医院; 3.上海大学生物力学研究所)

【摘要】 目的:探讨采用新型骶髂关节解剖型棒-板内固定系统(SABP)治疗骨盆骶髂关节骨折脱位的生物力学性能。**方法:**采集新鲜的冷冻尸体骨盆标本 20 具,造成骨盆骨折模型,采用实验应力分析方法,对 SABP 内固定和骶骨螺钉结合 Galveston 技术内固定、骶骨棒固定、重建钢板固定、骶髂关节螺钉等 5 种固定作对照比较,分别测定它们的刚度和强度,用以评价骨盆的稳定性。**结果:**采用新型骶髂关节解剖型棒-板内固定系统治疗骨盆骶髂关节骨折脱位,较骶骨螺钉结合 Galveston 技术内固定、骶髂关节螺钉、重建钢板固定、骶骨棒固定其骨盆的刚度分别高 10%、11%、16%、21%,强度分别高 12%、14%、21%、31%;应变分别小 13%、14%、22%、25%,位移分别小 10%、12%、16%、20%,差异有统计学意义($P<0.05$),并且超过正常人骨盆标本,但差异无统计学意义($P>0.05$)。**结论:**采用新型 SABP 内固定装置治疗骨盆骨折,其强度、刚度最佳,优于其他内固定方法,是一种理想的新型内固定器械。

【关键词】 骨盆骨折; 骶髂关节; 脱位; 骨折固定术,内; 生物力学

A biomechanical evaluation of the sacroiliac anatomy type Bar-plate internal fixation system ZHENG Qi*, BI Da-wei, SHI Shi-yuan, FEI Jun, WEI Wei, ZU Gang, WANG Yi-fan, WANG Yi-jin. *Department of Orthopaedic, Red Cross Hospital, Hangzhou 310003, Zhejiang, China

ABSTRACT Objective: To evaluate the biomechanical personality of the sacroiliac anatomy type Bar-plate system (SABP), which was of fixation usage to the fracture or dislocation of the sacroiliac joint. **Methods:** Twenty fresh and freeze cadaver pelvises were prepared with pelvic fracture model, compared with different internal fixation systems such as Galveston technique, transiliac rod fixation, reconstruction plate and sacroiliac joint screws using experimental stress analysis methods, and then the stability of the pelvic was obtained and evaluated. **Results:** Using new SABP system to treat pelvic sacroiliac joint fracture and dislocation was higher 10%, 11%, 16%, 21% in the strength; more 12%, 14%, 21%, 31% in rigidity; less 13%, 14%, 22%, 25% in straining; less 10%, 12%, 16%, 20% in shifting than the Galveston technique, transiliac rod fixation, reconstruction plate and sacroiliac joint screws, with remarkable statistic difference ($P<0.05$), and it was even better than cadaver pelvis. **Conclusion:** To treat pelvic fracture, the fixation with new SABP system is of better strength, rigidity and stability, and the SABP system is an ideal new application.

Key words Pelvis; Fractures; Sacroiliac joint; Dislocations; Fracture fixation, internal; Biomechanics

Zhongguo Gushang/China J Orthop & Trauma, 2008, 21(8): 577-580 www.zggssz.com

骶髂关节脱位是创伤性骨盆环损伤中最不稳定的类型,

Tile^[1-2]报道骨盆垂直不稳定的患者有 60% 将遗留永久性疼痛和功能障碍。而各种骨折脱位的复位固定方法各具其优缺点,治疗失败也屡见报道^[3]。根据多年的临床实践和解剖形态学的研究,研制了新型骶髂关节解剖型棒-板内固定系统(sacro-

基金项目:杭州市医学重点专科专病项目(编号:2005633Q28)

