论　著

DOI：10.11724/jdmu.2026.03.03

富血小板血浆对股骨颈骨折空心钉内固定术疗效及凝血功能的影响

迟浩楠[1]，乔　姝[2]，白　力[3]，张中清[4]，王平平[1]，张艺波[1]，孙金磊[4]

（1. 包头医学院 研究生院，内蒙古 包头 014040；2. 包头医学院第一附属医院 输血科，内蒙古 包头 014010；3. 包头医学院第一附属医院 中心实验室，内蒙古 包头 014010；4. 包头医学院第一附属医院 运动医学科，内蒙古 包头 014010）

［摘要］ **目的**　探讨富血小板血浆（PRP）辅助空心钉内固定术治疗股骨颈骨折（FNF）的临床疗效，并采用凝血功能检测动态评估其对术后凝血功能的影响。**方法**　纳入2024年2月至2025年2月包头医学院第一附属医院骨科行闭合复位空心钉内固定术的57例FNF患者，随机分为治疗组（n=28，行闭合复位空心钉内固定术联合术中PRP注射）和对照组（n=29，仅行单纯闭合复位空心钉内固定术）。比较两组患者手术时间、术中出血量、术后下床活动时间（患者术后在辅助下首次下床活动时间）等围术期指标；术前（T_1），术后1天（T_2）、3天（T_3）及7天（T_4）检测凝血功能。术后1、3、6个月统计Fernandez-Esteve骨痂评分、Harris髋关节评分、VAS评分，并记录并发症发生情况。**结果**　治疗组术后下床活动时间早于对照组；T_3时，治疗组凝血酶原时间（PT）、活化部分凝血活酶时间（APTT）均明显低于对照组，差异均有统计学意义（P<0.05）；治疗组T_2、T_3、T_4各时点纤维蛋白原（FIB）水平依次为（4.86±1.32）g/L、（7.24±1.90）g/L、（5.94±1.19）g/L，明显高于对照组的（3.89±1.01）g/L、（4.79±1.05）g/L、（4.14±0.83）g/L；T_3、T_4时，治疗组D-二聚体（D-D）水平为（4.42±1.44）μg/mL、（6.04±1.82）μg/mL，明显高于对照组的（3.20±1.59）μg/mL、（4.71±1.64）μg/mL，差异均有统计学意义（P<0.05）。术后1、3、6个月治疗组Fernandez-Esteve骨痂评分、Harris髋关节评分均高于对照组，VAS评分低于对照组，差异均有统计学意义（P<0.05）。治疗组并发症发生率为17.9%（5/28），对照组为27.5%（8/29），差异无统计学意义（P=0.381）。**结论**　PRP联合空心钉内固定治疗FNF临床疗效显著，但需警惕PRP可能诱发术后短期高凝状态。

［关键词］ 股骨颈骨折；富血小板血浆；骨折愈合；凝血功能

［中图分类号］ R683.42　［文献标志码］ A　文章编号：1671-7295(2026)03-0208-09

Effect of platelet rich plasma on the therapeutic efficacy and coagulation function after hollow nail internal fixation for femoral neck fracture

CHI Haonan[1], QIAO Shu[2], BAI Li[3], ZHANG Zhongqing[4], WANG Pingping[1], ZHANG Yibo[1], SUN Jinlei[4]

(1. *Graduate School, Baotou Medical College, Baotou* 014040, *China*; 2. *Department of Blood Transfusion, the First Affiliated Hospital of Baotou Medical College, Baotou* 014010, *China*; 3. *Central Laboratory, the First Affiliated Hospital of Baotou Medical College, Baotou* 014010, *China*; 4. *Department of Sports Medicine, the First Affiliated Hospital of Baotou Medical College, Baotou* 014010, *China*)

［**Abstract**］ **Objective** To investigate the clinical efficacy of platelet rich plasma (PRP) as an adjunct to cannulated screw internal fixation in the treatment of femoral neck fracture (FNF), and to dynamically assess its effect on postoperative coagulation function using coagulation tests. **Methods** A total of 57 patients with FNF who underwent closed reduction and cannulated screw internal fixation in the Department of Orthopedics, the First Affiliated Hospital of Baotou Medical College, from February 2024 to February 2025 were enrolled. The patients were randomly divided into a treatment group (n=28), which

基金项目：内蒙古医学科学院公立医院科研联合基金科技项目（2023GLLH0196）；包头市卫生健康科技计划项目（2023wsjkkj52）

第一作者简介：迟浩楠（2000—），男，住院医师。E-mail：chihaonan1018@163.com

通信作者：孙金磊，主任医师。E-mail：729496356@qq.com

received closed reduction and cannulated screw internal fixation combined with intraoperative PRP injection, and a control group (*n*=29), which received closed reduction and cannulated screw internal fixation alone. Perioperative indicators, including operative time, intraoperative blood loss, and time to postoperative ambulation–defined as time from surgery to first assisted ambulation–were compared between the two groups. Coagulation function was monitored preoperatively (T_1) and at 1 day (T_2), 3 days (T_3), and 7 days (T_4) after surgery. Fernandez-Esteve callus score, Harris Hip Score, and visual analogue scale (VAS) score were assessed at 1, 3, and 6 months postoperatively, and the occurrence of complications was documented. **Results** The treatment group had earlier postoperative ambulation than the control group. At T_3, both prothrombin time (PT) and activated partial thromboplastin time (APTT) in the treatment group were significantly lower than those in the control group ($P<0.005$). The fibrinogen levels in the treatment group at T_2, T_3, and T_4 were (4.86±1.32) g/L, (7.24±1.90) g/L, and (5.94±1.19) g/L, respectively, which were significantly higher than those in the control group (3.89±1.01) g/L, (4.79±1.05) g/L, and (4.14±0.83) g/L. At T_3 and T_4, D-dimer (D-D) levels in the treatment group (4.42±1.44) μg/mL and (6.04±1.82) μg/mL were significantly higher than those in the control group (3.20±1.59) μg/mL and (4.71±1.64) μg/mL ($P<0.05$). At 1, 3, and 6 months after surgery, the Fernandez-Esteve callus score and Harris Hip Score in the treatment group were higher, while the VAS score was lower than those in the control group; all differences were statistically significant ($P<0.05$). The complication rate in the treatment group was 17.9% (5/28), which was lower than 27.5% (8/29) in the control group, while the difference was not statistically significant (P=0.381). **Conclusion** PRP combined with cannulated screw internal fixation demonstrates significant clinical efficacy in the treatment of FNF; however, caution should be paid to the possibility that PRP may induce a short-term postoperative hypercoagulable state.

