

# 三叉形股骨膨胀式空心加压螺钉的研制及生物力学分析\*★

尹一然, 陈歌, 鲁晓波, 徐杨博, 叶里子

## Design and biomechanical analysis of trigeminal form expansion hollow compression screw

Yin Yi-ran, Chen Ge, Lu Xiao-bo, Xu Yang-bo, Ye Li-zi

### Abstract

**BACKGROUND:** Traditional fixation device for femoral neck fracture can cause screw loosening, extraction and higher failure rate when fixation device on bone-screw interface with insufficient grasping force or bearing load too large.

**OBJECTIVE:** To develop and evaluate biomechanical characteristics of the trigeminal form expansion hollow compression screw.

**METHODS:** Based on the special biomechanical characteristics of the femoral neck fracture, the trigeminal form expansion hollow compression screw was designed, which was composed of two parts: hollow nail and inside plug which could be screwed into the channel of the hollow nail. Within the bolt screwed through the nail produced pressure effect. Then AO cannulated screw by anti-axial compression was made as control. Axial compression test, three-point bending test and maximal axial pullout strength test were detected respectively.

**RESULTS AND CONCLUSION:** Under 300 N axial or bending external force, axial compression stiffness and bending stiffness in the experimental group were higher than those of the control group ( $P < 0.05$ ), but axial displacement and radial degree in the experimental group were lower than those of the control group ( $P < 0.05$ ). The maximal axial pullout strength of the experimental group was higher than that of the control group ( $P < 0.05$ ). It is indicated that trigeminal form expansive hollow compression screw is significantly superior to AO cannulated screw in fixation firmly and biomechanical properties. Trigeminal form expansive hollow compression screw has good performance in anti-axial compression, anti-bend, anti-torsion and anti-pullout which is the advantage that AO cannulated screw does not have.

Yin YR, Chen Ge, Lu XB, Xu YB, Ye LZ. Design and biomechanical analysis of trigeminal form expansion hollow compression screw. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu. 2012;16(9): 1613-1617. [http://www.crter.cn http://en.zglckf.com]

### 摘要

**背景:** 传统治疗股骨颈骨折的内固定器械在骨-螺钉界面握持力不足或术后承载负荷过大时, 可造成螺钉的松动或拔出, 内固定失效率较高。

**目的:** 研制三叉形股骨膨胀式空心加压螺钉, 并分析其生物力学性能。

**方法:** 根据股骨颈骨折的特殊生物力学特性研制的三叉形股骨膨胀式空心加压螺钉, 由中空主钉和可拧入主钉内孔道的内栓部分组成, 通过内栓旋入后对主钉前部的挤压产生膨胀加压作用。以传统 AO 空心加压螺钉作为对照组进行生物力学实验, 分别进行轴向压缩实验、三点弯曲实验、最大轴向拔出实验。

**结果与结论:** 在 300 N 的轴向外力作用或弯曲外力下, 实验组轴向压缩刚度、弯曲刚度高于对照组 ( $P < 0.05$ ), 纵向位移及挠度低于对照组 ( $P < 0.05$ )。实验组最大轴向拔出力高于对照组 ( $P < 0.05$ )。表明三叉形膨胀式空心加压螺钉固定牢靠, 生物力学性能明显优于普通 AO 空心螺钉, 具有较好的抗轴向压缩能力及抗弯曲、抗旋转能力, 在抗拔出性方面更具有普通 AO 空心螺钉所不具备的优势。

**关键词:** 三叉形膨胀式空心加压螺钉; 股骨颈骨折; 普通 AO 空心螺钉; 生物力学; 骨科植入物

doi:10.3969/j.issn.1673-8225.2012.09.022

尹一然, 陈歌, 鲁晓波, 徐杨博, 叶里子. 三叉形股骨膨胀式空心加压螺钉的研制及生物力学分析[J]. 中国组织工程研究, 2012, 16(9):1613-1617. [http://www.crter.org http://cn.zglckf.com]

## 0 引言

治疗股骨颈骨折的关键在于尽早使骨折解剖复位, 坚强内固定和骨折端加压, 以减少骨不愈合及股骨头缺血性坏死的发生率<sup>[1]</sup>。但对于高龄股骨颈骨折患者而言, 由于普遍存在不同程度的骨质疏松, 骨矿量减少, 骨微结构破坏, 故传统的内固定器械在术后负载过大时往往易出现内固定物的松动或拔出, 且手术技术的熟练程度对内固定物把持力的持久性也有较大影响, 增加了治疗难度并影响预后<sup>[2]</sup>。因此, 国内