通讯作者:郑琦 Tel:0571-56109704 E-mail: drzhq007@sohu.com

总之,实验模拟通用脊柱椎弓根钉棒矫形固定系统治疗胸腰椎失稳性伤病的模型在加载过程中,通用脊柱椎弓根钉棒矫形固定系统的各点应变在一定轴向载荷和弯矩载荷内呈线性变化,并且表现出高弹性,模型结构无明显破坏迹象。说明通用脊柱椎弓根钉棒矫形固定系统内固定完全满足了脊柱胸腰段生物力学要求,并且为弹性固定。下一步将与国内外同类椎弓根固定器械进行生物力学参数对比研究以及临床对照研究,对 ALPF II 型器械的性能作出更全面的评价。

参考文献

- 1 孔德明,孔繁荣,张卓,等.通用型脊柱内固定系统(GSS)治疗胸腰椎骨折.实用骨科杂志,2005,11(4):296.
- 2 王向阳,徐华祥,池永龙,等.用于脊柱内固定器生物力学评价的骨折模型建立.温州医学院学报,2000,30(4):300-302.
- 3 霍洪军,肖宇龙,杨学军,等.应用椎弓根钉棒系统矫治脊柱侧凸.中国脊柱脊髓杂志,2004,14(9):552.

(收稿日期:2008-06-25 本文编辑:王玉蔓)

iliac anatomy type Bar-plate internal fixation system, SABP), 具有良好的复位固定能力, 内固定形状符合解剖学要求。本文拟对这一内固定与骶髂关节损伤其他 4 种内固定方式进行生物力学比较研究, 为临床应用提供科学的依据。

1 材料和方法

1.1 标本制备 20 具新鲜成人尸体骨盆标本, 平均年龄 41 岁 (34~57 岁)。剔除骨盆上的软组织, -20℃ 下密封保存, 测试前在室温下解冻。对骨盆标本行 QCT 扫描 (Densiscan1000, Scanco Medical, Switzerland), 扫描厚度 5 mm, 骶髂关节上下左右两翼的骨密度, Sight 指数在 III~IV 级。然后在坐骨结节及 L₅ 处用骨水泥包埋, 并作几何学测量, 将标本分为试验组 (SABP) 和对照组 S₁ 螺钉结合 Galveston 固定组 (S₁G)、骶骨棒固定组 (SB)、前路重建钢板组 (SP) 和骶髂关节螺钉组 (SS), 每组 4 具标本。

1.2 实验力学模型 所有骨盆标本制作实验力学模型时, 在结构、载荷、力学性质、应变片和传感器布置、损伤及不同内固定方法上均保持一致, 以提高实验检测精度。每具标本骶髂关节的内外侧各取 6 点, 粘贴高精度电阻应变片 (R=120 Ω+0.1%, k=2.16, 1.5 mm×1.5 mm)。骶髂关节、耻骨联合上的位移采用高精度光栅位移传感器测量 (见图 1)。

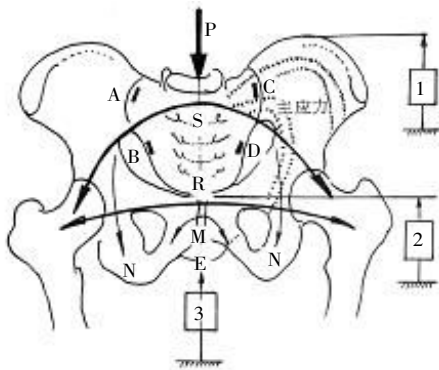


图 1 骨盆环承重的三柱结构与主应力分布的力学模型
Fig.1 The sustainable three-pillar of pelvic ring and mechanical model of main stress distribution

1.3 SABP 的研制 在数字化手术模拟系统中开发了专门的计算机辅助解剖测量和统计技术, 根据髂骨外板及骶骨的解剖形态, 设计了独特的解剖型钢板, 并在此基础上研制出 SABP。新型内固定系统遵循骨盆载荷分享原则、中和原则、支撑原则、强力带原则、拱桥形原则, 设计成由 S₁ 螺钉、骶骨支

持棒及连接的三角形解剖型钉板三部分构成 (见图 2), 该结构钛合金材料制成。该装置安装时沿着骨盆主应力线分布, 有利于传导骶髂关节应力, 构成类似拱桥的组合, 骨盆、钉板、棒成三维立体结构, 既符合解剖学形态, 又符合生物力学及人体工程学原理。

