

## 空心螺钉治疗青年股骨颈骨折研究进展

刘金月 综述 彭笏宸 审校

遵义医科大学附属医院关节外科, 贵州 遵义 563000

**【摘要】** 随着社会的发展进步,由高能暴力损伤导致的青年股骨颈骨折(FNF)患者数量逐渐增多,由于其特殊的解剖结构,术后骨折断端骨不连、骨坏死发生率较高,且鉴于年轻患者术后活动量较大,功能预期较高,如何选择更合适的治疗方案,对骨科医生提出较大挑战。对于较年轻的患者,总的趋势是进行复位和内固定治疗,以尽量保护原有髋关节。空心钉内固定已成为青年 FNF 首选固定方式,然而,对于部分股骨颈垂直剪切骨折的年轻患者,其复位、固定方式存在较大争议,螺钉的方向、数量、配置、分布方式均可能影响骨折的稳定性,随着对股骨颈骨折生物力学和临床研究的深入,空心钉固定的手术效果逐渐提升,本文综述了国内外近年来使用空心钉固定青年 FNF 的相关研究进展。

**【关键词】** 股骨颈骨折;青年;空心钉;内固定;研究进展

**【中图分类号】** R683.42 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1003-6350(2020)04-0512-04

**Advances in the treatment of young femoral neck fractures with cannulated screws.** LIU Jin-yue, PENG Jia-chen. Department of Joint Surgery, the Affiliated Hospital of Zunyi Medical University, Zunyi 563000, Guizhou, CHINA

**【Abstract】** With the development of society, the number of young femoral neck fractures (FNF) caused by high-intensity violence is gradually increasing. Due to its special anatomical structure, the incidence of nonunion and osteonecrosis of the fracture ends is higher. Young patients have a large amount of postoperative activity and high functional expectations. How to choose a more appropriate treatment plan poses a major challenge for orthopedic surgeons. For younger patients, the general trend is to perform reduction and internal fixation to protect the original hip joint as much as possible. Hollow nail internal fixation has become the preferred fixation method for young FNF. However, for some young patients with vertical femoral neck fracture, the reduction and fixation methods are controversial. The direction, number, configuration and distribution of the screws may affect the stability of the fracture. With the deepening of the biomechanical and clinical research of femoral neck fractures, the effect of cannulated screw fixation is gradually improved. This paper reviews the recent research progress in the use of cannulated nails to fix young FNF.

**【Key words】** Femoral neck fractures (FNF); Youth; Cannulated nail; Internal fixation; Research progress

随着交通事故和高空坠落等高能损伤的发生,青年股骨颈骨折(Femoral neck fracture, FNF)的发生率逐渐增加<sup>[1]</sup>。对于较年轻的患者,总的趋势是进行复位和内固定治疗<sup>[2-3]</sup>,以尽量保护原有髋关节并避免关节成形术后假体使用时间的顾虑。青年患者骨密度高,高能损伤常致骨折移位,损伤股骨颈上、下支持带动脉,使股骨头内血供遭受一定损伤,术后骨不连和股骨头坏死(osteonecrosis of the femoral head, ONFH)较高,其发生率分别高达 35%和 45%<sup>[4]</sup>,且青年 FNF 患者术后活动量大,功能预期较高,如何选择更合适的治疗方案,对骨科医生提出较大挑战。空心钉具有优越的抗旋转稳定性和较小的股骨头血供干扰,在生物力学和临床医师的广泛推动下,空心钉内固定已成为青年 FNF 首选固定方式,但对于不同类型骨折,其复位、固定方式存在较大争议。Garden 分型是 FNF 最常见的分型方法,但对于青年 FNF,依据生物力学的 Pauwels 分型在临床实践中更有价值<sup>[4]</sup>。随着 Pauwels 角度的增大,FNF 断端处承受的应力逐渐增加,移位趋势加大,对内固定强度的要求也随之增加,且出现

