doi:10.11659/jjssx.09E025079

·临床研究·

富血小板血浆联合3D打印辅助膝关节前交叉韧带重建的临床研究

陆 浩,郑 柏,陆小庆 (徐州医科大学附属淮安医院/淮安市第二人民医院关节外科,江苏 淮安 223000)

[摘 要] **目的** 分析富血小板血浆(PRP)联合3D打印辅助膝关节前交叉韧带(ACL)重建治疗ACL断裂的临床效果。**方法** 选取2022年1月至2025年1月淮安市第二人民医院收治的86例ACL断裂患者,按照随机数字表法将其分为对照组(n=43)及联合组(n=43)。对照组患者实施3D打印辅助膝关节ACL重建治疗;联合组患者实施PRP联合3D打印辅助膝关节ACL重建治疗。对比2组患者的腱骨愈合情况;评估2组患者的血清白细胞介素-6(IL-6)、肿瘤坏死因子-α(TNF-α)、C反应蛋白(CRP)等炎症因子水平;采用疼痛视觉模拟量表(VAS)评估患者疼痛情况;采用Lysholm量表、国际膝关节文献委员会(IKDC)评分评估患者膝关节功能。**结果** 联合组患者腱骨愈合情况显著优于对照组(P<0.05)。2组患者术后4周的血清IL-6、TNF-α及CRP水平均较术前下降(P<0.05),且联合组上述血清指标均低于对照组(P<0.05)。2组患者术后4周、12周的VAS评分均低于术前(P<0.05),且联合组患者术后4周、12周的VAS评分低于对照组(P<0.05)。2组患者术后12周的Lysholm评分、IKDC评分均较术前升高(P<0.05),且联合组患者术后12周上述评分均高于对照组(P<0.05)。**结论** PRP联合3D打印辅助膝关节ACL重建治疗,能促进ACL断裂患者腱骨愈合,减轻炎症反应及术后疼痛,促进膝关节功能恢复。

[关键词] 前交叉韧带断裂;前交叉韧带重建;富血小板血浆;疼痛;膝关节功能;炎症因子

[中图分类号] R686.5 [文献标志码] A [收稿日期] 2025-09-19

Clinical research on platelet-rich plasma combined with 3D printing-assisted anterior cruciate ligament reconstruction

LU Hao, ZHENG Bai, LU Xiao-qing (Department of Joint Surgery, the Affiliated Huai'an Hospital of Xuzhou Medical University/the Second People's Hospital of Huai'an, Huai'an Jiangsu 223000, China)

Abstract: Objective To analyze the clinical effect of platelet-rich plasma (PRP) combined with 3D printing-assisted anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction in the treatment of ACL rupture. **Methods** A total of 86 patients with ACL rupture admitted to the Second People's Hospital of Huai'an from January 2022 to January 2025 were selected and divided into the control group (n=43) and the combined group (n=43) according to the random number table method. Patients in the control group received 3D printing-assisted ACL reconstruction, while patients in the combined group received PRP combined with 3D printing-assisted ACL reconstruction. The tendon-bone healing conditions of patients between the two groups were compared. The levels of inflammatory factors such as serum interleukin-6 (IL-6), tumor necrosis factor -alpha (TNF-α), and C-reactive protein (CRP) of patients in the two groups were evaluated. The visual analogue scale (VAS) was used to assess the pain conditions of patients. The Lysholm scale and the International Knee Documentation Committee (IKDC) score were used to evaluate the knee joint function of patients. **Results** The tendon-bone healing condition of patients in the combined group was significantly better than that in the control group (P<0.05). The levels of serum IL-6, TNF-α and CRP of patients in both groups 4 weeks after the operation decreased compared with those before the operation (P<0.05), and the levels of the above serum indicators in the combined group were lower than those in the control group (P<0.05). At 4 and 12 weeks after the operation, both groups showed significant reductions in VAS scores(P<0.05), and the combined group got significantly lower VAS scores than the control group (P<0.05). At 12 weeks after the operation, both groups showed increases in Lysholm scores and IKDC scores (P<0.05). Moreover, the combined group got higher scores than the control group (P<0.05). **Conclusion** PRP combined with 3D printing-assisted ACL reconstruction can promote tendon and bone healing of patients with ACL rupture, alleviate inflammatory response and postoperative pain, and promote knee function recovery.

