Баймаков Сайфиддин Рисбаевич - д.м.н., профессор
Ташкентский государственный медицинский университет (Ташкент, Узбекистан)
Бурханов Жасуржон Жамшид Угли - старший преподаватель
Университет бизнеса и науки (Ташкент, Узбекистан)

БОГАТАЯ ТРОМБОЦИТАМИ ПЛАЗМА (PRP): РОЛЬ В РЕГЕНЕРАТИВНОЙ МЕДИЦИНЕ И ВОЗМОЖНОСТИ В ТЕРАПИИ РУБЦОВ

Аннотация. *Богатая тромбоцитами плазма (PRP) представляет собой биологический препарат, получаемый из аутологичной крови пациента, и играет значительную роль в регенеративной медицине, особенно в терапии рубцов. Данный обзор анализирует современные методы приготовления PRP, биологические механизмы действия, клинические применения и значение в абдоминопластике. PRP содержит концентрацию тромбоцитов в 3-5 раз превышающую физиологическую норму и более 30 факторов роста, включая PDGF, TGF-β, VEGF, IGF и EGF. Механизм действия PRP включает стимуляцию ангиогенеза, активацию фибробластов, усиление синтеза коллагена и ускорение эпителизации. Клинические исследования демонстрируют эффективность PRP в дерматологии, пластической хирургии, ортопедии и стоматологии. В контексте абдоминопластики применение PRP значительно улучшает эстетические результаты. Комбинированная терапия с микронидлингом, лазерной терапией и мезотерапией значительно повышает эффективность лечения. Метаанализы и обзоры показывают эффективность PRP, но результаты неоднородны в различных исследованиях. Основные преимущества включают безопасность, биологическую совместимость и многокомпонентное воздействие, что делает PRP перспективным методом в регенеративной медицине.*

Ключевые слова. *PRP, регенеративная медицина, терапия рубцов, абдоминопластика, факторы роста, центрифугирование, тромбоциты, коллаген.*

Baymakov Sayfiddin Risbayevich - D.M.Sc., professor
Tashkent State Medical University (Tashkent, Uzbekistan)
Burkhanov Jasurjon Jamshid ugli - senior lecturer
University of Business and Science (Tashkent, Uzbekistan)

PLATELET-RICH PLASMA (PRP): ITS ROLE IN REGENERATIVE MEDICINE AND POTENTIAL IN SCAR THERAPY

Abstract. *Platelet-Rich Plasma (PRP) is a biological preparation derived from the patient's autologous blood and plays a significant role in regenerative medicine, particularly in scar therapy. This review analyzes current PRP preparation methods, biological mechanisms of action, clinical applications, and significance in abdominoplasty. PRP contains platelet concentration 3-5 times higher than physiological norm and over 30 growth factors, including PDGF, TGF-β, VEGF, IGF, and EGF. The mechanism of PRP action includes angiogenesis stimulation, fibroblast activation, enhanced collagen synthesis, and accelerated epithelialization. Clinical studies demonstrate PRP effectiveness in dermatology, plastic surgery, orthopedics, and dentistry. In abdominoplasty context, PRP application significantly improves aesthetic outcomes. Combined therapy with microneedling, laser therapy, and mesotherapy significantly enhances treatment efficacy. Meta-analyses and reviews show the effectiveness of PRP, but the results are heterogeneous across different studies. Main advantages include safety, biological compatibility, and multi-component action, making PRP a promising method in regenerative medicine.*

Key words: *PRP, regenerative medicine, scar therapy, abdominoplasty, growth factors, centrifugation, platelets, collagen.*

Baymakov Sayfiddin Risbayevich - t.f.d., professor
Toshkent Davlat Tibbiyot Universiteti (Toshkent, O‘zbekiston)
Burxanov Jasurjon Jamshid O‘g‘li - katta o‘qituvchi
“University of Business and Science” universiteti (Toshkent, O‘zbekiston)

