

磷酸钙骨水泥强化空心螺钉固定股骨颈骨折的生物力学分析

白正发¹ 郇科^{1△} 王晓波¹ 张飞¹ 吴卓¹

[摘要] 目的:研究磷酸钙骨水泥强化空心螺钉固定股骨颈骨折的生物力学特点,为股骨颈骨折的治疗提供指导。方法:选取 18 例新鲜尸体股骨颈骨折标本,采用随机数字表法将其分为强化组和非强化组,非强化组采用 3 枚空心螺钉倒三角平行排列固定,在此基础上,强化组在 C 臂机透视下向空心钉内灌入磷酸钙骨水泥强化,置于室温使骨水泥彻底凝固后,在相同模式下,测试两组标本的生理负荷,700 N 加载下标本位移变化值及压缩承载最大负荷,同时比较扭转 10°,30°及 90°时的扭转刚度。结果:强化组的平均 700 N 加载下标本位移变化值明显低于非强化组,差异有统计学意义($t=5.72, P<0.01$);压缩承载最大负荷明显高于非强化组,差异有统计学意义($t=4.25, P<0.01$);螺钉扭转角为 10°和 30°时,强化组的扭转力均明显高于非强化组,差异有统计学意义($t=4.21, t=5.49; P<0.01$)。结论:磷酸钙骨水泥强化能明显提高空心螺钉固定股骨颈骨折的稳定性,增强股骨颈部的抗压缩能力,并提高扭转刚度,具有重要的临床价值。

[关键词] 磷酸钙骨水泥强化;空心螺钉;股骨颈骨折;生物力学

[中图分类号] R683.42 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1005-0205(2017)06-0029-04

Biomechanical Analysis of Cannulated Screws Combined with Calcium Phosphate Cement in the Treatment of Femoral Neck Fracture

BAI Zhengfa¹ HUAN Ke^{1△} WANG Xiaobo¹ ZHANG Fei¹ WU Zhuo¹

¹Department of Spine Surgery, The Fourth Hospital of Shaanxi Province, Xi'an 710043, China.

Abstract Objective: To study the biomechanics of cannulated screws combined with calcium phosphate cement in the treatment of femoral neck fracture and to provide guidance for the treatment. **Methods:** 18 cases of fresh cadaveric specimens with femoral neck fracture were randomly divided into strengthening group and non strengthening group. In the non strengthening group, 3 cannulated screws were placed in parallel with the inverted triangle, in addition, strengthening group was injected with calcium phosphate cement into the cannulated screws under C arm fluoroscopy. At room temperature when the cement completely solidified, the specimen displacement of two groups was tested under 700 N loading and the maximum compression load was calculated, and the torsional rigidity of 10°, 30° and 90° were compared. **Results:** The average displacement of strengthening group under 700 N loading were significantly lower than that of the non strengthening group ($t=5.72, P<0.01$). The maximum compression load of strengthening group was significantly higher than that of non reinforcement group ($t=4.25, P<0.01$). When the twist angle of the screw was 10° and 30°, the torsional force of the strengthening group was significantly higher than that of the non strengthening group ($t=4.21, t=5.49; P<0.01$). **Conclusion:** Calcium phosphate cement can significantly improve the fixation stability of cannulated screw in femoral neck fractures, enhance the compression resistance of the femoral neck, increase the torsional stiffness and has important clinical value.

Keywords: strengthening of calcium phosphate bone cement; hollow screw; femoral neck fracture; biomechanics

髋部骨折是临床常见的骨折类型,流行病学调查

显示,全世界每年新增髋骨骨折患者超过 170 万,其中股骨颈是其中最常见的骨折部位,所占比例达 60.0%以上,占全身骨折发生率的 3.58%^[1]. 股骨颈因其特殊的解剖位置和生物力学特点,是全身骨骼系统重要

¹ 陕西省第四人民医院脊柱外科(西安,710043)

