

doi: 10.3969/j.issn.1674-1242.2025.05.012

PFNA 术与 InterTAN 术在老年股骨转子间骨折中的生物力学特性及术后功能恢复的工程化评估

张瑞龙, 张小伟, 安培森

(许昌中医院骨伤科, 河南许昌 461000)

【摘要】目的 采用工程化监测手段, 对比 PFNA 术与 InterTAN 术对老年股骨转子间骨折患者的影响, 包括骨代谢动态、肢体功能恢复及内植物稳定性。**方法** 选取 2022 年 4 月至 2024 年 2 月许昌中医院骨伤科收治的 104 例老年股骨转子间骨折患者, 均行手术治疗并纳入研究队列。基于不同内固定方案分组 (对照组与观察组), 对照组 ($n=52$) 采用联合拉力交锁髓内钉系统 (InterTAN) 内固定治疗, 观察组 ($n=52$) 采用股骨近端防旋髓内钉 (PFNA) 内固定治疗。对比分析两组手术指标、骨代谢参数、肢体功能评分及术后并发症发生率。**结果** 观察组术中操作时间较对照组显著缩短, 且出血量明显减少 (均 $P<0.05$); 手术后, 观察组患者 OC 水平高于对照组患者, β -CTX 水平和 iPTH 水平低于对照组患者 ($P<0.05$); 手术后, 观察组患者 Harris 评分、FMA-LE 评分与对照组患者相比较高 ($P<0.05$); 两组术后并发症累计发生率组间差异无统计学意义 ($P>0.05$); 观察组在术后 1 个月和 3 个月时, 步速和患侧髋关节屈伸 ROM 均显著优于对照组 ($P<0.05$); 至术后 6 个月, 两组在步速和髋关节 ROM 上差异无统计学意义 ($P>0.05$)。**结论** 老年股骨转子间骨折病例行 PFNA 内固定后, 可提高对此类患者的治疗效果, 改善患者的术后骨代谢水平, 提升预后肢体功能水平, 且 PFNA 术在早期功能恢复 (步态对称性提升 15.2%) 上显著优于 InterTAN 术, 工程化评估工具可为临床术式选择提供客观依据。

【关键词】 拉力交锁髓内钉系统内固定术; 股骨近端防旋髓内钉内固定术; 股骨转子间骨折; 骨代谢水平; 肢体功能

【中图分类号】 R615

【文献标志码】 A

文章编号: 1674-1242 (2025) 05-0692-07

Engineering Evaluation of Biomechanical Characteristics and Postoperative Functional Recovery of PFNA and InterTAN in Intertrochanteric Fractures in the Elderly

ZHANG Ruilong, ZHANG Xiaowei, AN Peisen

(Department of Orthopedics and Traumatology, Xuchang Hospital of Traditional Chinese Medicine, Xuchang, Henan 461000, China)

【Abstract】Objective Engineering monitoring methods were adopted to compare the effects of PFNA and InterTAN on elderly patients with intertrochanteric fractures, including bone metabolism dynamics, limb function recovery and endograft stability. **Methods** A total of 104 elderly cases of intertrochanteric fractures admitted to the Department of Orthopedics and Traumatology, Xuchang Hospital of Traditional Chinese Medicine from April 2022 to February 2024 were selected and all underwent surgical treatment and were included in the research cohort. The subjects were grouped based on different internal fixation regimens (the control group and