TROMBOTSITLARGA BOY PLAZMA (PRP): REGENERATIV TIBBIYOTDAGI O'RNI VA CHANDIQ TERAPIYASIDAGI IMKONIYATLARI

Annotatsiya. *Trombotsitlarga boy plazma (PRP) bemorning avtolog qonidan tayyorlanadigan biologik preparat bo'lib, regenerativ tibbiyotda, ayniqsa chandiq terapiyasida muhim o'rin egallaydi. Ushbu sharh PRP tayyorlashning zamonaviy usullari, ta'sir mexanizmlari, klinik qo'llanilishi va abdominoplastikadagi ahamiyatini*

tahlil qiladi. PRP tarkibida fiziologik me'yordan 3-5 baravar ko'p trombotsitlar va 30 dan ortiq o'sish omillari, jumladan PDGF, TGF-β, VEGF, IGF va EGF mavjud. PRP ta'sir mexanizmi angiogenezni rag'batlantirish, fibroblastlarni faollashtirish, kollagen sintezini kuchaytirish va epitelizatsiyani tezlashtirishni o'z ichiga oladi. Klinik tadqiqotlar PRPning dermatologiya, plastik jarrohlik, ortopediya va stomatologiyada samaradorligini ko'rsatadi. Abdominoplastika kontekstida PRP qo'llash estetik natijalarni sezilarli yaxshilaydi. Mikronidling, lazer terapiyasi va mezoterapiya bilan kombinatsiyalangan davolash samaradorlikni sezilarli oshiradi. Metaanalizlar va sharhlar PRP samaradorligini ko'rsatadi, ammo natijalar turli tadqiqotlarda geterogen bo'lib, baholash murakkab. Asosiy afzalliklar xavfsizlik, biologik muvofiqlik va ko'p komponentli ta'sirni o'z ichiga oladi, bu PRPni regenerativ tibbiyotda istiqbolli usul qiladi.

Kalit so'z: *PRP, regenerativ tibbiyot, chandiq terapiyasi, abdominoplastika, o'sish omillari, sentrifugalash, trombotsitlar, kollagen*

Введение. Регенеративная медицина является одним из наиболее динамично развивающихся направлений современной медицины. Особое место в этой области занимает терапия с использованием богатой тромбоцитами плазмы (PRP), которая представляет собой аутологичный биологический препарат с высокой концентрацией тромбоцитов и факторов роста. Богатая тромбоцитами плазма получается путем центрифугирования собственной крови пациента, что обеспечивает концентрацию тромбоцитов в 3-5 раз превышающую физиологическую норму. В то время как нормальная концентрация тромбоцитов в крови составляет 150-400×10^3/мкл, в PRP этот показатель должен превышать 10 00×10^3/мкл для достижения терапевтического эффекта. Терапевтический потенциал PRP обусловлен содержанием в α-гранулах тромбоцитов более 30 биологически активных веществ, включая факторы роста и цитокины [1,2]. Наиболее значимыми из них являются тромбоцитарный фактор роста (PDGF), трансформирующий фактор роста β (TGF-β), сосудистый эндотелиальный фактор роста (VEGF), инсулиноподобный фактор роста (IGF) и эпидермальный фактор роста (EGF)[9]. Формирование рубцов представляет собой сложный многоэтапный процесс, включающий воспаление, пролиферацию и ремоделирование тканей. Качество окончательного рубца зависит от баланса между синтезом и деградацией коллагена, васкуляризации ткани и восстановления эластических волокон. PRP-терапия воздействует на все ключевые этапы рубцеобразования, что делает ее перспективным методом улучшения эстетических и функциональных результатов заживления ран [4].

Цель работы: Провести комплексный анализ современного состояния применения богатой тромбоцитами плазмы (PRP) в регенеративной медицине с особым акцентом на терапию рубцов и возможности использования в абдоминопластике. Систематизировать данные о биологических механизмах действия PRP, оценить эффективность различных методов приготовления и применения, проанализировать результаты клинических исследований в различных областях медицины.

Материалы и методы: Данный обзор основан на анализе научной литературы, опубликованной в период с 2018 по 2025 год в базах данных PubMed, Scopus и Web of Science. Поиск проводился с использованием ключевых слов: "platelet-rich plasma", "PRP", "scar therapy", "wound healing", "regenerative medicine", "abdominoplasty". В анализ включены рандомизированные контролируемые исследования, систематические обзоры, мета-анализы и клинические наблюдения. Методы приготовления PRP классифицировались согласно международным стандартам. Анализировались различные протоколы центрифугирования, включая одно- и двухэтапные методы. Оценивались клинические результаты применения PRP в различных областях медицины с особым акцентом на терапию рубцов и пластическую хирургию.

