

Эффективность применения аутологичных тромбоцитарных препаратов у пациентов после артроскопического восстановления передней крестообразной связки

А.А. Будаев^{✉1}, М.С. Макаров¹, Н.В. Боровкова^{1,2,3}, А.М. Файн^{1,4},
К.И. Скуратовская¹, М.В. Сторожева¹, А.Ю. Ваза¹, И.И. Мажорова¹

¹ ГБУЗ «НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского ДЗМ»,
129090, Россия, Москва, Большая Сухаревская пл., д. 3;

² Кафедра трансплантологии и искусственных органов им. В.П. Демидова МБФ
ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова МЗ РФ (Пироговский Университет),
117997, Россия, Москва, ул. Островитянова, д. 1;

³ Кафедра клинической лабораторной диагностики с курсом лабораторной иммунологии
ФГБОУ ДПО РМАНПО МЗ РФ,
125993, Россия, Москва, Баррикадная ул., д. 2/1, стр. 1;

⁴ Кафедра травматологии, ортопедии и медицины катастроф
ФГБОУ ВО «Российский университет медицины» МЗ РФ,
127006, Россия, Москва, Долгоруковская ул., д. 4

✉ Автор, ответственный за переписку: Антон Аркадьевич Будаев, научный сотрудник отделения биотехнологий и трансфузиологии НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского, budaevaa@sklif.mos.ru

Аннотация

Актуальность. Богатая тромбоцитами плазма (БотП) может быть использована при лечении дефектов коленного сустава, в том числе для купирования осложнений у пациентов в раннем послеоперационном периоде после артроскопического восстановления передней крестообразной связки. Низкоимпульсное лазерное излучение (НИЛИ) с длиной волны 635 нм позволяет повысить активность тромбоцитов БотП и увеличить реализацию ими репаративного потенциала.

Цель. Оценить клинический эффект инъекционных аутологичных тромбоцитарных препаратов у пациентов в раннем послеоперационном периоде после артроскопического восстановления передней крестообразной связки.

Материал и методы. В исследование включили 45 пациентов, которым выполняли артроскопические операции протезирования передней крестообразной связки или фиксации ее к месту прикрепления. Пациенты были разделены на три группы: в 1-й группе (15 человек) операцию проводили без использования тромбоцитарных препаратов (группа сравнения), во 2-й группе (15 человек) интраоперационно вводили неактивированную аутологичную БотП, а в 3-й группе (15 человек) интраоперационно вводили НИЛИ-активированную аутологичную БотП. БотП подвергали воздействию НИЛИ с длиной волны 635 нм и мощностью 2 Вт в течение 10 минут, 2 мл препарата на основе аутологичной БотП вводили внутрисуставно, дополнительно 1 мл веерно обкалывали прилегающие мягкие ткани.

Результаты. После хирургического вмешательства у пациентов группы сравнения регистрировали умеренно выраженный острый болевой синдром, в то время как пациенты основных групп не предъявляли жалоб на выраженные болевые ощущения в области операции. Использование препаратов аутологичной БотП статистически значимо снижало значения уровня боли по визуально-аналоговой шкале – в 1,5 раза во 2-й группе и в 3 раза в 3-й группе по сравнению с пациентами без лечения БотП ($p < 0,001$). Введение обезболивающих препаратов в 1-й группе понадобилось 14 пациентам, во 2-й группе – 4, а в 3-й группе – 2. Формирование отека и внутрисуставной гематомы в зоне операции у пациентов 2-й и 3-й групп было выражено меньше по сравнению с пациентами 1-й группы.

Выводы. Интра- и периартикулярное введение неактивированной и НИЛИ-активированной БотП способствует снижению болевого синдрома и частоты развития гемартроза после хирургического вмешательства на коленном суставе. Применение НИЛИ-активированной БотП демонстрирует более выраженный противовоспалительный и гемостатический эффекты по сравнению с неактивированной БотП.

Ключевые слова: артроскопическая операция, богатая тромбоцитами плазма, низкоимпульсное лазерное излучение, болевой синдром, отек тканей, гематома

Конфликт интересов Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Финансирование Исследование проводилось при поддержке научно-практического проекта, соглашение №1603-22/23 от 21.04.2023 г.

Для цитирования: Будаев А.А., Макаров М.С., Боровкова Н.В., Файн А.М., Скуратовская К.И., Сторожева М.В. и др. Эффективность применения аутологичных тромбоцитарных препаратов у пациентов после артроскопического восстановления передней крестообразной связки. *Трансплантология*. 2025;17(3):271–280. <https://doi.org/10.23873/2074-0506-2025-17-3-271-280>

© Будаев А.А., Макаров М.С., Боровкова Н.В., Файн А.М., Скуратовская К.И., Сторожева М.В., Ваза А.Ю., Мажорова И.И., 2025

Clinical efficacy of injectable autologous platelet preparations in patients after arthroscopic repair of the anterior cruciate ligament

A.A. Budaev^{✉1}, M.S. Makarov¹, N.V. Borovkova^{1,2,3}, A.M. Fain^{1,4},
K.I. Skuratovskaya¹, M.V. Storozheva¹, A.Yu. Vaza¹, I.I. Mazhorova¹