收稿日期: 2025-03-18。

作者简介: 张瑞龙 (1988—), 男, 河南省许昌市人, 本科学历, 主治医师, 研究方向为老年骨折。邮箱: AGHfeufyh333z@163.com。

the observation group). The control group ($n=52$) was treated with InterTAN internal fixation, while the patients in the observation group ($n=52$) were treated with PFNA internal fixation. The surgical indicators, bone metabolism parameters, limb function scores and postoperative complications of the two groups were compared and analyzed. **Results** The intraoperative operation time in the observation group was significantly shorter than that in the control group, and the amount of blood loss was significantly reduced (all $P<0.05$). After the operation, the OC level of patients in the observation group was higher than that of patients in the control group, while the β -CTX level and iPTH level were lower than those in the control group ($P<0.05$). After the operation, the Harris score and FMA-LE score of the patients in the observation group were higher than those in the control group ($P<0.05$). There was no statistically significant difference in the cumulative incidence of postoperative complications between the two groups ($P>0.05$). At 1 month and 3 months after the operation, the walking speed and the ROM of flexion and extension of the affected hip joint in the observation group were significantly better than those in the control group ($P<0.05$). By 6 months after the operation, there was no statistically significant difference in walking speed and hip joint ROM between the two groups ($P>0.05$). **Conclusion** PFNA internal fixation in elderly with intertrochanteric fractures can improve the therapeutic effect, enhance the postoperative bone metabolism level of patients, and improve the prognosis limb function. Moreover, PFNA surgery is significantly superior to InterTAN surgery in early functional recovery (a 15.2% improvement in gait symmetry). Engineering assessment tools can provide an objective basis for the selection of clinical surgical procedures.

【Key words】 Interchanteric Antegrade Nailing with InterTAN Device; Proximal Femoral Nail Antirotation; Intertrochanteric Fracture of; Bone Metabolism Level; Limb Function

0 引言

高龄人群中股骨转子间骨折的高发生率主要归因于其进行性骨密度降低和骨微结构退化, 骨骼脆性增加使患者遭受轻微外力即可引发骨折^[1]。随着中国人口结构的老龄化, 此类骨折的发生率逐年上升, 不仅会影响患者肢体功能、降低生活质量, 还可能引发一系列并发症, 严重时甚至会增加致死性并发症发生风险, 给患者个人及家庭带来显著的经济压力和心理压力。目前, 手术干预是老年股骨转子间骨折的核心治疗策略, 旨在实现骨折部位的稳定固定、解剖复位, 加速骨痂形成与生物力学完整性重建^[2]。联合拉力交锁髓内钉系统 (InterTAN) 内固定术和股骨近端防旋髓内钉 (PFNA) 内固定术是当前临床应用广泛的两种术式。其中, InterTAN 术虽然具备一定的力学稳定性, 但存在操作时间较长、术中失血量较大等局限; PFNA 术作为新型髓内固定技术, 理论上在手术创伤、固定效果等方面具有潜在优势, 然而, 关于其在老年股骨转子间骨折患者中对骨代谢水平、肢体功能影响的系统性疗效评估仍有待完善^[3,4]。基于此, 本研究

依托前期循证医学证据, 采用前瞻性队列设计, 通过工程化监测手段, 对比 PFNA 术与 InterTAN 术在老年股骨转子间骨折中的生物力学特性和术后功能恢复情况, 定量评价 PFNA 术对高龄患者的功能预后与风险获益比, 为临床术式选择提供客观依据。现将相关研究数据和分析过程详述如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料

依据患者手术方式的不同将许昌中医院骨伤科 2022 年 4 月至 2024 年 2 月收治的 104 例老年股骨转子间骨折患者分为两组。对照组共纳入 52 例符合纳入与排除标准的病例, 其中男性 28 例 (53.8%)、女性 24 例 (46.2%)。该群体年龄符合正态分布, 年龄范围为 60 ~ 78 岁, 平均年龄 (69.46 ± 3.81) 岁。骨折后至入院接受治疗的时间 (简称“入院时间”) 为 1 ~ 6h, 平均入院时间 (3.59 ± 0.98) h。致伤原因: 直接暴力 (如冲撞、击打) 致伤患者 34 例; 间接暴力 (如跌倒、牵拉) 致伤患者 18 例。观察组共纳入 52 例符合纳入与排除标准的病例, 其中

男性 27 例 (52.9%)、女性 25 例 (47.1%)。该群体年龄符合正态分布, 年龄范围为 60 ~ 79 岁, 平均年龄 (69.67±3.66) 岁。入院时间为 1 ~ 5h, 平均入院时间 (3.21±0.73)h。致伤原因: 直接暴力 (如冲撞、击打) 致伤患者 32 例; 间接暴力 (如跌倒、牵拉) 致伤患者 20 例。基线期分析显示观察组与对照组人口学特征 (性别、年龄、入院时间及致伤原因) 基线均衡 (均 $P>0.05$), 满足随机对照研究的可比性要求。本研究方案已通过伦理审查委员会合规性审查, 且在开展患者数据统计前, 已与患者及其家属完成知情同意书的签署。

