

Гистологические изменения при применении плазмы, обогащенной растворимыми факторами тромбоцитов для лечения ран у лиц с сахарным диабетом: Предварительные результаты исследования

Received: January 12, 2026

Revised: February 28, 2026

Accepted: March 12, 2026

Published: March 31, 2026

Citation: Assel Sateyeva, Sabit Ualiyev, Madina Ospanova, Nurtas Balmukhamedov, Aliya Amirkhan. Gistologicheskie izmeneniia pri primeneniі plazmy, obogashchennoi rastvorimymi faktorami trombositov dlia lecheniia ran u lits s sakharnym diabetom: Predvaritel'nyye rezul'taty issledovaniya (Histological changes in the use of plasma enriched with soluble platelet factors for the treatment of wounds in individuals with diabetes mellitus: A Preliminary Study) [in Russian]. Cent Asian J Med Pract & Res 2026, 99 (1), cajmpr022. <https://doi.org/10.70439/2075-8790.2026.99.1.001>

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License



[Сатеева А.А.](#)¹, [Уалиев С.Д.](#)², [Оспанова М.Е.](#)³, [Бальмухамедов Н.Т.](#)⁴, [Амирхан А.М.](#)⁵

¹ Менеджер отдела менеджмента научных исследований, Научно-производственный центр трансфузиологии, Астана, Казахстан. E-mail: sateyevaassel@gmail.com

² Руководитель Управления стратегического и инновационного развития, Научно-производственный центр трансфузиологии, Астана, Казахстан. E-mail: ualiyev.s@mail.ru

³ Заведующая отделением клеточных технологий, Научно-производственный центр трансфузиологии, Астана, Казахстан. E-mail: sk_ospanova_me@mail.ru

⁴ Научный сотрудник, Научно-производственный центр трансфузиологии, Астана, Казахстан. E-mail: nurastana@bk.ru

⁵ Менеджер отдела менеджмента научных исследований, Научно-производственный центр трансфузиологии, Астана, Казахстан. E-mail: omninpct16@mail.ru

*Корреспондирующий автор: omninpct16@mail.ru

Резюме

Хронические диабетические язвы стопы характеризуются длительной воспалительной фазой и нарушением регенерации тканей. Плазма, обогащенная растворимыми факторами тромбоцитов (ПОРФТ), рассматривается как перспективный метод стимуляции репаративных процессов.

Цель исследования: оценить влияние местного применения аллогенной плазмы, обогащенной растворимыми факторами тромбоцитов, на процессы заживления диабетических язв стопы на основании гистологических изменений тканей в сравнении с традиционной терапией.

Материалы и методы. Проведено морфологическое исследование биоптатов язвенной ткани у 9 пациентов с синдромом диабетической стопы. Пациенты были разделены на две группы: контрольную (n = 4), получавшую стандартное лечение, и основную (n = 5), в которой применяли местные аппликации ПОРФТ. Биопсии тканей из краев и дна язвенного дефекта выполняли через 1 и 10 суток от начала лечения. Гистологические препараты окрашивали гематоксилином и эозином. Статистическая обработка носила описательный характер.

Результаты. Через 1 сутки в обеих группах выявлялись выраженные некротические и воспалительные изменения, сопровождавшиеся отеком, лейкоцитарной инфильтрацией и экссудативной реакцией. На 10-е сутки в обеих группах отмечалось формирование грануляционной ткани. В основной группе на фоне терапии ПОРФТ наблюдалось уменьшение выраженности воспалительной инфильтрации, снижение количества нейтрофильных

лейкоцитов и раннее созревание грануляционной ткани с увеличением числа капилляров, фибробластов и макрофагов. В контрольной группе сохранялись признаки выраженного воспаления и менее зрелая грануляционная ткань.

Выводы. Местное применение ПОРФТ при лечении диабетических язв стопы сопровождается менее выраженной воспалительной реакцией и более быстрым формированием зрелой грануляционной ткани по сравнению с традиционной терапией. Полученные морфологические данные могут свидетельствовать о способности ПОРФТ ускорять переход воспалительной фазы раневого процесса в регенераторную. Для подтверждения целесообразности ее использования в составе комплексного лечения синдрома диабетической стопы нужны дальнейшие исследования.

Ключевые слова: сахарный диабет, синдром диабетической стопы, плазма, обогащенная растворимыми факторами тромбоцитов, репарация.

1. Введение

Сахарный диабет является хроническим заболеванием, сопровождающимся нарушением углеводного обмена и развитием тяжелых осложнений. Одним из наиболее распространенных и социально значимых осложнений сахарного диабета являются диабетические язвы стопы, характеризующийся хроническим течением, высоким риском инфицирования, ампутацией [1]. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), более 420 млн человек страдают диабетом, и ежегодно более 1,5 млн смертей напрямую связаны с этим заболеванием. Эти данные подчеркивает необходимость поиска более эффективных методов лечения [2].

Хроническое течение диабетической язвы обусловлено длительным воспалительным процессом, нарушением ангиогенеза и изменениями внеклеточного матрикса (ВКМ), что препятствует переходу раны в фазу регенерации. Стандартная терапия (борьба с различными инфекциями, перевязки и контроль уровня глюкозы в крови) остается недостаточно эффективной: около 23% язв не заживают в течение года, а риск рецидива в первый год после заживления составляет до 40% [3].