¹ N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine,
3 Bolshaya Sukharevskaya Sq., Moscow 129090 Russia;

² V.P. Demikhov Department of Transplantology and Artificial Organs,
N.I. Pirogov Russian National Research Medical University (Pirogov University),
1 Ostrovityanov St., Moscow 117997 Russia;

³ Department of Clinical Laboratory Diagnostic, Russian Medical Academy of Continuous Professional Education,
2/1 Bldg. 1 Barrikadnaya St., Moscow 125993 Russia;

⁴ Traumatology, Orthopedics, and Disaster Medicine, Russian University of Medicine,
4 Dolgorukovskaya St., Moscow 127006 Russia

✉Corresponding author: Anton A. Budaev, Researcher, Scientific Department of Biotechnologies and Transfusiology,
N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine, budaevaa@sklif.mos.ru

Abstract

Background. Platelet-rich plasma (PRP) can be used in the treatment of knee joint defects, including relief of complications in the early postoperative period after arthroscopic repair of the anterior cruciate ligament. Low-pulse laser radiation (LPLR) with wavelength 635 nm stimulates the platelet activity in PRP and increases their realization of reparative potential.

Objective. To evaluate the clinical effect of injectable autologous platelet preparations in patients in the early postoperative period after arthroscopic repair of the anterior cruciate ligament.

Material and methods. The study included 45 patients, who underwent arthroscopic prosthetics of the anterior cruciate ligament or its fixation to the place of attachment. The patients were divided into 3 groups: in the 1st group (15 people) the operation was performed without using platelet preparations (the comparison group); in the 2nd group (15 people), non-activated autologous PRP was intraoperatively administered; in the 3rd group (15 people), LPLR-activated autologous PRP was intraoperatively administered. The PRP was exposed to LPLR with wavelength 635 nm and power 2 W for 10 minutes. Two ml of the autologous platelet-rich preparation were injected intra-articularly; additionally 1 ml of the same preparation was applied in a fan-like pattern to the surrounding soft tissues.

Results. After surgery patients in comparison group had moderate acute pain syndrome, while patients in main groups did not complain about severe pain in the area of surgery. The use of autologous PRP-preparations significantly reduced pain assessments by Visual Analogue Scale by 1.5 times in the 2nd group and 3 times in the 3rd group, comparing to patients without PRP treatment ($p < 0.001$). The administration of analgesics was required in 14 patients of the 1st group, 4 patients of the 2nd group, and 2 patients of the 3rd group. The formation of edema and intra-articular hematoma at surgical site in the 2nd and 3rd groups was less pronounced than in the 1st group.

Conclusions. Intra- and periarticular administration of non-activated and LPLR-activated PRP allowed to reduce pain and the incidence of hemarthrosis after knee surgery. The use of LPLR-activated PRP demonstrates more pronounced anti-inflammatory and hemostatic effects comparing to non-activated PRP.

Keywords: arthroscopic surgery, platelet-rich plasma, low-pulse laser radiation, pain syndrome, tissue edema, hematoma

CONFLICT OF INTERESTS Authors declare no conflict of interest

FINANCING The study conduct was supported within the framework of the Scientific and Practical Project, Agreement No. 1603-22/23 dated 04/21/2023

For citation: Budaev AA, Makarov MS, Borovkova NV, Fain AM, Skuratovskaya KI, Storozheva MV, et al Clinical efficacy of injectable autologous platelet preparations in patients after arthroscopic repair of the anterior cruciate ligament. *Transplantologiya. The Russian Journal of Transplantation*. 2025;17(3):271–280. (In Russ.). <https://doi.org/10.23873/2074-0506-2025-17-3-271-280>

БотП – богатая тромбоцитами плазма
НИЛИ – низкоимпульсное лазерное излучение

ВАШ – визуально-аналоговая шкала

Введение

В настоящее время артроскопия является основным методом диагностики и лечения внутрисуставных повреждений коленного сустава и их последствий. После проведения артроскопических операций на коленном суставе в раннем послеоперационном периоде часто отмечают такие осложнения, как синовит, гемартроз, параартикулярный отек и болевой синдром [1]. В связи с этим ведется активный поиск и разработка инъекционных биологических препаратов, стимулирующих репаративные процессы в коленном суставе. Большую популярность приобретает использование препаратов на основе аутологичной богатой тромбоцитами плазмы (БотП). Для получения БотП кровь пациента центрифугируют с целью выделения и концентрирования тромбоцитов в плазме, в результате концентрация тромбоцитов в БотП в 3–5 раз превышает их содержание в крови [2]. Тромбоциты содержат различные факторы роста и дифференцировки клеток, ангиогенные факторы, цитокины, способные стимулировать многие репаративные процессы в тканях [3]. Существуют различные способы использования БотП в клинической практике, в том числе для лечения дефектов коленного сустава [4–8]. Тем не менее в настоящее время методики лечения дефектов коленного сустава с использованием БотП не стандартизированы. Тромбоциты человека являются высокореактивными и легко повреждающимися клетками, поэтому очень важно оптимизировать методики подготовки тромбоцитов к клиническому использованию. Показано, что при лечении дефектов опорно-двигательного аппарата предварительная активация тромбоцитов усиливает клинический эффект препаратов на основе БотП [5, 6]. При этом в ряде случаев для активации тромбоцитов не рекомендуется использовать индукторы, широкодоступные в клинической практике (хлорид кальция, перекись водорода). Препараты, полученные путем криодеструкции (заморозки) БотП, могут вызывать значительный болевой эффект при инъекционном введении [4, 8]. Возникает необходимость предварительной активации тромбоцитов без внесения дополнительных химических агентов, вызывающих повреждение тромбоцитов.