Keywords: anterior cruciate ligament rupture; anterior cruciate ligament reconstruction; platelet-rich plasma; pain; knee function; inflammatory factor

前交叉韧带(anterior cruciate ligament, ACL)断裂不仅导致膝关节前向及旋转稳定性丧失,加速骨关节炎的发生,还会对患者运动功能及生活质量产生影响[1-2]。传统ACL重建多采用自体肌腱,通过关节镜技术恢复膝关节稳定性,但自体肌腱与骨隧道属于两种

[基金项目] 江苏省卫生健康委科研项目(M2021058)

[通信作者] 陆小庆,E-mail:luxiaoqing861001@163.com

性质不同的组织，愈合机制复杂，导致术后康复周期长、疼痛控制困难。基于患者CT或MRI数据的3D打印导板，可实现骨隧道精准定位，可显著改善术后膝关节稳定性，然而3D打印导板本质上是一种机械性辅助工具，并未触及腱骨愈合缓慢的生物学本质，愈合质量仍高度依赖局部微环境中的内源性再生能力，因此单一技术的应用仍存在局限性[3-4]。富血小板血浆（platelet-rich plasma ，PRP）经激活后可释放多种生物活性分子，并通过促进细胞增殖与迁移、加速血管生成及细胞外基质重塑，显著改善移植物腱骨愈合质量[5]。研究显示，PRP在骨缺损等骨科疾病中呈现较好疗效[6]。从理论上看，PRP恰好能弥补3D打印导板在生物学层面的局限性。尽管3D打印导板与PRP在ACL重建中的单独应用已有部分报道，但将两者联合应用于ACL重建的临床疗效系统性评价尚不充足。本研究旨在探讨PRP联合3D打印辅助膝关节ACL重建的临床效果，以期为临床治疗提供指导。

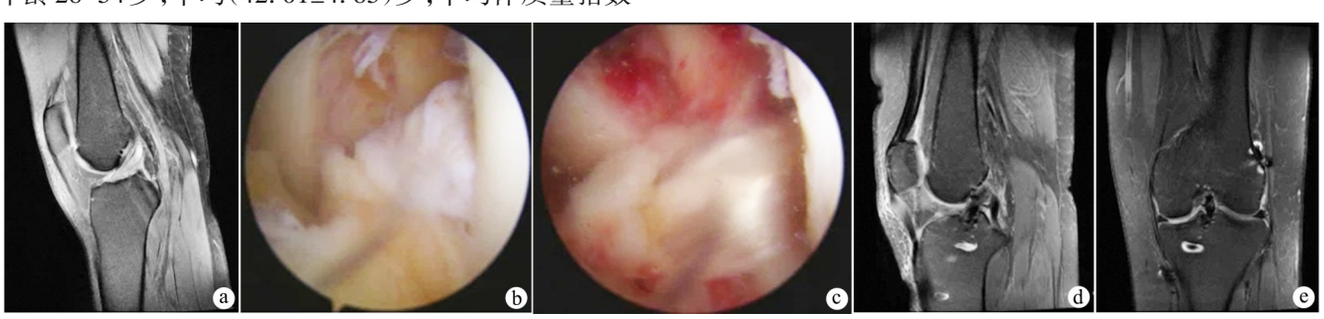
1 资料与方法

1.1 临床资料

选取2022年1月至2025年1月淮安市第二人民医院收治的86例ACL断裂患者。纳入标准：①经MRI确诊为单侧单纯性ACL断裂；②年龄在18周岁以上。排除标准：①存在凝血功能异常；②伴有感染性疾病、恶性肿瘤或者免疫系统相关疾病等；③妊娠期或哺乳期女性；④存在膝骨关节炎、膝关节手术史；⑤精神异常。依据随机数字表法，将所有患者分为对照组与联合组，每组43例。对照组患者男27例、女16例；年龄27~55岁，平均（41.52±5.02）岁；平均体质量指数（23.14±1.75）kg/m^2；病程5~16 d，平均（10.27±1.69）d；损伤部位：左膝22例、右膝21例；受伤原因：运动损伤31例、交通事故伤12例。联合组患者男24例、女19例；年龄28~54岁，平均（42.01±4.85）岁；平均体质量指数（23.34±1.62）kg/m^2；病程6~16 d，平均（10.45±1.56）d；损伤部位：左膝25例、右膝18例；受伤原因：运动损伤28例、交通事故伤15例。2组患者基线资料比较，差异无统计学意义（P>0.05），具有可比性。本研究方案已获淮安市第二人民医院伦理委员会的审查批准（批准号：20210511），患者及其家属对本研究知情并签署同意书。