Результаты и обсуждение.

Биологические механизмы действия PRP. Регенеративный эффект PRP реализуется через комплексное взаимодействие нескольких биологических процессов. При активации тромбоцитов происходит высвобождение факторов роста и цитокинов из α-гранул, что запускает каскад регенеративных реакций [1,2].

Противовоспалительное действие PRP осуществляется через продукцию противовоспалительных цитокинов, таких как TGF-β и IL-10, которые контролируют воспалительный процесс и предотвращают избыточные воспалительные реакции [9]. Одновременно поддерживается сбалансированная работа с провоспалительными цитокинами для правильного направления первой фазы заживления ран.

Стимуляция ангиогенеза происходит под влиянием VEGF, PDGF и базового фактора роста фибробластов (bFGF). VEGF стимулирует пролиферацию и миграцию эндотелиальных клеток, ускоряя формирование новых капилляров [6]. Исследования показывают улучшение микроциркуляции на 40-60% в областях применения PRP [1].

Активация фибробластов и синтез коллагена значительно усиливаются под воздействием PDGF и TGF-β. Фибробласты под влиянием PRP увеличивают скорость пролиферации в 2-3 раза и усиливают активность синтеза коллагена [9]. Особенно увеличивается синтез коллагена I типа, что повышает прочность ткани.

Процесс эпителизации ускоряется под влиянием EGF и фактора роста кератиноцитов (KGF). Эти факторы увеличивают скорость деления кератиноцитов и стимулируют их миграцию, что приводит к быстрому и качественному заживлению раневой поверхности.

Молекулярные механизмы. На молекулярном уровне действие PRP осуществляется через активацию внутриклеточных сигнальных путей. Основными мишенями являются пути PI3K/Akt, MAPK и JAK/STAT. Через эти пути регулируется клеточный цикл, снижается апоптоз и усиливаются регенеративные процессы [6].

Современные протеомные исследования выявили в составе PRP более 200 белковых молекул [2]. Особое значение имеют структурные белки фибронектин, витронектин и тромбоспондин, участие которых в процессах заживления ран и формирования рубцов получило научное обоснование.

Недавние исследования показали, что действие PRP осуществляется не только через факторы роста, но и через экзосомы - наноразмерные везикулы, участвующие в межклеточной сигнализации [9]. Экзосомы усиливают связь между клетками, активируют регенеративные процессы длительное время и ускоряют заживление ран.

Влияние на рубцеобразование. Значение PRP в терапии рубцов определяется способностью регулировать соотношение коллагена I/III типов. В нормальной коже соотношение коллагена I/III составляет 4:1, тогда как в рубцовой ткани это соотношение нарушается [9]. Высокая концентрация TGF-β3 в составе PRP стимулирует синтез коллагена III и предотвращает избыточное накопление коллагена I типа.

PRP эффективен в профилактике гипертрофических рубцов и келоидов. Через активацию ферментов MMP-1 и MMP-9 PRP предотвращает избыточное накопление коллагена [6]. Изменение соотношения TGF-β1/TGF-β3 снижает фиброзные процессы. Клинические исследования показывают значительное улучшение качества рубцов при применении PRP [3,4].

Улучшение васкуляризации тканей осуществляется через VEGF-компонент PRP. Хорошее кровоснабжение повышает качество рубцовой ткани и улучшает ее цвет, текстуру и эластичность [9]. Исследования микроангиопатии показывают более высокую плотность капилляров вокруг рубцов, леченных PRP [1].

Клинические применения. В дерматологической практике PRP широко применяется для лечения различных типов рубцов. Мета-анализ Cruciani и соавторов подтвердил эффективность PRP в лечении постакне рубцов [3]. При применении PRP в качестве монотерапии наблюдается значительное улучшение состояния рубцов. Комбинирование PRP с микронидлингом повышает эффективность лечения.

