临床研究 DOI：10.13406/j.cnki.cyxb.004084

富血小板血浆联合关节镜下内置加强带技术治疗距腓前韧带损伤的疗效和安全性研究

何秋雨，赵　沛，张　华，连成杰
（福建医科大学附属协和医院运动损伤科，福州　350001）

【摘　要】目的：研究自体富血小板血浆（platelet-rich plasma，PRP）联合踝关节镜下内置加强带（Internal Brace）技术治疗距腓前韧带（anterior talofibular ligament，ATFL）损伤的早期临床疗效及安全性。**方法：**本研究为单中心回顾性队列研究。回顾性分析福建医科大学附属协和医院2019年4月至2025年3月收治的38例因ATFL损伤行踝关节镜下Internal Brace修复术的患者临床资料，根据患者知情同意后自主选择是否联合PRP辅助治疗分为对照组（13例，单纯关节镜下Internal Brace修复术）和PRP组（25例，关节镜下Internal Brace修复术+PRP关节腔注射）。2组患者均接受相同的标准化术后康复方案。比较2组基线资料，术前及术后6周、3个月、6个月的美国足踝外科医师协会（American Orthopaedic Foot and Ankle Society，AOFAS）评分、疼痛视觉模拟量表（visual analogue scale，VAS）评分和术后6个月疗效满意度，并对2组并发症情况进行评估。**结果：**2组患者术前AOFAS评分和VAS评分差异均无统计学意义，术后各时间点AOFAS评分和VAS评分均较术前明显改善。组间比较发现，AOFAS评分存在显著的组别×时间交互作用（P=0.010），VAS评分交互作用差异无统计学意义（P=0.128）。术后6个月疗效满意度PRP组优于对照组，但差异无统计学意义。此外，PRP组重返运动时间明显短于对照组（P=0.023）。所有患者围术期及随访期间无切口感染、植入物排异、关节腔积液、神经损伤等严重并发症。2组中各有1例患者于术后1个月出现足背外侧区域皮肤感觉过敏，足跖屈时加重，均于术后3个月内自行恢复。**结论：**PRP辅助关节镜下Internal Brace技术治疗ATFL损伤可改善术后早期（6周至3个月）的功能恢复，但该优势在后期（6个月后）趋于消失。

【关键词】距腓前韧带；自体富血小板血浆；内置加强带技术；关节镜；加速康复
【中图分类号】R684.5　　**【文献标志码】**A

Efficacy and safety of platelet-rich plasma combined with arthroscopic internal brace technique for the treatment of anterior talofibular ligament injury

He Qiuyu，Zhao Pei，Zhang Hua，Lian Chengjie
（*Department of Orthopaedics，Sports Injury Division，Fujian Medical University Union Hospital*）

【Abstract】*Objective*：To investigate the early clinical efficacy and safety of autologous platelet-rich plasma（PRP）combined with arthroscopic internal brace technique for the treatment of anterior talofibular ligament（ATFL）injury. ***Methods*：**A single-center retrospective cohort study was conducted. Clinical data from 38 patients who underwent arthroscopic internal brace repair for ATFL injury at Fujian Medical University Union Hospital between April 2019 and March 2025 were retrospectively analyzed. Based on patient preference after informed consent，patients were divided into a control group（n=13，arthroscopic internal brace repair alone）and a PRP group（n=25，arthroscopic internal brace repair combined with intra-articular PRP injection）. Both groups received identical standardized postoperative rehabilitation protocols. Baseline data，American Orthopaedic Foot and Ankle Society（AOFAS）scores and Visual Analogue Scale（VAS）pain scores preoperatively and at 6 weeks，3 months，and 6 months postoperatively，as well as treatment satisfaction at 6 months postoperatively，were compared between the two groups. Complications were also evaluated for both groups. ***Results*：**There were no significant differences in preoperative AOFAS and VAS pain scores between the two groups. AOFAS and VAS pain scores at each postoperative time point were significantly improved compared with preoperative scores. Intergroup comparison revealed a significant group × time interaction for AOFAS scores（P=0.010），while the interaction for VAS pain scores was not significant（P=0.128）. The PRP group showed higher treatment satisfaction than the control group at 6 months postoperatively，but the difference was not significant. In addition，the time to return to sports was significantly shorter in the PRP group than that in the control group（P=

作者介绍：何秋雨，Email：15392307908@163.com，研究方向：运动损伤。
通信作者：连成杰，Email：lianchj@hospital.cqmu.edu.cn。
基金项目：福建省自然科学基金资助项目（编号：2025J01127）；福建医科大学附属协和医院科研资助项目（编号：2024XH034）。
优先出版：https://link.cnki.net/urlid/50.1046.R.20260402.1653.006（2026-04-03）

0.023). No severe complications such as incision infection, implant rejection, joint effusion, or nerve injury occurred in either group during the perioperative period or follow-up. One patient in each group developed hyperesthesia in the dorsolateral foot at 1 month postoperatively, which worsened with plantar flexion, and resolved spontaneously within 3 months postoperatively. ***Conclusion***: The combination of PRP with arthroscopic internal brace technique for the treatment of ATFL injury improved early postoperative functional recovery (from 6 weeks to 3 months), but this advantage diminished in the later stage (after 6 months).