В связи с этим активно изучаются альтернативные методы терапии, включая гипербарическую оксигенацию [4,5], терапию стволовыми клетками [6], экзосомами и плазмой, обогащенной растворимыми факторами тромбоцитов. За последнее десятилетие значительное внимание в области регенеративной медицины привлекла плазма, богатая тромбоцитами. Данный метод основан на использовании плазмы пациента, в которой концентрация тромбоцитов в несколько раз превышает исходный уровень.

Плазма, обогащенная растворимыми факторами тромбоцитов (ПОРФТ) содержит комплекс факторов роста и цитокинов, способствующих пролиферации фибробластов, эпителиоцитов и эндотелиальных клеток, а также стимулирующих ангиогенез. Рандомизированные исследования показывают, что аллогенная ПОРФТ ускоряет формирование грануляционной ткани, улучшает ангиогенез и сокращает сроки эпителизации хронических ран без серьезных иммунных осложнений. Несмотря на растущий интерес к аллогенной ПОРФТ, данные о гистологических изменениях при её применении у пациентов с диабетическими язвами остаются ограниченными [7].

Метаанализы подтверждают эффективность ПОРФТ в ускорении заживления синдрома диабетической стопы, однако её клинические результаты остаются вариабельными и зависят от индивидуальных особенностей пациентов и состава препарата [8].

Особый интерес представляет изучение гистологических изменений тканей при применении ПОРФТ, поскольку именно они отражают фундаментальные механизмы регенерации: образование грануляционной ткани, ангиогенез, пролиферацию фибробластов и восстановление эпителия. Анализ тканевых срезов позволяет объективно оценить, какие процессы стимулируют ПОРФТ и насколько они соотносятся с клиническим улучшением.

Таким образом, исследование гистологических характеристик язвенной ткани при терапии ПОРФТ даёт возможность глубже понять механизмы её действия и оценить потенциал этого метода в комплексном лечении синдрома диабетической стопы.

Цель исследования: оценить влияние аллогенной плазмы, обогащенной растворимыми факторами тромбоцитов, на процессы заживления диабетических язв стопы на основании

гистологических изменений тканей, а также сопоставить результаты с традиционным методом лечения.

2. Материалы и методы

Дизайн исследования

Проведено сравнительное клинимо-морфологическое исследование эффективности применения аллогенной плазмы, обогащенной растворимыми факторами тромбоцитов, в комплексном лечении трофических язв у пациентов с синдромом диабетической стопы. Исследование было проведено на базе Научно-производственного центра трансфузиологии (Астана) в 2024 году.

Описание участников и исследуемого материала

В исследование были включены 9 пациентов, распределенных на две группы в зависимости от применяемого метода лечения. Контрольную группу (I группа, n=4) составили пациенты, получавшие традиционное лечение трофических язв при синдроме диабетической стопы. В основную группу (II группа, n=5) вошли пациенты, у которых в дополнение к традиционному лечению применялась аллогенная плазма, обогащенная растворимыми факторами тромбоцитов.

Критериями включения являлись: подтвержденный диагноз сахарного диабета; наличие синдрома диабетической стопы с хроническим язвенным дефектом стопы длительностью более 4 недель; отсутствие показаний к экстренному хирургическому вмешательству.

Критериями исключения являлись: наличие подтвержденных аутоиммунных или онкологических заболеваний; декомпенсированные сопутствующие заболевания; отказ пациента от участия в исследовании.

Исследуемые группы были сопоставимы по возрасту, полу и основным клиническим характеристикам язвенных дефектов.

Материалом для морфологического исследования служили биоптаты тканей, полученные из краев и дна язвенных дефектов. Оценку морфологических изменений тканей

язвенного дефекта проводили в динамике в двух временных точках: через 1 сутки после начала лечения и через 10 суток наблюдения.

Методы исследования

В контрольной группе применяли традиционное лечение трофических язв при синдроме диабетической стопы. В основной группе наряду с традиционным лечением применяли аллогенную плазму, обогащенную растворимыми факторами тромбоцитов.

Для оценки динамики репаративных процессов проводили морфологическое исследование тканей язвенного дефекта. Биопсийный материал получали из краев и дна язвы в двух временных точках: через 1 сутки после начала лечения и через 10 суток наблюдения.

Полученные биоптаты подвергали гистологическому исследованию с последующей оценкой морфологических изменений тканей язвенного дефекта и их динамики на фоне проводимого лечения.

Статистические методы

В связи с малым объемом выборки (n=9) статистический анализ носил описательный характер. Полученные результаты использовали для характеристики динамики исследуемых морфологических изменений в контрольной и основной группах.

Этические аспекты

Исследование проведено с соблюдением принципов биомедицинской этики. Протокол исследования одобрен Локальной комиссией по биоэтике РГП на ПХВ «Научно-производственный центр трансфузиологии» (протокол № 7 от 27 декабря 2023 года).

До включения в исследование все участники были проинформированы о его целях, дизайне и предполагаемых процедурах. От всех пациентов получено добровольное информированное согласие на участие в исследовании.

3. Результаты

К концу первых суток наблюдений в области дна и в краях язвы были выявлены однотипные гистологические изменения.

Дно язвенного дефекта было представлено обширной зоной некроза с выраженной

воспалительной реакцией в виде выраженного отека, полнокровия сосудов, диффузной лейкоцитарной инфильтрации с выпадением нитей фибрина (Рисунок 1).