外众多学者均致力于研制具有可靠生物力学特性的内固定器械。基于此本实验设计了三叉形膨胀式空心加压螺钉, 并研究其生物力学性能。

## 1 材料和方法

**设计:** 单一样本观察实验。

**时间及地点:** 于 2008-06/2009-03 在泸州医学院分子中心实验室及四川大学力学实验室完成。

**材料:**

**实验标本:** 新鲜猪股骨标本 48 个, 购自泸州

Department of Bone and Joint Surgery, Affiliated Hospital of Luzhou Medical College, Luzhou 646000, Sichuan Province, China

Yin Yi-ran★, Master, Physician, Department of Bone and Joint Surgery, Affiliated Hospital of Luzhou Medical College, Luzhou 646000, Sichuan Province, China shileilei524@126.com

Chen Ge★, Master, Associate chief physician, Department of Bone and Joint Surgery, Affiliated Hospital of Luzhou Medical College, Luzhou 646000, Sichuan Province, China

Yin Yi-ran and Chen Ge contributed equally to this paper.

Correspondence to: Chen Ge, Associate professor, Department of Bone and Joint Surgery, Affiliated Hospital of Luzhou Medical College, Luzhou 646000, Sichuan Province, China 676858889@qq.com

Supported by: Experimental Subject Fund Project of Sichuan Province, No. 09081\*

Received: 2011-09-29 Accepted: 2011-11-02

泸州医学院附属医院骨与关节外科, 四川省泸州市 646000

尹一然★, 男, 1983年生, 四川省双流县人, 2009年泸州医学院毕业, 硕士, 医师, 主要从事骨与关节疾病的研究。shileilei524@126.com

并列第一作者: 陈歌★, 硕士, 副主任医师, 主要从事骨与关节疾病、骨肿瘤专业研究。

通讯作者: 陈歌, 副教授, 泸州医学院附属医院骨与关节外科, 四川省泸州市 646000 676858889@qq.com

中图分类号: R318  
文献标识码: B  
文章编号: 1673-8225 (2012)09-01613-05

收稿日期: 2011-09-29  
修回日期: 2011-11-02  
(20110901013/GW·G)

生猪养殖场, 经X射线检查排除明显骨质疏松、外伤及骨病。股骨头直径(椭圆形)3.8~4.0 cm, 股骨头周长8~11 cm, 股骨全长19~22 cm, 骨干最细处周长5.6~6.9 cm, 股骨颈长1.5~2.0 cm, 骨皮质厚度0.3~0.6 cm。

**内固定器械:** 膨胀式空心加压螺钉24枚, 普通AO空心螺钉24枚, 均由北京中智云天医疗器械公司按设计图样制造。

**测量工具和仪器:** C臂X射线机(PHILIP公司)、64排64层CT(美国GE公司)万能材料试验机(日本岛津公司)、四川大学生物力学实验室扭转力学试验机、普通空心加压螺钉(北京中智云天医疗器械公司)、电动摆锯、手术刀、电钻、点式复位钳等。

**实验方法:**

**膨胀式空心加压螺钉的设计与制作(24个):** 该钉采用医用钛合金材料制成, 钛合金具有良好的组织相容性和稳定性, 不容易发生松动和感染, 减轻了患者的痛苦<sup>[1]</sup>, 是目前很好的医用生物材料。

该钉由两部分构成, 图1, 2。



Figure 1 Hollow nail and inside plug  
图1 主钉及内栓图



Figure 2 Inside plug screwed into the channel of the hollow nail  
图2 内栓置入主钉后

中空主钉和可拧入主钉内孔道的内栓部分。中空主钉长度60 mm, 直径7.3 mm, 尖端螺纹长度25 mm, 螺距3 mm。其外观和型号上与AO空心加压螺钉相似, 不同之处在于: ①螺钉尖端螺纹部有3条纵行开槽, 长度26 mm, 将其均匀分成3个叶片, 为膨胀部。②螺钉孔径在膨胀部为2.0 mm, 其余部分孔径为2.7 mm。③螺帽部内带细螺纹。内栓直径均一2.5 mm, 长