1.2 方法

2组患者均实施3D打印辅助膝关节ACL重建治疗。术前行MRI扫描（图1a），收集扫描数据，并借助Mimics软件进行膝关节三维重建，对ACL在股骨头上的解剖足印区标记，确定膝关节数字模型后，在软件上设计股骨侧骨隧道定位的导板，并转换格式导入3D打印机中，使用3D打印技术制作个性化的手术导板或骨骼模型。患者取仰卧位，并实施腰硬联合麻醉，大腿近端绑止血带，膝关节屈曲90°，建立前外侧和前内侧关节镜入路，全面评估关节内结构，确认ACL撕裂程度（图1b），同时评估膝关节内其他结构的损伤情况，清理关节腔内积血、游离体及增生滑膜等。在同侧胫骨关节内侧距离皮肤边缘2 cm处，取3 cm的纵行切口。随后切取股薄肌及半腱肌的肌腱（图1c），并将切取所得的肌腱按照特定方法进行处理，制备成移植腱以备后续使用。股骨端将导板贴合股骨远端外侧髁，通过克氏针固定导板，经定位孔钻入导针，确定股骨隧道中心点；胫骨端导板固定于胫骨平台前内侧，导针定位胫骨隧道中心点。沿导针方向使用空心钻头（直径与移植物匹配）制备骨隧道。移植腱植入骨隧道，对股骨端实施固定操作时，依据术前影像学检查及术中实际情况评估，采用横穿钉或带袢悬吊固定。彻底清除关节腔内的血液、组织碎屑等液体后，依次缝合皮下组织、皮肤，妥善包扎切口，术毕。术后3个月复查（图1d、e）。



a：术前MRI检查示左膝ACL损伤；b：术中探查确认左膝ACL断裂；c：术中取自体腘绳肌腱重建ACL；d、e：术后3个月复查MRI示韧带愈合良好，骨隧道位置良好无松动

图1 3D打印辅助膝关节ACL重建治疗

联合组在上述手术治疗基础上,实施PRP治疗。PRP制备流程如下:术前采集患者空腹状态下的静脉血45 mL,经抗凝处理后,以2 000 r/min离心10 min,弃去红细胞成分后,进行2次离心,去除上清,充分摇匀,即可获得PRP,将其冷藏保存待用。联合组患者完成移植腱后,于移植腱表面缓慢注射3 mL制备好的PRP。随后关闭手术切口。术后1个月,再次于患者关节腔内注入3 mL PRP。

1.3 观察指标

术后3个月,通过MRI图像评估腱骨的愈合情况,并进行分级:腱骨界面没有出现纤维组织,为Ⅰ级;腱骨界面存在高信号带,为Ⅱ级;腱骨界面呈现出不间断的高信号带,为Ⅲ级;其中Ⅲ级所占比例更高定义为愈合优。术后4周,检测2组患者血清白细胞介素-6(interleukin-6,IL-6)、肿瘤坏死因子-α(tumor necrosis factor-alpha,TNF-α)、C反应蛋白(C-reactive protein,CRP)等炎症指标的含量。于术前、术后4周、术后12周,采用疼痛视觉模拟量表(visual analogue scale,VAS)[7]评估2组患者疼痛情况,评分范围0~10分,得分越高,表明疼痛越严重。术前及术后12周,运用Lysholm量表[8]及国际膝关节文献委员会(International Knee Documentation Committee,IKDC)[9]评分评价膝关节功能。Lysholm、IKDC评分均为0~100分,得分越高,说明膝关节功能恢复越理想。

1.4 统计学方法

采用统计学软件SPSS 26.0分析所有数据,计数资料采取率(%)描述,组间差异行χ^2检验,等级资料采用秩和检验;符合正态分布的计量资料以均数±标准差($\bar{x}\pm s$)表示,组间差异行t检验;不同时间点比较采用重复测量方差分析,两两对比采用*LSD-t*检验。$P<0.05$为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 腱骨愈合情况分析

联合组患者腱骨愈合情况优于对照组,差异有统计学意义($P<0.05$),见表1。

表1 患者腱骨愈合情况[例(%)]

组别	n	Ⅰ级	Ⅱ级	Ⅲ级
对照组	43	8(18.60)	20(46.51)	15(34.88)
联合组	43	4(9.30)	15(34.88)	24(55.81)
Z			4.060	
P			0.044	

2.2 炎症指标对比

术后4周,2组患者的IL-6、TNF-α及CRP水平均较术前下降($P<0.05$),且联合组患者血清IL-6、TNF-α及CRP水平均低于对照组($P<0.05$),见表2。