Для получения препаратов на основе БотП с активированными тромбоцитами представляется перспективным использование низкоимпульсного лазерного излучения (НИЛИ). Под действи-

ем НИЛИ в видимом и инфракрасном диапазоне увеличивается пролиферативная активность клеток, ангиогенез, секреция ростовых факторов и антиоксидантов [9]. Эффект фотобиостимуляции клеток под действием НИЛИ в значительной степени обусловлен активацией систем внутриклеточного сигналинга без прямого участия поверхностных рецепторов или других индукторов клеточной активации [10].

Результаты, полученные нами ранее, свидетельствуют о том, что воздействие НИЛИ с длиной волны 635 нм вызывает частичную дегрануляцию тромбоцитов *in vitro*, повышает интенсивность реализации их биологического потенциала [11]. Препараты на основе аутологичных тромбоцитов, предварительно обработанных НИЛИ, потенциально могут быть использованы для целей регенеративной медицины.

Цель данного исследования: сравнить клинический эффект инъекционных аутологичных тромбоцитарных препаратов у пациентов в раннем послеоперационном периоде после артроскопического восстановления передней крестообразной связки.

Материал и методы

Исследование одобрено комитетом по биомедицинской этике ГБУЗ «НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского ДЗМ» № 6-24 от 11.06.2024 г., проведено при поддержке научно-практического проекта, соглашение № 1603-22/23 от 21.04.2023 г. В исследование были включены 45 пациентов – 20 мужчин и 25 женщин, возраст от 19 до 45 лет. Критериями включения в исследование являлось: наличие травмы коленного сустава с отрывом передней крестообразной связки вместе с костным фрагментом и (или) разрыв передней крестообразной связки с повреждением мениска. После обследования и верификации диагноза всем пациентам выполняли артроскопические операции протезирования передней крестообразной связки коленного сустава или фиксации ее к месту прикрепления. Каждый пациент, удовлетворяющий критериям включения в исследование, подписывал добровольное информированное согласие на введение аутологичных тромбоцитарных препаратов в коленный сустав.

Забор 30–40 мл крови пациента для изготовления аутологичной БотП осуществляли за 2 часа до операции из кубитальной вены с помощью вакуумной системы, в которую входят: игла двусторонняя VISIO Plus зеленая стандартная

(размер иглы 0,8×38 мм, 21G×1 1/2), держатель BD Vacutainer одноразовый, VACUETTE пробирки с консервантом этилендиаминтетрауксусной кислоты для гематологических исследований без резьбы объемом 4 мл. Аутологичную БоТП выделяли из крови путем двухэтапного центрифугирования: исходную кровь центрифугировали 5 минут с ускорением 300 g, отбирали супернатантную плазму с тромбоцитами и центрифугировали ее 17 минут с ускорением 700 g для осаждения и концентрирования тромбоцитов. Из пробирки отбирали большую часть бедной тромбоцитами плазмы, затем ресуспендировали осадок тромбоцитов в оставшемся объеме плазмы. В результате получали БоТП с концентрацией клеток более 1000×10^9 /л. Из 30–40 мл крови пациента получали 3,0–3,5 мл БоТП. Для оценки качества тромбоцитов отбирали 100 мкл БоТП, остальной объем подвергали воздействию НИЛИ с длиной волны 635 нм и мощностью 2 Вт в течение 10 минут, после этого снова отбирали аликвоту 100 мкл для оценки активации тромбоцитов под действием НИЛИ. Облучение БоТП проводили через открытую крышку лабораторной пластиковой пробирки объемом 15 мл в течение 10 минут в условиях неподвижности пробирки с соблюдением стерильности.

Тромбоциты исследовали с использованием витальных флуорохромных красителей и флуоресцентной микроскопии [11, 12]. В процессе исследования оценивали общую концентрацию тромбоцитов в БоТП (тыс./мкл); а также концентрацию тромбоцитов с гранулами (структурно и функционально активные тромбоциты) в БоТП до и после воздействия НИЛИ (тыс./мкл). В процессе активации под действием НИЛИ происходит значительное смещение тромбоцитарных гранул к периферии тромбоцита, связывание гранул с клеточной границей и частичный выход наружу. Этот процесс также сопровождается увеличением диаметра тромбоцита.

Пациентов случайным образом разделили на три группы в зависимости от интраоперационного введения тромбоцитов: в 1-й группе (15 человек) операцию проводили без использования тромбоцитарных препаратов (группа сравнения), во 2-й группе (15 человек) интраоперационно вводили неактивированную БоТП, в 3-й группе (15 человек) интраоперационно вводили НИЛИ-активированную БоТП. Группы были сопоставимы по гендерно-возрастным характеристикам и характеру патологии. Общее количество тромбоцитов и число тромбоцитов с гранулами в исход-

ной БоТП во 2-й и 3-й группах не различалось (табл. 1). В среднем под действием НИЛИ активировалось 24% от всех тромбоцитов с гранулами БоТП.