【Key words】anterior talofibular ligament; autologous platelet-rich plasma; internal brace technique; arthroscopy; enhanced recovery

踝关节扭伤是最常见的运动损伤之一，在美国每年约200万例急性踝关节扭伤[1-3]。距腓前韧带（anterior talofibular ligament，ATFL）是维持踝关节外侧稳定性的关键结构，外踝扭伤患者常伴有ATFL不同程度的损伤。虽然多数患者经积极地保守治疗后能够康复，但仍有20%~40%的患者发展为慢性踝关节不稳定[4]，需要接受ATFL修复手术治疗。

关节镜下内置加强带（Internal Brace）技术旨在通过高强度纤维带对ATFL进行解剖重建，并提供即刻的额外力学支撑，使踝关节在术后早期即获得充分稳定性[5]。该技术能明显减少修复部位在负重过程中的牵张力，使患者更早开始康复训练。加之其操作创伤小、术中视野清晰，近年来已在踝关节外侧韧带修复中广泛应用[6]。相比之下，传统的Broström-Gould修补术虽为经典且疗效确切，但其修复效果在很大程度上依赖于残留韧带本身的质量。对于韧带严重退变、全身关节松弛或对功能恢复速度要求较高的患者（如运动员），该术式所提供的结构强度常难以满足早期康复与运动需求。生物力学研究亦表明，Broström-Gould术后韧带的抗牵拉能力仍低于正常ATFL水平[7-8]。Internal Brace技术通过“内置加强”的方式弥补了传统修补在力学强度上的不足，使其在早期负重、功能恢复及重返运动方面具备明显优势，因此被视作对传统Broström-Gould技术的有效加强方案[9-10]。

富血小板血浆（platelet-rich plasma，PRP）是离心自体静脉血制备的高浓度血小板制品，富含血小板衍生生长因子（platelet-derived growth factor，PDGF）、转化生长因子-β（transforming growth factor-β，TGF-β）等生物活性因子可促进细胞增殖、胶原合成及血管生成，广泛用于肌腱、软骨及韧带的修复[11]。Zhang JY等[12]研究发现PRP注射治疗急性ATFL损伤，可明显改善其临床结局并促进韧带结构恢复。近期1项系统性回顾分析进一步指出PRP在急性踝扭伤的治疗中具有缓解疼痛、加速康复和提升功能的作用[13]。

关节镜下Internal Brace技术作为ATFL修复的成熟术式，其安全性与有效性已得到充分验证。有研究采用关节镜下Internal Brace技术结合套索环缝合技术治疗慢性踝关节不稳，平均随访18.66个月时美国足踝外科医师协会（American Orthopaedic Foot and Ankle Society，AOFAS）评分达92.3分，优良率达94.7%，证实该技术可提供长期稳定的机械支撑[14]。为进一步优化早期生物学愈合过程，本研究旨在评估PRP作为辅助生物疗法联合该技术的临床价值。理论上，二者存在“机械-生物”协同效应：机械稳定性为组织修复提供稳定微环境，生物活性因子在此环境中更高效地促进胶原合成与血管生成。基于此，本研究评估PRP联合关节镜下Internal Brace技术对ATFL损伤患者术后早期康复质量的影响。

1 资料与方法

1.1 一般资料

本研究为单中心回顾性队列研究，经福建医科大学附属协和医院伦理委员会批准（批号：2025KY847）。纳入2019年4月至2025年3月因慢性ATFL损伤于福建医科大学附属协和医院接受关节镜下Internal Brace手术治疗的患者38例。纳入标准：①ATFL走行区及相关区域疼痛、踝关节不稳导致习惯性踝扭伤或行走困难，影响日常生活及运动功能；②应力位X线、磁共振成像（magnetic resonance imaging，MRI）或肌骨超声检查证实ATFL损伤及踝关节稳定性下降；③经支具保护、本体感觉训练、腓骨肌力量训练及物理治疗等保守治疗3~6个月疗效不佳[15]。排除标准：①合并踝关节骨关节炎、畸形或关节感染；②全身韧带松弛（Beighton评分>7分）；③同侧踝关节撕脱骨块>1 cm并影响稳定性；④既往同侧踝关节手术史或陈旧性骨折畸形愈合；⑤临床资料不完整。

本研究为非随机回顾性设计，在患者充分知情同意基础上，将PRP辅助治疗作为可选自费项目提供。纳入研究的38例患者中，男22例、女16例；年龄14~58岁，平均（30.58±9.90）岁。所有患者均接受关节镜下Internal Brace增强术治疗，并按是否接受术中PRP治疗分为对照组（13例）和PRP

