

支撑应力对骨小梁分布的影响 及股骨头坏死因素的研究

余光书¹, 林焱斌¹, 熊国胜¹, 许长鹏², 周家烽³, 李杰辉³, 王海洋⁴

1. 厦门大学附属福州第二医院创伤骨科, 福建 福州 350007; 2. 广东省第二人民医院骨科;
3. 福建中医药大学研究生院; 4. 厦门大学医学院

摘要: **目的** 通过犬股骨颈骨折螺钉内固定模型的力学检测及组织学观察, 从微观角度认识骨小梁重建对股骨头坏死的影响。**方法** 选取 18 只成年田园犬制作成股骨颈骨折螺钉内固定模型, 于造模后 12 周确认所有股骨颈骨折已愈合随机分为取钉组、取钉植骨组及不取钉组, 于造模后 20 周分离所有犬的股骨并进行股骨颈力学测试及组织学观察。**结果** 取钉组、取钉植骨组及不取钉组断裂点载荷、最大载荷差异有统计学意义 ($P < 0.05$); 不取钉组与取钉植骨组的断裂点载荷差异无统计学意义 ($P > 0.05$), 不取钉组与取钉植骨组断裂点载荷大于取钉组; 不取钉组最大载荷大于取钉植骨组与取钉组, 取钉植骨组最大载荷大于取钉组。取钉组、取钉植骨组及不取钉组骨小梁宽度与新鲜骨面积差异有统计学意义 ($P < 0.05$); 不取钉组骨小梁宽度、新鲜骨面积大于取钉植骨组, 且取钉植骨组大于取钉组。**结论** 支撑应力的改变将导致骨小梁重新分布, 骨小梁再分布是影响股骨头坏死塌陷的重要因素。

关键词: 股骨颈骨折; 骨小梁重建; 支撑应力; 股骨头坏死

中图分类号: R-33 文献标志码: A 文章编号: 1672-9935(2018)08-0820-04

Influence of supporting stress on distribution of trabecular bone and factors of femoral head necrosis

YU Guang-shu*, LIN Yan-bin, XIONG Guo-sheng, XU Chang-peng, ZHOU Jia-feng, LI Jie-hui, WANG Hai-yang

*Department of Orthopaedics and Traumatology, Fuzhou Second Hospital Affiliated to Xiamen University,
Fuzhou, Fujian 350007, China

Abstract: **Objective** To investigate the influence of trabecular bone reconstruction on femoral head necrosis with mechanical tests and histological observation on canine femoral neck fracture nailing internal fixation models. **Methods** Eighteen adult pastoral dogs were selected, and the femoral neck fracture were made. Healing of all the femoral neck fractures were confirmed after 12 weeks of surgery, and were divided into three groups by randomized control table. The femoral neck was examined mechanically and was observed histologically after 20 weeks of modeling. **Results** There was significant difference in the break point and maximum load along the taking nail group, the taking nail and making bone graft group and the group without taking nailing ($P < 0.05$). There was no significant difference between the group without taking nailing and the taking nail and making bone graft group in the load of breaking point ($P > 0.05$). The break point of the group without taking nailing and the taking nail and making bone graft group were larger than taking nail group. The maximum load of the group without taking nailing was larger than the taking nail, and the taking nail and making bone graft group was larger than taking nail group. There was significant difference at bone tissue maturation and new bone formation along the groups ($P < 0.05$). The bone tissue maturation and new bone formation of the group without taking nailing were larger than taking nail and making bone graft group, which also larger than the taking nail group. **Conclusion** The change of supporting stress will lead to the re-distribution of trabecular bone, which is an important influence factor on collapse of femoral head necrosis.