Таблица 1. Исходная характеристика тромбоцитов в активированном низкоимпульсном лазерном излучении и неактивированной богатой тромбоцитами плазме
Table 1. Initial characteristics of platelets activated in low-pulse laser radiation, and non-activated platelet-rich plasma

Показатели	Неактивированная БоТП, Me (Q ₁ ;Q ₃)	НИЛИ-активированная БоТП, Me (Q ₁ ;Q ₃)
Общая концентрация тромбоцитов БоТП, тыс./мкл	1160 (1100;1300)	1200 (1065;1284)
Содержание тромбоцитов с гранулами БоТП, тыс./мкл	557 (480;685)	570 (460;703)

Всем пациентам выполняли артроскопические операции коленного сустава. В зависимости от поврежденных структур и локализации повреждения выполняли: резекцию мениска, шов мениска, реконструкцию передней крестообразной связки, рефиксацию передней крестообразной связки. На завершающем этапе операции после ушивания послеоперационных ран пациентам 2-й и 3-й групп в ушитый медиальный или латеральный артроскопический порт одноразовой медицинской инъекционной иглой 0,8×40 мм 21G для шприцов Luer при помощи инъекционного одноразового шприца объемом 5 мл, тип наконечника: LUER-SLIP, с заранее набранным препаратом производили введение 2 мл препарата аутологичных тромбоцитов внутрисуставно (рис. 1) и 1 мл веерно обкалывали мягкие ткани (рис. 2).

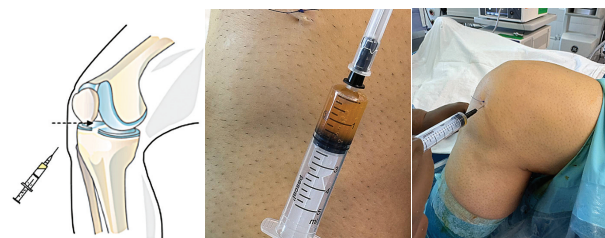


Рис. 1. Интраоперационное введение препарата богатой тромбоцитами плазмы внутрисуставно

Fig. 1. Intra-articular administration of platelet-rich plasma intraoperatively

На 1-е сутки после проведенного оперативного лечения оценивали уровень боли по визуально-аналоговой шкале (ВАШ) в баллах и необходимость дополнительного введения обезболивающих препаратов. Также определяли изменение

объема конечности в послеоперационном периоде. Для этого рассчитывали разницу между размером (охватом) в сантиметрах бедра, коленного сустава и голени до операции и на 1-е сутки после операции путем их измерения (рис. 3). Объем гематомы оценивали при ультразвуковом исследовании в см³ или при пункции в миллилитрах.



Рис. 2. Веерное обкалывание мягких тканей препаратами тромбоцитов в области латерального артроскопического порта

Fig. 2. A fan-like PRP injections into soft tissues in the zone of the lateral arthroscopic port

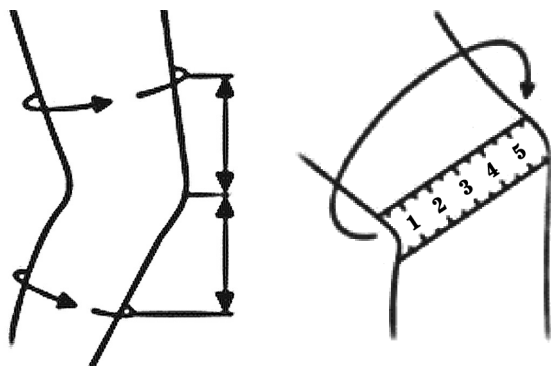


Рис. 3. Схема измерения анатомических зон при помощи измерительной ленты

Fig. 3. The scheme of measuring anatomical zones using a measuring tape

Полученные данные обрабатывали методами вариационной статистики при помощи программы Statistica 10.0. Проверку распределения на нормальность проводили, используя тест Колмогорова–Смирнова. При распределении, отличном от нормального, оценку различия между группами проводили с помощью критерия Манна–Уитни, при нормальном – *t*-критерия Стьюдента. Для сравнения качественных величин использовали точный критерий Фишера. Различия считали статистически значимыми при уровне статистической значимости более 95% ($p < 0,05$). Данные представлены в виде медианы (Me), 1-го и 3-го квартилей (25%;75%) или в виде среднего значения (*M*) и среднеквадратичной ошибки среднего (SEM).

Результаты и обсуждение

В течение первых 24 часов после хирургического вмешательства у пациентов группы сравнения регистрировался умеренно выраженный острый болевой синдром (средний показатель 5–6 баллов по ВАШ), характеризующийся давящими болевыми ощущениями в проекции коленного сустава. В отличие от группы сравнения пациенты основных групп не предъявляли жалоб на выраженные болевые ощущения в области операции. Субъективная оценка интенсивности боли у пациентов 2-й группы варьировала в пределах 3–4 баллов по ВАШ, у пациентов 3-й группы данный показатель не превышал 1–2 балла.