内固定失败的风险也逐渐升高,对于部分股骨颈垂直剪切骨折的年轻患者,内固定失败率达 30%~40%<sup>[4]</sup>。除了对股骨头血运的破坏,内固定强度不足也是导致空心钉固定失败的一个主要原因,螺钉的方向、数量、配置、分布方式均可能影响骨折的稳定性,众多学者从生物力学和临床角度深入研究,空心钉固定的手术效果逐渐提升,本文综述了近年来国内外近年来空心钉固定中青年股骨颈骨折的相关研究进展。

### 1 骨折复位方式的选择

在复位方法上,复位质量是关键。过去许多学者主张将闭合复位内固定作为年轻 FNF 的首选治疗方法<sup>[4-5]</sup>。闭合复位操作简便,创伤小,恢复快,符合微创治疗理念。Leadbetter 技术是闭合复位最经典的技术<sup>[5]</sup>,将患侧髋关节在轻微内收和牵引下先屈曲 90°,然后髋关节内旋并进一步内收,再缓慢外展,同时保持髋关节内旋和牵引。平卧位牵引复位常需牵引床辅助复位,术中反复透视增加了对手术医生的辐射伤害,且部分基层医院尚未配备牵引床,增加了闭合复位的难度,有学者创新性提出了侧卧位徒手牵引方法,何祥

基金项目:国家自然科学基金(编号:8176090241)

通讯作者:彭笏宸,博士,教授,主任医师, E-mail:2143716041@qq.com

忠等<sup>[6]</sup>对64例未移位型FNF患者使用空心钉进行闭合复位内固定治疗,并根据体位分为平卧位组和侧卧位组,两组手术切口长度、术中失血量、术后并发症发生率及Harris评分接近( $P>0.05$ ),但侧卧位组术前等待时间、手术时间显著减少( $P<0.01$ ),无需牵引床辅助,然而术中辐射量较平卧组增加。然而,对于高能量骨折,广泛的移位和严重的后颈部粉碎骨折很难闭合复位,且青年FNF需要达到解剖复位以获得最佳的治疗效果,部分学者主张及早切开复位同时行关节囊减压<sup>[2,7-8]</sup>。但切开复位创伤较大,有增加感染、破坏血运的风险。李翔等<sup>[9]</sup>使用牵拉顶压手法结合定位杆治疗Garden IV型FNF,既可保证良好的复位质量,又能精准置入内固定物,其中定位杆还起到关节囊内减压的作用,成为一种“零切开”手术。许多研究者比较了闭合复位和切口复位的并发症,在一项前瞻性随机研究中,UPADHYAY等<sup>[10]</sup>对48例青年FNF患者进行闭合复位,对44例青年FNF患者进行开放复位。两组骨愈合率( $P=0.93$ )和术后ONFH发生率( $P=0.85$ )差异无统计学意义,复位质量是骨不连发生重要的预测因素,没有明确的证据表明闭合复位和切开复位与股骨头坏死的发生有关。在骨折复位过程中,无论闭合复位还是切开复位都需尽量达到解剖复位,对多数青年FNF患者,仍首选闭合复位内固定,对于难复位性和广泛移位的FNF患者应及时行切开复位内固定治疗。

## 2 螺纹长度对内固定的影响

目前尚不清楚螺纹长度对FNF内固定的影响。现常用有螺纹长度分别为16 mm和32 mm两种空心松质骨螺钉,部分研究者倾向于使用短螺纹空心钉<sup>[11]</sup>,认为长螺纹空心钉螺纹可能穿过骨折线,增加骨折不愈合风险。但是,也有研究表明更长的螺纹长度可能是有益的,FRANSEN等<sup>[12]</sup>对尸体股骨头的研究发现,较长螺纹螺钉的抗拔出强度是较短螺纹螺钉的两倍。但少有文献报道螺钉螺纹长度对骨折愈合率的影响,PARKER等<sup>[11]</sup>对432例股骨颈骨折患者随机选用短螺纹(16 mm)和长螺纹(32 mm)空心钉内固定,随访一年后发现两种螺钉内固定非移位型股骨颈骨折患者和移位型股骨颈骨折患者中术后骨愈合率与并发症发生率无明显差异,但长螺纹螺钉成本更高。对三枚不同螺纹空心钉的配置中,一项研究表明2枚半螺纹空心钉与1枚全螺纹空心钉组合较三枚类型全部为半螺纹空心钉在在内固定效果上更具有稳定性,且相比全螺纹钉固定,可有效控制股骨颈短缩及退钉现象的发生<sup>[13]</sup>。ZHANG等<sup>[14]</sup>对30个pauwels角分别为50°、60°、70°的FNF模型采用全螺纹的无头空心加压螺钉(HCCS)和普通空心加压螺钉(OCCS)按正三角构型内固定进行抗压强度和最大载荷试验,发现当pauwels角为50°和60°时,两组螺钉抗压强度差异无统计学意义,但当pauwels角达到70°时,HCC组抗压强度更高,HCC在治疗股骨颈垂直骨折比常规治疗有更好的生物力学稳定性,可能与HCC锥形设计使螺钉