［**Keywords**］femoral neck fractures; platelet rich plasma; fracture healing; coagulation function

近年来，髋部骨折发病率逐年攀升，预计 2050 年全球发病率将达到 650 万例[1]，其中股骨颈骨折（femoral neck fracture, FNF）约占全身骨折的 3.60%[2]。FNF 的治疗核心挑战在于骨折延迟愈合与并发症的预防。目前，手术干预是临床主流治疗策略，有助于患者早期开展功能锻炼，降低长期卧床相关并发症（如下肢静脉血栓、压疮、坠积性肺炎等[3-5]）的发生风险。FNF 的手术方式通常需根据患者年龄进行个体化选择：对于年龄≤65 岁的患者，采用内固定手术治疗已成为临床共识[6]；而对于年龄＞65 岁的老年患者，如身体条件可耐受手术，则首选人工关节置换术治疗[7]。但临床实践及研究发现，部分接受空心钉内固定治疗的患者，术后出现骨折延迟愈合、股骨头缺血坏死、骨折不愈合等并发症[8]，不仅严重影响患者生活质量，还会加重家庭经济负担。

随着生物制剂辅助治疗技术的发展，富血小板血浆（platelet-rich plasma, PRP）在骨科领域的应用日益广泛。PRP 是通过梯度离心自体血液制备的富含多种生长因子的血小板浓缩物[9]，已被证实可促进骨软骨修复及难愈创面的愈合，现已在骨关节炎、软组织损伤修复、创面愈合等领域广泛应用[10-12]。有研究表明，PRP 可通过生长因子诱导成骨细胞的迁移及分化，在原有骨小梁支架基础上实现骨折修复[13]。但目前相关研究多聚焦于 PRP 对骨折愈合及髋关节功能恢复的影响，而关于术中应用 PRP 对术后患者凝血功能的影响及监测评估较为少见。检测传统凝血功能指标有助于早期发现患者术后凝血功能异常[14]，减少血栓或出血等相关并发症的发生，促进患者的康复。本研究拟评估 PRP 辅助空心钉内固定术治疗 FNF 的临床疗效及对凝血功能的影响，以期为临床安全、有效应用 PRP 提供依据。

1 资料与方法

1.1 研究对象

采用前瞻性研究方法，招募 2024 年 2 月至 2025 年 2 月包头医学院第一附属医院骨科行闭合复位空心钉内固定术的 57 例 FNF 患者。纳入标准：（1）接受 FNF 闭合复位空心钉内固定术；（2）18 岁≤年龄≤65 岁，男女不限；（3）新发闭合 FNF，经影像学确诊；（4）所有患者术前的症状、体征、专科查体及辅助检查均符合手术适应证；（5）同意参与本研究者；（6）手术均由同一手术团队完成。排除标准：（1）陈旧性、病理性骨折或合并其他部位骨折；（2）术前彩超提示下肢深静脉血栓形成；（3）合并严重或未控制的内科疾病；（4）长期服用抗凝/抗血小板药物；（5）计划或已接受其他术式治疗；（6）预计无法完成随访。本研究经包头医学院第一附属医院伦理委员会审批通过［伦理编号：2024 伦理审查（临）第（015）号］。

按随机数字表方法将 57 例患者分为治疗组（*n*=28）与对照组（*n*=29）。治疗组行闭合复位空心钉内固定术联合术中 PRP 注射；对照组仅行单纯闭合复位空心钉内固定术。两组患者性别、年龄、骨折部位及 Garden 分型等基线资料比较，差异均无统计学意义（$P>0.05$）。见表 1。

表 1 两组患者一般资料比较

Tab. 1 Comparison of preoperative general conditions between the two groups

项目	对照组(n=29)	治疗组(n=28)	χ^2/t	P
性别，n(%)			0.888	0.346
男	15(51.72)	11(39.29)		
女	14(48.28)	17(60.71)		
年龄/岁，$\bar{x}\pm s$	45.59±13.08	46.96±13.84	−0.386	0.701
骨折部位，n(%)			0.153	0.696
左	16(55.17)	14(50.00)		
右	13(44.83)	14(50.00)		
骨折Garden分型，n(%)			0.277	0.928
Ⅱ	3(10.34)	3(10.71)		
Ⅲ	15(51.72)	13(46.43)		
Ⅳ	11(37.93)	12(42.86)		

1.2 干预措施

对照组单纯采用闭合复位空心钉内固定术治疗。患者入手术室麻醉成功, 取仰卧位。患侧臀部垫高, 置于骨科牵引床。会阴部以软垫保护并抵住立柱。患侧足固定于牵引靴内, 健侧肢体外展。以碘伏常规消毒患侧髋部、大腿上段及会阴区, 消毒范围符合手术要求。铺无菌手术单, 显露手术野, 在 C 形臂 X 光机透视下闭合复位。沿患肢纵轴牵引, 内旋并外展患肢。经正侧位多角度透视确认, 骨折对位对线满意, 颈干角恢复正常, 股骨头位置良好。采用品形定位器于大粗隆下 2 cm 处取 3 个长度约 0.5 cm 切口。在透视引导下, 于股骨距稍上方打入 1 枚导针, 经股骨颈中心轴方向指向股骨头软骨下骨, 以此导针为基准, 通过平行导向器在其上、下方再各置入 1 枚导针。3 枚导针在正位上呈“品”字形分布、侧位平行排列且均穿过骨折线, 尖端位于股骨头软骨下骨约 5 mm 处。沿 3 枚导针, 使用空心钻头钻开股骨外侧皮质, 沿导针测量选取 3 枚合适长度的半螺纹空心加压螺钉。依次沿 3 枚导针拧入空心螺钉并实现骨折端加压, 螺钉尾端固定于股骨外侧皮质, 螺纹部分完全通过骨折线, 位于股骨头内。再次透视确认固定良好后, 拔出导针, 冲洗切口、彻底止血, 逐层缝合包扎。

