

# 股骨粗隆间骨折髓内固定治疗新进展

李先登\*, 马建文

青海大学附属医院创伤骨科, 青海 西宁

收稿日期: 2022年7月8日; 录用日期: 2022年8月4日; 发布日期: 2022年8月11日

## 摘要

目的: 对股骨粗隆间骨折的髓内固定技术进行综述。方法: 检索国内外有关文献, 按时间顺序总结近年来不同髓内固定器械的特点、改良方向、优缺点及临床疗效。结果: 髓内钉发展至今已有十余种, 从早期简单的Ender钉逐渐改良至符合生物力学的各类器械后, 各种临床并发症显著下降。结论: 当前主流使用的髓内固定器械临床疗效良好, 但仍存在低概率的并发症, 而基于“杠杆-支点平衡-重建”理论设计的新型髓内钉有望改变这种现状。

## 关键词

股骨粗隆间骨折, 老年患者, 髓内钉, 治疗进展

# New Progress in Intramedullary Fixation of Intertrochanteric Fracture of Femur

Xiandeng Li\*, Jianwen Ma

Department of Traumatic Orthopedics, Affiliated Hospital of Qinghai University, Xining Qinghai

Received: Jul. 8<sup>th</sup>, 2022; accepted: Aug. 4<sup>th</sup>, 2022; published: Aug. 11<sup>th</sup>, 2022

## Abstract

**Objective:** To review the intramedullary fixation techniques of femoral intertrochanteric fractures. **Methods:** Search the relevant literature at home and abroad, and summarize the characteristics, improvement direction, advantages and disadvantages, and clinical efficacy of different intramedullary fixation devices over the years in chronological order. **Results:** There have been more than ten kinds of intramedullary nails developed so far. After gradually improving the simple Ender nail in the early stage to various instruments in line with biomechanics, various clinical complications have decreased significantly. **Conclusion:** The current mainstream intramedullary fixation

\*通讯作者。

instruments have good clinical efficacy, but there are still low probability complications. The new intramedullary nails designed based on the "lever fulcrum balance reconstruction" theory are expected to change this situation.

## Keywords

Intertrochanteric Fracture of Femur, Elderly Patients, Intramedullary Nail, Treatment Progress

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

股骨粗隆间骨折(intertrochanteric femoral fracture, IFF)又叫股骨转子间骨折,是指发生于髋关节囊外股骨颈基底到股骨小粗隆下方的骨折[1]。随着我国人口老龄化程度不断上升,老年髋部骨折的发病率越来越高,而 IFF 占其中 50%以上[2]。髋部骨折致残率及死亡率高,IFF 更是有“人生最后一次骨折”之称,因此选择合适的治疗方案对患者的预后极为重要。从 20 世纪 70 年代开始,髓内钉固定治疗因其创伤小、操作简便、固定稳定、术后并发症低等特点,逐渐取代髓外固定成为临床治疗的主要选择[3]。然而髓内钉的发展并不是一帆风顺的,无论是从最原始的 Ender 钉发展到如今广泛使用的 Gamma 3、PFNA、Intertan 等髓内钉,还是再到目前刚投入临床探索的新型髓内钉,每一步的改良都是为了应对临床的实际问题而出现的,下面本文开始对各类髓内钉进行综述。

## 2. 髓内钉的类型

### 2.1. Ender 钉

1970 年由奥地利 Ender 等[4]学者首次报道使用的一种弧形并且可弯曲的弹性髓内圆钉。Ender 钉通过股骨远端内上髁小切口进入髓腔,在髓腔内部穿过骨折线到达股骨头,Ender 钉可置入多枚,多根 Ender 钉在髓腔内扇形展开,其走行方向与正常力线方向大致相同。早期设计的 Ender 钉对骨折端的稳定性和强度弱,易出现髓内翻、旋转等并发症[5],在临床上已被淘汰。

### 2.2. Zickel 钉

Zickel 钉于 1967 年由美国学者 Zickel [6]最先研发并报道临床运用,Zickel 钉由三部分组成:主钉、头钉和主钉近端腔内的固定螺钉。主钉截面呈方形,在近端处增粗,外翻成角 12°且前倾。头钉近端呈 3 凹面形刀片状,远端有 4 个圆形凹槽可容纳近端固定螺钉尖端插入以避免退钉。Zickel 钉最早采用切开复位的方式置入内固定装置,直到 1985 年有学者开始尝试闭合置入并取得成功[7]。Zickel 钉作为早期的髓内钉,尽管有许多不足之处,但其设计理念为现代髓内钉的发展奠定了基础。

### 2.3. Gamma 钉

在 1990 年由法国教授 Grosse [8]首先报道并应用于 IFF 治疗,Gamma 钉发展至今已出现了三代。第一代 Gamma 钉是在 Zickel 钉的基础上改良形成的,包含三部分:主钉、头钉以及远端锁钉。主钉是一截面为圆形的长 200 mm 的空心髓内钉,远端直径有 12 mm、14 mm、16 mm,近端处直径增粗至 17 mm,