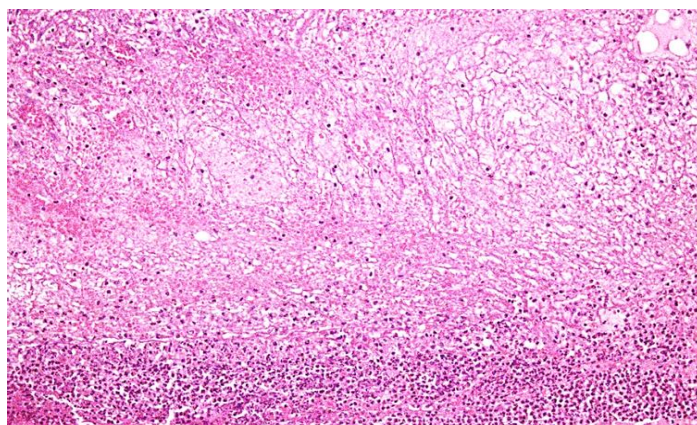


Рисунок 1 - Зона экссудативного воспаления в области дна диабетической язвы: выраженный отек, формирование экссудата в зоне некроза с выраженной лейкоцитарной инфильтрацией и выпадением нитей фибрина. Окраска гематоксилином и эозином. Увеличение x100

В обеих группах, повреждения мягких тканей сопровождались выраженной экссудативной реакцией, наблюдали отек, дистрофию и некроз мышечных клеток, набухание фиброзных волокон

межмышечной стромы; умеренную, преимущественно, периваскулярную лимфоцитарно-лейкоцитарную инфильтрацию. (Рисунок 2, 3).

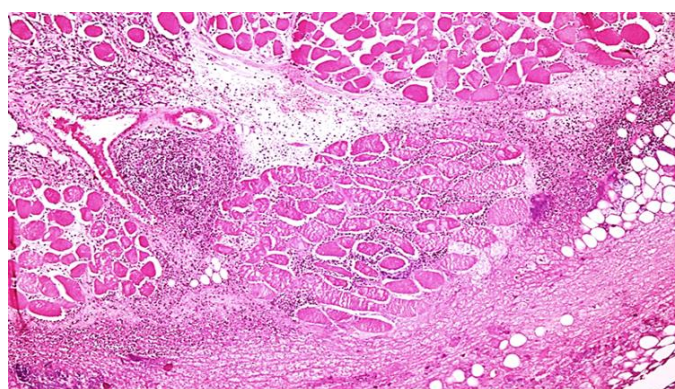


Рисунок 2 - Зона экссудативного воспаления в толще мягких тканей области дна диабетической язвы: выраженный отек, неравномерная лейкоцитарная инфильтрация; дистрофические и некротические изменения пучков мышечных волокон. Окраска гематоксилином и эозином. Окраска гематоксилином и эозином. Увеличение x160

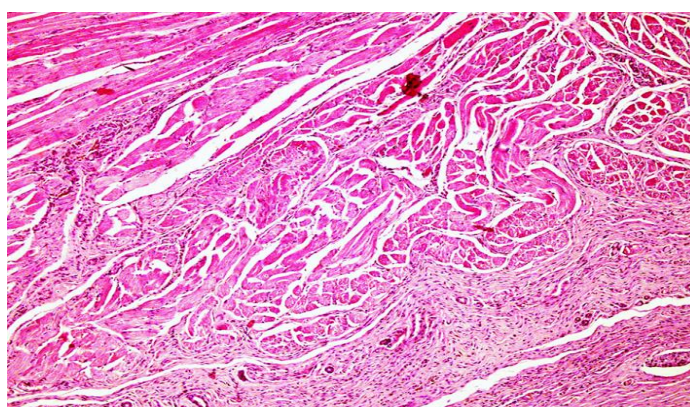


Рисунок 3 - Зона экссудативного воспаления в толще мягких тканей области дна диабетической язвы: на фоне отека и полнокровия сосудов дистрофические и некротические изменения пучков мышечных волокон; неравномерная, преимущественно периваскулярная лимфоцитарно-лейкоцитарная инфильтрация. Окраска гематоксилином и эозином. Увеличение x160

В краях язвенного дефекта у больных обеих групп обнаруживали выраженные дистрофические изменения, деформацию и дистопию эпителиальных клеток базального слоя эпидермиса (Рисунок 4). В толще дермы

отмечались признаки выраженного отека, атрофические изменения волосяных фолликулов, фрагментации и деструкции волокнистых структур дермы (Рисунок 5).

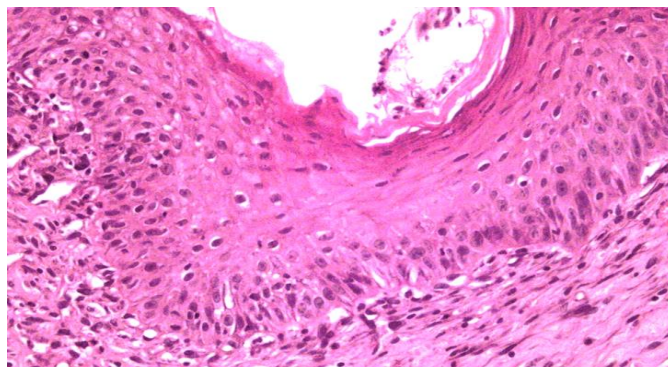


Рисунок 4 - Край диабетической язвы, изменения эпидермиса: дистрофические изменения эпителиальных клеток; дистопия клеток базального слоя с деформацией ядер. Окраска гематоксилином и эозином. Окраска гематоксилином и эозином. Увеличение x280