治疗组采用闭合复位空心钉内固定联合 PRP 治疗。闭合复位空心钉内固定操作与对照组相同。PRP 采用二次离心法制备: 术前抽取静脉血约 30 mL 置于特定抗凝管中, 以 300 g 离心 5 min, 将血液粗略分为三层: 上层为血浆, 中层为血小板及白细胞, 下层为红细胞。吸取上层及中层液体移至另一离心管, 以 700 g 离心 17 min, 弃去上清液, 即得到 PRP, 血小板浓度为(800～1 300)×10^9/L。将 5 mL 上清液放置于培养基中行细菌培养, 最终得到约 5 mL 的 PRP。骨折复位内固定完成后, 在 C 臂机透视引导下, 将 4 mL PRP 经关节穿刺注入骨折断端周围, 随后冲洗切口、彻底止血, 逐层缝合包扎。

两组患者术后均根据体重给予皮下注射低分子肝素钙(万脉舒, 河北常山生化药业股份有限公司) 0.4 mL/4 100 AXaIU 预防血栓。

1.3 观察指标及判定标准

(1)围术期指标: ①受伤至手术时间; ②手术时间; ③术中出血量; ④术后下床活动时间(患者术后在辅助下首次下床活动时间)。

(2)术前(T_1)及术后 3 天(T_3)行包括凝血酶原时间(PT)、血浆活化部分凝血活酶时间(APTT)、凝血酶时间(TT)、血小板(PLT)的传统凝血功能指标检测。

(3)T_1、术后 1 天(T_2)、T_3、术后 7 天(T_4)行纤维蛋白原(FIB)及 D-二聚体(D-D)检测, 结合传统凝血功能指标结果, 若指标异常则行下肢动静脉彩超检查, 发现血栓即予抗凝治疗。

(4)术后 1、3、6 个月复查 X 光片, 参照《Fernandez-Esteve 放射评价骨痂等级标准》行骨痂 X 线评分, 评估骨折愈合情况。评价分为 5 个等级(得分 0～4 分): 4 分为Ⅴ级, 形成构形骨痂; 3 分为Ⅳ级, 患者骨折断端正侧位片两侧均形成骨痂; 2 分为Ⅲ级, 患者骨折断端正侧位片只有一侧形成骨痂; 1 分为Ⅱ级, 患者骨折断端形成云雾状的骨痂; 0 分为Ⅰ级, 患者骨折断端未形成骨痂[15]。

(5)术后 1、3、6 个月采用 Harris 髋关节评分系统评估髋关节功能。评价分为 4 个等级: 差: ≤69 分, 髋关节功能恢复较差, 重度受限; 中: 70～79 分, 髋关节中度限制, 影响生活质量; 良: 80～89 分, 髋关节轻度受限, 不影响日常生活; 优: 90～100 分, 髋关节功能几乎正常, 患者生活几乎不受限制[16]。

(6)术前、术后 1、3、6 个月采用视觉模拟法(visual analogue scale, VAS)评估疼痛程度: 0 分为无痛; 1～3 分为轻度疼痛; 4～6 分为中度疼痛; 7～10 分为重度疼痛。

(7)记录术后并发症发生情况。

1.4 统计学方法

采用 SPSS 25.0 软件进行统计学分析和 GraphPad Prism 10.0 软件作图, 计数资料用例数(百分比)表示, 组间比较采取卡方检验或 Fisher 精确检验; 计量资料符合正态分布者, 以均数±标准差表示, 组间比较采

用独立样本 t 检验，配对资料采用配对样本 t 检验；不符合正态分布者，以中位数（四分位数）表示，组间比较采用 Mann-Whitney U 检验，等级配对资料采用 Wilcoxon 符号秩和检验。对 FIB、D-D 水平，Fernandez-Esteve 骨痂评分、Harris 髋关节评分、VAS 评分等多时间点重复测量数据采用重复测量方差分析，组内比较采取 LSD 法进行多重比较。$P<0.05$ 为差异具有统计学意义。

2 结 果

2.1 两组患者围术期指标比较

治疗组受伤至手术时间、手术时间、术中出血量与对照组相比，差异均无统计学意义（$P>0.05$）；术后下床活动时间明显早于对照组（$P<0.05$）。见表 2。

2.2 两组患者 T_1、T_3 时间点传统凝血指标间比较

T_1 时，两组间 PT、APTT、TT 差异均无统计学意义（$P>0.05$）；T_3 时，治疗组 PT、APTT 水平低于对照组（$P<0.05$）。组内比较结果显示，治疗组和对照组 T_3 时的 PT 水平均明显高于 T_1 时（$P<0.05$）；对照组 T_3 时的 APTT 明显高于 T_1 时（$P<0.05$），但在治疗组内两个时点无明显差异（$P>0.05$）；对照组和治疗组 T_3 时的 TT 均明显低于 T_1 时（$P<0.05$）。

表 2 两组患者围术期指标比较

Tab. 2 Comparison of perioperative indicators between the two groups of patients

（$\bar{x}\pm s$）

指标	对照组（n=29）	治疗组（n=28）	χ^2/t	P
受伤至手术时间/d	2.72±0.65	2.89±0.74	−0.918	0.363
手术时间/min	92.62±3.91	91.32±3.75	1.279	0.206
术中出血量/mL	152.79±8.88	151.89±10.46	0.351	0.727
术后下床活动时间/d	3.41±0.63	2.89±0.88	2.589	0.012