外偏角由 Zickel 钉的  $12^\circ$  改成  $10^\circ$ , 更便于术者插入髓腔; 头钉为一枚空心滑动加压螺钉, 可沿着主钉的螺钉孔在内进行滑动, 实现对骨折端的静态加压和动态滑动加压作用; 远端锁钉的设计可以固定主钉, 防止主钉在股骨干轴线上旋转。早期的 Gamma 钉因主钉直径过粗、外翻角过大、单根拉力头钉抗旋转不足等原因, 常出现假体周围股骨干骨折、髓内翻、退钉、股骨头旋转等问题[9], 因此后期的髓内钉主要围绕主钉规格和头钉的稳定性而改进。

第二代 Gamma 钉(Asian intramedullary hip system, IMHS)是 1996 年 Leung [10]等学者在第一代基础上专门为亚洲人群而改良的, 主钉的近端直径减小为 16.25mm, 远端直径变小, 为 11 mm-12 mm-13 mm, 主钉的外偏角缩小成  $4^\circ$ 和颈干角变为  $130^\circ$ 更符合亚洲人群解剖结构, 主钉长度缩短为 180 mm, 拉力螺钉孔向远端移动了 10 mm。

第三代 Gamma 钉(Third generation of gamma nail, TGN)是 2004 年由 Stryker 公司改良设计而成的: ① 主钉直径和长度进一步减小: 近端直径减少至 15.5 mm, 远端直径减少至 11 mm, 长度有 170 mm、180 mm 之选。主钉外偏角为  $4^\circ$ , 其颈干角有  $120^\circ$ 、 $125^\circ$ 、 $130^\circ$ 供灵活选择。与一二代相比, 第三代主钉直径的更小, 在髓腔宽大的情况下可以避免“扩髓”这一操作, 缩短手术时间, 在王世坤等[11]学者的一项 IMHS 与 Gamma-3 钉的临床疗效对比研究中, IMHS 组股骨干骨折不良事件的发生率为 6.3%, 而在 Gamma-3 钉组无一例发生, 进一步证实了 Gamma-3 钉更细小的主钉直径能降低股骨干骨折的发生率。② 在主钉近端的钉腔内增加了一枚防旋螺钉, 近端防旋螺钉拧紧后就压在拉力螺钉的不对称凹槽里, 除阻止拉力螺钉旋转外, 还仅允许拉力螺钉单方向向外侧滑动从而对骨折端进行动态加压。③ 头钉依然为单钉系统, 但螺钉尖端的切割槽设计使其可变为自攻拉力螺钉, 无需攻丝可大大缩短手术时间且减少骨质丢失, 增强了骨质的抗切割能力[12]。④ 主钉远端的锁钉孔为椭圆形设计, 可以提供静态或动态锁定选择。在经过对历代 Gamma 钉不足之处的改良后, 目前第三代 Gamma 钉不良并发症率低[13], 且适用于各型 IFF, 被公认为是较安全可靠治疗选择, 在临床上应用广泛[12] [14]。

#### 2.4. 股骨近端髓内钉(Proximal Femoral Nail, PFN)

在 1996 年, AO 组织[15]针对第一代 Gamma 钉抗旋转能力不足及假体周围骨折等问题而改良设计了股骨近端髓内钉 PFN。PFN 与 Gamma 钉相似, 由四部分组成: 主钉、两枚头钉、远端锁钉、尾帽。主要区别在于: ① PFN 的头钉为双钉系统, 拉力螺钉直径为 11.5 mm, 较第一代 Gamma 钉更细, 且在上方增加了一枚平行打入的直径 6.5 mm 的防旋螺钉, 大大增强了抗旋转能力[16]。② 主钉的外偏角减小至  $6^\circ$ , 与人体生理解剖结构接近, 减少了对外侧壁的刺激; 主钉长度增长至 240 mm, 近端直径减小至 14 mm, 远端直径减小至 9 mm, 主钉更长更细的改进有效地降低了股骨干骨折的概率。③ 主钉远端的锁钉孔为椭圆形设计, 可以提供静态或动态锁定选择, 且与主钉尾部距离更远(58 mm), 有利于降低应力集中。PFN 虽然在一定程度上减少了股骨头旋转及股骨干骨折等发生率[17], 但依然表现出如下问题: 出现“Z 字效应”、螺钉切出严重时有出现防旋钉进入盆腔可能、在股骨颈细小患者中双钉的置入存在困难、严重骨质疏松患者难以稳定固定[18]。

#### 2.5. 微创短重建钉 TAN

TAN 是在 Gamma 钉的基础上设计的, 在部分老文献中 TAN 仍被称为 Gamma 钉, TAN 较之前出现的髓内钉更匹配亚洲人群的解剖结构, TAN 与 PFN 的结构类似, 也采用了双钉系统, 但两枚拉力螺钉直径更细(6.4 mm), 主钉近端进一步减小至为 13 mm, 外偏角减小至  $5^\circ$ , 主钉长度缩短至 150 mm。TAN 虽然在理论上对亚洲人群更有优势, 但细小的两枚拉力螺钉无法提供足够的加压效果, 常出现髓内翻及断钉等不良并发症[19], 在国内临床中常被同时期的 PFNA 所取代。