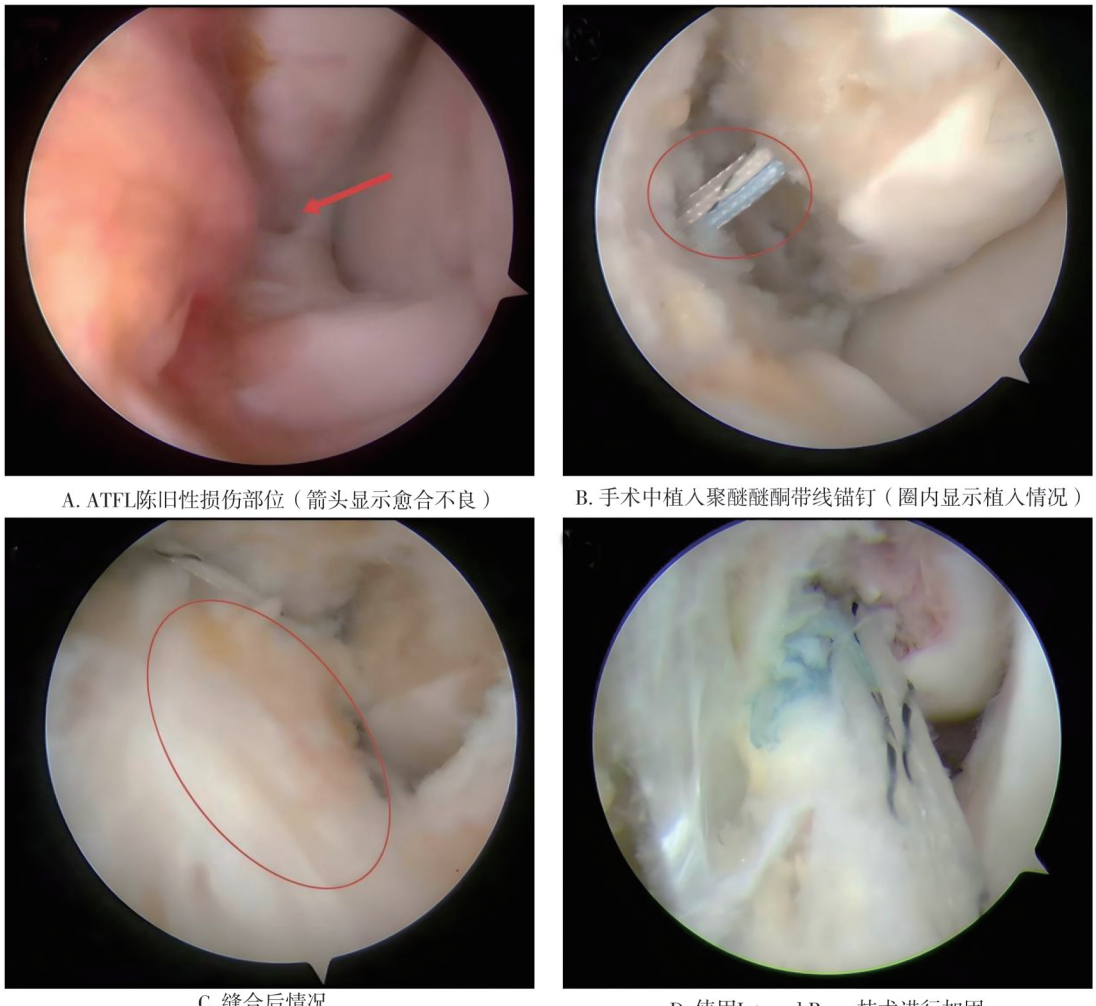
组（25 例），分组完全基于患者自主意愿，与病情严重程度、术者主观判断无关。2 组患者性别、年龄、体质指数（body mass index，BMI）、患侧分布及术前疼痛视觉模拟量表（visual analogue scale，VAS）评分、AOFAS 评分等基线资料比较差异均无统计学意义（表 1，均 $P>0.05$），具有可比性。

1.2 治疗方法

1.2.1 PRP 制备 使用美国 Arthrex 公司 PRP 制备套装（ABS-10014，国械注进 20153103923）制备 PRP，简要流程如下：①抽取自身肘静脉全血 15 mL 置入无菌离心管内，加入 1.6 mL 抗凝剂[抗凝枸橼酸葡萄糖溶液 A（anticoagulant citrate dextrose solution A，ACD-A），抗凝剂与全血比例为 1∶9]，轻柔颠倒 8~10 次混合抗凝剂。②离心将血小板与红、白细胞分开，设置参数：1 500 r/min，离心 5 min，温度 20~25 ℃。③离心后血液分 3 层（红细胞层、PRP 层、贫血小板血浆层），使用配套注射器抽取中间 PRP 层 5 mL 高浓度血小板液体。PRP 制备全程严格依照无菌操作规程开展。

1.2.2 手术方法 所有患者取仰卧位，行气管插管全身麻醉。患肢大腿绑止血带，术区常规消毒铺巾。在踝关节线水平做改良前内侧入路（切口紧贴胫前肌腱外侧缘），作 5 mm 切口，建立关节镜观察通道。置入 30° 关节镜探查，通过内侧通道在关节镜监视下建立外侧操作通道，位于下胫腓联合前方约 1.5 cm，通过外侧通道置入刨削及等离子器械，清理增生的滑膜及瘢痕组织，显露 ATFL，探钩探查韧带质量及张力，确认损伤部位，大部分损伤位于腓骨止点区，表现为韧带愈合不良、张力松弛。新鲜化韧带腓骨侧残端及腓骨足印区骨质，定位 ATFL 腓骨止点区上缘，通过导向器钻孔，植入 3.0 mm 的聚醚醚酮带线锚钉 1 枚，一组尾线用套索环缝合方式紧缩缝合 ATFL 残端，收紧缝线并打结以恢复其解剖张力[16]；另一组尾线引至距骨足印区上缘，钻取骨道，通过 3.0 mm 外排锚钉拉入距骨骨道内，调整缝线张力后拧入外排锚钉固定，加强踝关节外侧稳定性（图 1）。固定后探针探查 ATFL 张力，行前抽屉试验确认踝关节稳定性恢复。PRP 组预留空针头置于韧带修复区，吸尽关节腔内多余灌洗液后关闭伤口，将制备好的 PRP 5 mL 通过预留针头精准注射于 ATFL 修复区。