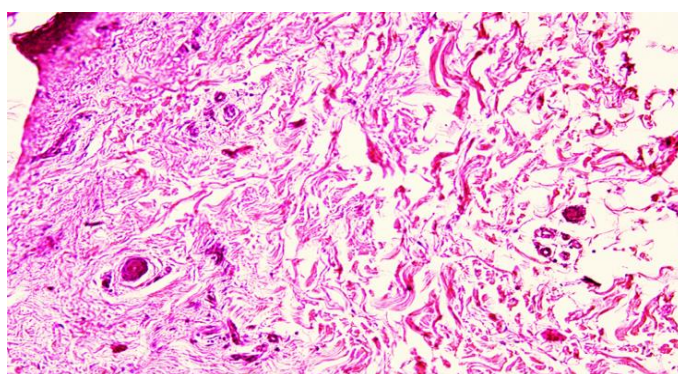


Рисунок 5 - Край диабетической язвы: волокнистые структуры деформированы, местами фрагментированы; определяются единичные волосяные фолликулы в состоянии атрофических изменений. Окраска гематоксилином и эозином. Увеличение x160

Таким образом к концу первых суток наблюдений, в области дна диабетической язвы обнаруживаются выраженные некротические и

воспалительные изменения с образованием воспалительного экссудата.

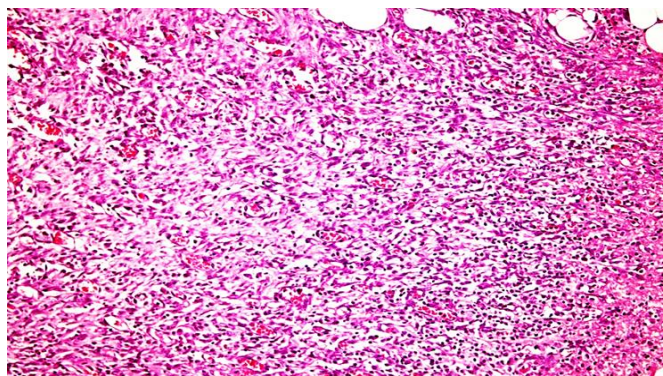


Рисунок 6 - Грануляционная ткань, окружающая язвенный дефект: формирование множества капилляров, диффузная лимфоцитарно-лейкоцитарная инфильтрация и отек. Окраска гематоксилином и эозином. Увеличение x100

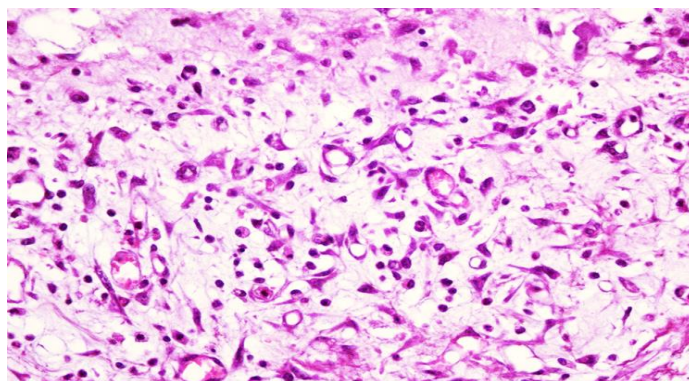


Рисунок 7 - Грануляционная ткань, окружающая язвенный дефект: выраженный отек, расширенные капилляры лимфоцитарная инфильтрация с примесью лейкоцитов, макрофагов и фибробластов. Окраска гематоксилином и эозином. Увеличение x400

Через 10 суток от начала терапии, отмечались признаки формирования грануляционной ткани в зоне язвенного дефекта. Однако гистологические изменения в тканях, окружающих язвенный дефект у больных первой и второй группы, имели определенные различия. Так, у больных первой группы, на фоне явлений ангиогенеза с формированием множества сосудов капиллярного типа, отмечались явления диффузной лимфоцитарно-лейкоцитарной клеточной инфильтрации с выраженным полнокровием сосудов и распространенным отеком (Рисунок 6).

У больных второй группы, на фоне терапии ПОРФТ, в грануляционной ткани также выявляли значительное количество капилляров, более выраженный отек ткани, однако в клеточном

инфильтрате отмечалось уменьшение количества лейкоцитов. В составе клеточного инфильтрата преобладали лимфоциты, отмечается присутствие лейкоцитов и макрофагов, а также в составе инфильтрата определяются фибробласты (Рисунок 7).

Таким образом, результаты проведенных патогистологических исследований свидетельствуют о том, что при местном применении ПОРФТ процессы заживления диабетической язвы сопровождаются менее выраженными признаками гнойной деструкции мягких тканей в первые сутки наблюдений, а также более быстрым созреванием грануляционной ткани на 10 сутки наблюдений, в сравнении с методом традиционной терапии.

4. Обсуждение

Полученные результаты - уменьшение ранней нейтрофильной инфильтрации и более быстрое формирование зрелой грануляционной ткани при местном применении ПОРФТ - согласуются с данными литературы о клинической эффективности ПОРФТ при заживлении диабетических язв стопы. Ряд систематических обзоров и мета-анализов показывает улучшение скорости заживления и более высокую долю полностью заживших язв при использовании аутологичной плазмы по сравнению со стандартной терапией [9].