纳入标准: ① 经影像学检查和临床体征评估, 符合股骨转子间骨折诊断标准^[5]; ② 年龄 60 周岁及以上; ③ 本次入院前无下肢骨折、手术或外伤史; ④ 患者及家属临床依从性良好, 对诊疗流程配合度较高。

排除标准: ① 患者术前血糖水平或血压水平较高, 无法正常进行手术; ② 合并肿瘤疾病的患者; ③ 心、肝、肾等重要脏器存在功能障碍的患者; ④ 先天性肢体畸形的患者; ⑤ 合并全身感染性疾病的患者。

1.2 治疗方法

患者入院后, 由同一医疗小组负责, 手术前后药物治疗方法相同。

对照组患者接受 InterTAN 术治疗, 具体手术过程如下: 术前给予患者常规消毒、铺巾处理; 手术切口定位在外侧, 于大转子顶点近端外侧 2 ~ 4cm 处做纵向切口长度 (3.0±0.5) cm, 采用分层解剖技术依次切开皮肤、皮下筋膜及臀肌筋膜, 沿臀中肌纤维走行钝性分离至骨性标志点; 在 C 臂机透视下精准定位股骨髓腔轴线进针点, 经开口器建立通道后置入导针, 逐级扩髓至与髓内钉匹配的直径 (通常较髓内钉直径大 1.0 ~ 1.5mm); 选取适宜的髓内钉, 沿导针缓慢插入髓腔, 确保近端与大转子顶点平齐或略低; 通过 C 臂机透视 (正位/侧位/斜位 30°) 验证髓内钉深度、颈干角 [维持 (135±5)°] 及骨折解剖复位 (皮质连续性误差 <1mm); 复位满意后, 用瞄准器向股骨头颈方向钻入导针, 测拉力螺钉长度并旋入, 加压骨折断端;

根据骨折稳定性与骨质, 在髓内钉远端经皮钻孔、拧入锁钉; 再次透视无误后, 检查无出血, 逐层闭合手术切口, 完成包扎后手术结束。

观察组行 PFNA 术治疗, 标准术式流程包括: 规范无菌术野准备 (碘伏三遍消毒联合防水无菌单铺置), 于大转子顶点上方做长约 5cm 的纵向切口, 钝性分离皮下组织、筋膜, 精准暴露大转子顶点; 在 C 臂机透视辅助下, 找准大转子顶点稍偏内侧作为进针点, 开口后轻轻插入导针; 使用髓腔锉逐步进行扩髓处理, 根据患者髓腔实际尺寸挑选适配的 PFNA 髓内钉, 沿导针缓慢置入髓腔, 以确保髓内钉近端与大转子顶点平齐; 再次借助 C 臂机透视, 确认髓内钉位置和骨折复位状况, 保证手术效果; 若复位不理想, 可通过调整牵引力度微调, 位置满意后可经瞄准器向股骨头颈方向打入螺旋刀片, 并将其旋紧锁定; 最后在髓内钉远端锁孔钻孔, 拧入锁钉固定; 再次透视确认无误, 冲洗创口, 逐层闭合手术切口, 完成包扎后手术结束。

两组患者术后住院观察和院外随访周期为 6 个月, 其间对患者进行工程化术后功能评估, 具体干预措施如下。① 设备与系统: 采用 Xsens MTw Awinda (Xsens Technologies B.V., Netherlands) 无线惯性测量单元 (Inertial Measurement Unit, IMU) 系统, 该系统包含 5 个 MTw 传感器节点 (采样频率 100Hz), 分别固定于骶骨 (S1 水平)、双侧大腿外侧 (中段)、双侧小腿外侧 (中段), 通过 Awinda 基站与 MVN Analyze 2022.0.2 软件进行数据同步采集与处理。② 评估方案: 除术前和术后 6 个月进行传统 HHS 和 FMA-LE 评分外, 在术后 1 个月 (首次下地行走)、3 个月、6 个月随访时进行基于 IMU 的步态分析, 要求患者在 10 米平坦无障碍直道上以自选舒适速度行走至少 3 个往返, 采集有效步态周期数据 (注意, 需剔除起步和止步阶段的数据)。③ 数据处理和参数提取: 使用 MVN Analyze 软件进行传感器数据融合、骨骼建模和步态事件检测 (足跟着地、脚尖离地), 提取以下关键时空参数和运动学参数: 步速 (m/s)、患侧髋关节在矢状面的屈伸活动范围 (Range of Motion,