进入骨内时在骨折处形成有效压缩,获得更大的握持力、剪切强度有关。对于较稳定的pauwels I~II型骨折,半螺纹螺钉即可提供较好的力学稳定性,而对于不稳定性骨折,混合螺纹螺钉组合或OCCS均可提供较大的固定固定强度,可进一步行生物力学分析和临床研究得出最优不同螺纹螺钉固定组合。

## 3 螺钉数量的选择

对于空心钉内固定的数量一直存在着争议,有证据表明钻孔和螺钉的数量与继发性股骨头坏死的发生率有关<sup>[15-16]</sup>。ZHAO等<sup>[17]</sup>对股骨头血运形态角度的研究也表明不同数量或位置的内固定会在不同程度上影响骨内血管系统,在稳固内固定的同时,减少螺钉数量,可能减少对骨内血管系统的损伤从而减少ONFH发生率。既往认为螺钉数量从2枚增加到3枚时螺钉的稳定性增加,何晓君等<sup>[2]</sup>对分布采用2枚和3枚空心钉进行股骨颈骨折内固定模型力学研究,发现对Pauwels角分布为30°、50°时的股骨颈骨折模型内固定后,两组手术在相同应力作用下分离、扭转等移位无显著性差异,Pauwels角为70°时3枚空心钉内固定稳定性更佳。同时在一项有限元分析中,虽然2枚螺钉和3枚螺钉在Pauwels I~II型FNF骨折固定强度相似,但对于移位型股骨颈骨折,2枚螺钉能否提供稳固的固定,仍需进一步研究。为进一步增加不稳定性股骨颈骨折内固定强度,有研究者建议采用4颗螺钉分散分布以获得更大的稳定性,但增加一枚螺钉是否能增加FNF固定强度,不同研究者进行一系列生物力学测试和临床研究。在生物力学研究者,梁会等<sup>[18]</sup>用仿真骨对Pauwels II型FNF测试后发现在垂直抗压和水平抗压试验中,3枚空心钉与4枚空心钉内固定的效果无明显差异,这可能是由于3枚空心钉内固定已经达到了骨折端稳定,额外的第4枚空心钉并不会增加固定强度和稳定性。同时,王颖等<sup>[19]</sup>对Pauwels III型FNF进行有限元分析研究后也发现3枚空心钉和4枚空心钉两种固定方式下股骨及内固定物的应力和位移分布差异较小,建议采用骨质流失更少,手术时间更短,创伤更小的三枚空心钉。虎伟山等<sup>[20]</sup>对54例股骨颈骨折患者行3枚螺钉和4枚螺钉内固定,随访发现两组患者均获得良好的治疗效果,并发症发生率差异无统计学意义,但4枚螺钉螺钉内固定增加了手术时间和术中射线摄入量。无论是稳定型骨折还是不稳定性骨折,三枚空心钉固定仍是目前研究中最佳螺钉数量配比,对骨折的固定稳定性较强,且对骨内动静脉系统损伤更小。