В пластической хирургии PRP особенно активно применяется после операций фейслифтинга, маммопластики и абдоминопластики [5]. Систематический обзор Hasiba-Pappas и соавторов показал значительное улучшение качества рубцов при применении PRP по сравнению с контрольными группами [4].

В ортопедической хирургии PRP используется для лечения повреждений сухожилий и связок. Исследования подтверждают эффективность PRP в лечении различных ортопедических патологий с улучшением функциональных результатов.

В стоматологии PRP используется в имплантологии и пародонтальной хирургии, ускоряя регенерацию костной ткани вокруг имплантатов.

Применение в абдоминопластике. Абдоминопластика является одним из наиболее распространенных видов реконструктивной хирургии передней брюшной стенки, где послеоперационное рубцеобразование представляет основную эстетическую проблему [7]. Особенности рубцов после абдоминопластики обусловлены большим объемом резекции тканей и высоким напряжением.

Методы применения PRP в абдоминопластике разнообразны и включают ирригацию тканей PRP перед ушиванием во время операции, инъекции PRP в течение 1-2 недель после операции, а также комбинированную терапию с PRP на поздних этапах формирования рубца [4,5].

Проспективные исследования пациентов после абдоминопластики показали, что применение PRP значительно улучшает качество рубцов. В группе с применением PRP наблюдается существенное уменьшение ширины и высоты рубцов по сравнению с контрольной группой.

Комбинированные подходы. Комбинированный подход оказывается особенно эффективным [3,8]. Сочетание PRP с микронидлингом и лазерной терапией показывает значительное улучшение качества рубцов.

Комбинация PRP с микронидлингом особенно эффективна. Микронидлинг создает мик-

роканалы в коже, стимулирует активность фибробластов и усиливает синтез коллагена [3]. Через эти микроканалы обеспечивается эффективное проникновение компонентов PRP в более глубокие ткани, что значительно углубляет и ускоряет процесс регенерации.

Перспективной является комбинация PRP с фракционной лазерной терапией. Фракционный CO_2-лазер целенаправленно повреждает поверхностные и средние слои кожи, активируя синтез коллагена и запуская процессы обновления [8]. PRP в фазе обновления после лазерного воздействия через факторы роста ускоряет клеточную пролиферацию и ангиогенез.

Сочетание PRP с мезотерапией усиливает их регенеративный эффект. Гиалуроновая кислота, витамины и аминокислоты в составе мезотерапии повышают метаболическую активность клеток и усиливают воздействие факторов роста PRP на клетки [9].

Преимущества и ограничения. Основными преимуществами PRP являются безопасность как аутологичного продукта с минимальным риском аллергических реакций и инфекций [4,6], отсутствие риска заражения гепатитом или ВИЧ, поскольку используется собственная кровь пациента, возможность одновременного воздействия на несколько биологических процессов [9], и простота применения путем инъекций без необходимости больших хирургических вмешательств.

Ограничения включают проблемы стандартизации методов приготовления и применения PRP [4,5], индивидуальную вариабельность состава и концентрации факторов роста [2,6], зависимость эффективности от возраста пациента и сопутствующих заболеваний, а также необходимость повторных процедур для достижения оптимального результата [8].

Современные достижения и перспективы. Комплексные мета-анализы последних лет подтверждают эффективность PRP-терапии в лечении рубцовых тканей [3,4]. В области молекулярной биологии установлено, что действие PRP осуществляется не только через факторы роста, но и через экзосомы - нановезикулы, участвующие в межклеточной сигнализации и длительной активации регенеративных процессов.

Разработаны инновационные подходы, включая технологии активации PRP с помощью ультразвука, лазера и электромагнитного поля вместо традиционных активаторов на основе хлорида кальция или тромбина [6,9]. Эти методы увеличивают высвобождение факторов роста из PRP.

Разработаны комбинированные биологические препараты на основе PRP, содержащие гиалуроновую кислоту, коллаген и витамины, которые продлевают эффективность PRP и обеспечивают многокомпонентную регенерацию. Внедряются новые подходы к разработке индивидуальных протоколов дозирования [6].

Ведутся работы по усилению действия PRP с помощью нанотехнологий, включая технологии удержания и медленного высвобождения факторов роста в тканях с помощью наночастиц [9].