表2 患者炎症指标水平情况($\bar{x}\pm s$)

组别	n	IL-6(ng/L)		TNF-α(ng/L)		CRP(mg/L)	
		术前	术后4周	术前	术后4周	术前	术后4周
对照组	43	52.36±6.21	32.42±4.02*	35.41±4.21	25.19±3.02*	4.35±0.56	2.42±0.36*
联合组	43	51.98±6.42	25.47±3.25*	34.98±4.36	20.01±2.63*	4.45±0.51	1.85±0.28*
t		0.279	8.816	0.465	8.482	0.866	8.196
P		0.781	<0.001	0.643	<0.001	0.389	<0.001

*:与术前比较,$P<0.05$

2.3 疼痛情况分析

2组患者术后4周、12周的VAS评分均低于术前($P<0.05$),且联合组患者术后4周、12周的VAS评分均低于对照组($P<0.05$),见表3。

表3 患者疼痛VAS评分($\bar{x}\pm s$,分)

组别	n	术前	术后4周	术后12周
对照组	43	4.17±0.57	2.87±0.36*	1.94±0.23*
联合组	43	4.09±0.63	2.27±0.31*	1.37±0.18*
t		0.617	8.282	13.471
P		0.539	<0.001	<0.001

*:与术前比较,$P<0.05$

2.4 膝关节功能评价

术后12周,2组患者Lysholm评分、IKDC评分均较术前升高($P<0.05$),且联合组患者术后12周的Lysholm评分、IKDC评分均高于对照组($P<0.05$),见表4。

表4 患者膝关节功能评价($\bar{x}\pm s$,分)

组别	n	Lysholm评分		IKDC评分	
		术前	术后12周	术前	术后12周
对照组	43	38.14±4.63	62.78±7.63*	52.34±6.58	73.48±8.12*
联合组	43	37.89±4.96	70.41±8.13*	51.89±6.72	80.22±9.07*
t		0.242	4.487	0.314	3.631
P		0.810	<0.001	0.755	<0.001

*:与术前比较,$P<0.05$

3 讨论

关节镜下ACL重建是治疗ACL断裂的有效方法[10],相较于传统术式具备微创、安全等优势。随着技术发展,3D打印技术逐渐应用于临床,该技术有助于

精准化及个性化定位,具备直观、准确等优势,与ACL重建结合,可显著缩短手术时间,且安全性较高[11]。移植腱骨良好愈合是ACL重建成功的关键,但由于肌腱组织中含有的微血管较少,导致术后修复能力不足,对腱骨的愈合造成一定影响。

本研究采用PRP联合3D打印辅助膝关节ACL重建治疗ACL断裂患者,结果显示,联合组患者腱骨愈合情况显著优于对照组,说明联合治疗能有效促进术后腱骨愈合。PRP是从自体血液中提取的高浓度血小板血浆,其核心作用机制在于血小板α颗粒释放的多种生长因子和细胞因子,这些生物活性物质在腱骨愈合中发挥关键作用[12]。大量研究证实PRP在口腔科、骨科等领域已获得较为理想的效果[13-14]。PRP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-beta,TGF-β)、血管内皮生长因子(vascular endothelial growth factor,VEGF)和成纤维细胞生长因子(fibroblast growth factor,FGF)等,可通过协同促进细胞增殖与迁移、诱导血管新生及调控骨代谢,多维度改善腱骨界面的组织重塑与整合[15-16]。基于此,本研究将PRP与3D打印导板精准定位相结合,旨在优化ACL重建术后腱骨愈合质量。