## 4 螺钉配置

闭合复位空心螺钉内固定术已成为治疗大多数青年FNF的主要内固定方式,尤其适用于Pauwels I型和II型FNF<sup>[4]</sup>。对于Pauwels III型的FNF患者,骨折断端剪切力较大,空心钉对侧方骨折块的把持力不足,容易发生退钉现象,应用3枚空心螺钉固定后常常出现髋关节内翻畸形、股骨颈短缩等并发症<sup>[21]</sup>。为减

少这些并发症,提高骨折固定强度,研究者在空心钉固定基础上进行了较多创新。一项研究表明,两枚空心螺钉带一枚滑动髌螺钉(SHS)形成的倒置三联螺钉结构具有更好的骨折面稳定性,与空心螺钉三联体相比,混合型空心钉可能更适合 Pauwels III 型粉碎性 FNF,理想条件下有可能使骨骼恢复到接近骨折前的强度<sup>[22]</sup>。但传统的 FNF 植入物,如多枚平行螺钉或 SHS,仅提供髓内固定,目前有研究者探索是否应结合髓外固定以提高骨折稳定性。有研究报道用空心螺钉治疗的 Pauwels III 型骨折的不愈合率为 19%,而用锁定钢板治疗的骨折不愈合率为 8%<sup>[23]</sup>。为增加骨折愈合率,ZHUANG 等<sup>[24]</sup>用 2 枚空心螺钉结合前内侧钢板治疗移位的 FNF,髓外固定和髓内固定共同作用使骨折更加稳定,与单独使用空心螺钉的患者相比,内侧支撑板提高了 FNF 愈合率,骨折愈合率达 92%,仅出现 2 例股骨头坏死(7.7%)。殷浩等<sup>[25]</sup>使用 3 枚空心拉力螺钉平行股骨颈长轴固定骨折端并结合内侧锁定钢板对 Pauwels III 型 FNF 内固定进行有限元分析,发现此种构型方式能够更好的分散压力负荷,符合骨折治疗的生物力学原理,骨折断端位移小于 1 mm,但缺乏有效的实验研究。尽管空心螺钉结合锁定钢板治疗 FNF 手术方法复杂,需要较高的手术技巧,且打开关节囊可能对股骨头血运造成一定损伤,但对于 Pauwels III 型股骨颈骨折能够提供更好的生物力学稳定性,提高了骨折愈合率,有望在未来进一步研究推广。

### 5 螺钉分布方式

许多研究表明,螺钉分散分布可以获得更大的稳定性,许多学者认为不同空间构型会直接影响骨折固定强度<sup>[18]</sup>,大多数临床医师认为,使用 3 个平行空心螺钉形成的三角形结构具有最佳的立体空间稳定性。LI 等<sup>[26]</sup>模拟正三角形、倒三角形、前三角形、后三角形和垂直模型分布三枚空心螺钉对未移位的 Pauwels III 型股骨颈骨折置钉过程,进行静态模拟生物力学研究,在增加的载荷作用下,倒三角形结构的螺钉承受的应力值最高,骨结构的屈服应变最小,骨损伤最小;正三角形配置螺钉取出后,钉道周围的高应力区更大,如果患者需要取出内固定装置,最不推荐正三角形结构。且股骨头的中部和上部比下部骨小梁更为密集,能够提供更大的支撑强度,与倒三角形配置相比,正三角形配置中的螺钉固定强度较弱,不愈合的风险更高,且可能由于应力过于集中会增加的转子下骨折的发生率<sup>[24]</sup>。倒三角形模型虽然在预防转子下骨折上具有优势,但对远端和后侧皮质支撑不足,未能达到扩大螺钉分布的目的,在 ZHU 等<sup>[28]</sup>的研究中,钝角三角形与对称于股骨近端的冠状轴的倒三角形构型和对称于股骨颈的长轴的倒三角形结构相比,理论上具有最大的稳定性,更符合股骨头-颈部生物力学特性,医源性穿孔概率较低,但本研究仅基于影像学解剖分析,需进一步通过生物力学测试及临床研究。同样,为了增加螺钉的分布面积,SATISH 等<sup>[29]</sup>描述了菱形分布方式,股骨头的所