Key words: Femoral neck fracture; Trabecular bone reconstruction; Supporting stress; Femoral head necrosis

股骨颈骨折空心钉内固定是临床常用的手术治疗方法, 但术后股骨头坏死的发生率约 14.3%, 而年轻患者的发生率可达到 45%, 严重影响患者的生活质量^[1-2]。目前认为股骨颈骨折空心钉内固定术后股骨

头坏死是缺血所造成的, 但是股骨头坏死发生时间却存在很大差异, 大部分患者发生于内固定术后 1 年后, 而且术后 1 年和 2 年内的发病率分别只占到 25% 与 38%^[3]。因此, 股骨头坏死并不一定是大血管损伤导致, 微循环的缓慢改变是造成延迟性股骨头坏死的主要原因, 但其受骨折类型、骨折复位情况、内固定稳定性及骨质量等影响^[4-5]。笔者通过早期临床观察发现力学因素是延迟性股骨头坏死的主要影响因素, 早

基金项目: 福建省卫生系统中青年骨干人才培养项目(2014-ZQN-JC-34)

通讯作者: 林焱斌, E-mail: 812953900@qq.com

doi: 10.7531/j.issn.1672-9935.2018.08.010

期负重、取钉及骨质疏松等因素都可造成骨小梁破坏而出现微骨折,这将会刺激产生骨内炎症反应及增加囊内压而影响股骨头局部微循环,从而导致股骨头坏死的出现。本研究旨在通过犬股骨颈骨折螺钉内固定模型的力学检测及组织学观察,从微观角度认识骨小梁重建对股骨头坏死的影响,报道如下。

1 材料与方法

1.1 实验动物及仪器 实验动物由吴氏实验动物中心提供,共18只成年田园犬(7~9 kg),雌雄不限。力学检测仪由福建中医药大学力学实验室提供,为IG-A1000N 万能材料试验机(日本岛津公司)。动物呼吸麻醉机由欢欢鲁动物诊所提供(上海玉研科学仪器有限公司)。X线机由欢欢鲁动物诊所提供(内江西南医用设备有限公司)。直径2.4 mm、长30~40 mm的钛合金螺钉(安阳市艾博瑞康金属制品)。

1.2 犬股骨颈骨折造模及螺钉内固定 术前4 h实验犬禁食、禁水,多咪静(0.03 ml/kg)静脉推注诱导麻醉,通过呼吸机麻醉及辅助通气,术前0.5 h皮下注射头孢噻唑钠(2.2 mg/kg)。麻醉成功后,实验犬常规备皮,并侧卧位固定于手术台上。用记号笔进行标记(长度约为6 cm),用碘伏常规消毒后铺巾。按术前切口标记切开皮肤,逐层分离软组织,外旋后肢离断外旋肌群,保护坐骨神经,显露并T形切开发节囊,显露股骨颈,用摆锯于股骨颈中部垂直股骨颈长轴方向截断,直视及X线透视确认股骨颈骨折造模成功,左右髋关节各半。直视下复位股骨颈骨折并用2枚克氏针临时固定,X线透视下确认克氏针位置良好,活动髋关节见固定牢固,沿股骨颈长轴钻孔,测量深度后置入合适长度的2枚螺钉。双氧水和碘伏冲洗切口后使用含有甲硝唑的生理盐水再次冲洗切口。修复关节囊,依次缝合外旋肌群、筋膜及皮肤。术后观察犬的复苏情况,6 h内禁止饮食,防止呕吐、误吸,同时术后使用头孢噻唑钠(2.2 mg/kg)预防感染,连用3 d。术后每周摄髋关节正侧位X线片,均采用同批底片,曝光条件相同,观察股骨颈骨折的愈合过程(图1)。

1.3 实验分组 造模12周时摄X线片确认所有股骨颈骨折已愈合,按照随机对照表分为3组,取钉组、取钉植骨组及不取钉组,每组6例。取钉组与取钉植骨组再次常规术前准备后于原手术切口取出螺钉,取钉植骨组取出螺钉后取合适量的股骨大粗隆骨块进行钉道植骨,消毒后缝合切口。未取钉组的螺钉于造模20周时取出,此时分离所有犬的股骨行股骨颈力学检测及组织学观察。