度与主钉一致。尾部膨大, 有螺纹与主钉螺帽内螺纹相配及锚定, 同时内有六角丝口, 以便拧入。内栓拧入主钉内孔道后, 主钉尖端膨胀部即发生膨胀。实验中尚需测量膨胀部最大直径的平均增加大小, 并调整内栓直径与膨胀部孔径之间比例, 以获得最佳膨胀度。

**实验分组:** 取新鲜猪股骨(48个)制作标准股骨颈底部骨折模型。按随机化表分成6组: A1、A2、B1、B2、C1、C2, 其中A1、B1、C1为实验组, 分别进行轴向压缩实验、三点弯曲实验、最大轴向拔出力实验, A2、B2、C2为对照组, 分别进行轴向压缩实验、三点弯曲实验、最大轴向拔出力实验。对每个股骨标本均测其骨质密度, 实验组骨密度为(0.85±0.07) g/cm<sup>3</sup>, 对照组骨密度为(0.83±0.09) g/cm<sup>3</sup>。经过计算比较两组差异无显著性意义(P > 0.05)。

**建立模型:** 制备标准股骨颈底部骨折模型(Pauwels角为50°): 剥离干净附着于股骨及股骨头颈部的软组织, 于股骨中下1/3处水平锯平。

**固定:** 将骨折复位后, A1、B1、C1组行骨折处三叉形膨胀式空心加压螺钉置入固定, A2、B2、C2组行直径7.3 mm AO空心加压螺钉置入固定。

所有螺钉进钉方法一致, 固定完成后均经X射线检查证实螺钉位于股骨颈中央, 其纵轴与股骨颈纵轴平行, 拧入深度为螺钉定点距离股骨头软骨面下15 mm, 无螺钉突破股骨头/颈处皮质; 所有膨胀式空心加压螺钉膨胀部均已膨胀达到预期效果, 见图3, 4。



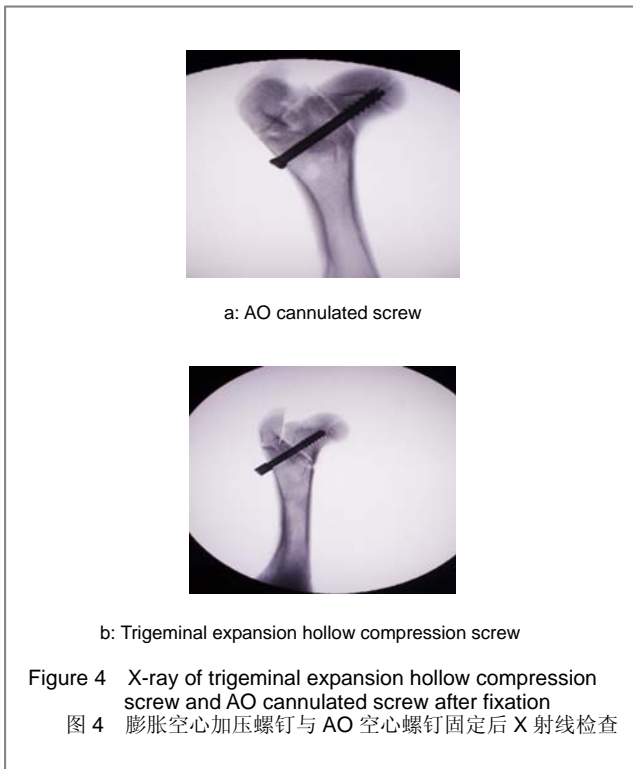
a: AO cannulated screw



b: Trigeminal expansion hollow compression screw

Figure 3 Specimen profile of trigeminal expansion hollow compression screw and AO cannulated screw

图3 膨胀式螺钉与AO螺钉标本剖面



**生物力学检测:** 将完整股骨标本装入电子万能实验机夹具内, 依次检测电阻值。检测无误后, 先预载(1/10负荷)10次, 以消除股骨的蠕变等因素的影响, 以提高检测精度。

将骨折固定标本装入电子万能实验机夹具内, 安装上高精度数显光栅位移传感器(KG-101, 精度0.01 mm)测量股骨头的位移变化。检测电阻值无误后, 按相同的方法进行预载。随后依次进行下列实验。