1.2.3 术后康复锻炼 2 组患者均接受相同的标准化康复方案[17]，由同一康复治疗师团队执行：术后使用踝关节支具将患足固定于中立位，并进行足趾屈伸、小腿肌肉等长收缩



A. ATFL陈旧性损伤部位（箭头显示愈合不良）　B. 手术中植入聚醚醚酮带线锚钉（圈内显示植入情况）

C. 缝合后情况（圈内显示缝合后韧带张力恢复，止点区覆盖良好）　D. 使用Internal Brace技术进行加固

图 1 关节镜下 Internal Brace 增加修复术中图象

训练，术后即刻鼓励患者在可耐受程度下负重，并可佩戴支具恢复行走，术后1周内达到完全负重。术后3周嘱患者在非负重情况下可去除支具，逐步开展踝关节被动屈伸、内翻外翻训练，但在负重行走时仍需佩戴支具保护。术后6周可拆除支具负重行走，并进行步态恢复训练及平衡训练，术后3个月可参与非对抗性体育锻炼，术后6个月评估恢复情况可进行对抗性运动。术后6周、3个月、6个月门诊复查，根据临床主诉、体格检查、AOFAS评分和VAS评分情况调整康复方案。

1.3 随访和评价指标

通过医院电子病历回顾性收集2组患者基线资料（性别、年龄、BMI、患侧等），术前完成AOFAS评分和VAS评分。

随访以门诊方式进行，所有患者常规于术后6周、3个月和6个月随访。于术后6周、3个月及6个月进行AOFAS评分和VAS评分，并于术后6个月进行疗效满意度评估。主要结局指标：术后6周VAS评分。次要结局指标：①术后6周、3个月、6个月AOFAS评分；②术后3个月、6个月VAS评分；③术后6个月疗效满意度；④重返运动时间；⑤围手术期及随访期并发症发生率。

主要评价指标包括：AOFAS踝与后足功能评分，评分内容包括活动限制、最大步行距离、路面是否影响行走、步态、矢状移动、后足移动、踝关节和后足稳定性。AOFAS评分越高，表示踝关节功能越好[18]。采用VAS评分评估患者疼痛，评分范围为0～10分，0分表示无痛，10分表示难以忍受剧烈疼痛，分值越高提示疼痛程度越严重[19]。术后6个月采用5级Likert量表评估疗效满意度（1分=非常不愿意，2分=不愿意，3分=不确定，4分=愿意，5分=非常愿意），其中1~3分归为“不满意组”，4~5分归为“满意组”[20]。重返运动时间的评估以“首次无明显不适恢复至伤前运动强度”为标准。

安全性评价采用分级记录体系：①严重不良事件：包括切口感染、深静脉血栓、植入物排异、神经损伤、关节腔积液、再断裂等需医疗干预的事件；②轻度不良事件：包括局部疼痛（VAS>4分持续>3 d）、肿胀（踝关节周径增加>2 cm）、感觉异常、活动受限等自限性事件；③实验室指标：术后1周复查血常规及凝血功能（评估PRP注射相关出血或血栓风险）。

1.4 统计学方法

本研究使用SPSS 27.0软件进行统计分析。符合正态分布的计量资料以均数±标准差（$\bar{x}\pm s$）描述，计数资料采用频数和百分比表示。组间计量资料比较采用独立样本t检验，组内术前与术后VAS评分、AOFAS评分采用配对样本t检验进行事后两两比较，并采用Bonferroni法校正检验水准，采用重复测量方差分析进行各时间点VAS评分和AOFAS评分的组间比较；性别、患侧等二分类资料采用Pearson卡方检验，当单元格期望频数<5时，采用费希尔精确检验（Fisher's exact test）。Spearman秩相关分析评估术后6个月满意度评分与AOFAS评分、VAS评分的相关性。重返运动时间采用Welch校正t检验。所有统计检验均为双侧检验，以P<0.05为差异有统计学意义的判定标准。此外，采用G*Power 3.1.9.7软件进行事后检验效能分析（post-hoc power analysis），设定检验水准α=0.05（双侧），以评估当前样本量对主要结局指标的检验能力。

2 结 果

2.1 各组基线资料比较

本研究共纳入38例ATFL损伤患者，均完成术后6周、3个月及6个月的随访。所有患者手术顺利，按康复方案完成功能训练，无因安全问题中断治疗。2组基线资料比较，各指标差异均无统计学意义（P>0.05），见表1。

2.2 VAS评分比较

如表2所示，2组术后各时间点VAS评分均较术前明显降低，差异有统计学意义（P<0.001）。重复测量方差分析显示，VAS评分时间主效应显著，但组别×时间交互作用不显著。2组VAS评分均随时间呈快速下降趋势，曲线形态平行，PRP组在术后早期（6周、3个月）数值略低于对照组，但6个月时两曲线趋于重合，与交互作用不显著的结果一致，提示2组疼痛缓解的整体轨迹差异无统计学意义，见图2A。

2.3 AOFAS评分比较

如表2所示，2组术后各时间点AOFAS评分均较术前明显升高，2组功能恢复均呈渐进式提升，差异有统计学意义（P<0.001）。重复测量方差分析显示，AOFAS评分时间主效