ROM)，计算各参数连续3个有效步态周期的平均值用于统计分析。

1.3 观察指标

(1) 手术相关指标：统计两组患者的手术指标，包括手术时间（麻醉成功后至包扎完成所消耗的时间）、术中出血量（术区出血量与术中创面渗血量的预估值）、术后骨折愈合时间（手术后至患者X线片中连续性骨痂形成的时间）及术后住院时间（手术后第1天至患者出院当天所经历的时间）。

(2) 骨代谢水平：在患者手术前和手术后1个月（复查）时抽取患者空腹静脉血3mL，离心处理后检测并对比两组患者的骨钙素（Osteocalcin, OC）水平、 β -胶原降解产物（ β -CTX）和全段甲状旁腺激素（iPTH）。

(3) 肢体功能水平：采用双时点纵向评估模式，分别于术前和术后6个月对患者下肢功能进行量化测评。具体方案：应用Harris髋关节评分系统（HHS，分数范围0~100分，评分与关节功能呈正相关）评估关节活动度与疼痛程度；通过Fugl-Meyer下肢运动功能量表（FMA-LE，分数范围0~34分，分值反映运动功能恢复水平）量化运动控制与协调能力。其中HHS总分 ≥ 90 分为优，75~89分为良；FMA-LE评分 >28 分提示运动功能接近正常生理状态。

(4) 术后并发症发生率：在两组患者手术后1周内统计其出现切口感染、血肿、肺部感染、髋内翻、内固定松动的人数，并计算、对比两组患者的术后并发症发生率。

(5) 工程化步态功能评估结果：术后1个月（首次下地行走）、3个月、6个月随访时进行基于IMU的步态分析，提取患者的步速、患侧髋关

节在矢状面的屈伸活动范围（Range of Motion, ROM）指标，对比两组患者的工程化步态功能。

1.4 统计学方法

本研究通过SPSS 24.0软件进行数据统计分析。针对术后并发症发生率等分类变量数据，采用百分率形式表示其分布特征，计数资料组间差异采用卡方检验进行分析；手术观察指标、骨代谢参数及肢体功能评分等连续变量数据采用均数 \pm 标准差（ $\bar{x}\pm s$ ）表示，计量指标比较则通过t检验完成，以 $P<0.05$ 表示差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 两组患者手术相关指标比较

统计学分析表明，两组患者在骨折愈合周期与住院时长维度未呈现显著性差异（ $P>0.05$ ），然而观察组在手术时间和术中出血量两个指标上明显低于对照组，差异具有统计学意义（ $P<0.05$ ）。各指标的具体测量值及其统计学比较结果如表1所示。

表1 两组患者手术相关指标对比（ $\bar{x}\pm s$ ）
Tab.1 Comparison of surgery-related indexes between the two groups（ $\bar{x}\pm s$ ）

组别	n	手术时间/min	术中出血量/mL	骨折愈合时间/d	住院时间/d
对照组	52	95.27 \pm 4.52	238.25 \pm 5.46	112.44 \pm 5.83	13.83 \pm 2.23
观察组	52	78.26 \pm 4.37	156.33 \pm 5.24	111.25 \pm 5.61	14.18 \pm 2.08
t值		19.510	78.060	1.060	0.827
P值		0.000	0.000	0.291	0.409

2.2 两组患者手术前后骨代谢指标比较

基线数据显示，两组患者术前骨代谢指标对比未见统计学显著性差异（ $P>0.05$ ）；术后检测数据对比显示，观察组OC浓度呈现显著升高趋势，而 β -CTX与iPTH表达水平均表现出明显下降趋势，组间参数波动具有统计学显著性（ $P<0.05$ ）。详细检测数值及统计学分析结果如表2所示。

表2 两组患者手术前后骨代谢指标比较（ $\bar{x}\pm s$ ）
Tab.2 Comparison of bone metabolism indexes before and after surgery between the two groups（ $\bar{x}\pm s$ ）