С точки зрения патофизиологии, наблюдаемые нами морфологические изменения объясняются биологическим действием компонентов ПОРФТ. Тромбоциты при активации высвобождают факторы роста (PDGF, TGF- β , VEGF и другие), цитокины и белки плазмы, которые

стимулируют пролиферацию фибробластов и эндотелиальных клеток, способствуют ангиогенезу и ремоделированию внеклеточного матрикса - процессы, которые мы наблюдали в образцах на 10-е сутки. Эти механизмы подробно описаны в недавних обзорах молекулярных эффектов PRP [10].

Аллогенная плазма, обогащенная тромбоцитами (al-PRP), характеризуется относительной простотой и воспроизводимостью процесса приготовления, что делает данный метод удобным для клинического применения. Терапевтический эффект al-PRP обусловлен высокой концентрацией биологически активных факторов роста и цитокинов, участвующих в регуляции воспаления, ангиогенеза и тканевой регенерации, при этом в ряде исследований подтверждена ее клиническая безопасность при

соблюдении стандартов донорского отбора и обработки биоматериала.

Особое значение al-PRP приобретает у пациентов, для которых использование аутологичной плазмы затруднено или противопоказано. В литературе al-PRP рассматривается как перспективное биологическое терапевтическое средство при наличии дефицита или заболеваний тромбоцитарного звена, анемии, выраженного нутритивного дефицита или кахексии, иммунной дисфункции, нарушений системы гемостаза, тяжелых инфекционных состояний, включая сепсис, а также у пациентов, проходящих химиотерапию или длительно принимающих антиагрегантные препараты. Кроме того, применение al-PRP может быть целесообразным при выраженном отеке мягких тканей, затрудняющем проведение кожной пластики и других реконструктивных вмешательств.

Таким образом, использование al-PRP расширяет терапевтические возможности лечения хронических и осложненных ран, в том числе при синдроме диабетической стопы, и может рассматриваться как обоснованная альтернатива аутологичной ПОРФТ в клинически сложных категориях пациентов [11].

Так, в исследовании Jeong et al. [12], включавшем пациентов с хроническими диабетическими язвами стопы (n=14), морфологический анализ биоптатов показал, что у большинства пациентов, получавших концентрат тромбоцитов, отмечались выраженные признаки ангиогенеза, увеличение количества фибробластов и более раннее формирование грануляционной ткани по сравнению с контрольной группой. Авторы отмечают, что выявленные гистологические изменения предшествовали клиническому закрытию раневого дефекта. Полученные результаты также согласуются с данными клинических исследований. Так, Suthar et al. показали эффективность PRP у 70,83% пациентов с хроническими язвами стопы, при этом средний срок заживления составил около восьми недель. В исследовании Scimesa et al. PRP в сочетании с хирургическим лечением обеспечил полное закрытие хронической диабетической раны за семь недель. В работе ПОРФТ применялся в сочетании с хирургическим лечением у пациентов с синдромом диабетической стопы (n = 6), у всех пациентов в повторных биоптатах были выявлены морфологические признаки активной регенерации, включая замещение некротических тканей грануляционной тканью, увеличение плотности капилляров и восстановление структуры

внеклеточного матрикса, что сопровождалось полным заживлением язвенных дефектов в клиническом наблюдении [13].

В крупном когортном исследовании Margolis et al., включавшем 26 599 пациентов с диабетическими нейропатическими язвами стопы, было показано, что применение ПОРФТ достоверно увеличивало вероятность полного заживления язв (относительный риск 1,38). Хотя гистологическое исследование выполнялось не у всех пациентов, в подгруппе с морфологическим анализом авторы указывали на уменьшение выраженности воспалительной инфильтрации и повышение фибробластической активности, что подтверждает влияние ПОРФТ на процессы тканевой репарации [14].

Гистологические признаки, выявленные в нашем исследовании до начала лечения (выраженный отек, низкая плотность фибробластов, выраженная воспалительная инфильтрация), соответствуют данным Boulton et al., которые указывают на удлиненную фазу воспаления и нарушение перестройки матрикса при диабете [15]. Аналогично, результаты Baltzis et al. подтверждают, что взаимодействие гликированного коллагена с клетками снижает их адгезию и пролиферацию [16], что замедляет репарацию - что также согласуется с нашими наблюдениями.

Наиболее методологически значимые данные представлены в рандомизированном контролируемом исследовании Mohamed Nasr et al. [8], где оценивалась эффективность инъекционного и местного применения PRP у пациентов с диабетическими язвами стопы. По данным гистологического анализа, у большинства пациентов, получавших PRP, уже на 7–10-е сутки наблюдалось снижение интенсивности воспалительной реакции, уменьшение количества нейтрофильных лейкоцитов и более раннее формирование зрелой грануляционной ткани с увеличением числа фибробластов и эндотелиальных клеток. Положительные морфологические изменения коррелировали с ускорением клинического заживления язв.

Анализ опубликованных клинических данных показывает, что в исследованиях с числом пациентов от небольших клинических серий до крупных когорт положительные гистологические эффекты ПОРФТ выявляются у большинства больных с синдромом диабетической стопы, включая снижение выраженности воспаления, стимуляцию ангиогенеза и ускоренное созревание грануляционной ткани.

Таким образом, наши данные полностью соответствуют литературным данным о замедленной репарации при СД и подтверждают, что применение ПОРФТ способствует более быстрому переходу воспалительной фазы в репаративную, ускоряя ангиогенез, формирование грануляционной ткани и восстановление ВКМ.