## 2.6. 股骨近端膨胀自锁型髓内钉(Expandable Proximal Femoral Nail, EPFN)

EPFN 是 1999 年由以色列 Disc-O-Tech 公司在 PFN 的基础上设计的新产品, 在 2002 年被美国 FDA 认证后开始在全球广泛应用[20]。EPFN 由 3 部分组成: 主钉、头钉及加强钉。主钉: 由 1 根中空柱管和 4 根径向辐条构成, 直径有 10 mm、12 mm 两种选择, 主钉外偏角 5°, 主钉近端口处有螺纹且内置单向阀门, 远端呈锥形; 在主钉插入髓腔后, 只需通过单向阀门注入生理盐水, 主钉的中空柱管和 4 根径向辐条便会自动顺着髓腔膨胀, 并且与髓腔内壁贴合形成锁定, 无需另加锁钉固定[21]。与主钉的设计一样, 头钉由 3 根径向辐条组成, 在打入股骨头部后注入生理盐水, 直径可由 8 mm 膨胀到 12 mm, 在膨胀的过程中可对周围的骨质进行填压并形成自锁, 加强钉与头钉平行打入加强加压与抗旋转能力。EPFN 钉因其可膨胀的特点, 除了在一定程度上可减少甚至避免扩髓过程, 导致血供破坏降低、手术时间缩短, 还使疏松的骨质变得致密[22], 提高螺钉的把持力, 更适用于骨质疏松的病人。Warschawski 等[23]研究表示 EPFN 在治疗 A3 型骨折时比 Gamma 3 疗效更佳, 但缺点在于对注水后膨胀压力要求较高(头钉压力宜在 70~120 Bar, 主钉压力宜在 50~70 Bar [24]), 压力过大容易导致骨皮质撑爆, 压力不足又难以提供足够的稳定性[22], 因此对术者的操作经验要求很高, 一定程度上限制了自身的推广。

## 2.7. 粗隆间髓内钉(Trochanteric Fixation Nail, TFN)

TFN 是在针对 PFN 在骨质疏松患者中稳定性不足和易出现“Z 字效应”等问题而产生的, 在 2006 年由 Lenich 等[25]学者首先报道临床应用。TFN 的主要特点为: ① 头钉: 采用了一枚具有 4 条刀刃的螺旋刀片, 螺旋刀片和头钉钉身为一体设计, 头钉采用敲击的方式进入, 并非传统的旋转拧入, 在敲击的过程中螺旋刀片对周围的骨质进行挤压, 大大增强了把持力; 同时头钉尾端采用削平设计, 方向与股外侧皮质方向一致, 可大大减少传统髓内钉因尾端突出而造成的大腿外侧软组织激惹问题; ② 头钉的远端存在纵行凹槽设计, 与主钉近端的插销装置联合可进行锁定, 在阻止头钉旋转的同时, 还可保证其动态滑动加压功能[26]。③ 主钉长度较 PFN 更短, 为 170 mm~235 mm, 直径由 10 mm、11 mm、12 mm 可选, 具有 6°的外偏角和 10°的前倾角。Liu 等[27]研究表明 TFN 易导致螺旋刀片在股骨头部向内横向迁移, TFN 头钉的螺旋刀片设计虽改进新颖, 但诞生不久便被相似且更加先进的 PFNA 所取代, 在临床当中并未得到大量推广, 导致临床疗效缺乏大量研究数据支持。

## 2.8. 股骨近端防旋髓内钉(Proximal Femoral Nail, PFNA)

PFNA 是由 AO/ASIF 组织设计的一款新型髓内钉, 于 2004 年在临床中开始投入试验, 2008 年由 Simmermacher 等[28]学者首次报道了临床疗效研究。PFNA 与 TFN 的结构极其相似, 仅仅在头钉的螺旋刀片上有所区别: PFNA 的螺旋刀片为分体式设计, 螺旋刀片和钉身通过螺纹锁定装置连接, 也是通过敲击的方式打入股骨颈头部, 但与 TFN 所区别的是, PFNA 的螺旋刀片可以边进入边旋转, 其螺旋线的半径由远端向近端逐渐增大, 对周围骨质打压作用比 TFN 更彻底[26], 理论上非常适合骨质疏松型 IFF, 当螺旋刀片到达合适位置时, 螺旋刀片便自动锁定不再旋转。螺旋刀片在骨质内的截面呈长方形, 较传统螺钉有良好的抗旋转作用, 同时头钉远端截面呈橄榄型进一步增强抗旋能力。Goffin 等[29]用计算机模拟 PFNA 治疗 IFF 模型的研究显示, 当骨密度达到标本的 75%时, 螺旋刀片提供了额外的骨量, 可显著降低股骨头旋转和切出风险, 表明了 PFNA 在骨质疏松型 IFF 中具有独特的优势。

PFNA 在临床推广了一段时间后, 有多篇文献报道了在亚洲人群中出现股骨骨折、大腿疼痛、头钉切出等不良事件[30], 2009 年, AO 组织根据亚洲人群股骨近端解剖结构的特点而设计了 PFNA-II, 主要改进在: ① 主钉外偏角由 6°减小至 5°, 且近端截面由圆形改成方形, 减少了对外侧壁的冲击。② 主钉近端直径由 17 mm 减小至 16.5 mm, 螺旋刀片直径由 11 mm 减小至 10.5 mm, 减少了头钉在股骨头切出