此外，在 T_1 和 T_3 时，两组间的 PLT 水平差异均无统计学意义（$P>0.05$）。组内比较结果显示，对照组和治疗组 T_3 时的 PLT 均明显低于 T_1 时（$P<0.05$）。见表 3。

2.3 两组患者各时间点 FIB、D-D 水平比较

FIB 水平存在组别和时间交互作用（$F_{组别}$=46.642，$P<0.001$；$F_{时间}$=67.101，$P<0.001$；$F_{交互}$=34.269，$P<0.001$）。T_1 时，两组间 FIB 水平无明显差异（$P>0.05$）；T_2、T_3、T_4 时，治疗组的 FIB 水平明显高于对照组（$P<0.05$）。组内比较结果显示，对照组 T_3 时的 FIB 明显高于 T_1、T_2

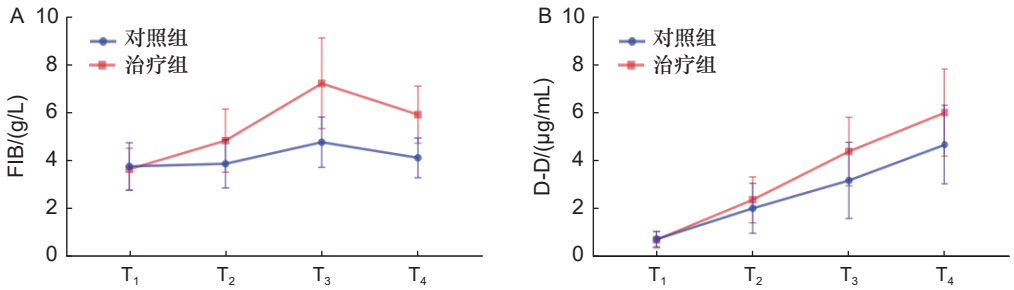
表 3 两组患者不同时间点凝血功能指标比较

Tab. 3 Comparison of coagulation function indicators between the two groups of patients at different time points

指标	时间	对照组（n=29）	治疗组（n=28）	t/Z	P
PT/s，$\bar{x}\pm s$	T_1	11.04±0.81	11.28±0.59	−1.347	0.183
	T_3	12.23±0.55	11.78±0.68	2.802	0.007
	t	−6.126	−3.131		
	P	<0.001	0.004		
APTT/s，$\bar{x}\pm s$	T_1	27.63±4.51	27.32±3.80	0.270	0.788
	T_3	38.03±7.43	29.36±4.41	5.332	<0.001
	t	−8.597	−1.868		
	P	<0.001	0.073		
TT/s，$\bar{x}\pm s$	T_1	14.21±2.30	14.90±2.54	−1.071	0.289
	T_3	12.47±2.27	11.47±2.25	1.666	0.101
	t	3.518	7.410		
	P	0.002	<0.001		
PLT/（$\times10^9$/L），$M(P_{25}, P_{75})$	T_1	252.00（217.00，346.00）	270.00（206.75，348.00）	−0.279	0.780
	T_3	222.00（175.00，308.00）	231.00（189.00，306.50）	−0.479	0.632
	Z	−4.704	−4.624		
	P	<0.001	<0.001		

注：PT：凝血酶原时间；APTT：活化部分凝血活酶时间；TT：凝血酶时间；PLT：血小板。

时($P<0.05$)；治疗组 T_2 时的 FIB 明显高于 T_1 时($P<0.05$)，T_3 时又明显高于 T_1、T_2 时($P<0.05$)，T_4 时明显高于 T_1、T_2 时，但低于 T_3 时($P<0.05$)。见图 1A，表 4。



A. FIB; B. D-D。

图 1　FIB、D-D 水平在不同时间点的变化趋势

Fig. 1　Trend chart of changes in FIB and D-dimer at different time points

表 4　两组患者各时间点 FIB 水平比较

Tab. 4　Comparison of FIB levels at different time points between the two groups of patients

($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	FIB/(g/L)				F	P
		T_1	T_2	T_3	T_4		
对照组	29	3.78±0.98	3.89±1.01	4.79±1.05[1)2)]	4.14±0.83	3.585	0.020
治疗组	28	3.66±0.88	4.86±1.32[1)]	7.24±1.90[1)2)]	5.94±1.19[1)2)3)]	96.16	＜0.001
F		0.243	9.699	36.752	44.222		
P		0.624	0.003	＜0.001	＜0.001		

注：1)与T_1相比，$P<0.05$；2)与T_2相比，$P<0.05$；3)与T_3相比，$P<0.05$。$F_{组别}=46.642$，$P<0.001$；$F_{时间}=67.101$，$P<0.001$；$F_{交互}=34.269$，$P<0.001$。

D-D 水平亦存在组别和时间的交互作用($F_{组别}=21.420$，$P<0.001$；$F_{时间}=237.129$，$P<0.001$；$F_{交互}=6.230$，$P=0.001$)。T_1、T_2 时，两组间 D-D 水平无明显差异($P>0.05$)；T_3、T_4 时，治疗组 D-D 水平均明显高于对照组($P<0.05$)。组内比较结果显示，对照组和治疗组 T_2 时的 D-D 均明显高于 T_1 时($P<0.05$)，T_3 时又明显高于 T_1 和 T_2 时($P<0.05$)，T_4 时明显高于 T_1、T_2 和 T_3 时($P<0.05$)。见图 1B，表 5。

2.4　两组患者骨折愈合情况及髋关节功能比较

骨痂评分的组别和时间无交互作用($F_{组别}=12.830$，$P=0.001$；$F_{时间}=26.420$，$P<0.001$；$F_{交互}=0.134$，$P=0.875$)。术后 1、3、6 个月，治疗组骨痂评分明显高于对照组($P<0.05$)；两组术后 3 个月骨痂评分均明显高于术后 1 个月($P<0.05$)，术后 6 个月骨痂评分明显高于术

表 5　两组患者各时间点 D-D 水平比较

Tab. 5　Comparison of D-D levels at different time points between the two groups of patients