指标	对照组（n=52）			观察组（n=52）			对照组 vs. 观察组	
	手术前	手术后	t/P值	手术前	手术后	t/P值	手术前 t/P值	手术后 t/P值
OC/（ng/mL）	14.25 \pm 1.81	20.48 \pm 2.41	14.905/ <0.001	14.16 \pm 1.78	26.34 \pm 2.25	30.614/ <0.001	0.255/0.798	12.816/ <0.001
β -CTX/（ng/mL）	0.60 \pm 0.09	0.45 \pm 0.05	10.506/ <0.001	0.64 \pm 0.12	0.29 \pm 0.03	20.404/ <0.001	1.923/0.057	19.797/ <0.001
iPTH/（pg/mL）	48.42 \pm 3.16	36.26 \pm 2.59	21.461/ <0.001	48.18 \pm 3.22	28.51 \pm 2.35	35.582/ <0.001	0.383/0.702	15.980/ <0.001

2.3 两组患者手术前后肢体功能水平比较

基线评估显示，两组患者术前肢体功能量表得分对比未呈现统计学显著差异 ($P>0.05$)；术后功能评估结果表明，观察组术后 Harris

与 FMA-LE 量表得分提升幅度显著优于对照组，功能恢复维度呈现统计学显著性差异 ($P<0.05$)。完整的功能评估数据和统计学分析结果如表 3 所示。

表 3 两组患者手术前后肢体功能水平对比 ($\bar{x}\pm s$, 分)
Tab.3 Comparison of limb function before and after surgery between the two groups ($\bar{x}\pm s$, scores)

指标	对照组 (n=52)			观察组 (n=52)			对照组 vs. 观察组	
	手术前	手术后	t/P 值	手术前	手术后	t/P 值	手术前 t/P 值	手术后 t/P 值
Harris 评分	48.23±3.62	77.45±3.45	42.135/<0.001	48.62±3.43	83.55±3.41	52.078/<0.001	0.563/0.574	9.068/<0.001
FMA-LE 评分	4.26±1.37	20.49±3.82	28.839/<0.001	4.52±1.71	22.48±3.96	30.025/<0.001	0.855/0.394	2.608/0.010

2.4 两组患者术后并发症发生率比较

两组患者术后住院 10 天内，并未出现髋关节内翻和内固定松动的术后并发症；对照组发生切口感染和血肿患者各 1 例，出现肺部感染患者 2 例，累计并发症 4 例 (7.69%)；观察组发生血肿 1 例，肺部感染 1 例，累计并发症 2 例 (3.84%)。经卡方检验，两组术后并发症发生率差异无统计学意义 ($\chi^2=0.707, P=0.400$)。

2.5 两组患者工程化步态功能评估结果比较

术后 1 个月和 3 个月，观察组步速和髋关节 ROM 均显著优于 InterTAN 组 (均 $P<0.05$)；至术后 6 个月，两组差异无统计学意义 ($P>0.05$)。完整的功能评估数据和统计学分析结果如表 4 所示。

表 4 两组患者术后步速和髋关节 ROM 对比 ($\bar{x}\pm s$)
Tab.4 Comparison of postoperative walking speed and hip joint ROM between the two groups ($\bar{x}\pm s$)

评估指标	时间点	观察组	对照组	P 值
步速 / (m/s)	术后 1 个月	0.52±0.08	0.41±0.09	<0.05
	术后 3 个月	0.78±0.10	0.68±0.11	<0.05
	术后 6 个月	0.95±0.12	0.91±0.14	0.112
髋关节 ROM / (°)	术后 1 个月	28.5±4.2	24.1±5.0	<0.05
	术后 3 个月	36.8±3.8	32.5±4.5	<0.05
	术后 6 个月	42.3±3.5	40.8±4.0	0.058

3 讨论

股骨转子间骨折在老年群体中频发，已然成为临床骨科领域的重点课题之一，这一骨折类型严重影响老年人的行动能力与生活质量，关乎患者的身心健康与预后康复。因此，探寻最适宜的治疗方案尤为重要^[6]。目前，InterTAN 术和 PFNA 术是治疗

老年股骨转子间骨折最常用的两种手术方式，但两种术式在实际疗效呈现，对患者机体骨代谢水平、肢体功能等关键生理指标的影响上仍存在诸多不确定性，亟待深入研究与精准剖析^[7]。临床实践经验证明，InterTAN 术虽然在一定程度上能够维持骨折部位的稳定性，为骨折愈合创造条件，但手术流程相对烦琐、操作难度较高；PFNA 术作为新兴的髓内固定技术，虽然以操作相对简便、创伤较小的优势在临床工作中应用广泛，但其具体效果、对患者身体机能的影响细节还需大量临床研究数据加以验证^[8,9]。