以及股骨干骨折的可能。改良后的 PFNA-II 并发症进一步降低[31], 成为目前临床上的主要选择之一, 尤其适用于骨质疏松和股骨颈较细的患者。

### 2.9. 联合拉力交锁髓内钉(InterTannail, IN)

是由美国 Smith-Nephew 公司在 PFN 基础上改进的新型髓内钉, 于 2005 年开始进入临床试验, 2009 年 Ruecker 等[32]开始报道临床疗效研究。主要特点: ① 头钉采用双钉系统, 上端较粗的拉力螺钉下方为弧形设计, 可容纳整根加压螺钉, 使双钉组合成一个整体, 拉力螺钉尾部下方存在螺纹, 随着加压螺钉的拧入, 可带动拉力螺钉做轴线运动, 使拉力螺钉的抗旋转应力转变为对骨折端的加压作用[26]。双钉一体化的设计除能有效抗旋转外, 还能避免“Z 字效应”。② 主钉外偏角为 4°, 更便于进入髓腔和降低对外侧壁的刺激; 主钉近端截面为梯形, 可增加主钉在髓腔内的抗旋转作用; 主钉远端采用音叉样结构, 可有效分散末端应力集中[33], 降低股骨干骨折的风险和大腿部疼痛感。Zhang 等[34]研究表明在抗旋转上 InterTan 比 PFNA 表现更好, 但在骨质疏松患者中 PFNA 的并发症更低; 2020 年 Liu 等学者[35]对 PFNA 和 InterTan 的临床疗效进行 Meta 分析, 研究显示 InterTan 出现股骨干骨折、退钉及髓内翻的概率较 PFNA 更低, 在治疗不稳定性 IFF 的临床表现更优于 PFNA。

### 2.10. 粗隆间加强型髓内钉(Trochanteric Fixation Nail Advanced, TFNA)

为进一步降低 PFNA 的不良并发症, 2015 年 Synths 公司设计了 TFNA。TFNA 的特点在于: ① 主钉: a) 近端直径减小至 15.66 mm, 远端直径减小至 13.4 mm, 外偏角减小至 5°, 近端截面呈方形, 进一步缩小对外侧骨皮质的刺激; b) 考虑到股骨前弓角的存在, 主钉曲率半径从传统髓内钉的 1.5 m 减小到 1.0 m, Yuan 等[36]学者研究表明与 1.5 m ROC 的 PFNA 钉相比, 1.0 m ROC 的 TFNA 钉在插入结束时的插入力和钉变形明显减小, 更容易插入到髓腔内; c) 近端支架处有导针孔允许临时固定骨碎片, 可避免头钉在打入时造成的移位。② 头钉: a) 螺旋刀片的刀刃数量由 4 条减少至 3 条, 且尾部凹槽标记可以保证操作时准确将刀片呈“倒三角”型打入股骨头部[37], 极大地降低了重力下刀片对骨质的切割; b) 头钉末端采用削平设计, 可减少软组织激惹; c) 头钉尾部可允许骨水泥注入使其到达头端填充骨质, 在骨质疏松患者中表现更优秀, Sermon 等[38]研究表明带骨水泥增强的 TFNA 初始可固定性显示出两倍的表面积和三倍的体积, 可明显增强 TFNA 刀片和螺钉的固定稳定性; d) 头钉的螺旋刀片和钉身为一体, 较 PFNA 分体式设计能提供更强的结构刚性, 头钉通过近端处的插销装置锁定, TFNA 可提供精确的加压控制, 只需转动近端支架上的螺母 1 圈便能对骨折端加压 2 mm。③ 材质: 考虑到近端直径减小会导致钉强度降低, TFNA 的整体材料采用钛钼合金(Ti6Al4V), 因为这种材料较上一代使用的钛铝铌或钛铝钒合金来说, 具有提高缺口疲劳强度的优点[39]。Lambers [40]的一项关于 TFNA 钉断裂风险研究表明 TFNA 和其他髓内钉的螺钉断裂风险是相同的, 且都易发生在头颈螺钉的近端孔处。TFNA 在治疗伴有严重骨质疏松患者的 IFF 中表现优秀, 但在其他类型的骨折中并未见明显的优势。Schmitz [41]的一项单中心有关 Gamma 3 钉和 TFNA 的对比研究表明, 由于没有发现明确的学习曲线效应, 与 Gamma 3 钉相比, TFNA 发生固定失败的风险反而更高, 但日本学者 Matsumura [42]的研究显示 TFNA 即使对于那些病情不稳定的患者, 也可以获得良好的疗效。目前具有说服力的临床研究较少, 对 TFNA 的实际临床疗效还有待进一步研究。

### 2.11. 解剖型股骨近端髓内钉(Zimmer Natural Nail, ZNN)

近年来越来越多学者注意到股骨前弓生理解剖特点的重要性, 而传统髓内钉均为直钉设计, 与人体解剖结构存在差异, 常引起术后大腿疼痛, 基于此种原因, Zimmer 设计了新型髓内钉 ZNN。ZNN 由三部分组成: 主钉、单枚拉力螺钉和远端锁钉。主要特点[43]表现在主钉上: ① 近端直径减小至 15.5 mm,