Заключение. Богатая тромбоцитами плазма представляет собой одно из основных направлений современной регенеративной медицины с большими перспективами в терапии рубцов. Биологические механизмы действия PRP - усиление ангиогенеза, активности фибробластов, синтеза коллагена и эпителизации под влиянием факторов роста - значительно улучшают качество рубцов.

Клинический опыт подтверждает эффективность PRP в различных областях медицины. Особенно в контексте абдоминопластики применение PRP показывает значительное улучшение эстетических результатов. Основные преимущества PRP - безопасность, биологическая совместимость и многокомпонентное действие - делают его перспективным методом в терапии рубцов. Однако существуют ограничения, такие как проблемы стандартизации и индивидуальная вариабельность.

Комбинация с микронидлингом, лазерной терапией и другими регенеративными методами значительно повышает эффективность PRP. Последние исследования позволяют глубже понимать молекулярные механизмы и разрабатывать новые методы применения.

В будущем стандартизированные протоколы PRP, персонализированные подходы и инновационные комбинации откроют новые возможности в терапии рубцов. Это создает возможность вывести эстетические результаты в пластической хирургии, особенно в области абдоминопластики, на новый уровень.

ЛИТЕРАТУРА

1. Lee HW, Choi KH, Kim JY, Kim KO, Haotian B, Yuxuan L, Noh KC. Proteomic Classification and Identification of Proteins Related to Tissue Healing of Platelet-Rich Plasma. Clin Orthop Surg. 2020 Mar;12(1):120-129. https://doi.org/10.4055/cios.2020.12.1.120

2. Miroshnychenko O, Chalkley RJ, Leib RD, Everts PA, Dragoo JL. Proteomic analysis of platelet-rich and platelet-poor plasma. Regen Ther. 2020 Nov

1;15:226-235. doi: 10.1016/j.reth.2020.09.004. PM ID: 33426223; PMCID: PMC7770407.

3. Cruciani M, Masiello F, Pati I, Pupella S, De Angelis V. Platelet rich plasma use for treatment of acne scars: an overview of systematic reviews. Blood Transfus. 2024 May;22(3):226-238. doi: 10.2450/BloodTransfus.536. Epub 2023 Sep 6. PMID: 37677095; PMCID: PMC11073618.

4. Hasiba-Pappas SK, Tuca AC, Luze H, Nischwitz SP, Zrim R, Geißler JCJ, Lumenta DB, Kamolz LP, Winter R. Platelet-Rich Plasma in Plastic Surgery: A Systematic Review. Transfus Med Hemother. 2022 May 2;49(3):129-142. doi: 10.1159/000524353. PMID: 35813605; PMCID: PMC9210026.

5. Sommeling CE, Heyneman A, Hoeksema H, Verbelen J, Stillaert FB, Monstrey S. The use of platelet-rich plasma in plastic surgery: a systematic review. J Plast Reconstr Aesthet Surg. 2013 Mar;66(3):301-11. doi: 10.1016/j.bjps.2012.11.009. Epub 2012 Dec 11. PMID: 23238115.

6. Everts, P.; Onishi, K.; Jayaram, P.; Lana, J.F.; Mautner, K. Platelet-Rich Plasma: New Performance Understandings and Therapeutic Considerations in 2020. Int. J. Mol. Sci.2020,21,7794. https://doi.org/10.3390/ijms21207794

7. Sophie K. Hasiba-Pappas et al, Platelet-Rich Plasma in Plastic Surgery: A Systematic Review DOI: 10.1159/000524353

8. Atiyeh, B., Oneisi, A. & Ghieh, F. Platelet-Rich Plasma Facial Rejuvenation: Myth or Reality?. Aesth Plast Surg 45, 2928–2938 (2021). https://doi.org/10.1007/s00266-021-02300-9

9. Everts, P.A.; Lana, J.F.; Alexander, R.W.; Dallo, I.; Kon, E.; Ambach, M.A.; van Zundert, A.; Podesta, L. Profound Properties of Protein-Rich, Platelet-Rich Plasma Matrices as Novel, Multi-Purpose Biological Platforms in Tissue Repair, Regeneration, and Wound Healing. Int. J. Mol. Sci. 2024, 25, 7914. https://doi.org/10.3390/ijms25147914