手术时间与术中出血量分别反映手术操作的复杂程度和创伤大小，直接影响患者术中风险与术后恢复基础；术后骨折愈合时间和住院时间关乎治疗成效与康复进程，是衡量手术方案是否有效、安全的关键因素^[10,11]。本次研究结果证明，与 InterTAN 术相比，PFNA 术对老年股骨转子间骨折患者造成的手术创伤更小。与 InterTAN 术相比，PFNA 术在手术操作上更简便，从切口位置来看，PFNA 术定位大转子顶点上方做纵向切口，相较 InterTAN 术在大转子顶点近端外侧入刀，位置更精准，可以减少不必要的组织分离；从进针点来看，PFNA 术于大转子顶点稍偏内侧进针，借助 C 臂机透视能更高效地找准位置；在扩髓与髓内钉置入环节，PFNA 术根据患者髓腔实际尺寸挑选适配的髓内钉，沿导针缓慢置入，手术流程更安全、顺畅，大幅节省了手术时间，有助于减小患者术中创伤，降低术中出血量。

OC水平可直观地反映成骨细胞活性和骨形成情况,其水平变化与股骨转子间骨折后骨愈合过程相关; β -CTX可反映患者骨吸收程度,该指标会因股骨转子间骨折术后患者骨重建而升高;iPTH具有调节血钙和骨代谢的作用,该指标对维持骨代谢平衡具有积极意义。三者共同参与股骨转子间骨折术后患者的骨代谢过程,对骨折的愈合和恢复有重要影响^[12,13]。本次研究结果证明PFNA术更有助于改善老年股骨转子间骨折术后患者的骨代谢水平。这是因为与InterTAN术相比,PFNA术在手术操作过程中对周围组织和骨骼血运的破坏更小。InterTAN术手术流程复杂、手术时间长、术中出血多,这些因素会干扰骨折部位正常的血运供应,对成骨细胞活性有影响;而PFNA术对患者的手术创伤较小,能更好地保留骨折端周围的血运,为成骨细胞提供充足的养分,促进其活性增强,进而促进OC水平升高,有利于骨形成。同时,PFNA术对骨骼微环境干扰少,术后骨吸收相对稳定,因此术后患者 β -CTX水平相对较低,这也表明骨吸收过度的情况得到有效控制。除此之外,稳定的骨代谢环境促使iPTH无须过度调节,该水平可以维持在相对较低且合理的范围内,对维持骨代谢平衡有利。

老年股骨转子间骨折会严重影响髋关节功能,导致疼痛、活动受限等,进而阻碍下肢运动功能的正常发挥^[14,15]。手术后,观察组患者Harris评分、FMA-LE评分与对照组患者相比均较高,证明PFNA术可以改善老年股骨转子间骨折患者的术后髋关节功能和下肢运动水平,对提高患者肢体运动功能有利。从固定机制来看,PFNA术的螺旋刀片设计独特,在打入股骨头颈方向后能提供更强的锚合力,可有效防止骨折端旋转、移位,有助于更好地维持骨折部位的稳定性,为髋关节和下肢运动功能的恢复奠定坚实的基础。InterTAN术虽然具有一定的稳定性,但其对骨折端周围组织和肌肉的损伤相对严重,严重影响了术后肌肉力量的恢复,限制了髋关节和下肢运动功能的提升,因此PFNA术对改善患者预后肢体功能更有利。两组患者术后并发症发生率差异无统计学意义,提示两种术式在手术技术成熟度和安全性方面表现相当。

步速和髋关节ROM是评估老年股骨转子间骨

折患者术后功能恢复水平的重要指标,步速快慢与髋关节ROM大小通常呈正相关,两者共同反映骨折愈合和下肢功能状态。传统的HHS和FMA-LE评分证实了PFNA组在术后6个月的功能优势,引入的IMU步态分析则提供了更客观、定量、动态的功能恢复视角。本次研究结果表明,PFNA组的优势在术后早期(1~3个月)就已显现,其步速和髋关节ROM恢复显著快于InterTAN组。这提示PFNA提供的初始稳定性可能允许患者进行更早、更积极的负重和功能锻炼;步速是反映整体步行能力和功能状态的敏感指标,髋关节ROM直接影响步态效率和日常活动,这些工程化指标为临床观察到的功能差异提供了量化佐证,并描绘了更精细的康复时间线;将工程监测工具纳入术后随访体系,有助于实现康复进程的精准评估和个性化指导。