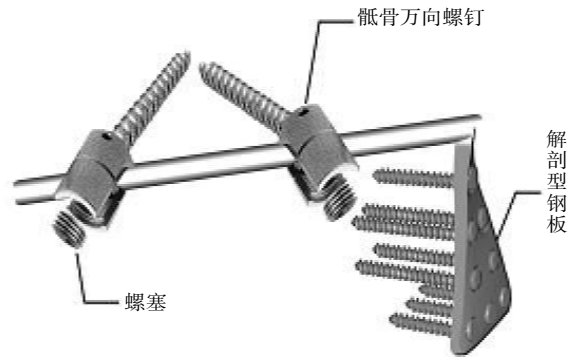


图 2 骶髂关节解剖型棒-板内固定系统
Fig.2 The sacroiliac anatomy Bar-plate fixation system

1.4 观察项目与方法 先进行骨盆骶髂关节机械力学性质测量, 再将标本安装在 INSTRON 1341 材料试验机上, 应变片和位移计全部就位后, 对骨盆施加垂直载荷 0~500 N, 先进行 150 N 预载, 消除骨标本的蠕变、松弛等流变学影响, 生理载荷取 500 N, 实行分级加载, 每次加载速度为 1.40 mm/min。分别测试记录骨盆不同固定时的强度、刚度、应力、位移, 最后进行破坏试验。

1.5 数据处理 生物力学试验中强度、刚度、载荷、位移、应变等数据以线性回归、方差分析, 经最小二乘法处理, 用 SPSS 11.0 软件进行数理统计加以检验, 计算其相关参数。设显著水平为 P<0.05。

2 结果

2.1 骶髂关节的强度 骨盆骨折脱位内固定的强度是指骨盆在载荷作用下抵抗破坏能力的大小, 强度越大, 抗载能力就越强。500 N 载荷作用下, 骶髂关节骨折脱位时不同内固定时的强度值见表 1。

结果表明: ①SABP 的强度比 S₁G、SS、SP、SB 固定强度分别高 12%、14%、21%、31%, 差异有统计学意义 (t=2.74, P<0.05)。②SABP 固定的骶髂关节强度超过正常标本强度的 3%, 但差异无统计学意义 (t=2.22, P>0.05)。

2.2 骶髂关节的刚度 骨盆的轴向刚度和弯曲刚度也是骨

表 1 骶髂关节骨折脱位时不同内固定的强度值 (x±s, mPa)

Tab.1 The strength of sacro iliac joint fracture and dislocation by different internal fixations (x±s, mPa)

固定方法	各测试点强度值				
	A	B	C	D	E
IP	7.81±0.52	7.72±0.55	7.99±0.55	8.09±0.57	3.56±0.27
SABP	8.07±0.58	8.17±0.56	8.24±0.61	8.34±0.58	3.67±0.26
S ₁ G	6.89±0.49	7.13±0.52	7.46±0.52	7.47±0.55	3.44±0.28
SS	6.83±0.51	6.96±0.50	7.13±0.54	7.43±0.53	3.39±0.24
SP	6.26±0.47	6.63±0.48	6.29±0.51	6.83±0.49	3.24±0.20
SB	5.24±0.40	5.75±0.50	5.62±0.43	5.79±0.53	2.97±0.22

盆稳定性的重要指标之一,是指骨盆抵抗轴向变形和弯曲变形的能力。力学上通常分别用 EF 和 EJ 来表示。500 N 载荷作用下,骶髂关节骨折脱位不同内固定时的轴向刚度和弯曲刚度值见表 2。

结果表明:①采用 SABP 内固定的轴向刚度分别高于 S₁G、SS、SP、SB 内固定 10%、11%、16%、21%;弯曲刚度分别高于 S₁G、SS、SP、SB 内固定 9.5%、11%、16%、21%,差异有统计学意义($t=2.83, P<0.05$)。②采用 SABP 内固定后,它与正常标本的轴向刚度和弯曲刚度相比,前者分别高于后者 1%和 5%,差异无统计学意义($t=2.23, P>0.05$)。