Для купирования послеоперационной боли применение комбинированной терапии (наркотические и ненаркотические анальгетики) или монотерапии (наркотическими анальгетиками) в группе, не получавшей тромбоцитарные препараты, потребовалось 14 пациентам. При этом одному пациенту применили трехкратное введение наркотических анальгетиков, троим – двукратное, а 10 пациентам – однократное введение по требованию. В группе, где применяли неактивированную БоТП, однократное использование наркотических анальгетиков было необходимо у 4 пациентов. В группе с инъекцией БоТП, активированной НИЛИ, наркотические препараты вводили лишь 2 пациентам.

Из всего вышеописанного можно сделать заключение, что предварительная активация тромбоцитов с помощью НИЛИ статистически значимо снижает болевой синдром и потребность пациента в обезболивающих препаратах в 1-е сутки после операции (табл. 2).

Результаты сравнительного анализа данных измерения размеров, полученных в трех анатомических зонах нижней конечности до и после оперативного вмешательства, и расчета их разницы представлены в табл. 3.

Как видно из табл. 3, в первые сутки у пациентов отмечали развитие посттравматического отека в месте операции. В то же время в группах, где применяли тромбоцитарные препараты (2-й и 3-й группы), отек в зоне операции у пациентов был выражен значительно меньше по сравнению с аналогичными данными группы сравнения. При этом наиболее выраженный противовоспалительный эффект наблюдался у больных 3-й группы, где дополнительно использовали активацию тромбоцитов НИЛИ.

Таблица 2. Оценка боли по визуально-аналоговой шкале и количественной анальгезии у пациентов всех групп
Table 2. Pain assessment using visual analogue scale and quantitative analgesia in patients of all groups

Критерии оценки	Группа сравнения (без БоТП)	Неактивированная БоТП (2 мл внутрисуставно + 1мл обкалывание мягких тканей)	НИЛИ-активированная БоТП (2 мл внутрисуставно+1мл обкалывание мягких тканей)
Интенсивность боли по шкале ВАШ после окончания артроскопии, в баллах Me (Q ₁ ;Q ₃)	6 (5;6)	4 (3;4) p <0,001 (кр. U)	2 (1;2) p<0,001 p ₁ <0,001 (кр. U)
Требование обезболивающих препаратов после введения БоТП (трамадол, морфин, промедол)	14 из 15 (93,33%)	4 из 15 (26,67%) p<0,001 кр. Фишера	2 из 15 (13,34%) p<0,001 p ₁ =0,649 кр. Фишера

Примечания: p – значимость различий по сравнению с пациентами 1-й группы; p₁ – значимость различий между пациентами 2-й и 3-й групп

Таблица 3. Оценка объема коленного сустава и образования внутрисуставной гематомы в 1-е сутки после операции у пациентов всех групп

Table 3. Assessing the knee joint volume and the intra-articular hematoma formation on the 1st postoperative day in patients of all groups

Критерии оценки		Группа сравнения (без БоТП)	Неактивированная БоТП (2 мл внутрисуставно+ обкалывание мягких тканей, 1 мл) M±SEM	НИЛИ-активированная БоТП (2 мл внутрисуставно+ обкалывание мягких тканей, 1 мл) M±SEM
Разница в охвате анатомической зоны до и после операции, см	бедро	1,87±0,08	1,38±0,07 p<0,001	1,19±0,07 p<0,001 p ₁ =0,073
	коленного сустава	1,67±0,04	1,34±0,06 p<0,001	1,19±0,03 p<0,001 p ₁ =0,037
	голени	1,69±0,10	1,21±0,03 p<0,001	1,11±0,03 p<0,001 p ₁ =0,029
Объем эвакуированного геморрагического содержимого во время пункции коленного сустава, мл		У 7 пациентов от 70 до 90 мл	У 4 пациентов от 50 до 80 мл	У 2 пациентов 50 мл

Примечания: p – статистическая значимость различий по сравнению с данными пациентов 1-й группы (p <0,05); p₁ – статистическая значимость различий между данными пациентов 2-й и 3-й групп (p <0,05)

Наличие жидкостного скопления у пациентов в послеоперационном периоде было верифицировано методом ультразвуковой диагностики (рис. 4). Анализ частоты возникновения гемартроза продемонстрировал различия между группами. В группе сравнения гемартроз был диагностирован у 7 пациентов (46,6%), им потребовалась пункция геморрагического содержимого (объем эвакуированной жидкости составил 70–90 мл). В группе пациентов, получавших неактивированную БоТП, жидкостное скопление, требующее пункции, было зафиксировано у 4 пациентов (26,6%). Наименьшая частота гемартроза отмечена в 3-й группе – у 2 пациентов (13,3%) с объемом 50 мл (см. табл. 3).