前倾角 15°, 外偏角 4°, 颈干角有 125°和 130°两种规格; ② 有长钉和短钉之选, 短钉长 180 mm, 远端直径 10 mm, 与传统髓内钉明显不同的是曲率半径为 1275 mm, 贴近人体股骨干弧度, 可最大程度减少对骨皮质刺激; ③ 主钉钉身采用长螺旋形凹槽设计, 便于在髓腔内插入和取出, 主钉尾端采用分叉设计可降低大腿疼痛; ④ 在拉力螺钉打入股骨头部后, 还可调节主钉近端支架上的螺母来对骨折断端精确加压。Chen 等[44]学者的一项生物力学研究表明在反转子型 IFF 中 ZNN 的生物力学比 PFNA-II 更好, 在随后的另一项研究显示[43] InterTan 对髓内翻塌陷具有明显的抵抗作用, 力学性能最好, 其次为 ZNN 内固定, 最后为 Gamma 3 内固定。Pietro 等[45]研究表明 Gamma 钉与 ZNN 治疗股骨转子间骨折, 均可以达到满意的临床疗效, 但 ZNN 内固定术后髋部疼痛更轻, 尤其对于股骨前弓明显增大的患者, 可优先考虑使用 ZNN。

## 2.12. 股骨近端仿生髓内钉(Proximal Femur Bionic Nail, PFBN)

随着股骨粗隆间骨折生物力学和计算机辅助技术的发展, 目前越来越多的学者注意到“Ward 三角理论”的重要性, 并且意识到传统髓内钉设计的缺陷[46], 张殿英教授在此背景下提出了“杠杆-支点平衡-重建理论”[47]: 认为正常人体股骨近端类似于杠杆结构, 其支点位于股骨头压力骨小梁和张力骨小梁交汇处, 当发生骨折时, 整个杠杆系统发生破坏, 压力和张力骨小梁失衡、支点消失; 以 DHS 为代表的髓外固定仅重建了张力骨小梁结构[47], 但支点外移、力臂变长, 轻微外力下便导致退钉、内侧力臂缩短以达到杠杆的再平衡; 而传统髓内钉相对重建了压力骨小梁结构, 使支点重建在髓腔内, 较髓外固定进一步缩短了力臂, 故临床疗效更好, 但与生理支点仍存在偏差, 依然无法避免退钉及髓内翻致支点重建事件的发生。在“杠杆-支点平衡-重建”及“张氏 N 三角”理论的支撑下[48], PFBN 被设计提出, PFBN 最大的亮点是在 Gamma 3 钉的基础上增加了一枚横向支撑螺钉, 可通过拉力螺钉上的适配孔与拉力螺钉交叉固定, 在股骨近端形成双三角支撑固定系统, 三角结构大大提高了装置的稳定性。横向支撑钉与张力骨小梁走行一致[49], 可有效抵抗股骨近端张力, 避免内固定物切出、退钉或髓内翻。PFBN 的支撑钉与拉力螺钉的交点可视为力臂的支点, 而 PFBN 的支点较以往所有内固定系统都更接近生理支点。Ding 等[50]生物力学研究表明与 Gamma 钉相比, PFBN 可降低应力集中区域和应力峰值、改善应力分布、明显提高了稳定性。

目前, 尽管 PFBN 髓内钉于临床上尚在襁褓之中, 但设计理念为未来髓内钉的发展指明了新方向, 不少学者在此设计灵感上还创造了新型的内固定物, 如虎群盛及姜自伟团队设计的 TPFNA、苗旭漫等设计了超短力臂三角支架式锁定钢板[50]。虽然 PFBN 与其相似原理设计的其他新型内固定物在理论及生物力学研究上有不错的表现, 但目前临床研究较少, 其真正疗效有待进一步探索。

## 3. 总结与展望

目前, 在股骨粗隆间骨折的治疗方案中, 髓内固定以其独特的微创及生物力学等方面的优势占据了主流地位, 这跟一代又一代研究者们的探索改良是分不开的。早期以 Gamma 钉为代表的髓内钉在设计上与生理解剖匹配度不足, 常导致退钉、切割、髓内翻、股骨干骨折等不良事件的发生, 经过对主钉直径、形状、外偏角度、前倾角、曲率半径及头钉形状、数量锁定方式等方面的改良后, 当前在临床上主要使用的 Gamma 3、PFNA 及 Intertan 均能表现出良好的预后, 并且有着各自的优势及局限性, 在临床当中必须考虑患者的骨质条件、断端分型、内外侧皮质的完整性、颈干角与髓腔大小等[51]综合情况来选择。近两年来随着“杠杆-支点平衡-重建理论”的提出, 从本质上分析了当前主流髓内固定器械失败的原因[52]。笔者认为, 据此理论设计的股骨近端仿生髓内钉在生物力学上表现更优, 虽暂时缺乏有效的临床研究支持, 但不失为未来髓内钉的发展方向之一。