[△]通信作者 E-mail: Iwbjb5000@163.com

的受力部位,骨折可导致患者生活质量的严重降低。同时由于其血供较少,术后易发生骨折不愈合、股骨头坏死等并发症。据文献报道,股骨颈骨折术后不愈合率在 15.0% 左右,股骨头坏死率则达到 20.0%~30.0%^[2],因此提高术后康复质量也成为临床研究重点。股骨颈骨折好发于老年人群中,且患者多伴有骨质疏松症(OP),OP 可导致患者骨质丢失及骨微结构的破坏,这些改变不仅增加了骨折的风险^[3],还能导致骨折内固定术的稳定性降低,增加内固定术失败及术后并发症风险。相比正常骨骼所发生的骨折,骨质疏松性骨折的生物学及力学特点有着本质区分^[4],其对术后内固定的稳定性要求更高,且与术后康复有着直接联系。因此针对骨质疏松性骨折开展内固定术的力学及生物学研究,对增强内固定术的瞬时及长期稳定性^[5],提高骨折预后质量具有重要的临床价值。3 枚空心螺钉倒三角内固定术是目前用于股骨颈骨折的重要治疗方法,其临床效果已得到广泛证实^[6]。近年来不断有研究将磷酸钙骨水泥用于骨质疏松性骨折内固定中,且发现其能提高内固定的稳定性。因此笔者通过注入磷酸钙骨水泥对内固定术的生物力学特性开展研究,现报告如下。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

选取 18 具防腐老年女性尸体,年龄在 63~71 岁,平均年龄为(65.71±4.85)岁,所有尸体双侧股骨均经 X 线检查,排除股骨颈局部周围肿瘤、骨结核、骨折、股骨畸形及其他病变,去除尸体双侧股骨上附着的软组织及其他附着物,并将靠近股骨远端 1/3 以下区域截除,制作 Pauwels 角为 70°的股骨颈骨折模型,并使标本在多层保鲜膜包裹下放入 -20℃ 温度下冷冻保持待测。采用随机数字表法将所有标本分为强化组和非强化组。两组标本均经 Osteocore 双能 X 线骨密度仪(Medilink 公司提供)测量股骨颈 Word 三角区域骨密

度(BMD),结果显示各标本均伴有骨质疏松,标本之间的 BMD 比较差异无统计学意义($P>0.05$),其中强化组的平均 BMD 为(3.48±0.22)g/cm²,非强化组的平均 BMD 为(3.50±0.23)g/cm²,两组标本的 BMD 比较差异无统计学意义($P>0.05$),有可比性。

1.2 方法

两组标本均在均 C 臂机(德国西门子公司生产)透视下进行标准的股骨颈骨折空心螺钉内固定复位术,并采用三枚螺钉呈倒三角形平行植入股骨头中,术后均经 X 线证实内固定复位效果理想,螺钉螺纹全部通过骨折线,尖端距离股骨头软骨面在 5~10 mm。根据 Pauwell 单腿站立模型,建立两组标本的正常单腿站立姿势,即股骨干长轴与中垂线呈 25°角,并保证股骨颈为 15°前倾角,采用牙托粉将其固定在力学试验机(扬州华辉检测仪器有限公司提供)模具中,待牙托粉充分凝固稳定后,以 20 N/s 负荷在标本骨股骨头负重区域垂直加压至 700 N(见图 1),记录两组标本的位移变化值,同时 X 线证实均未出现螺钉松动及骨折,证实 700 N 均在本研究成年女性股骨标本的生理负荷内。随后将强化组标本从模具中取出,将磷酸钙骨水泥调和成糊状,在 C 臂机透视下,使用 10 mL 注射器向空心螺钉中注入磷酸钙骨水泥约 4 mL,常温下放置至骨水泥充分凝固后,再次在模具中进行 700 N 负荷加载实验(见图 2),并记录 700 N 负荷时的位移变化值。随后分别在两组标本中随机选取 9 例进行压缩最大承载负荷和扭转刚度实验。压缩最大承载负荷实验:建立模仿正常人单腿站立的姿势,并使用牙托粉将其固定于力学实验机模具中,设置力学试验机以 5 mm/min 的速度向股骨头负重区垂直加压,当再次骨折时立即停止加压,并记录此时的最大负荷值。扭转刚度实验:将两组标本中各自剩余的 9 例侧卧于 NJ-50B 型扭转机上,进行股骨头扭转实验,扭转速度设置为 2°/min,分别在扭转角为 10°,30°及 90°时,记录对应的扭转力矩。