Таким образом, полученные данные демонстрируют выраженный противовоспалительный и гемостатический эффекты тромбоцитарных препаратов, особенно при их предварительной активации НИЛИ. Купирование воспалительной реакции может быть в значительной степени обусловлено действием проти-

вовоспалительных цитокинов, которые формируются в процессе активации тромбоцитов [3]. Необходимо подчеркнуть, что многие противовоспалительные цитокины изначально отсутствуют в тромбоцитарных гранулах и формируются в процессе изменения морфологии тромбоцитов, связанной с действием активирующих сигналов [13, 14]. Предварительная активация БоТП под действием НИЛИ усиливает репаративный эффект. Можно предположить, что НИЛИ стимулирует не только активацию тромбоцитов *in vitro* в отсутствие химических или биологических индукторов активации, но также стимулирует выработку в тромбоцитах противовоспалительных цитокинов. Существуют разные пути запуска активации тромбоцитов, при которых структурные изменения в них проходят неодинаково, что в значительной степени может влиять на скорость и характер реализации тромбоцитами их репаративного и регенеративного потенциала [2, 13]. Компоненты тромбоцитарных гранул обладают широким и разнонаправленным дей-

Выводы

ствием, при этом очень часто их положительный эффект носит синергетический характер [3, 15], т.е. для потенцирования репаративной регенерации необходимы не отдельные факторы, а их комбинация. При условии нормального качества тромбоцитов аутологичная БоТП является потенциально очень ценным резервуаром биологически активных веществ [2, 11–15].

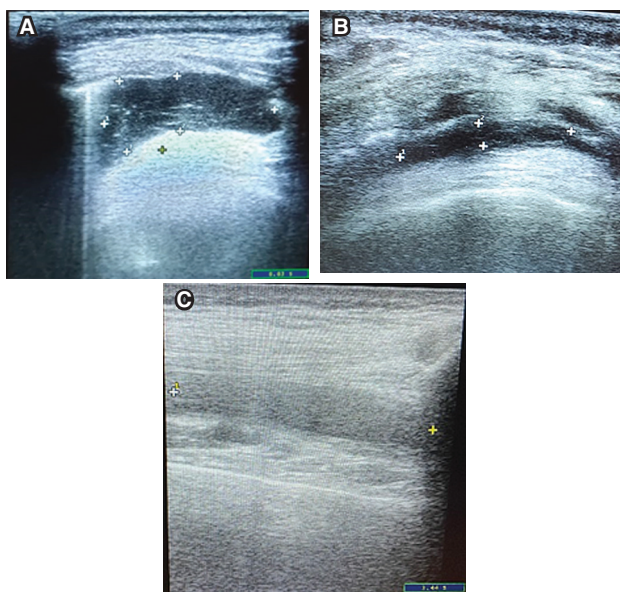


Рис. 4. Ультразвуковое исследование в области верхнего заворота коленного сустава с целью визуализации жидкостных скоплений: А – без богатой тромбоцитами плазмы, В – после введения неактивированной богатой тромбоцитами плазмы, С – после введения низкоимпульсного лазерного излучения активированная богатая тромбоцитами плазма

Fig. 4. Ultrasound examination of the upper knee joint to visualize fluid collections: A, without platelet-rich plasma; B, after administering non-activated platelet-rich plasma; C, after administering platelet-rich plasma activated by low-pulse laser radiation

1. Интра- и периартикулярное введение неактивированной богатой тромбоцитами плазмы способствует снижению интенсивности болевого синдрома по визуально-аналоговой шкале в среднем на 33% (в 1,5 раза), тогда как использование низкоимпульсным лазерным излучением активированной богатой тромбоцитами плазмы обеспечивает более выраженный эффект – уменьшение боли в 3 раза ($p < 0,001$, статистически значимо).

2. У 73% пациентов, получивших неактивированную богатую тромбоцитами плазму, и у 86% больных после введения низкоимпульсным лазерным излучением активированного препарата отсутствовала необходимость в применении наркотических анальгетиков в раннем послеоперационном периоде.

3. Послеоперационный отек в области коленного сустава у пациентов группы с введением низкоимпульсным лазерным излучением активированной богатой тромбоцитами плазмы был в 1,7 раза менее выражен в сопоставлении с данными группы сравнения ($p < 0,001$, статистически значимо). Частота развития гемартроза при использовании неактивированной богатой тромбоцитами плазмы снижалась в 1,75 раза, а при использовании низкоимпульсным лазерным излучением активированной богатой тромбоцитами плазмы – в 3 раза ($p < 0,01$, точный критерий Фишера, статистически значимо).