## 参考文献

- [1] Bedrettin, A., Sahin, F. and Yucel, M.O. (2022) Treatment of Intertrochanteric Femur Fracture with Closed External Fixation in High-Risk Geriatric Patients: Can It Be the Most Reliable Method That Reduces Mortality to Minimum Compared to Proximal Femoral Nail and Hemiarthroplasty? *Medicine (Baltimore)*, **101**, e28369. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000028369>
- [2] Alexiou, K.I., Roushias, A., Varitimidis, S.E., et al. (2018) Quality of Life and Psychological Consequences in Elderly Patients after a Hip Fracture: A Review. *Clinical Interventions in Aging*, **13**, 143-150. <https://doi.org/10.2147/CIA.S150067>
- [3] Durusoy, S., Paksoy, A.E., Korkmaz, M., et al. (2021) The Effect of Medullary Fill on Varus Collapse in AO31A3 Intertrochanteric (Reverse Obliquity) Fracture Treated with Cephalomedullary Nails. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*, 107, Article ID: 102804. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2021.102804>
- [4] Ender, A. (1970) Treatment of Hip Dysplasia and Hip Dislocation and Their Results in the Orthopedic Department of the Hubertusburg Hospital since Its Foundation. *Beiträge zur Orthopädie und Traumatologie*, **17**, 135-136.
- [5] Chapman, M.W., Bowman, W.E., Csongradi, J.J., et al. (1981) The Use of Ender's Pins in Extracapsular Fractures of the Hip. *Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume*, **63**, 14-28. <https://doi.org/10.2106/00004623-198163010-00003>
- [6] Zickel, R.E. (1967) A New Fixation Device for Subtrochanteric Fractures of the Femur: A Preliminary Report. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, **54**, 115-123. <https://doi.org/10.1097/00003086-196709000-00013>
- [7] Meyer, D.A., et al. (1985) Closed Zickel Nailing. *Clinical Orthopaedics & Related Research*, **201**, 138. <https://doi.org/10.1097/00003086-198512000-00022>
- [8] Grosse, A. and Taglang, G. (1990) A New Device for the Treatment of Tro-Chanteric Fractures of the Femur with a New Nail. *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume*, **62**, 185-189.
- [9] Ma, K.L., Wang, X., Luan, F.J., et al. (2014) Proximal Femoral Nails Antirotation, Gamma Nails, and Dynamic Hip Screws for Fixation of Intertrochanteric Fractures of Femur: A Meta-Analysis. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*, **100**, 859-866. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2014.07.023>
- [10] Leung, K.S., Procter, P., Robionek, B., et al. (1996) Geometric Mismatch of the Gamma Nail to the Chinese Femur. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, **323**, 42-48. <https://doi.org/10.1097/00003086-199602000-00006>
- [11] 王世坤, 史宗新, 刘新民. 亚洲型髋关节螺钉与第三代 Gamma 钉治疗不稳定转子间骨折的对比研究[J]. 解放军医药杂志, 2013, 25(6): 41-43.
- [12] Bonnaire, F., Lein, T., Fülling, T., et al. (2020) Reduced Complication Rates for Unstable Trochanteric Fractures Managed with Third-Generation Nails: Gamma 3 Nail versus PFNA. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery*, **46**, 955-962. <https://doi.org/10.1007/s00068-019-01200-7>
- [13] Hou, Y., Yao, Q., Zhang, G., et al. (2018) Comparative Study of Proximal Femoral Shortening after the Third Generation of Gamma Nail versus Proximal Femoral Nail Anti-Rotation in Treatment of Intertrochanteric Fracture. *Chinese Journal of Reparative and Reconstructive Surgery*, **32**, 338-345.
- [14] Pascarella, R., Fantasia, R., Maresca, A., et al. (2016) How Evolution of the Nailing System Improves Results and Reduces Orthopedic Complications: More than 2000 Cases of Trochanteric Fractures Treated with the Gamma Nail System. *Musculoskeletal Surgery*, **100**, 1-8. <https://doi.org/10.1007/s12306-015-0391-y>
- [15] Simmermacher, R.K.J., Bosch, A.M. and Werken, C.V.D. (1999) The AO/ASIF-Proximal Femoral Nail (PFN): A New Device for the Treatment of Unstable Proximal Femoral Fractures. *Injury—International Journal of the Care of the Injured*, **30**, 327-332. [https://doi.org/10.1016/S0020-1383\(99\)00091-1](https://doi.org/10.1016/S0020-1383(99)00091-1)
- [16] Jawad, M.J. (2021) Evaluation of Using PFN (Proximal Femoral Nailing) in Treatment of Unstable Intertrochanteric Fractures in Elderly Patients. *Journal of Pakistan Medical Association*, **71**, S179-S184.
- [17] Sarai, H., Schmutz, B. and Schuetz, M. (2022) Potential Pitfalls of Lateral Radiographic Assessment of the Nail Position in the Distal Femur. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, **142**, 1531-1538. <https://doi.org/10.1007/s00402-021-03851-x>
- [18] Ali, Y., Roozbeh, T. and Mehdi, M. (2016) Comparing the Intramedullary Nailing Method versus Dynamic Hip Screw in Treatment of Unstable Intertrochanteric Fractures. *Medical Archives*, **70**, 53-56. <https://doi.org/10.5455/medarh.2016.70.53-56>
- [19] Yan, S.G., Zhao, X., Li, H., et al. (2011) Comparison of Percutaneous Compression Plating and Short Reconstruction Nail for Treatment of Intertrochanteric Fracture. *Orthopaedic Surgery*, **3**, 14-21. <https://doi.org/10.1111/j.1757-7861.2010.00117.x>
- [20] Michael, D., Yaniv, W., Tal, F.R., et al. (2016) Expandable Proximal Femoral Nail versus Gamma Proximal Femoral