图 1 股骨颈骨折循环加载图

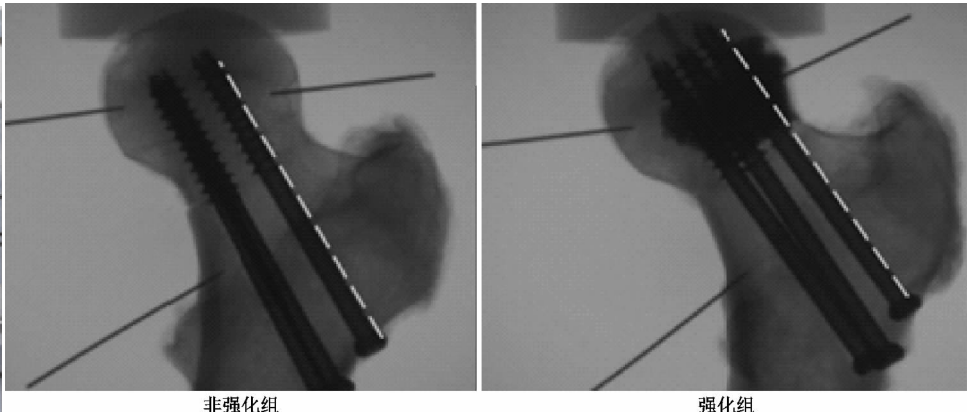


图 2 股骨颈骨折空心螺钉植入后正位 X 线片

1.3 观察指标

1)两组标本的生理负荷 700 N 加载下标本位移变化值及压缩承载最大负荷;2)两组标本 10°,30°及 90°扭转角时的扭转刚度。

1.4 统计学方法

所有统计学资料都采用 SPSS21.0 专业统计学软件进行数据分析,首先进行两组方差齐性检验,后进行两独立样本均数的 *t* 检验,*P*<0.05 差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组的 700 N 加载下标本位移变化值及压缩承载最大负荷比较

强化组的平均 700 N 加载下标本位移变化值明显低于非强化组,差异有统计学意义(*t* = 5.72, *P* <0.01);强化组的压缩承载最大负荷明显高于非强化

组,差异有统计学意义(*t* = 4.25, *P* <0.01),见表 1。

表 1 700 N 加载下标本位移变化值及
压缩承载最大负荷比较(̄x±s)

组别	例数	700 N 加载下标本 位移(mm)	压缩承载最大 负荷(N)
强化组	9	0.541±0.078	3 713±569
非强化组	9	0.924±0.185	2 697±436
<i>P</i>		<0.01	<0.01
<i>t</i>		5.72	4.25

2.2 两组在 10°,30°及 90°扭转角下的扭转力矩比较

当螺钉扭转角为 10°和 30°时,强化组的扭转力矩均明显高于非强化组(*t* = 4.21, *t* = 5.49; *P* <0.01),当螺钉扭转角为 90°时,两组的扭转力矩比较差异无统计学意义(*P* >0.05),详见表 2。

表 2 在 10°,30°及 90°扭转角下的扭转力矩比较(̄x±s)

组别	例数	扭转力矩(N·m)		
		10°扭转角	30°扭转角	90°扭转角
强化组	9	6.04±0.21	6.32±0.13	6.28±0.16
非强化组	9	5.56±0.28	5.82±0.24	6.25±0.17
<i>t</i>		4.21	5.49	0.39
<i>P</i>		<0.01	<0.01	0.71