在炎症指标方面,本研究中联合组患者术后血清IL-6、TNF-α、CRP水平均低于对照组,说明联合治疗能减轻患者炎症反应。炎症反应参与整个手术过程,可对患者术后康复造成极大的影响。膝关节内长期存在的炎症因子会抑制韧带愈合,PRP中的白细胞(尤其是淋巴细胞和单核细胞)可分泌白细胞介素-1受体拮抗剂和可溶性肿瘤坏死因子受体,这些物质能特异性结合并中和促炎因子IL-1β和TNF-α,从而阻断炎症信号的传导;而PRP的局部注射可显著降低这些因子的浓度,为组织修复创造有利环境[17]。此外,PRP的纤维蛋白基质可吸附并清除关节腔内的炎症介质和细胞碎片,避免这些物质持续刺激滑膜组织引发慢性炎症[18]。有研究指出,在陈旧性ACL损伤伴膝关节退变的患者中,PRP治疗可显著减少关节积液中的炎性细胞数量,改善关节僵硬和疼痛症状[19]。在本研究中,联合组患者术后4周、12周的VAS评分均低于对照组,说明联合疗法可通过减轻炎症反应显著减轻患者术后疼痛。在膝关节功能方面,联合组患者术后12周的Lysholm评分、IKDC评分均高于对照组,说明联合疗法在恢复患者膝关节功能方面效果更优。PRP与3D打印可发挥协同效应,3D打印支架提供结构支撑,但缺乏生物活性;PRP的纤维蛋白基质可填充支架孔隙,增强肌腱与支架的初始稳定性,同时持续释放生长因子,激活支架表面的干细胞分化。富含多种生长因子的PRP能够直接对腱骨界面发挥生物活性作用,这些生长因子可精准调控腱骨界面处的细胞增殖、分化及基质合成等生物学过程,进而促使在骨隧道内部形成大量新生骨组织。新生骨组织的生成有助于增强腱骨结合部位的力学稳定性,为膝关节的力学传导提供更为坚实的结构基础,最终有效促进膝关节功能的恢复与改善[20]。

综上所述,PRP联合3D打印辅助膝关节ACL重建治疗,能促进ACL断裂患者腱骨愈合,减轻炎症反应及术后疼痛,促进膝关节功能恢复。

[参考文献]

[1] Filbay SR, Dowsett M, Chaker Jomaa M, et al. Healing of acute anterior cruciate ligament rupture on MRI and outcomes following non-surgical management with the Cross Bracing Protocol[J]. Br J Sports Med, 2023, 57(23): 1490-1497. doi: 10.1136/bjsports-2023-106931.

[2] 李 想,王 彬,柏 青. 冰袋冷敷对前交叉韧带(ACL)重建术治疗军事训练致ACL损伤的影响[J]. 创伤外科杂志,2025,27(2):95-98. doi:10.3969/j.issn.1009-4237.2025.02.003.

[3] 郭 旗,刘玉强,李怡然,等. 3D打印辅助镜下固定前交叉韧带胫骨撕脱骨折[J]. 中国矫形外科杂志,2024,32(22):2017-2023. doi:10.20184/j.cnki.Issn1005-8478.100886.

[4] 魏志亨,关天民,刘 青,等. 3D打印精确化截骨导板在胫骨平台后倾角异常增大的前交叉韧带翻修中的应用[J]. 中国组织工程研究,2025,29(33):7130-7136. doi:10.12307/2025.861.

[5] 刘 英,刘 太,付婷婷,等. 富血小板血浆关节腔注射联合冲击波治疗距骨骨软骨损伤的疗效观察[J]. 中国骨伤,2024,37(12):1224-1228. doi:10.12200/j.issn.1003-0034.20230762.

[6] 陈学明,张兴飞,张宇轩,等. 凝胶型富血小板血浆联合关节镜下微骨折术对距骨骨软骨损伤的临床疗效[J]. 创伤外科杂志,2024,26(9):686-691. doi:10.3969/j.issn.1009-4237.2024.09.008.

[7] Huskisson EC. Measurement of pain[J]. Lancet, 1974, 2(7889): 1127-1131. doi:10.1016/S0140-6736(74)90884-8.

[8] Tegner Y, Lysholm J. Rating systems in the evaluation of knee ligament injuries[J]. Clin Orthop Relat Res, 1985(198): 43-49. doi:10.1097/00003086-198509000-00007.

[9] Irrgang JJ, Anderson AF, Boland AL, et al. Development and validation of the International Knee Documentation Committee subjective knee form[J]. Am J Sports Med, 2001, 29(5): 600-613. doi: 10.1177/03635465010290051301.

[10] 罗 毅,马 壮,董溢海,等. 前交叉韧带功能性双束重建与传统单束重建的临床疗效对比[J]. 医学研究生学报,2023,36(3):286-289. doi:10.16571/j.cnki.2097-2768.2023.03.012.

[11] 梁杰晖,吴 松,沈民仁,等. 多平面重建及3D打印在前交叉韧带翻修术中的应用[J]. 中南大学学报(医学版),2024,49(1):95-112. doi:10.11817/j.issn.1672-7347.2024.230081.

[12] 黄 翮,王 扬,邓 淼. 膝关节镜下前交叉韧带重建术联合富血小板血浆关节腔注射治疗前交叉韧带损伤的临床疗效研究[J]. 中国内镜杂志,2024,30(10):83-90. doi:10.12235/E20240104.