($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	D-D/(μg/mL)				F	P
		T_1	T_2	T_3	T_4		
对照组	29	0.75±0.33	2.04±1.05[1)]	3.20±1.59[1)2)]	4.71±1.64[1)2)3)]	85.301	＜0.001
治疗组	28	0.72±0.35	2.40±0.96[1)]	4.42±1.44[1)2)]	6.04±1.82[1)2)3)]	156.804	＜0.001
F		0.057	1.774	9.144	8.461		
P		0.812	0.188	0.004	0.005		

注：1)与T_1相比，$P<0.05$；2)与T_2相比，$P<0.05$；3)与T_3相比，$P<0.05$。$F_{组别}=21.420$，$P<0.001$；$F_{时间}=237.129$，$P<0.001$；$F_{交互}=6.230$，$P=0.001$。

后 1、3 个月（$P<0.05$）。见表 6。

Harris 髋关节评分的组别和时间无交互作用（$F_{组别}=25.300$, $P<0.001$; $F_{时间}=272.171$, $P<0.001$; $F_{交互}=0.200$, $P=0.819$）。术后 1、3、6 个月，治疗组 Harris 髋关节评分明显高于对照组（$P<0.05$）；两组术后 3 个月 Harris 髋关节评分均明显高于术后 1 个月（$P<0.05$），术后 6 个月 Harris 髋关节评分均明显高于术后 1、3 个月（$P<0.05$）。见表 7, 图 2。

表 6　两组术后骨折愈合情况比较

Tab. 6　Comparison of fracture healing between the two groups after surgery

（$\bar{x}\pm s$）

组别	例数	Fernandez-Esteve骨痂评分/分			F	P
		术后1个月	术后3个月	术后6个月		
对照组	29	1.55±0.69	1.93±0.80[2)]	2.41±0.91[2)3)]	10.716	＜0.001
治疗组	28	2.14±0.89[1)]	2.64±0.87[1)2)]	3.11±1.13[1)2)3)]	13.196	＜0.001
F		7.913	10.368	6.526		
P		0.007	0.002	0.013		

注：1）与对照组相比，$P<0.05$；2）与术后1个月相比，$P<0.05$；3）与术后3个月相比，$P<0.05$。$F_{组别}=12.830$，$P=0.001$；$F_{时间}=26.420$，$P<0.001$；$F_{交互}=0.134$，$P=0.875$。

表 7　两组术后髋关节功能比较

Tab. 7　Comparison of hip joint function between the two groups after surgery

（$\bar{x}\pm s$）

组别	例数	Harris评分/分			F	P
		术后1个月	术后3个月	术后6个月		
对照组	29	33.48±5.66	49.48±6.66[2)]	64.10±9.19[2)3)]	131.421	＜0.001
治疗组	28	38.07±5.34[1)]	55.21±5.86[1)2)]	70.07±9.89[1)2)3)]	140.786	＜0.001
F		9.896	11.861	5.574		
P		0.003	0.001	0.022		

注：1）与对照组相比，$P<0.05$；2）与术后1个月相比，$P<0.05$；3）与术后3个月相比，$P<0.05$。$F_{组别}=25.300$，$P<0.001$；$F_{时间}=272.171$，$P<0.001$；$F_{交互}=0.200$，$P=0.819$。

2.5　两组患者 VAS 评分比较

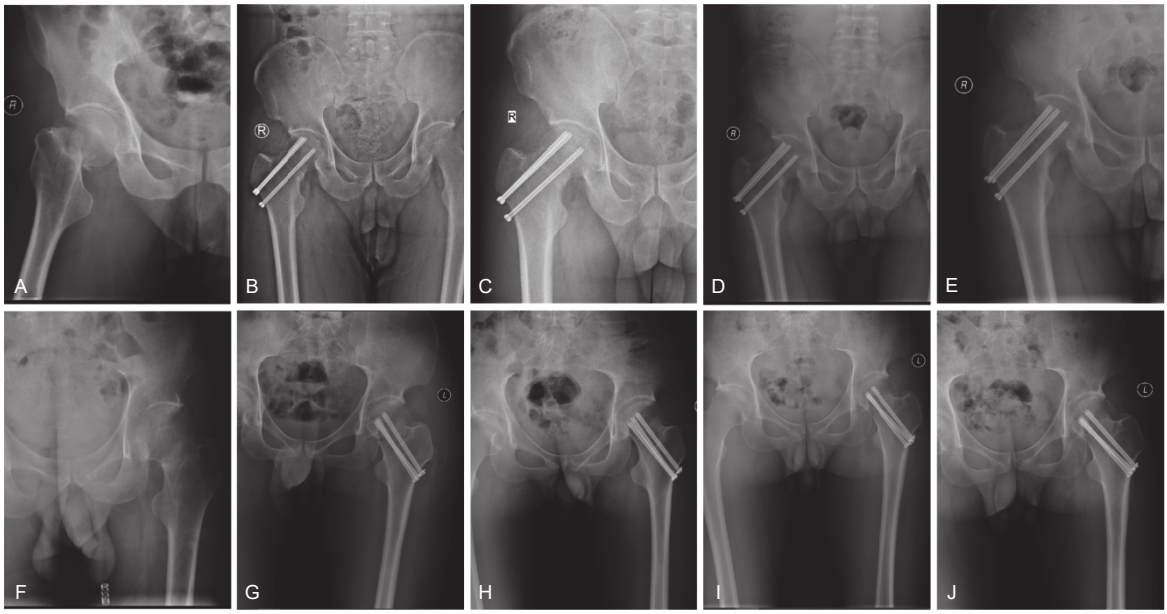
VAS 评分的组别和时间有交互作用（$F_{组别}=6.983$, $P=0.011$; $F_{时间}=100.300$, $P<0.001$; $F_{交互}=4.778$, $P=0.003$）。简单效应分析显示，术前两组 VAS 评分无明显差异（$P>0.05$），术后 1、3、6 个月，治疗组 VAS 评分明显低于对照组（$P<0.05$）。组内比较结果显示，两组患者术后 1 个月评分均明显低于术前（$P<0.05$），术后 3 个月明显低于术前、术后 1 个月（$P<0.05$），术后 6 个月明显低于术前、术后 1、3 个月（$P<0.05$）。见表 8。