1.4 股骨颈力学测试及组织学观察 骨折愈合标准:X线片显示骨折线模糊,标本上可见骨折区色泽红润,骨痂已经愈合。钉道大小通过X线片等比例进行

换算。力学测试方法:分离犬的股骨,仔细剔除软组织,将其置于固定台上(台面距股骨大粗隆距离为5.0 cm),于室温下用万能材料试验机对股骨颈进行垂直压缩,加载速度为1 mm/min,记录股骨颈断裂点载荷与最大载荷(图2)。组织学观察:分离股骨颈标本,4%多聚甲醛固定后使用浓度为8%的EDTA-2Na脱钙液、蒸馏水冲洗,纵向剖开标本,乙醇脱水,石蜡包埋,取5 μm厚度切片进行HE染色(图3~5),光学显微镜下随机取5个视野,用Image-Pro Plus 6.0软件测量骨小梁宽度,采用Masson染色观察骨组织成熟及新骨形成面积。

1.5 统计学方法 数据采用SPSS 18.0统计学软件处理,符合正态分布的计量资料以均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示,3组间比较采用方差分析,进一步两两比较采用LSD检验,以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

犬股骨颈骨折螺钉内固定后均获得骨性愈合,骨愈合时间为(11.22±0.93)周,未出现股骨头塌陷坏死。取钉后2个月犬股骨颈钉道经X线片等比例换算后直径为(1.26±0.32)mm,取钉并植骨后2个月犬股骨颈钉道模糊。

取钉组、取钉植骨组及不取钉组断裂点载荷、最大载荷差异有统计学意义($P < 0.05$);而不取钉组与取钉植骨组的断裂点载荷差异无统计学意义($P = 0.161$),不取钉组($P < 0.001$)与取钉植骨组($P < 0.001$)断裂点载荷大于取钉组;不取钉组最大载荷大于取钉植骨组($P = 0.037$)与取钉组($P < 0.001$),取钉植骨组最大载荷大于取钉组($P = 0.005$)。见表1。

取钉组、取钉植骨组及不取钉组骨小梁宽度与新鲜骨面积差异有统计学意义($P < 0.05$);不取钉组骨小梁宽度大于取钉植骨组($P = 0.025$),且取钉植骨组大于取钉组($P = 0.003$);不取钉组新鲜骨面积大于取钉植骨组($P = 0.025$),且取钉植骨组大于取钉组($P < 0.001$)。见表2。



图1 犬股骨颈骨折螺钉内固定术后X线片



图2 犬股骨颈骨折内固定标本力学测试情景

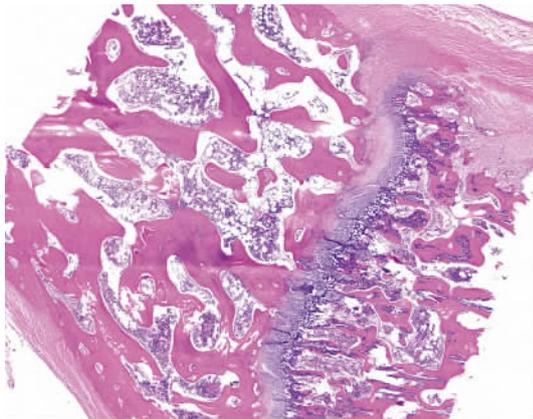


图3 不取钉组犬股骨颈骨小梁宽度较大(HE×10)

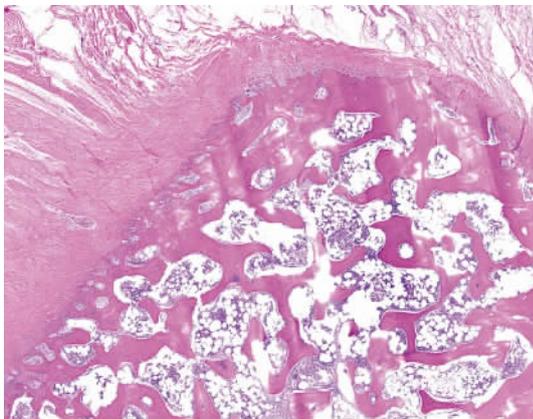


图4 取钉植骨组犬股骨颈骨小梁宽度变小(HE×10)