2.3 骶髂关节固定的稳定性 正常的骨盆要求保持一定功能位,即平衡形态的能力,不能有过的移位和应变(形变)。500 N 载荷作用下,骶髂关节骨折脱位不同内固定时关节处的应变和位移值见表 3。

结果表明:①骶髂关节骨折脱位不同内固定时的应变,以 SABP 的应变最小,它比 S₁G、SS、SP、SB 固定分别小 13%、

14%、22%、25%,差异有统计学意义($t=3.22, P<0.05$),说明采用 SABP 内固定应变小,固定最牢,具有较大的优势。②骶髂关节骨折脱位不同内固定时进行关节位移测量,发现 SABP 固定位移最小,它比 S₁G、SS、SP、SB 固定分别小 10%、12%、16%、20%,差异有统计学意义($t=3.67, P<0.05$)。同样显示采用 SABP 内固定位移最小,固定牢固,骨盆环最稳定。③骶髂关节不同内固定,采用 SABP 内固定后的应变和位移比正常标本分别小 3%、4%,差异无统计学意义($t=2.37, P>0.05$),固定后已达到正常标本的力学指标水平,说明采用 SABP 固定对骨盆环是一种稳定、可靠的固定方式。

2.4 骨盆的极限力学性能 在全部生理载荷作用下各种力学参数如应变、位移、刚度测量完毕之后,对多种不同内固定系统的骨盆进行极限破坏试验,测出它们的极限载荷、极限位移等一系列极限力学性能。不同内固定骨盆的极限力学性能测量结果见表 4。

结果表明:①骶髂关节骨折脱位采用 SABP 内固定后,极

表 2 骶髂关节骨折脱位采用不同内固定下的刚度值 ($\bar{x}\pm s$)

Tab.2 The strain of sacroiliac joint fracture and dislocation by different internal fixations($\bar{x}\pm s$)

刚度	内固定方法					
	IP	S ₁ BP	S ₁ G	SS	SP	SB
EF(N/mm)	102.68±7.90	103.23±7.37	93.37±6.77	91.67±6.96	87.05±6.57	81.41±6.16
EJ(N·cm/Deg)	581.12±38.43	614.21±44.85	555.96±42.55	545.35±40.08	518.08±39.20	485.04±36.26

表 3 骶髂关节骨折脱位不同内固定时骶髂关节的应变与位移($\bar{x}\pm s$)

Tab.3 The strain and displacement of sacroiliac joint fracture and dislocation by different internal fixations($\bar{x}\pm s$)

固定方法	应变($\mu\epsilon$)			位移(mm)	
	A/C	B/D	E	A/C	B/D
IP	481±37	474±36	204±16	4.76±0.35	5.35±0.48
SABP	467±35	461±35	198±14	4.58±0.34	5.14±0.46
S ₁ G	436±41	513±42	212±17	5.09±0.37	5.56±0.49
SS	538±43	524±44	215±19	5.18±0.41	5.76±0.51
SP	579±46	552±46	224±23	5.50±0.47	6.01±0.54
SB	624±57	609±49	240±25	6.02±0.52	6.27±0.60

表 4 骨盆骶髂关节骨折脱位固定后的极限力学性能($\bar{x}\pm s$)

Tab.4 The ultimate mechanics function of sacroiliac joint fracture and dislocation by different internal fixations($\bar{x}\pm s$)

极限力学性能	内固定方法				
	SABP	S ₁ G	SS	SP	SB
极限载荷 P ₁ (N)	3050±210	2626±224	2572±196	2 362±203	2 281±196
极限位移 Δ_1 (mm)	8.89±0.62	9.15±0.44	9.97±0.72	10.34±0.84	10.96±0.76

表 5 骶髂关节骨折脱位后不同内固定骨盆开环与闭环的比较($\bar{x}\pm s$)

Tab.5 The rigidity of sacroiliac joint by different internal fixations when symphysis pubica fixed or not($\bar{x}\pm s$)