**轴向压缩实验:** 轴向压缩实验的压缩点在髌臼帽上面, 设置在股骨头部的夹具以模拟承受相反的载荷。轴向压缩载荷0~300 N, 加载速度为1 mm/min, 适时记录此时股骨头的位移。股骨固定后其轴向刚度反映固定器械抗轴向变形能力的大小, 按其生物力学意义:  $EF=P/DL$ , 式中EF表示刚度, P为轴向载荷, DL为压缩位移。在生理载荷作用下, 股骨不会发生永久变形, 变化比较平稳, 卸载后股骨可恢复原状, 显示弹性变形, 说明固定后股骨的弹性较好。在相同载荷作用下, 骨的应变越大, 骨分享的载荷就越多。股骨骨折内固定后, 在等量载荷下, 应变越小, 说明内固定越牢, 股骨越不容易变形。

**三点弯曲实验:** 标本采用三点弯曲加载方式, 中部给与加载, 夹具产生相反的力以提供形成的弯矩, 标本安装在类似扭转实验的组合夹具内, 两端楔形块支撑使之发生弯曲。弯曲载荷0~300 N逐渐加载, 加载速度为2 mm/min。适时记录此时股骨的挠度。标本在横向载荷作用下, 会发生向下挠曲变形即弯曲变形。挠曲变形即产生挠度, 其挠度的差别, 直接反映了标本弯曲变形

的能力大小。股骨固定后的弯曲刚度反映其抵抗弯曲变形能力的大小, 按其生物力学意义表示为 $EJ=F/M$ , 式中EJ为弯曲刚度, F为股骨承受的力, M为股骨弯曲时产生的位移。挠度的变化说明股骨的挠曲变形状况, 挠度越小, 越不易发生弯曲变形, 反映内固定器材固定的强度。

**最大轴向拔出力实验:** 将股骨标本两端固定于特制的夹具上, 将标本与生物力学机相连(使固定螺钉的长轴与实验机纵轴平行)。以5 mm/min的加载速度进行拔出实验, 出现螺钉拔出破坏后停止。适时记录此时螺钉的最大拔出力。最大轴向拔出力取决于螺钉与周围骨质的剪切应力, 即螺钉与周围骨质接触面积越大, 其剪切应力也越大。因此常被采用作为评价股骨颈内固定螺钉稳定性的生物力学测试方法。

在整个实验过程中, 所有标本均用生理盐水湿润以保持标本处于湿润状态, 并给予温度补偿保持整个实验处于相同的温度条件。

**主要观察指标:** 各组股骨标本轴向压缩实验、三点弯曲实验、最大轴向拔出力实验结果。

**统计学方法:** 所有实验机的载荷信号由计算机数据采集系统记录, 并有SPSS 12.0统计软件对数据进行统计分析, 所有数量值均以 $\bar{x}\pm s$ 表示。差异的显著性用t检验,  $P \leq 0.05$ 为差异有显著性意义。

## 2 结果

**2.1 大体观察** 膨胀式空心加压螺钉组和普通AO空心加压螺钉组骨折复位和固定均符合临床标准, 各组标本在实验过程中螺钉均无断裂、松动等情况出现。标本无他处骨折。

**2.2 两组螺钉轴向压缩实验结果** 见表1。

Item	Experimental group	Control group
Specimen 1	1.910	2.886
Specimen 2	2.086	2.379
Specimen 3	1.902	2.879
Specimen 4	1.892	2.295
Specimen 5	1.913	2.410
Specimen 6	1.884	2.759

实验结果显示, 实验组与对照组股骨纵向位移在500 N时分别为(1.93±0.71) mm和(2.53±0.28) mm。在500 N载荷作用下, 实验组刚度为(155.54±5.81) N/mm, 对照组的刚度为(116.36±12.05) N/mm, 两组间差异有非常显著性意义( $P < 0.01$ )。

**2.3 两组螺钉弯曲实验结果** 见表2。

表2 在300 N载荷下两组螺钉弯曲挠度  
Table 2 Radial degree in two groups under 300 N load (mm)

Item	Experimental group	Control group
Specimen 1	2.090	2.377
Specimen 2	1.815	2.296
Specimen 3	1.821	2.400
Specimen 4	1.835	2.368
Specimen 5	2.099	2.305
Specimen 6	2.124	2.337