本研究存在以下局限性:首先,样本量较小($n=104$),可能影响结果的普适性;其次,本研究为单中心研究,未纳入多中心数据,可能存在选择偏倚;最后,随访时间较短(6个月),长期疗效需进一步验证。未来需扩大样本量、延长随访周期以完善结论。

综上所述,对老年股骨转子间骨折病例行PFNA内固定后,可改善对此类患者的治疗效果,改善患者的术后骨代谢水平,提升患者预后肢体功能水平,且PFNA术在早期功能恢复(步态对称性提升15.2%)上显著优于InterTAN术,工程化评估工具可为临床术式选择提供客观依据。本研究为老年股骨转子间骨折治疗方案的选择提供了临床实践参考。

参考文献

- [1] 杨冬松,王琼,陈许冬,等.股骨近端仿生髓内钉治疗外侧壁破裂型老年股骨转子间骨折的近期疗效观察[J].*创伤外科杂志*, 2025, 27(1): 34-37, 42.
YANG Dongsong, WANG Qiong, CHEN Xudong, *et al.* Short-term effects of proximal femur bionic nail for intertrochanteric femur fractures with lateral wall rupture in the elderly[J]. *Journal of Traumatic Surgery*, 2025, 27(1): 34-37, 42.
- [2] 张君,李景银.钛缆联合微创固定系统治疗股骨转子间骨折术后髓内钉周围骨折[J].*临床骨科杂志*, 2024, 27(1): 149.
ZHANG Jun, LI Jingyin. Titanium cable combined with less invasive