表1 2组患者基线资料的比较（$\bar{x}\pm s$；n，%）

项目	对照组（n=13）	PRP组（n=25）	t/χ^2值	P值
年龄（岁）	31.15±12.19	30.28±8.75	0.254	0.800
性别				
男	8（61.5）	14（56.0）	0.108	0.743
女	5（38.5）	11（44.0）		
BMI（kg/m^2）	24.06±4.08	24.60±3.40	0.429	0.671
患侧				
右侧	10（76.9）	11（44.0）	3.750	0.053
左侧	3（23.1）	14（56.0）		
术前VAS评分（分）	5.31±1.03	5.08±1.29	0.543	0.585
术前AOFAS评分（分）	60.92±12.53	60.16±8.60	0.224	0.826

应显著，且组别×时间交互作用显著，2组AOFAS评分曲线在术后早期呈现分离：PRP组6周时曲线明显高于对照组，3个月时差距缩小，6个月时两曲线交叉并趋于重合（对照组88.08±8.26，PRP组87.80±9.04）。该“早期分离-后期趋同”的曲线模式与交互作用显著的结果相符，表明PRP改变了功能恢复的早期动态轨迹，见图2B。

2.4 疗效满意度与重返运动时间

术后6个月疗效满意度比较显示，PRP组满意比例（22/25，88.0%）高于对照组（9/13，69.2%），但费希尔精确检验结果显示差异无统计学意义（P=0.203）。相关性分析显示，术后6个月满意度评分与AOFAS评分呈正相关（r=0.794，P<0.001），提示功能恢复越好，患者满意度越高；而满意度与VAS评分无相关性（r=−0.204，P=0.220），可能与术后6个月2组VAS评分普遍较低（0~2分）、变异度小有关。重返运动时间显示PRP组为（15.92±2.71）周，对照组为（17.85±2.12）周，差异有统计学意义（t=2.404，P=0.023），表明PRP组重返运动时间明显早于对照组，平均提前约2周，见表3。

2.5 并发症情况

所有患者围术期及随访期间无切口感染、植入物排异、关节腔积液、神经损伤等严重并发症。2组中各1例患者于术后1个月出现足背外侧区域皮肤感觉过敏，足跖屈时加重，均于术后3个月内自行恢复。所有患者均按康复方案完成训练，无因安全问题中断治疗。

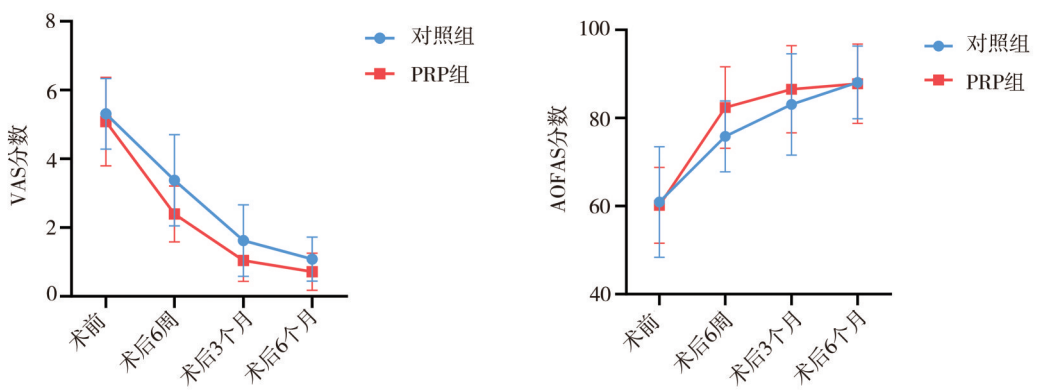
3 讨 论

本研究采用单中心回顾性队列研究设计，评估

表2 2组患者术后与术前VAS和AOFAS评分的组内比较（$\bar{x}\pm s$）

指标	组别	例数	时间点	评分（$\bar{x}\pm s$）	t值	P值（与术前对比）
VAS评分	对照组	13	术前	5.31±1.03	—	—
			术后6周	3.38±1.33	−6.218	<0.001
			术后3个月	1.62±1.04	−17.725	<0.001
			术后6个月	1.08±0.64	−13.970	<0.001
	PRP组	25	术前	5.08±1.29	-	-
			术后6周	2.40±0.82	−14.889	<0.001
			术后3个月	1.04±0.61	−17.785	<0.001
			术后6个月	0.72±0.54	−17.380	<0.001
AOFAS评分	对照组	13	术前	60.92±12.53	—	—
			术后6周	75.85±8.08	5.056	<0.001
			术后3个月	83.08±11.51	9.897	<0.001
			术后6个月	88.08±8.26	11.649	<0.001
	PRP组	25	术前	60.16±8.60	—	—
			术后6周	82.36±9.28	16.162	<0.001
			术后3个月	86.52±9.93	18.579	<0.001
			术后6个月	87.80±9.04	20.472	<0.001

注：表中t值、P值为组内各时间点与术前比较的配对t检验结果（经Bonferroni校正）；组间比较采用重复测量方差分析——VAS评分：组别×时间交互作用F=2.041、P=0.128，时间主效应F=280.217、P<0.001；AOFAS评分：组别×时间交互作用F=5.318、P=0.010，时间主效应F=273.565、P<0.001；球形检验不满足（P<0.001），上述F值均采用Greenhouse-Geisser校正