В совокупности полученные результаты демонстрируют, что ПОРФТ может рассматриваться как перспективный метод улучшения заживления хронических ран у пациентов с сахарным диабетом, однако для окончательной оценки его эффективности необходимы рандомизированные контролируемые исследования с включением долгосрочных клинических и морфологических критериев.

Ограничения исследования. Настоящее исследование имеет ряд ограничений, которые необходимо учитывать при интерпретации полученных результатов. Основным ограничением является небольшой объем выборки — в исследование были включены 9 пациентов, из которых 4 составили контрольную и 5 — основную группу. Малое число наблюдений ограничивает возможности статистического анализа и не позволяет в полной мере оценить вариабельность исследуемых показателей, а также экстраполировать полученные результаты на более широкую популяцию пациентов с синдромом диабетической стопы.

Дополнительным ограничением является отсутствие рандомизации при распределении пациентов по группам, что не позволяет полностью исключить влияние потенциальных

систематических различий между группами на результаты лечения. Несмотря на сопоставимость групп по основным клиническим характеристикам, влияние отдельных факторов, способных определять течение раневого процесса и скорость репарации тканей, не может быть полностью исключено.

Следует также учитывать относительно короткий период наблюдения. Морфологическая оценка проводилась через 1 и 10 суток от начала лечения, что позволило охарактеризовать раннюю динамику репаративных процессов, однако не дает возможности оценить отдаленные результаты, включая сроки полного заживления язвенного дефекта, частоту рецидивов и устойчивость достигнутого клинического эффекта. Кроме того, статистическая обработка данных носила преимущественно описательный характер вследствие малого объема выборки. Поэтому выявленные различия и тенденции следует рассматривать как предварительные и интерпретировать с осторожностью.

Для подтверждения полученных результатов нами проводится дальнейшее исследование с увеличением объема выборки, рандомизированным дизайном, стандартизацией критериев клинической и морфологической оценки и более длительным периодом наблюдения. Также будут сопоставлены морфологические изменения с объективными клиническими показателями заживления язвенного дефекта.

5. Выводы

1. При применении ПОРФТ, воспалительная реакция была менее выраженной, наблюдалось уменьшение количества нейтрофильных лейкоцитов и снижение признаков гнойной деструкции тканей.

2. К 10-м суткам в зоне язвенного дефекта у пациентов, получавших терапию ПОРФТ, выявлялись более зрелые грануляционные ткани с активным ангиогенезом, увеличением количества фибробластов и макрофагов, а также признаками формирования коллагеновых структур.

4. В группе стандартного лечения сохранялись выраженные воспалительные изменения, что указывает на более медленное формирование грануляционной ткани и замедленное заживление.

5. Морфологические данные подтверждают, что применение ПОРФТ способствует ускорению перехода воспалительной фазы в регенераторную,

активирует процессы неоангиогенеза и ускоряет репарацию тканей при диабетических язвах стопы.

6. Использование ПОРФТ может рассматриваться как перспективный компонент комплексной терапии синдрома диабетической стопы, повышающий эффективность заживления хронических язвенных дефектов.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов. Концептуализация – У.С.Д., О.М.Е.; написание черновой версии – С.А.А.; написание и редактирование – С.А.А., А.А.М., О.М.Е.; сбор и анализ данных – О.М.Е., А.А.М.

Финансирование. Данное исследование является инициативной работой и не имеет отдельных источников финансирования.

III декларация. При подготовке данной рукописи III технологии не были применены.