2.6　两组患者术后并发症发生情况比较

治疗组术后发生股骨头缺血性坏死 1 例，FNF 不愈合 1 例，股骨颈短缩 1 例，下肢静脉血栓形成 2 例，合计 5 例，总发生率 17.9%（5/28）；对照组术后发生股骨头缺血坏死 3 例，FNF 不愈合 2 例，股骨颈短缩 1 例，下肢静脉血栓形成 2 例，合计 8 例，总发生率 27.5%（8/29）。治疗组并发症总发生率低于对照组，但与对照组比较，差异无统计学意义（$\chi^2=0.766$, $P=0.381$）。

3　讨　论

FNF 作为髋部骨折的常见类型，发病率逐年升高且发病年龄趋于年轻化[17]。由于股骨颈解剖结构的特殊性，骨折后易损伤股骨头滋养血管。研究表明，FNF 后小凹动脉常呈闭塞状态[18]。单纯手术治疗难以修复受损血管，术后股骨头缺血坏死风险较高，患者远期疗效不佳，严重者可丧失行动能力、长期卧床，进而引发压疮、坠积性肺炎、下肢静脉血栓等相关并



治疗组中 1 例 50 岁男性患者, 高处坠落伤致 Garden Ⅲ型股骨颈骨折, 受伤后 1 天手术(A～E)。A. 术前 X 线正位; B. 术后 1 天 X 线正位; C. 术后 1 个月 X 线正位; D. 术后 3 个月 X 线正位; E. 术后 6 个月 X 线正位。治疗组中 1 例 48 岁男性患者, 车祸致 Garden Ⅲ型股骨颈骨折, 受伤后 1 天手术(F～J)。F. 术前 X 线正位; G. 术后 1 天 X 线正位; H. 术后 1 个月 X 线正位; I. 术后 3 个月 X 线正位; J. 术后 6 个月 X 线正位。

图 2　治疗组中 2 例患者 X 线片

Fig. 2　X-rays of two patients in the treatment group

表 8　两组患者 VAS 评分比较

Tab. 8　Comparison of VAS scores between the two groups

(分, $\bar{x}\pm s$)

组别	术前	术后1个月	术后3个月	术后6个月	F	P
对照组(n=29)	4.14±1.36	3.45±1.12[1)]	2.38±1.08[1)2)]	1.62±1.05[1)2)3)]	32.563	＜0.001
治疗组(n=28)	4.54±1.20	2.64±1.13[1)]	1.57±0.74[1)2)]	1.04±0.74[1)2)3)]	56.560	＜0.001
F	1.371	7.303	10.724	5.855		
P	0.247	0.009	0.002	0.019		

注: 1)与对照组相比, P＜0.05; 2)与术后1个月相比, P＜0.05; 3)与术后3个月相比, P＜0.05。$F_{组别}$=6.983, P=0.011; $F_{时间}$=100.300, P＜0.001; $F_{交互}$=4.778, P=0.003。

发症, 甚至危及生命[19]。部分患者会在闭合复位内固定术后发生股骨头缺血坏死, 需进一步行人工关节置换术。然而人工关节假体使用寿命有限, 且术后可能出现骨水泥危象、髋关节脱位等并发症[20]。因此, 对于年轻的患者, 实现一期骨折愈合、降低术后并发症发生率是 FNF 治疗中亟待解决的问题。此外, 下肢骨折患者因活动受限, 本身即存在下肢静脉血栓高发风险, 而术中应用 PRP 是否会影响术后凝血功能尚不明确。

本研究结果显示, 治疗组下床活动时间显著早于对照组, 而手术时间及术中出血量与对照组相比无明显差异。提示 PRP 辅助治疗不仅可提升手术治疗 FNF 的临床疗效, 且不会增加手术操作负担, 其机制考虑与 PRP 的生物学特性有关。PRP 中所富含的 PLT 及各类生长因子是外周血的 4～8 倍[21], 应用于骨折处时, 高浓度的血小板、凝血因子Ⅴ、FIB、凝血酶原等凝血成分被激活, 可增强血小板的聚集功能和黏附作用, 减少骨折端隐性失血, 进而加速患者术后局部凝血功能的恢复。同时, PRP 激活后释放的血管内皮生长因子(VEGF)、结缔组织生长因子(CTGF)、血小板衍生生长因子(PDGF)、胰岛素样生长因子-1(IGF-1)、表皮生长因子(EGF)及转化生长因子(TGF)等[22], 可诱导成骨细胞迁移和分化, 改善骨折区域血供, 加速骨痂形成, 为早期下床活动创造了良好条件。而早期下床活动对于减少压疮、坠积性肺炎、下肢静脉血栓等卧床相关并发症的发生具有重要意义[23]。

本研究中，术后传统凝血功能指标检测结果亦显示，两组存在明显差异。T_3 时，治疗组 APTT、PT 均较对照组缩短，表明 PRP 可能通过激活凝血通路影响早期凝血功能。这一现象的核心机制在于 PRP 中高浓度血小板激活后，会释放 P-选择素、血小板因子 4 等促凝物质，同时其富含的 VEGF、TGF-β 等生长因子可影响血管内皮功能，共同打破凝血-纤溶平衡，诱发高凝倾向[24]。此外，术后 1 周内，治疗组 FIB 水平均明显高于对照组，整体呈“升高-峰值-下降”趋势，于术后 T_3 时间点达高峰。这一结果提示，PRP 辅助治疗后患者可出现短期高凝状态，血栓发生风险相对较高[24]。FIB 作为凝血过程中的关键蛋白，其水平升高是凝血系统激活的直接体现。高浓度血小板与生长因子的协同作用，促使体内凝血通路被激活，导致 FIB 合成与释放增加，形成短期高凝环境。这进一步印证了 PRP 对凝血平衡的调控作用。D-D 作为凝血与纤溶过程的重要标志物，其水平变化与 FIB 呈现协同趋势[25]。本研究中，T_3、T_4 时，治疗组 D-D 显著高于对照组，表明 PRP 治疗后体内存在活跃的凝血及纤溶过程。这一机制也与 PRP 的生物学特性密切相关。高浓度的 PLT 及激活后释放的促凝物质，协同生长因子对血管内皮功能的影响，不仅激活凝血系统，也同步启动纤溶反应以维持机体平衡，最终表现为 D-D 水平升高。Wells 等[26] 研究指出，对于 D-D 阳性且临床高危的深静脉血栓疑似患者，需进一步行超声检查。这提示临床需重视 PRP 应用可能带来的血栓风险。