A. 2组VAS评分时间趋势　　B. 2组AOFAS评分时间趋势

图2 术前及术后VAS、AOFAS评分时间变化曲线图

表3 术后6个月功能结局指标比较

指标	对照组（n=13）	PRP组（n=25）	统计值	P值
疗效满意度	69.2%（9/13）	88.0%（22/25）	—	0.203[a]
重返运动时间（周）	17.85 ± 2.12	15.92 ± 2.71	t=2.404	0.023[b]

注：a，采用费希尔精确检验；b，采用Welch校正t检验

PRP作为关节镜下Internal Brace术式的辅助生物疗法的价值，即能否在机械稳定性基础上进一步优化愈合的生物学过程。结果显示2组术后各时间点VAS评分均较术前明显降低（P<0.001），AOFAS评分均呈渐进式升高（P<0.001），提示Internal Brace技术联合规范康复可缓解疼痛，恢复踝关节功能。而PRP组在术后早期表现更优：重复测量方差分析显示，AOFAS评分存在显著的组别×时间交互作用（P=0.010），表明PRP可能改变了功能恢复的早期动态轨迹；而VAS评分的交互作用未达显著水平（P=0.128），提示2组疼痛缓解的整体趋势差异有限。数值上，PRP组术后6周AOFAS评分均高于对照组及6周至3个月VAS评分均低于对照组，但该早期差异在6个月随访时消失，2组评分趋于一致，提示PRP主要在术后3个月内具有“加速康复效应”，而对最终功能恢复终点值无明显改变。这与近期的系统回顾研究中PRP对踝扭伤急性期具有加速康复作用的结论一致[13]。虽然2组远期功能结局趋同，但PRP组在术后早期（6周至3个月）的功能优势提示其在加速康复进程方面具有潜在意义。重返运动时间分析进一步支持了这一早期优势的实际价值，PRP组平均重返运动时间为（15.92 ± 2.71）周，明显短于对照组的（17.85 ± 2.12）周（P=0.023），平均提前约2周。术后3个月内是韧带愈合及功能重建的关键期，此阶段的功能改善有助于患者更早过渡至专项训练或恢复日常工作。对于运动人群，这可能意味着重返赛场周期的缩短；对于普通患者，则可能减少因制动时间过长带来的肌肉萎缩及关节僵硬风险，进而降低后续康复成本。术后6个月随访中，与对照组比较，PRP组的疗效满意度较高，虽差异无统计学意义，但显示患者对其早期疼痛减轻与功能改善效果的积极评价。

既往研究多聚焦于单纯PRP注射治疗或单纯Internal Brace手术在ATFL损伤中的应用效果，二者联合治疗模式系统研究较少，联合PRP治疗是否能进一步提升Internal Brace手术疗效尚不明确。本研究发现，PRP可能对功能恢复轨迹产生积极影响，但对疼痛缓解的整体趋势影响有限。该“机械-生物”协同效应主要体现在早期功能维度，而非疼痛维度。欧娈海等[21]的研究提示，在治疗慢性踝关节不稳时，Internal Brace组在早期康复与重返运动方面优于传统带线锚钉修复组。程强等[15]报道，PRP联合改良Broström-Gould法可明显改善患者的早期功能恢复，其结果与本研究一致，共同支持PRP在促进早期韧带愈合作用。进一步地，一项系统回顾[22]从分子生物学层面指出，PRP可通过释放多种生长因子促进胶原合成、细胞增殖及组织重塑，从而对韧带与肌腱修复产生积极影响。Zhang JY等[12]在针对急性ATFL损伤的研究中发现，单纯PRP治疗组在术后8周疼痛缓解及功能改善均优于对照组，并通过MRI评估证实PRP有助于改善韧带信号质量，提示其在组织修复中的结构性作用。虽然本研究未纳入影像学评价，但PRP组在术后早期AOFAS评分具有明显优势，间接提示PRP可能通过促进胶原纤维有序排列及组织重塑，从而提升韧带愈合的生物学质量[23]。

PRP组术后6周至3个月表现出疼痛改善和功能提升，而6个月时2组差异消失，这一现象与PRP的生物学作用特点和韧带愈合的生物学特征密切相关[24-25]。韧带损伤后的愈合过程可分为：①炎症期（术后0~2周）：以中性粒细胞、巨噬细胞浸润为主，清除坏死组织并释放炎症因子；②增殖期（术后2~12周）：成纤维细胞大量增殖，合成Ⅲ型胶原并形成肉芽组织，此阶段对生长因子刺激最为敏感；③重塑期（术后3~12个月及以上）：Ⅲ型胶原逐渐被Ⅰ型胶原替代，胶原纤维沿力学轴线重新排列，组织强度逐步恢复至接近正常水平。PRP中富含的PDGF、TGF-β等生长因子主要在损伤早期释放，可

促进细胞增殖、胶原合成和局部血管生成，从而加速炎症期向增殖期的过渡，提升早期愈合质量[11,22]。然而，这些生物活性物质在注射后 24~72 h 内达到峰值浓度，随后呈指数衰减，半衰期约 3~7 d，其促进作用主要局限于早期阶段；随着韧带进入重塑期，由力学刺激调控胶原重塑，2 组在相似力学环境下完成重塑[10]。此外，PRP 一次注射方案的持续效应有限，也可能导致其早期优势在长期随访中被“稀释”[12-13]，因此未来也将探索术中联合术后多次 PRP 注射方案的疗效和安全性。