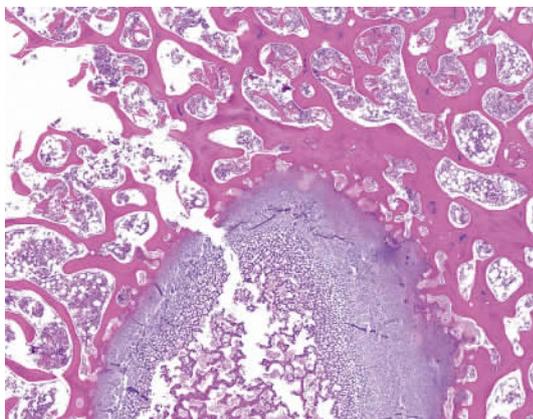


图5 取钉组犬股骨颈骨小梁宽度细小(HE×10)

表1 犬股骨颈骨折螺钉内固定模型3组轴向压缩断裂点载荷与最大载荷比较($\bar{x}\pm s$)

组别	n	断裂点载荷(kN)	最大载荷(kN)
不取钉组	6	1.23±0.05	1.67±0.62
取钉植骨组	6	1.18±0.05	1.56±0.98
取钉组	6	0.96±0.05	1.42±0.66
F值		44.075	15.837
P值		<0.001	<0.001

表2 犬股骨颈骨折螺钉内固定模型3组骨小梁宽度与新鲜骨面积比较($\bar{x}\pm s$)

组别	n	骨小梁宽度(μm)	新生骨面积(%)
不取钉组	6	139.33±3.93	19.30±0.63
取钉植骨组	6	132.17±4.17	18.00±0.97
取钉组	6	121.83±6.49	9.77±1.07
F值		18.576	194.719
P值		<0.001	<0.001

3 讨论

股骨颈骨折的愈合过程是骨小梁不断重塑的动态过程,受机械负荷的双重调控。早期一定量的力学负载可以促进骨小梁的生长,并且逐渐趋于保持一定的性能^[6],但机械负荷超出其所能承受的范围就会出现骨小梁变形与断裂^[7]。有研究^[8]表明,股骨颈骨折术后骨小梁可以通过再分布以适应外部应力的改变,同时骨小梁重建的排列方向与载荷传递方向一致,这或许与内置物可以起到传递载荷的作用而有利于骨小梁重建有关。但是,一旦取出内置物,股骨颈将失去支撑应力的保护,当负重时的机械负荷超过股骨近端所能承受的应力时将会导致骨小梁破坏,从而改变局部的微环境诱发股骨头坏死塌陷^[9]。有研究者应用有限元分析方法对股骨头坏死区塌陷的方向进行研究,发现由负重而引起的坏死区塌陷应变主要平行于压力骨小梁,并认为这是骨小梁微观结构变化响应长期机械负荷的结果^[10]。因此,股骨颈骨折内固定的置入物是皮质骨和骨小梁传达载荷、分散应力的桥梁,是骨小梁在一定载荷下按一定方向重建的保证,所以这也是目前大部分学者不主张取内置物的原因。

临床上许多股骨颈骨折空心钉内固定患者强烈要求取出空心钉,而取出空心钉可诱发股骨头坏死塌陷,因此有学者提出取出空心钉后进行植骨^[11],这在一定程度上增加了其所能承受的机械负荷。本研究结果也显示,取钉植骨组断裂点载荷、最大载荷均大于取钉组,差异有统计学意义($P < 0.05$)。但也有研究认为只有植骨方向与股骨头颈部所受应力方向一致时才可以增加股骨头的力学强度,并起到预防股骨头塌陷的作用^[12]。同时,本研究结果发现不取钉组与取钉

植骨组骨小梁宽度、新鲜骨面积明显大于取钉组,差异有统计学意义($P < 0.05$),这或许与股骨颈骨折术后内固定物或植骨的支撑应力促进骨小梁重建有关。因此,笔者认为支撑应力有利于骨小梁的重建,重新调整的支撑应力能够使骨小梁的形态参数发生改变以适应新的机械负荷。

