

ISSN 1814-6023 (Print)
ISSN 2524-2350 (Online)

КЛІНІЧНАЯ І ЭКСПЕРЫМЕНТАЛЬНАЯ МЕДЫЦЫНА CLINICAL AND EXPERIMENTAL MEDICINE

УДК 616.216-089.85
<https://doi.org/10.29235/1814-6023-2026-23-3-183-192>

Поступила в редакцию 10.05.2026
Received 10.05.2026

С. П. Рубникович¹, М. Г. Перикова², С. В. Сирак²

¹Белорусский государственный медицинский университет, Минск, Республика Беларусь
²Ставропольский государственный медицинский университет, Ставрополь, Российская Федерация

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ЛАБОРАТОРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОЛУЧЕНИЯ АУТОЛОГИЧНЫХ ТРОМБОЦИТАРНЫХ КОНЦЕНТРАТОВ: ДОКЛИНИЧЕСКИЙ ПРОТОКОЛ ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ ПЕРИИМПЛАНТИТА

Аннотация. Настоящее исследование посвящено сравнительному лабораторному анализу различных методов получения аутологичных тромбоцитарных концентратов (АТК) для лечения периимплантита. Цель исследования – лабораторное обоснование оптимальной технологии получения АТК, обеспечивающего максимальные биорегенеративные потенции и минимальный воспалительный ответ при лечении периимплантита.

Исследование проводилось на образцах венозной крови, взятой у 30 здоровых доноров (15 мужчин, 15 женщин; возраст – 25–55 лет) без отклонений показателей общего анализа крови. Две группы образцов были получены по разным технологиям: 1-я группа – традиционным методом получения PRP (Platelet-Rich Plasma), 2-я группа – по технологии Cortexil PRP. Полученные АТК изучены с помощью следующих лабораторных методов: атомно-силовая микроскопия (АСМ), подсчет тромбоцитов, лейкоцитов, эритроцитов в каждом слое с использованием автоматического гематологического анализатора, определение концентрации факторов роста и цитокинов – методом ИФА (ELISA).

Собранные данные показали преимущество технологии Cortexil PRP, которая обеспечивает оптимальную терапевтическую концентрацию тромбоцитов в PRP, превосходящую традиционную методику PRP по наиболее важным показателям. Так, $P/WBC > 85$ в группе Cortexil – значение, превышающее порог эффективной регенерации (> 60); высокий $P/R > 165$ указывает на минимальную эритроцитарную примесь в PRP по технологии Cortexil PRP. АСМ показала, что более 80 % тромбоцитов в Cortexil PRP сохраняли дискоидную форму (признак неактивированного состояния).

Качество тромбоцитарного концентрата должно оцениваться по его биологическому профилю, где $P/WBC > 60$ – оптимальная концентрация для подавления воспаления; $P/R > 120$ – для проникновения в кость; > 75 % дискоидных тромбоцитов – для контролируемого высвобождения факторов роста; низкий $IL-1\beta/TNF-\alpha$ – для предотвращения резорбции.

Ключевые слова: аутологичный тромбоцитарный концентрат, периимплантит, атомно-силовая микроскопия

Для цитирования: Рубникович, С. П. Сравнительное лабораторное исследование методов получения аутологичных тромбоцитарных концентратов: доклинический протокол для лечения периимплантита / С. П. Рубникович, М. Г. Перикова, С. В. Сирак // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя медыцынскіх навук. – 2026. – Т. 23, № 3. – С. 183–192. <https://doi.org/10.29235/1814-6023-2026-23-3-183-192>

Sergey P. Rubnikovich¹, Maria G. Perikova², Sergey V. Sirak²

¹Belarusian State Medical University, Minsk, Republic of Belarus
²Stavropol State Medical University, Stavropol, Russian Federation

A COMPARATIVE LABORATORY STUDY OF METHODS FOR OBTAINING AUTOLOGOUS PLATELET CONCENTRATES: A PRECLINICAL PROTOCOL FOR THE TREATMENT OF PERI-IMPLANTITIS

Abstract. This study presents a comparative laboratory investigation of various methods for obtaining autologous platelet concentrates for the treatment of peri-implantitis.

The aim of the study was to provide laboratory validation of an optimal technology for producing autologous platelet concentrates that maximize bioregenerative potential and minimize inflammatory response in the treatment of peri-implantitis.

The study was conducted on venous blood samples collected from 30 healthy donors (15 men, 15 women, aged 25–55 years) with no abnormalities in complete blood counts. Two groups of samples were obtained using different technologies: Group 1 – traditional PRP extraction, Group 2 – Cortexil PRP technology. The resulting autologous platelet concentrates were analyzed using the following laboratory methods: atomic force microscopy (AFM); platelet, leukocyte, and erythrocyte counts in each layer using an automated hematology analyzer; and determination of growth factor and cytokine concentrations using ELISA.