3 讨论

骨质疏松症是老年人常见的退行性病变,患者骨质吸收负平衡使皮质骨内膜过度吸收及髓腔扩大,并可破坏骨小梁等微结构,影响股骨弯曲和扭转等力学强度,因此相比正常骨骼更易发生骨折^[7]。据文献报道^[8],在我国 50 岁以上人群中,超过 40.0%的妇女和 14.0%的男性会出现骨质疏松性骨折,且发生率与年龄呈正相关。髌部骨折是骨质疏松症引起的常见并发症,这其中高达 60.0%为股骨颈骨折,股骨颈因其特殊的解剖生理功能,骨折时致残率较高^[9],严重危害着患者的生命健康。羟磷灰石和胶原是骨骼的主要成分,其中磷灰石具有抗压缩功能,而胶原则具有较强抗拉伸能力,正常骨骼系统主要依靠骨质形成及吸收平衡维持其功能及完整性,而各组分结构及强度又是保证骨骼力学强度的重要因素^[10]。

研究证实,增强骨骼力学强度是治疗骨质疏松性骨折的关键,目前多钉内固定术因其创伤小、抗扭转力强等优点,且多螺钉分散固定能最大限度控制股骨头旋转及降低螺钉的成角应力,有着明显的生物力学优势^[11],在临床得到广泛开展。随着近年来对“皮质支撑”理论推广,三枚螺钉呈倒三角排列被证实为股骨颈骨折内固定的最佳治疗方案,因此本研究采用倒三角排列进行内固定。但研究发现^[12],骨质疏松症患者骨质密度明显降低,股骨颈作为骨质疏松影响最大部位之一,因此在实施内固定时,常无法提供牢固的螺钉锚

着力及稳定骨质支持。当术后受外力作用时,内固定-骨界面应变力易超过其最大负荷,导致微骨折及内固定松动发生。据文献报道,股骨颈骨折内固定失败率高达 21.0%~57.0%^[13],其发生涉及多种因素影响,而骨折疏松所引起的螺钉锚着力不足,导致螺钉松动脱出及切割穿入关节是其中重要原因。

随着生物材料在骨折治疗中迅速发展,将其用于骨质疏松性骨折也成为临床研究热点。多项研究证实^[14],该技术能显著提高螺钉把持力增强稳定性,降低内固定失败率,且不影响骨折愈合或促进股骨头坏死。但早期使用的骨水泥存在较多不可控因素,包括:1)骨水泥可渗出至关节间隙,引起关节软骨热力损伤、继发磨损及骨性关节炎发生;2)无生物活性无法被骨质所吸收,反流至骨折缝隙时,形成纤维组织,影响骨折愈合;3)难以清除,增加内固定失败再次手术时手术难度及风险;4)凝固时能释放大热量,损伤股骨头血供血管;5)长期固定的稳定性较差。磷酸钙骨水泥是新型的可注射生物型骨水泥,具有与骨质内无机质相似的可结晶性和化学成分,在生理环境下数分钟内即可以无放热结晶反应碳化成任何形状磷灰石,且具有较强的力学和生物相容性,进而提高骨折的生物力学稳定性^[15]。本研究将磷酸钙骨水泥对股骨颈骨折尸体标本进行强化,发现强化组在 700 N 加载下标本位移变化值及压缩承载最大负荷矩均明显高于非强化组,可能与骨水泥能促进骨折处解剖形态恢复,从而增

强了空心螺钉的把持力以及骨折断端稳定性有关,证实空心螺钉注入骨水泥可显著增强股骨颈骨折的稳定性,降低骨折再移位的风险。同时抗旋性能研究结果证实,强化组在扭转角为 10° 和 30° 时的扭转力均明显高于非强化组,表明磷酸钙骨水泥强化的空心螺钉还能增强骨折处的刚度及强度,提高抗旋性能,与目前多数报道基本一致^[16]。且其可降解性和骨传导性,能被新骨质形成所吸收替代的特点,有效克服了传统骨水泥的缺点,为股骨颈骨折愈合创造良好的生物力学环境。

综上所述,采用磷酸钙骨水泥强化固定股骨颈骨折能明显提高空心螺钉的固定稳定性,提高股骨颈部的抗压缩能力,同时还能提高扭转刚度,具有重要的临床价值。然而本研究仍存在一定的局限性,属于生物力学研究,同时样本量较小,故骨水泥强化空心螺钉治疗股骨颈骨折的疗效仍有待于临床研究进一步证实。