固定方法	开环			闭环		
	强度(mPa)	刚度(N/mm)	位移(mm)	强度(mPa)	刚度(N/mm)	位移(mm)
SABP	8.21±0.58	103.23±7.37	4.86±0.45	7.55±0.54	88.78±6.39	5.63±0.41
S ₁ G	7.24±0.53	92.50±6.77	5.37±0.43	6.44±0.49	78.63±5.34	6.35±0.48
SS	7.09±0.59	91.67±6.96	5.47±0.46	6.24±0.50	75.17±6.30	6.65±0.51
SP	6.50±0.57	87.05±6.57	5.76±0.51	5.59±0.47	69.64±6.48	7.18±0.58
SB	5.65±0.45	81.41±6.15	6.15±0.56	4.59±0.51	61.87±6.20	8.08±0.72

限载荷平均可达到(3 050±210) N, 比 S₁G 高 14%, 比 SS 高 16%, 比 SP 高 23%, 比 SB 高 25%, 差异有统计学意义($t=3.16, P<0.05$)。由此可以看出, 采用 SABP 内固定, 其骨盆的承载能力比较强, 骨盆环比较稳定, 力的传递途径沿主应力迹线, 符合生物力学原理, 较其他内固定优越。②骨盆采用 SABP 器械内固定后, 它的承载能力超过正常标本承载能力(2 948+235) N 的 3%, 差异无统计学意义($t=2.78, P>0.05$)。

2.5 对骨盆耻骨联合部骨折的影响 本试验进行骨盆在耻骨联合部同时骨折, 对各种骶髂关节不同内固定的影响。骨盆开闭环后的强度、刚度和移位比较见表 5。

结果表明:①采用 SABP 器械内固定, 开环时比闭环位移应变增加 10%以上, 强度下降 8%, 刚度下降 14%;采用 S₁G 器械内固定后, 开环时比闭环位移, 应变增加 15%以上, 强度下降 11%、刚度下降 15%;采用 SS 器械内固定, 开环时比闭环位移、应变增加 17%, 强度下降 12%、刚度下降 17%;同样采用 SP、SB 内固定, 开环时比闭环位移、应变分别增加 20%、25%, 强度下降 14%、16%, 刚度下降 20%、25%。②从上面的结果发现, 一旦骨盆开环时, 明显骨盆出现不稳定。但是内固定越牢, 所出现的不稳定、强度、刚度减弱程度就轻, 当器械固定较差时, 这种骨盆不稳定变的越来越明显, 损伤破坏的机会就大, 这充分证明骨盆环耻骨联合必须加强, 才能维系骨盆结构连续性和稳定性这一力学特征。

3 讨论

骶髂关节骨折脱位是最不稳定的骨盆骨折, 在垂直和水平方向上均不稳定, 治疗困难, 并发症多。目前主张积极切开复位内固定治疗, 以降低伤残率^[4]。近年来各种内固定方法日渐增多, 常用的如骶骨棒固定、骶髂关节螺钉固定、重建钢板固定、S₁螺钉结合 Galveston 技术内固定^[5-6]等。但各有其优缺点^[7-8], 经前路显露骶髂关节前路重建钢板内固定术, 显露良好, 但易损伤 L₅ 神经根或臀上动脉, 骶骨侧只能固定 1 枚螺钉, 其抗应力作用差。骶骨棒内固定术简单、创伤小, 但只适用于单侧骶髂关节脱位, 另外, 要求双侧髂后嵴完好, 且不能过度加压, 否则可能损伤骶神经。骶髂关节螺钉固定技术要求高, 有误入椎管损伤马尾神经的危险。

在参考分析各种现有技术的基础上, 本组在数字化手术模拟系统中开发了专门的计算机辅助解剖测量和统计技术, 根据骶骨外板及骶骨的解剖形态, 设计研制出新型骶髂关节解剖型棒-板(SABP)内固定系统。生物力学试验结果表明, 骶髂关节骨折脱位采用 SABP 固定的强度、刚度比 S₁G、SS、SP、SB 高, 应变、位移比 S₁G、SS、SP、SB 小, 差异有统计学意义($P<0.05$)。极限载荷与正常骨盆差异无统计学意义($P>0.05$), 而其他 4 种内固定差异均有统计学意义($P<0.05$)。骶骨棒固定于髂骨髁后上棘, 要求两侧完整, 适用于骶骨骨折, 但其抗剪力、抗扭转力较差;重建钢板骶骨侧固定范围有限, 虽有一定