Список литературы/References

1. Павлов А.И., Щегольков А.М., Сидоркин Д.Н. Современная программа медицинской реабилитации больных, перенесших артроскопические операции на коленном суставе, включающая применение высокоинтенсивной лазерной терапии. *Госпитальная медицина: наука и практика*. 2021;4(2):31–39. Pavlov AI, Shchegolkov AM, Sidorkin DN. A modern program of medical rehabilitation for patients, who have undergone arthroscopic knee surgery, including the use of high-intensity laser therapy. *Hospital medicine: science and practice*. 2021;4(2):31–39. (In Russ.) <https://doi.org/10.34852/GM3CVKG.2021.36.83.007>
2. Amable PR, Carias RB, Teixeira MV, da Cruz Pacheco I, Corrêa do Amaral RJ, Granjeiro JM, et al. Platelet-rich plasma preparation for regenerative medicine: optimization and quantification of cytokines and growth factors. *Stem Cell Res Ther*. 2013;4(3):67. PMID: 23759113 <https://doi.org/10.1186/scrt218>
3. Nurdén AT, Nurdén P, Sanchez M, Andia I, Anitua E. Platelets and wound healing. *Front Biosci*. 2008;13:3532–3548. PMID: 18508453 <https://doi.org/10.2741/2947>
4. Rothenberg JB, Godha K, Civitarese DM, Malanga G, Singh JR, Panero A, et al. Pain and functional outcomes of the sacroiliac joint after platelet-rich plasma injection: a descriptive review. *Regen Med*. 2021;16(1):87–100. PMID: 33533657 <https://doi.org/10.2217/rme-2020-0110>
5. Wang L, Zhao L, Shen L, Fang Q, Yang Z, Wang R, et al. Comparison of the effects of autologous and allogeneic purified platelet-rich plasma on cartilage damage in a rabbit model of knee osteoarthritis. *Front Surg*. 2022;9:911468. PMID: 35910465 <https://doi.org/10.3389/fsurg.2022.911468> eCollection 2022.
6. Pak J, Lee JH, Pak NJ, Park KS, Jeon JH, Jeong BC, et al. Clinical protocol of producing adipose tissue-derived stromal vascular fraction for potential cartilage regeneration. *J Vis Exp*. 2018;(139):58363. PMID: 30320755 <https://doi.org/10.3791/58363>
7. Testa G, Giardina SMC, Culmone A, Vescio A, Turchetta M, Cannavò S, et al. Intra-articular injections in knee osteoarthritis: a review of literature. *J Funct Morphol Kinesiol*. 2021;6(1):15. PMID: 33546408 <https://doi.org/10.3390/jfmk6010015>
8. Kubrova E, Martinez Alvarez GA, Her YF, Pagan-Rosado R, Qu W, D'Souza RS. Platelet rich plasma and platelet-related products in the treatment of radiculopathy—a systematic review of the literature. *Biomedicines*. 2022;10(11):2813. PMID: 36359333 <https://doi.org/10.3390/biomedicines10112813>
9. Москвин С.В., Шаяхметова Т.А. Лазерная терапия в педиатрии, особенности и схемы применения метода (обзор литературы). *Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание*. 2018;12(6):136–147. Moskvina SV, Shayakhmetova TA. Low level laser therapy in pediatrics, special features and schemes of application method (literature review). *Journal of new medical technologies, eEdition*. 2018;12(6):136–147. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/2075-4094-2018-16270>
10. Taradaj J, Shay B, Dymarek R, Sopel M, Walewicz K, Beeckman D, et al. Effect of laser therapy on expression of angio- and fibrogenic factors, and cytokine concentrations during the healing process of human pressure ulcers. *Int J Med Sci*. 2018;15(11):1105–1112. PMID: 30123047 <https://doi.org/10.7150/ijms.25651> eCollection 2018.
11. Макаров М.С., Боровкова Н.В., Сторожева М.В., Пономарев И.Н. Влияние низкоимпульсного лазерного излучения in vitro на морфофункциональные свойства тромбоцитов человека. *Клеточные технологии в биологии и медицине*. 2024;(3):174–180. Makarov MS, Borovkova NV, Storozheva MV, Ponomarev IN. Effect of in vitro low-impulse laser irradiation on morphofunctional properties of human platelets. *Bull Exp Biol Med*. 2024;178(1):145–150. <https://doi.org/10.47056/1814-3490-2024-3-174-180>
12. Макаров М.С., Кобзева Е.Н., Высочин И.В. Анализ морфофункционального статуса тромбоцитов у доноров разных групп: портрет «идеального донора» тромбоцитных компонентов. *Трансфузиология*. 2016;17(2):14–26. Makarov MS, Kobzeva EN, Vysochin IV. Morphofunctional study of platelet in different donor's groups: towards looking for “ideal” donor features. *Transfusiology*. 2016;17(2):14–26. (In Russ.)
13. Ostermeier B, Soriano-Sarabia N, Maggirwar SB. Platelet-released factors: their role in viral disease and applications for extracellular vesicle (EV) therapy. *Int J Mol Sci*. 2022;23(4):2321. PMID: 35216433 <https://doi.org/10.3390/ijms2304232>
14. Zhang J, Yin C, Zhao Q, Zhao Z, Wang J, Miron RJ, et al. Anti-inflammation effects of injectable platelet-rich fibrin via macrophages and dendritic cells. *J Biomed Mater Res A*. 2020;108(1):61–68. PMID: 31449340 <https://doi.org/10.1002/jbma.a.36792>
15. Martínez CE, Smith PC, Palma Alvarado VA. The influence of platelet-derived products on angiogenesis and tissue repair: a concise update. *Front Physiol*. 2015;6:290. PMID: 26539125 <https://doi.org/10.3389/fphys.2015.00290> eCollection 2015