本研究中所有患者手术顺利，术后均未出现切口感染、植入物排异、关节腔积液、神经损伤等严重并发症，2 组均按康复方案完成训练，无因安全问题中断治疗。其原因可能是 PRP 的自体来源特性与规范无菌操作，多中心临床研究亦显示自体 PRP 总体并发症发生率极低[12-13]。本研究中 2 例患者于术后 1 个月出现一过性的足背外侧区域皮肤感觉过敏，均于术后 3 个月内自行恢复，其原因可能是前外侧手术入路处伤口瘢痕增生刺激皮神经。

本研究存在一定局限性：①为单中心回顾性队列研究，样本量由实际收治患者数量决定（共 38 例），无法进行前瞻性样本量估算。事后检验效能分析显示，对主要结局指标（术后 6 周 VAS 评分）的检验效能为 78.2%，接近 80% 常规阈值，但对效应量较小的次要指标检验效能可能不足，存在Ⅱ类错误风险；②分组非随机，且 PRP 使用标准不一致，存在一定偏倚；③本研究仅基于主观量表评估症状改善，未纳入影像学等客观指标，因此不能推断韧带结构愈合质量的差异。鉴于本研究为小样本回顾性设计且随访时间较短，上述发现仅提供初步证据表明 PRP 作为 Internal Brace 术式的辅助疗法对超早期康复质量具有一定增量价值，其临床意义及作用机制需在更大规模前瞻性随机对照试验中，结合 MRI 等客观指标及长期随访进一步验证。后续研究将纳入影像学愈合指标并预设样本量，以进一步验证 PRP 辅助疗法的临床价值。

综上，PRP 辅助关节镜下 Internal Brace 技术治疗 ATFL 损伤对术后早期（6 周至 3 个月）的功能恢复显示出初步改善趋势，但该优势在 6 个月随访时趋于消失。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突

作者贡献声明 何秋雨：数据收集与分析、文献整理、论文撰写；赵沛：数据收集、随访管理、手术实施；张华：研究方案设计、数据分析；连成杰：研究方案设计、论文审阅与修改

参 考 文 献

[1] de Azevedo Sodré Silva A, Sassi LB, Martins TB, et al. Epidemiology of injuries in young volleyball athletes: a systematic review[J]. J Orthop Surg Res, 2023, 18(1): 748.

[2] Bridgman SA, Clement D, Downing A, et al. Population based epidemiology of ankle sprains attending accident and emergency units in the West Midlands of England, and a survey of UK practice for severe ankle sprains[J]. Emerg Med J, 2003, 20(6): 508-510.

[3] Waterman BR, Owens BD, Davey S, et al. The epidemiology of ankle sprains in the United States[J]. J Bone Joint Surg Am, 2010, 92(13): 2279-2284.

[4] Guillo S, Bauer T, Lee JW, et al. Consensus in chronic ankle instability: aetiology, assessment, surgical indications and place for arthroscopy[J]. Orthop Traumatol Surg Res, 2013, 99(8 Suppl): S411-S419.

[5] 杨焕纳，梁 琰，韩大伟，等. 人工真皮联合自体皮修复儿童手指电烧伤后骨骼和/或肌腱外露创面的效果[J]. 中华烧伤与创面修复杂志，2023(12)：1180-1184.
Yang HN, Liang Y, Han DW, et al. Effects of artificial dermis combined with autologous skin in repairing the wounds with exposed bone and/or tendon in fingers of children after electric burns[J]. Chin J Burns Wounds, 2023(12): 1180-1184.

[6] Coetzee JC, Ellington JK, Ronan JA, et al. Functional results of open broström ankle ligament repair augmented with a suture tape[J]. Foot Ankle Int, 2018, 39(3): 304-310.

[7] Waldrop NE 3rd, Wijdicks CA, Jansson KS, et al. Anatomic suture anchor versus the Broström technique for anterior talofibular ligament repair: a biomechanical comparison[J]. Am J Sports Med, 2012, 40(11): 2590-2596.

[8] Kirk KL, Campbell JT, Guyton GP, et al. ATFL elongation after Brostrom procedure: a biomechanical investigation[J]. Foot Ankle Int, 2008, 29(11): 1126-1130.

[9] 黄 秋，朱文辉，蔡叶华，等. 关节镜下 Internal Brace 增强术与改良 Broström 修复术治疗慢性踝关节不稳的疗效对比[J]. 中国运动医学杂志，2022，41(5)：355-360.
Huang Q, Zhu WH, Cai YH, et al. Comparison of arthroscopic internal brace augmentation versus arthroscopic modified broström repair surgery for chronic lateral ankle instability[J]. Chin J Phys Med, 2022, 41(5): 355-360.

[10] Jain NP, Ayyaswamy B, Griffiths A, et al. Is Internal brace aug-

mentation a gold standard treatment compared to isolated Modified Brostrom Gould repair for chronic lateral ligament ankle instability? Effect on functional outcome and Return to preinjury activity: a retrospective analysis[J]. Foot, 2022, 50: 101865.