的抗垂直剪切和抗扭转能力, 但其抗应力作用差, 难以达到坚强固定, 不能早期负重;采用骶髂关节螺钉固定时, 其在髂骨面的单点接触, 易造成钉尾的内陷松动;S₁螺钉结合 Galveston 技术内固定为单棒插入髂翼, 存在棒与髂骨间的微动, 这些因素均影响内固定的生物力学性能^[5]。

SABP 内固定系统外形设计与髂骨外板不规则的解剖结构能很好的匹配, 沿着骨盆力传导的主应力迹线布置, 起着类似于拱桥的作用, 与骨盆构成新的组合结构, 使骨盆环结构更加牢固, 符合生物力学原理。李明等^[7]研究表明骶髂螺钉正负应力 2 枚螺钉固定方式的强度和刚度比常规骶髂拉力螺钉高, 能够减少骶髂关节受到的剪力及扭转载荷等复合载荷, 有利于骶髂关节损伤的修复。SABP 内固定系统在髂骨侧钉板呈三角形, 多螺钉固定, 能够分散局部应力, 增加抗扭转能力, 能达到骨盆环的强度和刚度要求, 比其他内固定具有明显的优势。SABP 内固定系统不但适用骶髂关节的分离、经髂骨骨折, 而且适用于经髂骨的骶髂关节损伤。王静成等^[8]研究表明前骨盆为联接弓, 不承受重力, 因此固定要求不高, 如果后骨盆有坚强的内固定, 可以不固定前骨盆。从试验结果可见, SABP 能达到正常骨盆环结构的力学特性, 可以通过单一入路重建骨盆的稳定性, 为骶髂关节损伤的术后早期下地活动提供条件。

根据上述一系列生物力学试验结果证实, SABP 内固定系统固定形式更趋合理, 固定结构更趋稳定, 为骨盆骨折的治疗增加了一种更有效的新方法。由于本试验仅进行内固定器械稳定性研究, 器械的耐疲劳性能还需经过临床长期观察验证, 我们将在进一步的动物实验和临床研究中, 对骨盆内固定器械作出更全面更客观的评价。

参考文献

- 1 Tile M. Pelvic ring fractures; should they be fixed? J Bone Joint Surg (Br), 1988, 70(1): 1-12.
- 2 Tile M. Acute pelvic fractures: I. Causation and classification. J Am Acad Orthop Surg, 1996, 4(3): 143-151.
- 3 肖玉周, 周建生, 张长春, 等. 不稳定性骨盆骨折的内固定治疗. 中国骨伤, 2007, 20(9): 616-618.
- 4 裴国献. 骨盆骨折的诊疗进展. 中华创伤骨科杂志, 2001, 2(2): 81-83.
- 5 郑琦, 徐荣明, 刘耀升, 等. 骨盆骨折 S₁螺钉结合棒-板内固定系统的生物力学评价. 医用生物力学, 2004, 19(2): 93-97.
- 6 Kuniyoshi Abum, i Michinori Saita, Takahiro Iida, et al. Reduction and fixation of sacroiliac joint dislocation by the combined use of S1 pedicle screws and the gavelston technique. Spine, 2000, 25: 197-200.
- 7 李明, 徐荣明, 王以进, 等. 骶髂螺钉 LX 固定方式的生物力学特性分析. 医用生物力学, 2006, 21(1): 72-76.
- 8 王静成, 王骅, 王强, 等. 不稳定骨盆骨折内固定的生物力学研究及临床应用. 实用临床医药学, 2007, 11(1): 21-25.

(收稿日期: 2008-05-23 本文编辑: 王玉蔓)