骨折愈合效果通常通过 Fernandez-Esteve 骨痂评分进行评估，本研究结果显示，术后不同时间点，治疗组骨痂评分均显著高于对照组，且随时间呈持续上升趋势，证实 PRP 辅助内固定手术可有效促进骨折愈合，这与郑宏瑞等[27] 的研究结果一致。考虑其机制为：PRP 中血小板释放的 TGF-β、PDGF 等生物活性蛋白，可吸引间充质干细胞、巨噬细胞及成骨细胞聚集。这些细胞既能清除坏死组织，又能通过诱导间充质干细胞分化为成骨细胞，增强成骨活性，加速骨痂形成与骨折端修复；同时，PRP 富含的纤维蛋白及纤维素为成骨细胞成长提供了天然纤维骨架，进一步优化了骨折愈合微环境[28]。本研究于术后同步评估了患者髋关节功能，结果显示，治疗组术后 Harris 髋关节评分显著高于对照组，且术后并发症总发生率更低，提示 PRP 在促进髋关节功能恢复方面优势显著。髋关节功能恢复依赖于良好的骨折愈合和早期功能锻炼，而 PRP 通过双重机制为功能恢复创造条件。一方面，其可缩短骨折愈合周期，为关节稳定性提供基础；另一方面，其可减轻术后疼痛，降低术后功能锻炼的阻力。与此同时，早期下床活动作为 PRP 治疗的间接获益，可进一步减少卧床相关并发症，为髋关节功能恢复提供保障，这与临床早期康复理念的核心原则高度契合。此外，疼痛管理亦是 FNF 术后康复的关键环节，本研究中，治疗组 VAS 评分显著低于对照组，表明 PRP 可有效减轻术后疼痛。有研究显示，PRP 可加速骨折的愈合，使骨折端获得早期稳定，从而减少因骨折端不稳定及局部无菌性炎症引发的疼痛刺激[29]。而疼痛缓解后患者能更积极地参与康复训练，形成疼痛减轻、锻炼加强、功能改善的良性循环，进一步促进髋关节功能康复。

综上所述，PRP 联合空心钉内固定治疗 FNF 具有显著临床价值，在促进骨痂形成、减轻术后疼痛、改善髋关节功能等方面优势突出。PRP 作为自体血液制备的生物制剂，兼具无免疫排斥、低疾病传播风险的特点，值得临床推广。但需警惕其可能诱发的术后 1 周内短期高凝状态，建议临床对接受 PRP 治疗的患者，在常规抗凝基础上，于术后动态监测 D-D 与 FIB 水平；若指标显著升高或持续处于高位，即使无明显症状，也应及时行下肢深静脉超声筛查，以保障治疗安全性。本研究存在以下局限：首先，为单中心、小样本量研究，结论需大样本、多中心研究进一步验证。其次，未对 PRP 中血小板及生长因子浓度进行标准化控制，可能影响结果一致性；此外，随访时间较短，对股骨头坏死等远期并发症的评估不够充分。未来研究需规范 PRP 制备流程，探索 PRP 最佳应用剂量与时机，开展大样本多中心研究，以进一步提升治疗安全性与有效性。

参考文献：

[1] Sing CW, Lin TC, Bartholomew S, et al. Global epidemiology of hip fractures: secular trends in incidence rate, post-fracture treatment, and all-cause mortality[J]. J Bone Miner Res, 2023, 38(8): 1064-1075. DOI: 10.1002/jbmr.4821.

[2] Yan J, Li F, Zhou J, et al. The global burden of fractures and its underlying etiologies: results from and further analysis of the Global Burden of Disease Study 2021[J]. Arch Osteoporos, 2025, 20(1): 111. DOI: 10.1007/s11657-025-01596-3.

[3] Morris GK, Mitchell JRA. Warfarin sodium in prevention of deep venous thrombosis and pulmonary embolism in patients with fractured neck of femur[J]. Lancet, 1976, 308(7991): 869-872. DOI: 10.1016/S0140-6736(76)90536-5.

[4] Manosroi W, Koetsuk L, Phinyo P, et al. Predictive model for prolonged length of hospital stay in patients with osteoporotic femoral neck fracture: a 5-year retrospective study[J]. Front Med, 2023, 9: 1106312. DOI: 10.3389/fmed.2022.1106312.

[5] Li C, Xie X, Zheng HT, et al. The effect of intermittent pneu-

matic compression device combined with low-molecular-weight heparin on the prevention of deep vein thrombosis in elderly patients after femoral neck fracture surgery[J]. Br J Hosp Med, 2024, 85(10): 1-12. DOI: 10.12968/hmed.2024.0442.

[6] Kenmegne GR, Zou C, Fang Y, et al. Femoral neck fractures in non-geriatric patients: femoral neck system versus cannulated cancellous screw[J]. BMC Musculoskelet Disord, 2023, 24(1): 70. DOI: 10.1186/s12891-023-06140-3.

[7] Sun M, Liang HR, Zhang H, et al. Surgical options for Evans-Jensen type Ⅳ intertrochanteric femur fractures in the elderly over 65: a comparison between total hip arthroplasty and proximal femoral nail antirotation[J]. Front Surg, 2025, 11: 1510094. DOI: 10.3389/fsurg.2024.1510094.