股骨近端主要为松质骨组成,实验研究发现股骨头与股骨颈由大量六角形结构的骨小梁组成立体网状结构,这些网状结构的骨小梁相互交叉形成复杂的蜂窝织状结构^[13]。当纵向载荷传导至骨小梁时,这种复杂的蜂窝织状结构将把载荷部分转换成水平推力,从而主要承受轴向压应力使骨小梁处于较为理想的应力环境之中^[14]。当内置物取出时支撑应力将会发生改变,这种改变影响着骨小梁的形态参数,骨小梁的形态参数改变无法满足载荷时将会使骨小梁发生断裂,越来越多的骨小梁逐渐发生断裂后无法支撑股骨头的载荷,继而发生股骨头塌陷、坏死。另外,临床中笔者也发现空心钉退钉后股骨头坏死的发生率也增加,从力学角度观察会发现,空心钉对骨折处提供抗剪切的作用力主要来于股骨外侧皮质对钉尾的支撑力,当骨折断面滑动加压时股骨外侧皮质对钉尾的支撑力就减小,因而螺钉对骨折端抗剪切力同样会减小,骨折断面就容易移位,也就可能会出现螺钉松动、退钉、骨折不愈合等。因而,笔者认为支撑应力的改变将导致骨小梁重新分布,骨小梁再分布是影响股骨头坏死塌陷的重要因素。

参考文献

- [1] Slobogean GP, Sprague SA, Scott T, et al. Complications following young femoral neck fractures[J]. *Injury*, 2015, 46(3):484-491.
- [2] Li M, Cole PA. Anatomical considerations in adult femoral neck fractures: how anatomy influences the treatment issues? [J]. *Injury*, 2015, 46(3):453-458.
- [3] Song HK, Choi HJ, Yang KH, et al. Risk factors of avascular necrosis of the femoral head and fixation failure in patients with valgus angulated femoral neck fractures over the age of 50 years [J]. *Injury*, 2016, 47(12):2743-2748.
- [4] Ai ZS, Gao YS, Sun Y, et al. Logistic regression analysis of factors associated with avascular necrosis of the femoral head following femoral neck fractures in middle-aged and elderly patients[J]. *J Orthop Sci*, 2013, 18(2):271-276.
- [5] Yu X, Zhao D, Huang S, et al. Biodegradable magnesium screws and vascularized iliac grafting for displaced femoral neck fracture in young adults[J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2015, 16:329-331.
- [6] Lambers FM, Koch K, Kuhn G, et al. Trabecular bone adapts to long-term cyclic loading by increasing stiffness and normalization of dynamic morphometric rates[J]. *Bone*, 2013, 55(2):325-334.
- [7] Zwahlen A, Christen D, Ruffoni D, et al. Image-guided failure assessment of human trabecular bone - inverse finite element modelling for characterization of elastic properties [J]. *Biomed Tech (Berl)*, 2013, doi:10.1515/bmt-2013-4114.
- [8] Wang H, Ji B, Liu XS, et al. Analysis of microstructural and mechanical alterations of trabecular bone in a simulated three-dimensional remodeling process[J]. *J Biomech*, 2012, 45(14):2417-2425.
- [9] Ting BL, Heng M, Vrahas MS, et al. Is disuse osteopenia a favorable prognostic sign after femoral neck fracture? [J]. *J Orthop Trauma*, 2016, 30(9):496-502.
- [10] 周恩昌, 朱传英, 唐萍. 经股骨颈开槽死骨刮除、按压力骨小梁方向植骨治疗股骨头坏死 35 例疗效观察 [J]. *山东医药*, 2011, 51(11):92-93.
- [11] Ohashi T, Matsunaga S, Nakahara K, et al. Biomechanical role of peri-implant trabecular structures during vertical loading [J]. *Clin Oral Investig*, 2010, 14(5):507-513.
- [12] 王上增, 孙永强. 骨小梁金属重建棒植入治疗早期股骨头坏死效果观察[J]. *实用医学杂志*, 2012, 28(23):3945-3947.
- [13] Goda I, Assidi M, Ganghoffer JF. Cosserat 3D anisotropic models of trabecular bone from the homogenisation of the trabecular structure [J]. *Comput Methods Biomech Biomed Engin*, 2012, 15(1):288-290.
- [14] Jang IG, Kim IY. Computational simulation of simultaneous cortical and trabecular bone change in human proximal femur during bone remodeling[J]. *J Biomech*, 2010, 43(2):294-301.

(收稿日期:2018-03-21;修回日期:2018-07-02)