- Nail for the Treatment of AO/OTA 31A1-3 Fractures. *Injury*, **47**, 419-423. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2015.10.013>
- [21] Gao, F., Zhang, C.Q., Chai, Y.M., *et al.* (2015) Expandable Proximal Femoral Nails (EPFNs) in Elderly Patients. *Journal of Investigative Surgery*, **28**, 140-144. <https://doi.org/10.3109/08941939.2014.987885>
- [22] Folman, Y., Ron, N., Shabat, S., *et al.* (2006) Peritrochanteric Fractures Treated with the Fixion Expandable Proximal Femoral Nail: Technical Note and Report of Early Results. *Archives of Orthopaedic & Trauma Surgery*, **126**, 211-214. <https://doi.org/10.1007/s00402-006-0208-4>
- [23] Warschawski, Y., Ankori, R., Rutenberg, T.F., *et al.* (2022) Expandable Proximal Femoral Nail versus Gamma Proximal Femoral Nail for the Treatment of Hip Reverse Oblique Fractures. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, **142**, 777-785. <https://doi.org/10.1007/s00402-020-03726-7>
- [24] 祝建光, 蔡俊丰, 彭庄, 等. 应用可膨胀髓内钉(Fixion PF)治疗老年股骨近端骨折[J]. *生物骨科材料与临床研究*, 2006(4): 12-14.
- [25] Lenich, A., Fierbeck, J., Al-Munajjed, A., *et al.* (2006) First Clinical and Biomechanical Results of the Trochanteric Fixation Nail (TFN). *Technology and Health Care*, **14**, 403-409. <https://doi.org/10.3233/THC-2006-144-521>
- [26] Li, J., Zhang, L. and Tang, P. (2019) Evolving Concept in Treatment of Intertrochanteric Fractures and Development of Internal Fixation Devices. *Chinese Journal of Reparative and Reconstructive Surgery*, **33**, 1-7.
- [27] Liu, W., Zhou, D., Liu, F., *et al.* (2013) Mechanical Complications of Intertrochanteric Hip Fractures Treated with Trochanteric Femoral Nails. *The Journal of Trauma and Acute Care Surgery*, **75**, 304-310. <https://doi.org/10.1097/TA.0b013e31829a2c43>
- [28] Simmermacher, R.K., Ljungqvist, J., Bail, H., *et al.* (2008) The New Proximal Femoral Nail Antirotation (PFNA) in Daily Practice: Results of a Multicentre Clinical Study. *Injury*, **39**, 932-939. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2008.02.005>
- [29] Goffin, J.M., Pankaj, P., Simpson, A., *et al.* (2013) Does Bone Compaction around the Helical Blade of a Proximal Femoral Nail Anti-Rotation (PFNA) Decrease the Risk of Cut-Out? *Bone Joint Research*, **2**, 79-83. <https://doi.org/10.1302/2046-3758.25.2000150>
- [30] Pu, J.S., Liu, L., Wang, G.L., *et al.* (2009) Results of the Proximal Femoral Nail Anti-Rotation (PFNA) in Elderly Chinese Patients. *International Orthopaedics*, **33**, 1441-1444. <https://doi.org/10.1007/s00264-009-0776-3>
- [31] Mu, W. and Zhou, J. (2021) PFNA-II Internal Fixation Helps Hip Joint Recovery and Improves Quality of Life of Patients with Lateral-Wall Dangerous Type of Intertrochanteric Fracture. *BioMed Research International*, **2021**, Article ID: 5911868. <https://doi.org/10.1155/2021/5911868>
- [32] Ruecker, A.H., Rupprecht, M., Gruber, M., *et al.* (2009) The Treatment of Intertrochanteric Fractures: Results Using an Intramedullary Nail with Integrated Cephalocervical Screws and Linear Compression. *Journal of Orthopaedic Trauma*, **23**, 22-30. <https://doi.org/10.1097/BOT.0b013e31819211b2>
- [33] Luo, W., Fu, X., Ma, J.X., *et al.* (2020) Biomechanical Comparison of INTERTAN Nail and Gamma3 Nail for Intertrochanteric Fractures. *Orthopaedic Surgery*, **12**, 1990-1997. <https://doi.org/10.1111/os.12853>
- [34] Zhang, J., Cao, L.H., Chen, X., *et al.* (2017) Comparison of PFNA and InterTAN Intramedullary Nail in Treating Unstable Femoral Intertrochanteric Fractures. *China Journal of Orthopaedics and Traumatology*, **30**, 597-601.
- [35] Liu, W., Ji, G. and Liu, J. (2020) Comparison of Clinical Outcomes with Proximal Femoral Nail Anti-Rotation versus InterTAN Nail for Intertrochanteric Femoral Fractures: A Meta-Analysis. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, **15**, 500. <https://doi.org/10.1186/s13018-020-02031-8>
- [36] Yuan, H., Acklin, Y., Varga, P., *et al.* (2017) A Cadaveric Biomechanical Study Comparing the Ease of Femoral Nail Insertion: 1.0- vs 1.5-m Bow Designs. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, **137**, 663-671. <https://doi.org/10.1007/s00402-017-2681-3>
- [37] Klima, M. (2021) Bent or Broken: Analysis of Set Screw Fracture in the TFNa Implant. *Journal of Orthopaedics and Traumatology*, **22**, 31. <https://doi.org/10.1186/s10195-021-00594-8>
- [38] Sermon, A., Hofmann-Fliri, L., Zderic, I., *et al.* (2021) Impact of Bone Cement Augmentation on the Fixation Strength of TFNA Blades and Screws. *Medicina (Kaunas)*, **57**, 899. <https://doi.org/10.3390/medicina57090899>
- [39] Nayar, S.K., Ranjit, S., Adebayo, O., *et al.* (2021) Implant Fracture of the TFNA Femoral Nail. *Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma*, **22**, Article ID: 101598. <https://doi.org/10.1016/j.jcot.2021.101598>
- [40] Lambers, A., Rieger, B., Kop, A., *et al.* (2019) Implant Fracture Analysis of the TFNA Proximal Femoral Nail. *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume*, **101**, 804-811. <https://doi.org/10.2106/JBJS.18.00997>
- [41] Schmitz, P.P., Hannink, G., Reijmer, J., *et al.* (2022) Increased Failure Rates after the Introduction of the TFNA Proximal Femoral Nail for Trochanteric Fractures: Implant Related or Learning Curve Effect? *Acta Orthopaedica*, **93**, 234-240. <https://doi.org/10.2340/17453674.2022.1410>
- [42] Matsumura, T., Takahashi, T., Nakashima, M., *et al.* (2020) Clinical Outcome of Mid-Length Proximal Femoral Nail