实验结果显示在300 N的外力作用下, 实验组产生的挠度为(1.96±0.15) mm, 对照组为(2.35±0.42) mm, 两组间差异有非常显著性意义( $P < 0.01$ )。根据实验测量, 在300 N下, 实验组的弯曲刚度为(153.53±12.05) N/mm, 对照组弯曲刚度为(127.84±2.26) N/mm, 两组间差异有非常显著性意义( $P < 0.01$ )。

#### 2.4 两组螺钉最大轴向拔出力实验结果 见表3。

表3 两种螺钉固定后的最大轴向拔出力  
Table 3 Maximal axial pullout strength in two groups after fixation (N)

Item	Experimental group	Control group
Specimen 1	2 303.78	2 007.32
Specimen 2	2 456.90	2 054.25
Specimen 3	2 178.23	1 998.48
Specimen 4	2 254.31	2 124.69
Specimen 5	1 900.67	2 033.58
Specimen 6	2 239.45	1 825.14

实验显示, 实验组最大轴向拔出力为(2 071.9±62.1) N, 对照组最大轴向拔出力为(1 940.6±78.1) N, 两组间差异有非常显著性意义( $P < 0.01$ )。说明三叉型膨胀式空心加压螺钉的抗拔出性能明显优于普通AO空心螺钉。

### 3 讨论

股骨颈骨折占股骨近端骨折的53%, 其中无移位(包括嵌插性骨折)骨折占33%, 有移位骨折占67%<sup>[3]</sup>。此骨折的特点为: ①患者平均年龄高, 死亡率高于普通骨折, 特别是老年人伤后1年病死率高达30%<sup>[4]</sup>。②骨折时骨折愈合缓慢, 且易发生股骨头缺血坏死, 此为股骨颈处血管走行特点所决定<sup>[5]</sup>。③骨折部位常承受较大的剪应力, 影响了骨折复位后的稳定性, 影响治疗效果。目前主张股骨颈骨折后应尽早解剖复位及行良好的内固定, 才能减少创伤后股骨头缺血性坏死及其他并发症的发生<sup>[6-7]</sup>, 加快患者康复。

股骨颈骨折的手术方式大致分为复位内固定和人工股骨头置换、人工全髋关节置换3大类<sup>[8]</sup>。其中复位内固定常见的有以下几种: ①单钉类, 以三翼钉为代表,

其操作简便, 手术时间短。但由于其为单轴固定, 术后骨折不愈合和股骨头缺血坏死发生率均较高, 国际上早已摒弃。②多钉类, 主要种类有Moore, Knowles, Neufeld等。优点是可在局麻下经皮操作, 但固定强度不足, 且存在固定针传出股骨头的可能。③钩钉, 一般适用于Garden I、II型骨折, 对Garden III、IV型骨折失败率较高。④滑动螺钉加侧方钢板, 常用的有动力髌螺钉、Push和Richard钉等。但有研究显示单独应用时其抗扭转能力差。⑤加压螺钉, 近年来中空加压螺钉置入内固定已成为治疗新鲜股骨颈骨折的首选方法<sup>[9-11]</sup>。无论何种类型的股骨颈骨折(即使是无移位型或嵌插型), 除非患者有明确手术禁忌证, 均应考虑手术治疗, 以防止骨折再移位, 并减少卧床时间, 减少骨折合并症发生<sup>[12]</sup>。但老年人由于骨质疏松, 骨骼质量差, 传统的内固定器械在骨-螺钉界面握持力不足或术后承载负荷过大时, 可造成螺钉的松动或拔出, 内固定失效率较高<sup>[13-15]</sup>。

传统AO空心加压螺钉的优势在于<sup>[16-18]</sup>: 骨折端可获得良好的加压; 3枚螺钉固定具有很高的强度及抗扭转能力; 手术操作简便, 对骨折处骨膜及周围软组织血运影响小, 符合AO内固定原则, 骨折愈合率高。但其也有不可回避的缺点, 即: 对于严重粉碎骨折, 单纯螺钉固定的支持作用较差, 有继发骨折移位及髓内翻的可能; 对于老年骨折疏松患者, 螺钉松动拔出、内固定失效发生率较高。特别是术者操作技术不够熟练, 术中不得不反复置钉时更会造成螺钉把持力的进一步下降。