Литература

1. McDermott, K., Fang, M., Boulton, A. J. M., Selvin, E., & Hicks, C. W. (2023). Etiology, epidemiology, and disparities in the burden of diabetic foot ulcers. *Diabetes Care*, 46(1), 209–221. <https://doi.org/10.2337/dci22-0043>
2. Hacker, K. (2024). The burden of chronic disease. *Mayo Clinic Proceedings: Innovations, Quality & Outcomes*, 8(2), 112–119. <https://doi.org/10.1016/j.mayocpiqo.2023.11.003>
3. Littig, J. P. B., Moellmer, R., Estes, A. M., Agrawal, D. K., & Rai, V. (2022). Increased population of CD40+ fibroblasts is associated with impaired wound healing and chronic inflammation in diabetic foot ulcers. *Journal of Clinical Medicine*, 11(21), 6335. <https://doi.org/10.3390/jcm11216335>
4. Oley, M. H., Oley, M. C., Kepel, B. J., Faruk, M., Wagiu, A. M. J., Sukarno, I., Tulong, M. T., & Sukarno, V. (2024). Hyperbaric oxygen therapy for diabetic foot ulcers based on Wagner grading: A systematic review and meta-analysis. *Plastic and Reconstructive Surgery Global Open*, 12(3), e5692. <https://doi.org/10.1097/GOX.0000000000005692>
5. Thanigaimani, S., Singh, T., & Golledge, J. (2021). Topical oxygen therapy for diabetes-related foot ulcers: A systematic review and meta-analysis. *Diabetic Medicine*, 38(7), e14585. <https://doi.org/10.1111/dme.14585>
6. Rai, V., Moellmer, R., & Agrawal, D. K. (2022). Stem cells and angiogenesis: Implications and limitations in enhancing chronic diabetic foot ulcer healing. *Cells*, 11(14), 2287. <https://doi.org/10.3390/cells11142287>
7. Li, Y., Wang, X., Li, Y., Li, D., Li, S., & Shen, C. (2024). Efficacy and safety of allogeneic platelet-rich plasma in chronic wound treatment: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Scientific Reports*, 14, 25209. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-75090-0>
8. Nasr, M., El-Nawasany, M. A. H., Ali, H. E., & El Nagar, A. E. (2025). Effectiveness of injected versus topically applied platelet-rich plasma in diabetic foot ulcers: A randomized controlled trial with clinical and histopathological assessment. *JPRAS Open*, 46, 22–32. <https://doi.org/10.1016/j.jptra.2025.08.008>
9. OuYang, H., Tang, Y., Yang, F., Ren, X., Yang, J., Cao, H., & Yin, Y. (2023). Platelet-rich plasma for the treatment of diabetic foot ulcer: A systematic review. *Frontiers in Endocrinology*, 14, 1256081. <https://doi.org/10.3389/fendo.2023.1256081>
10. Wu, W.-S., Chen, L.-R., & Chen, K.-H. (2025). Platelet-rich plasma (PRP): Molecular mechanisms, actions and clinical applications in the human body. *International Journal of Molecular Sciences*, 26(21), 10804. <https://doi.org/10.3390/ijms262110804>
11. He, M., Guo, X., Li, T., Jiang, X., Chen, Y., Yuan, Y., Chen, B., Yang, G., Fan, Y., Liang, Z., Armstrong, D. G., & Deng, W. (2020). Comparison of allogeneic platelet-rich plasma with autologous platelet-rich plasma for the treatment of diabetic lower extremity ulcers. *Cell Transplantation*, 29, 0963689720931428. <https://doi.org/10.1177/0963689720931428>
12. Jeong, S. H., Han, S. K., & Kim, W. K. (2010). Treatment of diabetic foot ulcers using a blood bank platelet concentrate. *Plastic and Reconstructive Surgery*, 125(3), 944–952. <https://doi.org/10.1097/PRS.0b013e3181cb63b9>
13. Scimeca, C. L., Bharara, M., Fisher, T. K., Kimbriel, H., & Armstrong, D. G. (2010). Novel use of platelet-rich plasma to augment curative diabetic foot surgery. *Journal of Diabetes Science and Technology*, 4(5), 1121–1126. <https://doi.org/10.1177/193229681000400514>
14. Margolis, D. J., Kantor, J., Santanna, J., Strom, B. L., & Berlin, J. A. (2001). Effectiveness of platelet releasate for the treatment of diabetic neuropathic foot ulcers. *Diabetes Care*, 24(3), 483–488. <https://doi.org/10.2337/diacare.24.3.483>
15. Boulton, A. J. M., Cavanagh, P. R., & Rayman, G. (2006). *The foot in diabetes* (4th ed). John Wiley & Sons. 214–221.
16. Baltzis, D., Eleftheriadou, I., & Veves, A. (2014). Pathogenesis and treatment of impaired wound healing in diabetes mellitus: New insights. *Advances in Therapy*, 31(8), 817–836. <https://doi.org/10.1007/s12325-014-0140-x>

Қант диабеті бар науқастарда жараларды емдеу үшін тромбоциттердің еритін факторларымен байытылған плазманы қолдану кезіндегі гистологиялық өзгерістер: Зерттеудің бастапқы нәтижелері

[Сатеева Ә.А.](#)¹, [Уәлиев С.Д.](#)², [Оспанова М.Е.](#)³, [Бальмухамедов Н.Т.](#)⁴,
[Әмірхан А.М.](#)⁵

¹ Ғылыми зерттеулер менеджменті бөлімінің менеджері, Трансфузиология ғылыми-өндірістік орталығы, Астана, Қазақстан.

E-mail: sateyevaassel@gmail.com

² Стратегиялық және инновациялық даму басқармасының жетекшісі, Трансфузиология ғылыми-өндірістік орталығы,

Астана, Қазақстан. E-mail: ualiyev.s@mail.ru

³ Жасушалық технологиялар бөлімшесінің меңгерушісі, Трансфузиология ғылыми-өндірістік орталығы, Астана, Қазақстан.

E-mail: sk_ospanova_me@mail.ru

⁴ Ғылыми зерттеулер менеджменті бөлімінің ғылыми қызметкері, Трансфузиология ғылыми-өндірістік орталығы,

Астана, Қазақстан. E-mail: nurastana@bk.ru

⁵ Ғылыми зерттеулер менеджменті бөлімінің менеджері, Трансфузиология ғылыми-өндірістік орталығы, Астана, Қазақстан.

E-mail: omnipnct16@mail.ru

Түйіндеме

Созылмалы диабеттік табан ойық жаралары қабыну фазасының ұзаққа созылуымен және тіндердің регенерациясының бұзылуымен сипатталады. Тромбоциттердің еритін факторларымен байытылған плазма репаративтік үдерістерді ынталандырудың перспективті әдісі ретінде қарастырылады.

Зерттеудің мақсаты: аллогенді, тромбоциттердің еритін факторларымен байытылған плазманы жергілікті қолданудың диабеттік табан ойық жараларының жазылу үдерістеріне әсерін дәстүрлі терапиямен салыстыра отырып, тіндердің гистологиялық өзгерістері негізінде бағалау.