有区域均匀负荷分布,增加了螺钉的旋转稳定性,然而增加的螺钉可能增加股骨头骨内血管的损伤,其机械特性是否优于倒三角形配置仍需进一步研究证明。

上述构型均采用平行螺钉置钉,为增加对远端和后侧皮质支撑强度,同时减少螺钉数量,FILIPOV 等<sup>[30]</sup>在对 207 例 Garden III~IV 型 FNF 患者治疗中采用双平面双支撑螺钉固定的新方法(BDSF 法;F 构型),其中位于前斜面的中间和近端螺钉平行于股骨颈长轴固定于股骨颈压力侧和张力侧,最远端 1 枚螺钉以钝角放置朝向骨干轴倾斜 150°~165°并指向股骨颈后近侧,支撑股骨颈远端和后侧皮质,该构型理论上增加了空心钉的力臂工作长度及皮质支撑,因而稳定性更佳,允许患者术后立即完全负重,术后随访骨折愈合率达 96.6%,并发骨不连和骨坏死发生率分别为 3.4%、12.1%。WALKER 等<sup>[31]</sup>研究也显示,与平行于股骨颈长轴的进钉角度为 135°或 145°的空心钉比较,进钉角度为 150°的空心钉在抵抗垂直弯曲应力上更具优势。F 构型手术操作复杂,对于年轻医师具有较大难度,难以适用所有类型骨折,对于较稳定的 FNF,此构型是否比三角形构型更具有优势?梁会等<sup>[18]</sup>用 32 根仿真骨对骨质正常伴后壁粉碎性骨折的 Pauwels II 型 FNF 进行生物力学测试后发现,正三角形、倒三角形平行固定和 F 形内固定均能使骨折端获得良好的稳定性,在垂直抗压试验中,倒三角形固定骨折模型垂直位移最小,F 形内固定并不具有明显优势。但对于 Pauwels III 型 FNF,骨折断端承受剪切力大,对固定强度要求高,寻求一种更加稳定的螺钉分布方式具有较大的临床指导意义。TIANYE 等<sup>[32]</sup>比较了 F 形空心螺钉分布、传统空心螺钉倒三角分布、F 形空心螺钉结合内侧钢板、倒三角空心钉结合内侧钢板四种构型对 Pauwels III 在相同条件下的峰值应力和最大位移分布,发现 F 形空心螺钉与内侧结合板组骨折断端处位移最小,仅 1.18 mm,F 形空心螺钉技术能够有效消除扭转应力和剪切应力,同时在断裂端保持轴向压缩应力。此外,内侧支撑钢板可有效抵抗 Pauwels III 型 FNF 的剪切力,并为骨折愈合创造良好的机械环境。因此,对于 Pauwels III 型 FNF,建议使用 F 形空心螺钉结合内侧钢板内固定。由于有限元分析方法建立的模型与实际临床情况仍有较大差异,但其实验结果也能为临床上该类股骨颈骨折内固定方式选择提供生物力学证据。目前倒三角形分布方式仍是国内外大多数文献推荐置钉方式,对于 Pauwels I~III 型 FNF,能使骨折端获得良好的稳定性,但对于 Pauwels III 甚至伴有广泛移位的 FNF,固定强度不如 F 形空心螺钉结合内侧钢板,随着置钉方式的创新,更加合理的置钉方式成为骨科医生研究方向。

### 6 小结

青年 FNF 多为高能量损伤,大多为 Pauwels III 型骨折或移位型骨折,对其治疗方式目前尚无明确专家共识,目前对于大多数 Pauwels I~II 型和部分 Pau-

wels III型FNF,国内外多采用闭合复位,用三枚半螺纹螺钉以倒三角构型内固定;而对于Pauwels III型FNF,随着Pauwels角度的增大,骨折断端所承受的剪切力显著增加,骨折端移位趋势加大,所需求的内固定强度也越高,内侧支撑钢板可有效抵抗骨折处剪切力,F形空心螺钉技术能够有效消除扭转应力,并增加股颈远端和后侧皮质强度,F形空心螺钉结合内侧钢板固定方式可能成为一种可靠的治疗方式,但目前对新型空心钉固定方式研究多为基于生物力学研究的有限元分析,与临床实际仍有较大差异,未来仍需大量临床研究以寻求对各型青年FNF的最佳内固定方式。