本实验所研制的三叉形膨胀式空心加压螺钉, 通过拧入内栓, 使空心加压螺钉前端的膨胀部直径增加, 及股骨头内的螺钉直径加大, 螺钉与周围骨折接触面成角增加, 从而使剪切应力增加。Wittenberg等<sup>[19]</sup>研究表明, 在相同的骨质密度下, 当螺钉直径相差大于1 mm时, 最大拔出力有明显性差异。因此这种螺钉不但继承了空心加压螺钉技术的优点, 也较好地避免了传统螺钉内固定所存在的缺点。

轴向压缩是人体站立时股骨承受的主要应力, 而弯曲和扭转应力是人类长骨最常见的受力情况, 所以轴向压缩、三点弯曲和最大轴向拔出实验能有效地评价内固定器械的力学性能。本实验力学分析结果显示, 实验组适用膨胀式空心加压螺钉在300 N弯曲应力作用下产生的位移小于对照组, 弯曲刚度亦明显优于对照组。而对比实验组与对照组最大轴向拔出力结果显示, 实验组最大轴向拔出力大于对照组, 上述结果充分表明膨胀式空心加压螺钉具有良好的力学性能, 符合临床应用的要求。虽然目前对于内固定的力学稳定性达到何种程度才能确切保证骨折的成功愈合无统一标准, 但本新型内固定材料的固定刚度和强度能够达到且优于常用的内固定器械水平, 有理由相信其内固定的可靠性。

三叉形膨胀式空心加压螺钉组较之普通AO空心加

压螺钉组力学性能提升, 分析原因如下: ①三叉形膨胀式空心加压螺钉通过拧入内栓使螺钉前部膨胀, 股骨头内的螺钉直径增大, 螺钉与周围骨质接触面增大。②螺钉膨胀叶片与周围骨质接触面成角增加, 从而使剪切应力增加。③实验中还发现, 该型号膨胀螺钉在股骨头“体内”膨胀的程度, 较之“体外”有所降低, 这表明股骨头内致密的骨质存在阻止螺钉膨胀变形的力量, 这种力量恰在螺钉膨胀叶片与骨界面间形成了一种“嵌插力”, 增强了其力学稳定性。

本实验均采用相同的新鲜猪股骨标本, 并在同样的实验环境及条件下配对进行生物力学测试, 其实验结果具有一定指导意义。但由于具体实验条件所限, 所选标本与人体股骨在形态、颈干角等方面仍有一定差异, 仍需后续实验进一步研究证实其实用性及可靠性。