[8] Wagner BC, Oliver WM, Bell KR, et al. Outcomes for younger patients with femoral neck fractures[J]. J Bone Jt Surg, 2025, 107(7): 678-686. DOI: 10.2106/jbjs.23.00582.

[9] Egierska D, Perszke M, Mazur M, et al. Platelet-rich plasma and platelet-rich fibrin in oral surgery: a narrative review[J]. Dent Med Probl, 2023, 60(1): 177-186. DOI: 10.17219/dmp/147298.

[10] Bennell KL, Paterson KL, Metcalf BR, et al. Effect of intra-articular platelet-rich plasma vs placebo injection on pain and medial tibial cartilage volume in patients with knee osteoarthritis: the RESTORE randomized clinical trial[J]. Jama, 2021, 326(20): 2021. DOI: 10.1001/jama.2021.19415.

[11] Fang J, Wang X, Jiang W, et al. Platelet-rich plasma therapy in the treatment of diseases associated with orthopedic injuries[J]. Tissue Eng Part B Rev, 2020, 26(6): 571-585. DOI: 10.1089/ten.TEB.2019.0292.

[12] Everts PA, Lana JF, Alexander RW, et al. Profound properties of protein-rich, platelet-rich plasma matrices as novel, multi-purpose biological platforms in tissue repair, regeneration, and wound healing[J]. Int J Mol Sci, 2024, 25(14): 7914. DOI: 10.3390/ijms25147914.

[13] Wang SC, Guo DB, Li SD, et al. Platelet-rich plasma concentrations regulate MSCs osteogenesis *via* MAPK/PI3K-AKT pathways to mitigate inflammatory bone loss[J]. Platelets, 2026, 37(1): 2642053. DOI: 10.1080/09537104.2026.2642053.

[14] Yang Y, Yin FY, Leng YX, et al. Value of serum levels in predicting lower extremity deep vein thrombosis after hip joint surgery in the elderly[J]. Chin J Orthop Trauma, 2024, 37(5): 500-504. DOI: 10.12200/j.issn.1003-0034.20221292.

[15] Yang Q. Clinical investigation of extracorporeal shock wave therapy combined with kinesitherapy on the treatment of delayed union of *Tibia* and *Fibula* fractures[J]. Am J Transl Res, 2025, 17(3): 1860-1871. DOI: 10.62347/wwfd7121.

[16] Ramadanov N, Voss M, Hable R, et al. Postoperative Harris hip score versus Harris hip score difference in hip replacement: what to report[J]. Orthop Surg, 2025, 17(1): 3-21. DOI: 10.1111/os.14272.

[17] Thoors O, Mellner C, Hedström M. Good clinical outcome for the majority of younger patients with hip fractures: a Swedish nationwide study on 905 patients younger than 50 years of age[J]. Acta Orthop, 2021, 92(3): 292-296. DOI: 10.1080/17453674.2021.1876996.

[18] Zhao DW, Wang ZH, Cheng LL, et al. The significance of evaluating the femoral head blood supply after femoral neck fracture: a new classification for femoral neck fractures[J]. Orthop Surg, 2022, 14(4): 742-749. DOI: 10.1111/os.13241.

[19] 王永刚, 付凯, 郑伟, 等. 股骨颈骨折围术期深静脉血栓形成相关危险因素的临床研究[J/OL]. 中国修复重建外科杂志[2026-03-01]. https://link.cnki.net/urlid/51.1372.R.20241105.1409.006.

[20] Elmenshawy AF, Salem KH. Cemented versus cementless bipolar hemiarthroplasty for femoral neck fractures in the elderly[J]. EFORT Open Rev, 2021, 6(5): 380-386. DOI: 10.1302/2058-5241.6.200057.

[21] 阙梦, 高峰青, 何杨, 等. 富血小板血浆制备装置专利的技术分析[J]. 中国组织工程研究, 2025, 29(34): 7461-7469.

[22] Oryan A, Alidadi S, Moshiri A. Platelet-rich plasma for bone healing and regeneration[J]. Expert Opin Biol Ther, 2016, 16(2): 213-232. DOI: 10.1517/14712598.2016.1118458.

[23] Agarwal N, Feng T, Maclullich A, et al. Early mobilisation after hip fracture surgery is associated with improved patient outcomes: a systematic review and meta-analysis[J]. Musculoskelet Care, 2024, 22(1): e1863. DOI: 10.1002/msc.1863.

[24] Wang HY, Zhu JS, Xia YL, et al. Application of platelet-rich plasma in spinal surgery[J]. Front Endocrinol, 2023, 14: 1138255. DOI: 10.3389/fendo.2023.1138255.

[25] Nam KW, Kim CK, Yu S, et al. D-dimer to fibrinogen ratio predicts early neurological deterioration in ischemic stroke with atrial fibrillation[J]. Thromb Res, 2023, 229: 219-224. DOI: 10.1016/j.thromres.2023.07.014.

[26] Wells PS, Anderson DR, Rodger M, et al. Evaluation of D-dimer in the diagnosis of suspected deep-vein thrombosis[J]. N Engl J Med, 2003, 349(13): 1227-1235. DOI: 10.1056/nejmoa023153.

[27] 郑宏瑞, 张文杰, 王云华, 等. 股骨颈动力交叉钉系统联合富血小板血浆治疗股骨颈骨折[J]. 中国组织工程研究, 2023, 27(9): 1390-1395.

[28] Arora V, Joshi A, et al. Bone regeneration using PRF, PRP and β-TCP in bone defects[J]. Bioinformation, 2025, 21(4): 793-796. DOI: 10.6026/973206300210793.

[29] Kale P, Shrivastava S, Balusani P, et al. Therapeutic potential of platelet-rich plasma in fracture healing: a comprehensive review[J]. Cureus, 2024, 16(6): e62271. DOI: 10.7759/cureus.62271.

（收稿日期：2026-03-01；修回日期：2026-05-15）

责任编辑：李雅楠