#### 参考文献

- [1] RAUDENBUSH B, WALTON I, SIMELA A, et al. Inflammatory bowel disease, high-dose steroids, osteoporosis, or an oncological etiology for a pathological femoral neck fracture in a young adult: a case report [J]. *Open Orthop J*, 2014, 8: 27-33.
- [2] FAITH-2 Investigators, SLOBOGAN GERARD P, SPRAGUE S, et al. Fixation using alternative implants for the treatment of hip fractures (FAITH-2): design and rationale for a pilot multi-centre 2×2 factorial randomized controlled trial in young femoral neck fracture patients [J]. *Pilot Feasibility Stud*, 2019, 5: 70.
- [3] XU DF, BI FG, MA CY, et al. A systematic review of undisplaced femoral neck fracture treatments for patients over 65 years of age, with a focus on union rates and avascular necrosis [J]. *J Orthop Surg Res*, 2017, 12(1): 28.
- [4] DAVIDOVITCH RI, JORDAN CJ, EGOL EA, et al. Challenges in the treatment of femoral neck fractures in the nonelderly adult [J]. *J Trauma*, 2010, 68(1): 236-242.
- [5] BREUCKMANN FR. An evaluation of closed reduction techniques for femoral neck fractures [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 1990, 251: 168-170.
- [6] 何祥忠, 杨文斌, 吕阳, 等. 闭合复位空心加压螺钉内固定治疗 Garden I-II型股骨颈骨折: 侧卧位和平卧位的差异 [J]. *中国组织工程研究*, 2019, 23(28): 4497-4502.
- [7] SLOBOGAN GP, SPRAGUE SA, SCOTT T, et al. Management of young femoral neck fractures: Is there a consensus? [J]. *Injury*, 2015, 46(3): 435-440.
- [8] GUMUSTAS S, TOSUN HB, ISYAR M, et al. Femur neck fracture in young adults, is it really an urgent surgery indication: retrospective clinical study [J]. *Pan Afr Med J*, 2018, 30: 112.
- [9] 李翔, 刘浩, 曾屹, 等. 牵拉顶压手法结合定位杆治疗股骨颈骨折26例 [J]. *中国中医骨伤科杂志*, 2019, 27(9): 78-79, 82.
- [10] UPADHYAY A, JAIN P, MISHRA P, et al. Delayed internal fixation of fractures of the neck of the femur in young adults. A prospective, randomised study comparing closed and open reduction [J]. *J Bone Joint Surg Br*, 2004, 86(7): 1035-1040.
- [11] PARKER MJ, ALI SM. Short versus long thread cannulated cancellous screws for intracapsular hip fractures: A randomised trial of 432 patients [J]. *Injury*, 2009, 41(4): 382-384.
- [12] FRANSEN PA, CHRISTOFFERSEN H, MADSEN T. Holding power of different screws in the femoral head: A study in human cadaver hips [J]. *Acta Orthop Scand*, 1984, 55(3): 349-351.
- [13] 陈大为, 夏红. 三枚空心钉治疗股骨颈骨折研究进展 [J]. *中国医师杂志*, 2019, 21(1): 158-161.
- [14] ZHANG B, LIU JW, ZHANG W. Ordinary cannulated compression screws or headless cannulated compression screws? a synthetic bone biomechanical research in the internal fixation of vertical femoral neck fracture [J]. *Biomed Res Int*, 2018, 2018, 4898301.
- [15] ZHANG YQ, CHANG SM, HUANG YG, et al. The femoral neck safe zone: a radiographic simulation study to prevent cortical perforation with multiple screw insertion [J]. *J Orthop Trauma*, 2015, 29(5): e178-e182.
- [16] LYKKE N, LERUD PJ, STRØMSØE K, et al. Fixation of fractures of the femoral neck: a prospective, randomised trial of three Ullevaal hip screws versus two Hansson hook-pins [J]. *Bone Joint Surg Br*, 2003, 85(3): 426-430.