参考文献

- [1] 尹英民,林伟龙,沈海敏,等.髋部骨折 1266 例流行病学调查分析[J].老年医学与保健,2013,19(3):161-164.
- [2] 唐路平,李伟军,熊炎,等.65 岁以下股骨颈骨折术后股骨头坏死的多因素分析[J].中国矫形外科杂志,2013,21(6):538-541.
- [3] Zielinski SM,Keijsers NL,Praet SF,et al. Femoral neck shortening after internal fixation of a femoral neck fracture. [J]. Orthopedics,2013,36(7):849-858.
- [4] 刘瑶瑶,代飞,孙东,等.不同量骨水泥强化新型空心椎弓根螺钉的体外生物力学研究[J].第三军医大学学报,2012,34(16):1626-1629.
- [5] Mei J,Liu S,Jia G,et al. Finite element analysis of the effect of cannulated screw placement and drilling frequency on femoral neck fracture fixation. [J]. Injury,2014,45(12):2045-2050.
- [6] 史建国,邱南海.生物型与骨水泥型人工股骨头置换治疗高龄股骨颈骨折[J].中国组织工程研究,2013,19(26):4767-4774.
- [7] Dewilde TR,Dauw J,Vandenneucker H,et al. Opening wedge distal femoral varus osteotomy using the Puddu

plate and calcium phosphate bone cement[J]. Knee Surgery Sports Traumatology Arthroscopy,2013,21(1):249-254.

- [8] 马川,江锋,黄陈翼,等.骨水泥型与生物型假体髋关节置换术治疗老年股骨颈骨折疗效研究[J].检验医学与临床,2016,13(13):728-729.
- [9] Sonoda K,Yamamoto T,Motomura G,et al. Subchondral insufficiency fracture of the femoral head after internal fixation for femoral neck fracture:histopathological investigation[J]. Skeletal Radiology,2014,43(8):1151-1153.
- [10] 陈善斌,刘智.老年股骨颈骨折手术治疗中骨水泥型假体和生物型假体的选择[J].中华创伤骨科杂志,2016,18(5):273-274.
- [11] Lin CF,Liang WM. Outcomes after fixation for undisplaced femoral neck fracture compared to hemiarthroplasty for displaced femoral neck fracture among the elderly [J]. BMC Musculoskeletal Disorders,2015,16(1):1-10.
- [12] 徐峰,蔡贤华,张志文,等.可注射性磷酸钙骨水泥对骨质疏松椎体压缩骨折的生物力学研究[J].中国中医骨伤科杂志,2015,23(10):8-10.
- [13] Lapidus LJ,Charalampidis A,Rundgren J,et al. Internal fixation of garden I and II femoral neck fractures;posterior tilt did not influence the reoperation rate in 382 consecutive hips followed for a minimum of 5 years. [J]. J Orthop Trauma,2013,27(7):390-391.
- [14] 邹华章,马晓春,唐程,等.复合型可注射磷酸钙骨水泥在胫骨平台塌陷骨折中的生物力学研究[J].中国修复重建外科杂志,2013,22(7):855-859.
- [15] Yumin LI,Huang Z,Dai H,et al. The clinical effect of internal fixation by two or three cannulated screws for femoral neck fracture and the risk factors predicting femoral head necrosis[J]. Journal of Minimally Invasive Medicine,2014,15(23):1933-1938.
- [16] 高明暄,李旭升,任民,等.可注射磷酸钙骨水泥对不同骨质椎弓根螺钉的强化作用[J].实用骨科杂志,2013,19(12):1094-1097.

(收稿日期:2016-11-03)

广告目次

1. 陕西盘龙药业集团股份有限公司

盘龙七片 封二

2. 广东省医药进出口公司珠海公司

同息通 彩插一

3. 金花企业(集团)股份有限公司西安金花制药厂

金天格胶囊 封三

4. 贵州益佰制药股份有限公司

金骨莲胶囊 封四