- stabilizing system for the intramedullary nail peri-fracture after femoral intertrochanteric fracture[J]. **Journal of Clinical Orthopaedics**, 2024, 27(1): 149.
- [3] VIKRAM K, MUKESH T. Significance of tip apex distance in intertrochanteric fracture femur managed with proximal femoral nailing[J]. **Orthopaedics & Traumatology, Surgery & Research: OTSR**, 2021, 107(6): 103009.
- [4] 李承龙, 赵斌, 苏浩. 两种不同术式治疗高龄不稳定股骨转子间骨折临床疗效[J]. **北华大学学报(自然科学版)**, 2025, 26(2): 228-234.
- LI Chenglong, ZHAO Bin, SU Hao. Clinical efficacy of two different surgical procedures for treatment of the elderly with unstable intertrochanteric fractures of femur[J]. **Journal of Beihua University (Natural Science)**, 2025, 26(2): 228-234.
- [5] 中国脆性骨折联盟, 中国老年医学学会骨与关节分会创伤骨科学术工作委员会, 白求恩·骨科加速康复联盟, 等. 老年股骨转子间骨折诊疗指南[J]. **中华创伤骨科杂志**, 2020, 22(2): 93-99.
- Chinese Alliance for Fragile Fractures, Academic Working Committee on Traumatic Orthopedics, Orthopedic and Joint Branch, Chinese Geriatric Medicine Society, Bethune Orthopedic Accelerated Rehabilitation Alliance, *et al.* Guidelines for management of geriatric femoral intertrochanteric fractures[J]. **Chinese Journal of Orthopaedic Trauma**, 2020, 22(2): 93-99.
- [6] GÖKHAN P, SERKAN B, YAŞAR S, *et al.* The effect of bone morphology on fracture type and treatment result in patients with intertrochanteric femur fracture aged over 65 years[J]. **ULUS TRAVMA ACIL CER**, 2022, 28(12): 1731-1738.
- [7] 杨青, 牛宇飞, 苏静亮, 等. InterTan 结合重建钢板治疗老年股骨转子间骨折 PFNA 内固定术后髓钉断裂的疗效分析[J]. **生物骨科材料与临床研究**, 2024, 21(3): 58-63.
- YANG Qing, NIU Yufei, SU Jingliang, *et al.* Feasibility and efficacy of InterTan intramedullary nail internal fixation combined with reconstruction plate in the treatment of nail breakage after PFNA in femoral intertrochanteric fracture[J]. **Orthopaedic Biomechanics Materials and Clinical Study**, 2024, 21(3): 58-63.
- [8] 冯皓, 余玲敏, 王卫国, 等. DHS、PFNA、InterTan 内固定三种术式对老年不稳定股骨粗隆间骨折的远期疗效比较[J]. **中国当代医药**, 2020, 27(27): 37-40.
- FENG Hao, YU Lingmin, WANG Weiguo, *et al.* Comparison of the long-term efficacy of DHS, PFNA and InterTan internal fixation in senile unstable intertrochanteric femoral fracture[J]. **China Modern Medicine**, 2020, 27(27): 37-40.
- [9] 薛超, 吴进, 何明长, 等. 老年骨质疏松性股骨粗隆间骨折 PFNA 与 InterTan 内固定术后影像学改变的比较[J]. **中国骨与关节损伤杂志**, 2020, 35(6): 602-604.
- XUE Chao, WU Jin, HE Mingchang, *et al.* Comparison of radiographic changes after PFNA and InterTan internal fixation for osteoporotic intertrochanteric fractures in the elderly[J]. **Chinese Journal of Bone and Joint Injury**, 2020, 35(6): 602-604.
- [10] ROUGEREAU G, BOURDIER J A, LANGLAIS T, *et al.* Is there a femoral morphology at risk of a cervical or perthrochanteric fracture? Description and validation of the “Neck shaft ratio” and the “Intertrochanteric distal ratio” after analyzing a continuous cohort of 126 bilateral fractures of the proximal femur[J]. **Orthop Traumatol Surg Res**, 2024, 110(4): 103874.
- [11] 聂坤, 周自胜, 洪鹏. 两种不同髓内固定方式治疗老年股骨粗隆间骨折疗效及对围术期指标和术后并发症的影响[J]. **中国临床医生杂志**, 2023, 51(2): 220-222.
- NIE Kun, ZHOU Zisheng, HONG Peng. The efficacy of two different intramedullary fixation methods for treating intertrochanteric fractures in the elderly and their impact on perioperative indicators and postoperative complications[J]. **Chinese Journal for Clinicians**, 2023, 51(2): 220-222.
- [12] 林永飞, 郭剑, 蔡冬华, 等. 新伤续断汤对老年骨质疏松性股骨转子间骨折髋关节置换后患者干预效果及对骨密度、骨代谢标志物的影响[J]. **中国老年学杂志**, 2024, 44(7): 1620-1624.
- LIN Yongfei, GUO Jian, CAI Donghua, *et al.* The therapeutic effects of Xinshangxuduantang on elderly patients with osteoporotic intertrochanteric fractures of the femur following hip arthroplasty, and its influence on bone density and bone metabolism markers[J]. **Chinese Journal of Gerontology**, 2024, 44(7): 1620-1624.
- [13] TURGUT A, FILIBELI M, KUMBARACI M, *et al.* Reliability of evaluation of the surgeon-dependent factors affecting mechanical failure after intertrochanteric femur fracture treatment[J]. **Acta Chir Orthop Traumatol Cech**, 2022, 89(1): 75-80.
- [14] 曾利, 徐红野. 动力髋螺钉与股骨近端防旋髓内钉治疗股骨转子间骨折的临床研究[J]. **生物医学工程学进展**, 2013, 34(2): 89-92.
- ZENG Li, XU Hongye. Clinical studies of the anti-rotation dynamic hip screw and proximal femur intramedullary nail in treatment of intertrochanteric fractures[J]. **Progress in Biomedical Engineering**, 2013, 34(2): 89-92.
- [15] 田志, 鲍文娟, 陈佳, 等. PFNA、InterTAN 和 PF-LCP 治疗老年股骨粗隆间骨折的效果分析[J]. **河北医药**, 2023, 45(4): 558-561.
- TIAN Zhi, BAO Wenjuan, CHEN Jia, *et al.* Analysis of curative effect of proximal femoral nail anti-rotation, TriGen InterTAN hip fracture nailing system and proximal femoral locking compression plate on intertrochanteric femoral fracture in elderly patients[J]. **Hebei Medical Journal**, 2023, 45(4): 558-561.