Информация об авторах

Антон Аркадьевич Будаев	научный сотрудник отделения биотехнологий и трансфузиологии ГБУЗ «НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского ДЗМ», https://orcid.org/0000-0002-5864-5683 , budaevaa@sklif.mos.ru 15% – обработка полученных результатов, написание текста статьи
Максим Сергеевич Макаров	д-р биол. наук, старший научный сотрудник отделения биотехнологий и трансфузиологии ГБУЗ «НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского ДЗМ», https://orcid.org/0000-0002-2184-2982 , makarovms@sklif.mos.ru 15% – сбор материала, анализ литературы, написание текста статьи
Наталья Валерьевна Боровкова	д-р мед. наук, заведующая научным отделением биотехнологий и трансфузиологии ГБУЗ «НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского ДЗМ»; доцент кафедры трансплантологии искусственных органов им. В.П. Демикова МБФ ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова МЗ РФ (Пироговский Университет); доцент кафедры клинической лабораторной диагностики с курсом лабораторной иммунологии ФГБОУ ДПО РМАНПО МЗ РФ, https://orcid.org/0000-0002-8897-7523 , borovkovanv@sklif.mos.ru 15% – разработка дизайна исследования, редакция и корректировка текста
Алексей Максимович Файн	д-р мед. наук, заведующий научным отделом травматологии ГБУЗ «НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского ДЗМ»; профессор кафедры травматологии, ортопедии и медицины катастроф ФГБОУ ВО «Российский университет медицины» МЗ РФ, https://orcid.org/0000-0001-8616-920X , fainam@sklif.mos.ru 15% – обработка полученных результатов, редакция и корректировка текста
Кристина Ивановна Скуратовская	научный сотрудник отделения неотложной травматологии опорно-двигательного аппарата ГБУЗ «НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского ДЗМ», https://orcid.org/0000-0003-3074-453X , skuratovskayaki@sklif.mos.ru 10% – участие в клинической части работы, написание статьи
Майя Викторовна Сторожева	научный сотрудник отделения биотехнологий и трансфузиологии ГБУЗ «НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского ДЗМ», https://orcid.org/0000-0003-1927-2404 , storozhevamv@sklif.mos.ru 10% – редакция и корректировка текста, анализ полученных результатов
Александр Юльевич Ваза	канд. мед. наук, заведующий научным отделением неотложной травматологии ГБУЗ «НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского ДЗМ», https://orcid.org/0000-0003-4581-449X , vazaau@sklif.mos.ru 10% – редакция и корректировка текста, участие в клинической части работы
Ирина Игоревна Мажорова	канд. мед. наук, старший научный сотрудник отделения лучевой диагностики ГБУЗ «НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского ДЗМ», https://orcid.org/0000-0001-9109-0790 , mazhorovaii@sklif.mos.ru 10% – редакция и корректировка текста

Information about the authors

Anton A. Budaev	Researcher, Scientific Department of Biotechnologies and Transfusiology, N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine, https://orcid.org/0000-0002-5864-5683 , budaevaa@sklif.mos.ru 15%, obtaining data for analysis, writing the text of the manuscript
Maksim S. Makarov	Dr. Sci. (Biol.), Senior Researcher, Scientific Department of Biotechnologies and Transfusiology, N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine, https://orcid.org/0000-0002-2184-2982 , makarovms@sklif.mos.ru 15%, obtaining data for analysis, analysis of the obtained data; writing the text of the manuscript, review of publications on the topic of the article
Natalya V. Borovkova	Dr. Sci. (Med.), Head of the Scientific Department of Biotechnologies and Transfusiology, N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine; Associate Professor of the V.P. Demikhov Department of Transplantation and Artificial Organs, N.I. Pirogov Russian National Research Medical University; Associate Professor of the Department of Clinical Laboratory Diagnostic, Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, https://orcid.org/0000-0002-8897-7523 , borovkovanv@sklif.mos.ru 15%, study design development, analysis of the obtained data
Aleksey M. Fain	Dr. Sci. (Med.), Head of the Scientific Department of Emergency Traumatology of the Musculoskeletal System, N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine; Professor of the Department of Traumatology, Orthopedics, and Disaster Medicine, Russian University of Medicine, https://orcid.org/0000-0001-8616-920X , fainam@sklif.mos.ru 15%, analysis of the obtained data, writing the text of the manuscript
Kristina I. Skuratovskaya	Researcher, Department of Emergency Traumatology of the Musculoskeletal System, N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine, https://orcid.org/0000-0003-3074-453X , skuratovskayaki@sklif.mos.ru 10%, analysis of the obtained data, proofreading and final editing of the article
Mayya V. Storozheva	Researcher, Scientific Department of Biotechnologies and Transfusiology, N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine, https://orcid.org/0000-0003-1927-2404 , storozhevamv@sklif.mos.ru 10%, analysis of the obtained data, writing the text of the manuscript
Aleksandr Yu. Vaza	Cand. Sci. (Med.), Leading Researcher, Department of Emergency Traumatology of the Musculoskeletal System, N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine, https://orcid.org/0000-0003-4581-449X , vazaa@sklif.mos.ru 10%, analysis of the obtained data, writing the text of the manuscript
Irina I. Mazhorova	Cand. Sci. (Med.), Senior Researcher, Department of Radiation Diagnostic, N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency, https://orcid.org/0000-0001-9109-0790 , mazhorovaii@sklif.mos.ru 10%, proofreading and editing of the article

Статья поступила в редакцию 28.05.2025;
одобрена после рецензирования 04.06.2025;
принята к публикации 25.06.2025

The article was received on May 28, 2025;
approved after reviewing on June 4, 2025;
accepted for publication on June 25, 2025