#### 4 参考文献

- [1] Quan LG. Zhonghua Shiyong Zhongxiyi Zazhi. 2010;10(23):29-32. 权良刚. 股骨颈骨折的内固定治疗概况[J]. 中华实用中西医杂志, 2010,10(23):29-32.
- [2] Gui XG. Linchuang Guke Zazhi. 2010;13(5):569-571. 桂先革. 老年股骨颈骨折的研究进展[J]. 临床骨科杂志, 2010,13(5):569-571.
- [3] Wang MY, Wei J. Zhonghua Chuangshang Guke Zazhi. 2003;5(2):5-9. 王满宜, 危杰. 股骨颈骨折临床研究的若干问题与新概念[J]. 中华创伤骨科杂志, 2003,5(2):5-9.
- [4] Bhandari M, Tornetta P 3rd, Hanson B, et al. Optimal internal fixation for femoral neck fracture: multiple screws or sliding hip screws. J Orthop Trauma. 2009;23(6):403-407.
- [5] Sun J, Pang QJ. Xiandai Shiyong Yixue. 2006;18(3):203-205. 孙建, 庞清江. 股骨头血供及股骨颈骨折血管破坏研究进展[J]. 现代实用医学, 2006,18(3):203-205.
- [6] Feng SC, Wu F, Cheng J, et al. Zhongguo Gu yu Guanjie Sunshang Zazhi. 2009;24(6):560-561. 冯声昌, 吴凡, 程俊, 等. 空心加压螺钉治疗股骨颈骨折[J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2009,24(6):560-561.
- [7] Lian YS, Xiang DY, He SB, et al. Shiyong Guke Zazhi. 2008;14(6):362-363. 连永生, 项大业, 何少波, 等. 闭合复位经皮空心钉固定治疗中青年股骨颈骨折[J]. 实用骨科杂志, 2008,14(6):362-363.
- [8] Yuan CP. Zhongguo Zhongyiyao Zixun. 2010;2(8):174. 袁初平. 治疗股骨颈骨折手术方式的选择[J]. 中国中医药咨询, 2010,2(8):174.
- [9] Asinis SE, Wanek S, Sgaglione L. Intracapsular fractures of the femoral neck: results of cannulated screw fixation. J Bone Joint Surg Am. 1994;76A:1793-1805.
- [10] Delee JC. Fractures of the neck of the femur. In: Tockwuud CA, ed. Rockwood and Green's fractures in adults. 4th ed. New York: Lippincott-Raven, Philadelphia, 1996:1660-1685.
- [11] Swiontkowski MF. Current concepts review: intracapsular fracture of the hip. J Bone Joint Surg Am. 1994;76A:129.
- [12] Mao YJ, Wei J, Zhou L, et al. Zhonghua Yixue Zazhi. 2005;85(46):3256-3259. 毛玉江, 危杰, 周力, 等. 股骨颈骨折空心钉内固定后股骨头缺血坏死的相关因素分析[J]. 中华医学杂志, 2005,85(46):3256-3259.
- [13] Hu AW, Cao SJ, Liao Y, et al. Zhongguo Gu yu Guanjie Sunshang Zazhi. 2005;20(1):24-26. 胡安文, 曹盛俊, 廖瑛, 等. AO螺钉经皮内固定治疗股骨颈骨折失败原因分析及对策[J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2005,20(1):24-26.
- [14] Eliasson P, Hansson LI, Karrholm J. Displacement in femoral neck fracture: a numerical analysis of 200 fractures. Acta Orthop Scand. 1988;59:361-364.
- [15] Gao WS, Zhang YZ. Zhongguo Linchuang Jiepouxue Zazhi. 2002;20(3):156-157. 高文山, 张英泽. 骨密度对股骨颈骨折内固定效果影响的生物力学研究[J]. 中国临床解剖学杂志, 2002,20(3):156-157.
- [16] Cao AX, Chen FH. Zhongguo Gushing. 2007;20(7):489. 曹振孝, 陈发红. 闭合复位小切口空心钉固定治疗老年股骨颈骨折[J]. 中国骨伤, 2007,20(7):489.
- [17] Loizou CL, Parker MJ. Avascular necrosis after internal fixation of intracapsular hip fracture: a study of the outcome for 1023 patients. Injury. 2009;40(11):1143-1146.
- [18] Gao PG, Zhang CY. Zhongguo Gushing. 2008;21(9):692-693. 高培刚, 张晨阳. 加压空心螺钉治疗股骨颈骨折[J]. 中国骨伤, 2008,21(9):692-693.
- [19] Wittenberg RH, Lee KS, Shea M, et al. Effect of screw diameter, insertion technique, and bone cement augmentation of pedicular screw fixation strength. Clin Orthop Relat Res. 1993;(296):278-287.

#### 来自本文课题的更多信息--

**基金声明:** 四川省实验课题基金项目(09081), 课题名称: 膨胀式空心加压螺钉的研制与生物力学研究。

**作者贡献:** 陈歌进行实验设计, 实验实施为尹一然, 实验评估为鲁晓波, 资料收集为尹一然、徐扬博、叶里子, 尹一然成文, 鲁晓波审校, 尹一然、陈歌对文章负责。尹一然与陈歌对文章或实验的贡献相同, 故并列为第一作者。

**本文创新性:** 检索万方及维普数据库及 Medline 2010/2011 文献, 检索词: “股骨颈骨折, 三叉形膨胀式空心加压螺钉, 生物力学”; “femoral neck fractures, expansive hollow compression screw, biomechanics”, 检索到 0 篇。在现有 AO 空心加压螺钉基础上, 根据机械膨胀的原理, 研制出膨胀式空心加压螺钉来加以改进。通过拧入内栓使空心加压螺钉前端的膨胀部直径增加, 从而使剪切应力增加, 有效避免螺钉松动、拔出。并且术者可根据患者骨质条件及术中情况, 自主选择是否需要膨胀加固。