Әдістері. Диабеттік табан синдромы бар 9 науқастың ойық жара тіндерінің биоптаттарына морфологиялық зерттеу жүргізілді. Науқастар екі топқа бөлінді: стандартты ем қабылдаған бақылау тобы (n = 4) және тромбоциттердің еритін факторларымен байытылған плазма жергілікті аппликациялары қолданылған негізгі топ (n = 5). Ойық жара ақауының шеттері мен түбінен тін биопсиясы ем басталғаннан кейін 1 және 10 тәулікте алынды. Гистологиялық препараттар гематоксилин және эозинмен боялды. Статистикалық өңдеу сипаттамалық негізде жүргізілді.

Нәтижелері. Бірінші тәулікте 2 топта да айқын некроздық және қабынулық өзгерістер анықталды, олар ісінумен, лейкоцитарлық инфильтрациямен және экссудативтік реакциямен қатар жүрді. 10-шы тәулікте екі топта да грануляциялық тіннің түзілуі байқалды. Негізгі топта тромбоциттердің еритін факторларымен байытылған плазма терапиясы аясында қабынулық инфильтрация айқындылығының төмендеуі, нейтрофильді лейкоциттер санының азаюы және капиллярлар, фибробласттар мен макрофагтар санының артуымен сипатталатын грануляциялық тіннің ерте жетілуі байқалды. Бақылау тобында айқын қабыну белгілері сақталып, грануляциялық тіннің жетілуі төмен деңгейде болды.

Қорытынды. Диабеттік аяқ ойық жараларын емдеуде тромбоциттердің еритін факторларымен байытылған плазманы жергілікті қолдану дәстүрлі терапиямен салыстырғанда қабыну реакциясының аз айқындылығымен және жетілген грануляциялық тіннің жылдамырақ қалыптасуымен сипатталады. Алынған морфологиялық деректер тромбоциттердің еритін факторларымен байытылған плазманың жара процесінің қабыну фазасынан регенерациялық фазаға өтуін жеделдету қабілетін көрсетуі мүмкін. Оны диабеттік аяқ синдромын кешенді емдеу құрамында қолданудың орындылығын растау үшін қосымша зерттеулер жүргізу қажет.

Түйін сөздер: қант диабеті, диабеттік табан синдромы, тромбоциттердің еритін факторларымен байытылған плазма, репарация.

Histological Changes in the Use of Plasma Enriched with Soluble Platelet Factors for the Treatment of Wounds in Individuals with Diabetes Mellitus: A Preliminary Study

[Assel Sateyeva](#)¹, [Sabit Ualiyev](#)², [Madina Ospanova](#)³,
[Nurtas Balmukhamedov](#)⁴, [Aliya Amirkhan](#)⁵

¹ Manager of the research management department, Scientific and Production Center for Transfusiology, Astana, Kazakhstan.

E-mail: sateyevaassel@gmail.com

² Head of the department of strategic and innovative development, Scientific and Production Center for Transfusiology, Astana, Kazakhstan.

E-mail: ualiyev.s@mail.ru

³ Head of the department of cell technologies, Scientific and Production Center for Transfusiology, Astana, Kazakhstan.

E-mail: sk_ospanova_me@mail.ru

⁴ Researcher of the research management department, Scientific and Production Center for Transfusiology, Astana, Kazakhstan.

E-mail: nurastana@bk.ru

⁵ Manager of the research management department, Scientific and Production Center for Transfusiology, Astana, Kazakhstan.

E-mail: omninpct16@mail.ru

Abstract

Chronic diabetic foot ulcers are characterized by a prolonged inflammatory phase and impaired tissue regeneration. Plasma enriched with soluble platelet factors is considered a promising method for stimulating reparative processes.

Objective. To evaluate the effect of local application of allogeneic plasma enriched with soluble platelet factors on the healing processes of diabetic foot ulcers based on histological tissue changes in comparison with conventional therapy.

Methods. A morphological study of ulcer tissue biopsy specimens was conducted in 9 patients with diabetic foot syndrome. The patients were divided into two groups: a control group (n = 4) receiving standard therapy and a main group (n = 5) treated with local applications of plasma enriched with soluble platelet factors. Tissue biopsies from the edges and the base of the ulcer defect were obtained on days 1 and 10 after initiation of treatment. Histological sections were stained with hematoxylin and eosin. Statistical analysis was descriptive in nature.

Results. On day 1, pronounced necrotic and inflammatory changes were observed in both groups, accompanied by edema, leukocytic infiltration, and an exudative reaction. By day 10, granulation tissue formation was noted in both groups. In the main group receiving plasma enriched with soluble platelet factors therapy, a reduction in inflammatory infiltration, a decreased number of neutrophilic leukocytes, and earlier maturation of granulation tissue characterized by an increased number of capillaries, fibroblasts, and macrophages were observed. In the control group, signs of marked inflammation persisted and granulation tissue appeared less mature.

Conclusions. Topical application of plasma enriched with soluble platelet factors in the treatment of diabetic foot ulcers is associated with a less pronounced inflammatory response and more rapid formation of mature granulation tissue compared with conventional therapy. The obtained morphological findings may indicate that plasma enriched with soluble platelet factors has the potential to accelerate the transition from the inflammatory phase of the wound-healing process to the regenerative phase. Further studies are required to confirm the feasibility of its use as part of the comprehensive treatment of diabetic foot syndrome.

Keywords: diabetes mellitus, diabetic foot syndrome, plasma enriched with soluble platelet factors, repair.