- [17] ZHAO D, QIU X, WANG BJ, et al. Epiphyseal arterial network and inferior retinacular artery seem critical to femoral head perfusion in adults with femoral neck fractures [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2017, 475(8): 2011-2023.
- [18] 梁会, 何小健, 陈农, 等. Pauwels II型后侧壁粉碎股骨颈骨折不同构型空心钉内固定的生物力学比较 [J]. *中国骨与关节损伤杂志*, 2018, 33(10): 1013-1016.
- [19] 王颖, 刘志朋, 殷涛, 等. 利用有限元探究内固定治疗股骨颈骨折的生物力学研究 [J]. *中国中西医结合外科杂志*, 2019, 25(1): 56-61.
- [20] 虎伟山, 李山珠, 袁锋. 三枚和四枚空心钉内固定治疗股骨颈骨折的比较研究 [J]. *中国骨与关节损伤杂志*, 2013, 28(4): 307-309.
- [21] 张晟, 胡岩君, 余斌. 不同内固定方式固定 Pauwels III型股骨颈骨折模型的有限元分析 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2017, 25(2): 163-169.
- [22] GUO JL, DONG WC, YIN B, et al. Intramedullary nails with cannulated screw fixation for the treatment of unstable femoral neck fractures [J]. *J Int Med Res*, 2019, 47(2): 557-568.
- [23] DAVIDOVITCH RI, JORDAN CJ, EGOL KA, et al. Challenges in the treatment of femoral neck fractures in the nonelderly adult [J]. *J Trauma*, 2010, 68(1): 236-242.
- [24] ZHUANG L, WANG L, XU D, et al. Anteromedial femoral neck plate with cannulated screws for the treatment of irreducible displaced femoral neck fracture in young patients: a preliminary study [J]. *Eur J Trauma Emerg Surg*, 2018, 45(6): 995-1002.
- [25] 殷浩, 周恩昌, 潘政军, 等. 4枚空心钉与3枚空心钉结合支持钢板内固定治疗 Pauwels III型股骨颈骨折的有限元分析 [J]. *中国组织工程研究*, 2019, 23(32): 5133-5137.
- [26] LI JT, WANG ML, ZHOU JF, et al. Optimum configuration of cannulated compression screws for the fixation of unstable femoral neck fractures: finite element analysis evaluation [J]. *Biomed Res Int*, 2018, 2018: 1271762.
- [27] SUNG YB, JUNG EY, KIM KIL, et al. Risk factors for neck shortening in patients with valgus impacted femoral neck fractures treated with three parallel screws: is bone density an affecting factor? [J]. *Hip Pelvis*, 2017, 29(4): 277-285.
- [28] ZHU QL, SHI BG, XU B, et al. Obtuse triangle screw configuration for optimal internal fixation of femoral neck fracture: an anatomical analysis [J]. *Hip Int*, 2019, 29(1): 72-76.
- [29] SATISH BRJ, RANGANADHAM ATMAKURI V, RAMALINGAM K, et al. Four quadrant parallel peripheral screw fixation for displaced femoral neck fractures in elderly patients [J]. *Indian J Orthop*, 2013, 47(2): 174-181.
- [30] FILIPOV O, STOFFEL K, GUEORGUIEV B, et al. Femoral neck fracture osteosynthesis by the biplane double-supported screw fixation method (BDSF) reduces the risk of fixation failure: clinical outcomes in 207 patients [J]. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2017, 137(6): 779-788.
- [31] WALKER E, MUKHERJEE DP, OGDEN AL, et al. A biomechanical study of simulated femoral neck fracture fixation by cannulated screws: effects of placement angle and number of screws [J]. *Am J Orthop (Belle Mead NJ)*, 2007, 36(12): 680-684.
- [32] TIANYE L, PENG Y, JINGLI X, et al. Finite element analysis of different internal fixation methods for the treatment of Pauwels type III femoral neck fracture [J]. *Biomed Pharmacother*, 2019, 112: 108658.

(收稿日期: 2019-10-23)