[11] 张洪禹，于栀子，甘 阳. 富血小板血浆在软骨、肌腱及骨组织损伤抗炎修复中应用的研究进展[J]. 中华医院感染学杂志，2024，34(1)：156-160.

Zhang HY, Yu ZZ, Gan Y. Progress of research on application of platelet rich plasma in anti-inflammation and repair of cartilage, tendon and bone tissue injuries[J]. Chin J Nosocomiology, 2024, 34(1): 156-160.

[12] Zhang JY, Wang C, Li XQ, et al. Platelet-rich plasma, a biomaterial, for the treatment of anterior talofibular ligament in lateral ankle sprain[J]. Front Bioeng Biotechnol, 2022, 10: 1073063.

[13] Banerjee S, Mishra S, Rajnish RK, et al. Efficacy of autologous platelet-rich plasma for the treatment of ankle sprain: a systematic review of literature with limited meta-analysis[J]. Indian J Orthop, 2025, 59(7): 910-919.

[14] Li D, Tang Q, Liu Q, et al. Arthroscopic anterior talofibular ligament repair with Internal Brace and lasso-loop technique for chronic ankle lateral instability[J]. Int Orthop, 2022, 46(12): 2821-2828.

[15] 程 强，骆 虎，孙文爽，等. 富血小板血浆联合改良 Broström-Gould 法修复距腓前韧带的早期临床疗效[J]. 骨科，2023，14(2)：172-176.

Cheng Q, Luo H, Sun WS, et al. Early clinical effectiveness of platelet-rich plasma after modified broström-Gould method for repairing anterior talofibular ligament[J]. Orthopaedics, 2023, 14(2): 172-176.

[16] 袁 霆，陈世益，敖英芳，等. 富血小板血浆在骨关节外科临床应用专家共识(2018年版)[J]. 中华骨科杂志，2018，38(11)：641-648.

Yuan T, Chen S Y, Ao YF, et al. Expert consensus on clinical application of platelet-rich plasma in orthopaedic surgery (2018 edition) [J]. Chin J Orthop, 2018, 38(11): 641-648.

[17] 施忠民，陈 城，马燕红，等. 中国慢性踝关节外侧不稳定术后康复专家共识[J]. 中华骨与关节外科杂志，2019，12(10)：747-753.

Shi ZM, Chen C, Ma YH, et al. Expert consensus in post-operative rehabilitation for chronic lateral ankle instability in China[J]. Chin J Bone Jt Surg, 2019, 12(10): 747-753.

[18] Kitaoka HB, Alexander IJ, Adelaar RS, et al. Clinical rating systems for the ankle-hindfoot, midfoot, hallux, and lesser toes[J]. Foot Ankle Int, 1994, 15(7): 349-353.

[19] Carlsson AM. Assessment of chronic pain. I. Aspects of the reliability and validity of the visual analogue scale[J]. Pain, 1983, 16(1): 87-101.

[20] Sullivan GM, Artino AR Jr. Analyzing and interpreting data from likert-type scales[J]. J Grad Med Educ, 2013, 5(4): 541-542.

[21] 欧娈海，李 哲，王 浩，等. Internal Brace 与带线锚钉通过改良 Broström 术治疗慢性踝关节不稳的疗效对比[J]. 临床骨科杂志，2023，26(4)：16-20.

Ou LH, Li Z, Wang H, et al. Comparison of Internal Brace versus suture anchor through modified Broström procedure for chronic ankle instability[J]. J Clin Orthop, 2023, 26(4): 16-20.

[22] Chalidis B, Givissis P, Papadopoulos P, et al. Molecular and biologic effects of platelet-rich plasma (PRP) in ligament and tendon healing and regeneration: a systematic review[J]. Int J Mol Sci, 2023, 24(3): 2744.

[23] Jawanda H, Khan ZA, Warrier AA, et al. Platelet-rich plasma, bone marrow aspirate concentrate, and hyaluronic acid injections outperform corticosteroids in pain and function scores at a minimum of 6 months as intra-articular injections for knee osteoarthritis: a systematic review and network meta-analysis[J]. Arthroscopy, 2024, 40(5): 1623-1636. e1.

[24] 陈施羊，张 华，周爱国，等. 同种异体半月板移植联合富血小板血浆关节腔内注射的临床对照研究[J]. 重庆医科大学学报，2018，43(10)：1364-1369.

Chen SY, Zhang H, Zhou AG, et al. A comparative study of *Meniscus* allograft transplantation with intra-articular platelet-rich plasma injection [J]. J Chongqing Med Univ, 2018, 43(10): 1364-1369.

[25] 蔡振华，肖木洲，罗 恒，等. 富血小板血浆联合仙灵骨葆胶囊治疗大鼠膝骨关节炎的应用研究[J]. 重庆医科大学学报，2025，50(5)：623-629.

Cai ZH, Xiao MZ, Luo H, et al. Application of platelet-rich plasma combined with Xianling Gubao Capsule in treatment of rats with knee osteoarthritis[J]. J Chongqing Med Univ, 2025, 50(5): 623-629.

（收稿：2025-12-03；修回：2026-03-22；录用：2026-03-30）

（责任编辑：曾 玲）

本文引用格式：

何秋雨，赵 沛，张 华，等. 富血小板血浆联合关节镜下内置加强带技术治疗距腓前韧带损伤的疗效和安全性研究[J]. 重庆医科大学学报，2026，51(10)：1487-1494.