- for Patients with Trochanteric Hip Fractures: Preliminary Investigation in a Japanese Cohort of Patients More than 70 Years Old. *Geriatric Orthopaedic Surgery & Rehabilitation*, **11**. <https://doi.org/10.1177/2151459320936444>
- [43] Chen, J., Ma, J., Lu, B., *et al.* (2021) Biomechanical Properties of Reverse Obliquity Intertrochanteric Fracture in the Elderly Treated with Three Different Intramedullary Fixations of ZNN Nail, Gamma 3 Nail and InterTan Nail. *Chinese Journal of Tissue Engineering Research*, **25**, 4271-4276.
- [44] Chen, J., Ma, J.X., Wang, Y., *et al.* (2019) Finite Element Analysis of Two Cephalomedullary Nails in Treatment of Elderly Reverse Obliquity Intertrochanteric Fractures: Zimmer Natural Nail and Proximal Femoral Nail Antirotation-II. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, **14**, 422. <https://doi.org/10.1186/s13018-019-1468-3>
- [45] Persiani, P., Ranaldi, F.M., Gurzi, M., *et al.* (2019) Choice of Three Different Intramedullary Nails in the Treatment of Trochanteric Fractures: Outcome, Analysis and Consideration in Midterm. *Injury*, **50**, S6-S10. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2019.01.012>
- [46] Zhang, X., Yu, K., Wang, Y., *et al.* (2021) Analysis of Characteristics and Causes of Postoperative Invalid Fixation Failures of Femoral Intertrochanteric Fractures. *Chinese Journal of Trauma*, No. 12, 429-436.
- [47] 张殿英, 郁凯, 杨剑, 等. “杠杆-支点平衡”理论——对股骨转子间骨折治疗的新认识[J]. 中华创伤杂志, 2020, 36(7): 647-651.
- [48] 张殿英. 支撑-牵张效应对股骨转子间骨折内固定稳定的影响[J]. 中华骨科杂志, 2022, 42(2): 77-83.
- [49] 朱燕宾, 陈伟, 张英泽, 等. 股骨近端 N 三角理论及股骨近端仿生髓内钉(PFNB)的设计理念[J]. 中华老年骨科与康复电子杂志, 2021, 7(5): 257-259.
- [50] Ding, K., Zhu, Y., Li, Y., *et al.* (2022) Triangular Support Intramedullary Nail: A New Internal Fixation Innovation for Treating Intertrochanteric Fracture and Its Finite Element Analysis. *Injury*, **53**, 1796-1804. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2022.03.032>
- [51] Zhang, S., Hu, S., Du, S., *et al.* (2019) Concept Evolution and Research Progress of Stability Reconstruction for Intertrochanteric Fracture. *Chinese Journal of Reparative and Reconstructive Surgery*, **33**, 1203-1209.
- [52] 张殿英. “杠杆-支点重建”理论重新认识股骨转子间骨折内固定的过去和未来[J]. 中华创伤骨科杂志, 2020, 22(10): 841-845.