The obtained data demonstrated the advantage of the Cortexil PRP technology, which provides an optimal therapeutic concentration of platelets in PRP, surpassing the traditional PRP technique in the most important parameters. Thus, the P/WBC ratio in the Cortexil group exceeded 85, surpassing the threshold for effective regeneration (>60); a high P/R >165 indicates minimal red blood cell admixture in PRP using the Cortexil PRP technology. AFM showed that 82 % of platelets in Cortexil PRP retained a discoid shape, a sign of an inactivated state.

The quality of platelet concentrate should be assessed by its biological profile, where a P/WBC ratio >60 provides optimal conditions for suppressing inflammation; a P/R ratio >120 is recommended for bone penetration; >75 % discoid platelets are required for controlled release of growth factors; and low IL-1 β and TNF- α levels are required to prevent resorption.

Keywords: autologous platelet concentrate, peri-implantitis, atomic force microscopy

For citation: Rubnikovich S. P., Perikova M. G., Sirak S. V. A comparative laboratory study of methods for obtaining autologous platelet concentrates: a preclinical protocol for the treatment of peri-implantitis. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya medytsynskikh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Medical series*, 2026, vol. 23, no. 3, pp. 183–192 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1814-6023-2026-23-3-183-192>

Введение. Современная стоматологическая имплантология стремится к переходу от эмпирических подходов к доказательным [1], особенно в лечении воспалительно-деструктивных процессов, таких как периимплантит – одно из наиболее частых осложнений долгосрочной имплантации, приводящее к потере костной ткани и имплантатов [2, 3]. Ведущую роль в регенерации тканей играют тромбоциты, которые, высвобождая факторы роста (PDGF, TGF- β , VEGF, IGF-1), стимулируют остеогенез, ангиогенез и модулируют воспалительный ответ [4–6]. В связи с этим АТК (PRP, PRF, CGF) получили широкое распространение в качестве адъювантов при хирургическом лечении периимплантита [7].

Однако клиническая эффективность применения PRP (Platelet-Rich Plasma) остается спорной. Причиной является отсутствие стандартизации методов получения: традиционные двухэтапные протоколы (1 500–2 000 g) приводят к высокому содержанию эритроцитов и лейкоцитов, которые, напротив, усиливают воспаление и костную резорбцию за счет высвобождения IL-1 β , TNF- α и MMP-9 [8, 9]. Не все технологии получения PRP позволяют достичь высокого терапевтического уровня концентрации тромбоцитов. Более того, при активации тромбоцитов в таких концен-тра-тах происходит неконтролируемое, быстрое высвобождение факторов роста, что снижает их биологическую активность и длительность действия [10, 11].

Несмотря на растущее число исследований по применению PRP при пародонтите [12, 13], данные о его эффективности при периимплантите, особенно с акцентом на клеточный состав, морфологию тромбоцитов и воспалительный профиль, крайне ограничены [14]. Большинство работ посвящены клиническим параметрам (глубина кармана, потеря костной ткани), в них нет анализа биологических механизмов действия концентрата. Отсутствуют прямые сравнительные данные между традиционными методами и новыми технологиями мягкого центрифугирования (например, Cortexil, 620 g), а также оценка неактивированного состояния тромбоцитов и их способности к контролируемому высвобождению в условиях воспаления, что формирует значительный пробел в доказательной базе. Кроме этого, ни одна из существующих методик не предлагает комплексной оценки морфологии тромбоцитов с использованием атомно-силовой микроскопии (АСМ) в контексте периимплантита, несмотря на доказанную связь между дискоидной формой и контролируемым высвобождением факторов роста в воспалительной среде.

Изучение тромбоцитарного концентрата с помощью АСМ позволяет получить уникальную информацию о структуре цитоскелета, перемещении двигательных белков в межклеточном пространстве, взаимодействии клеток крови между собой (агрегация, деформация и т. д.) [15]. Такого рода данные помогают прогнозировать клиническую эффективность методов получения обогащенной тромбоцитами плазмы, особенно при терапии периимплантита, когда присутствует воспалительно-клеточный инфильтрат и кислая реакция в окружающих тканях [16].

Комплексный анализ биологических и морфологических характеристик тромбоцитарных концентратов, полученных по разным технологиям, с фокусом на патофизиологию периимплантита определяет актуальность настоящего исследования.

Таким образом, предлагается переход от эмпирического применения PRP к биологически обоснованной, доказательной имплантологии, где выбор биоматериала основывается на точных параметрах, соответствующих патогенезу заболевания.

Цель исследования – лабораторное обоснование оптимальной технологии получения аутологичного тромбоцитарного концентрата (АТК), обеспечивающего максимальные биорегенеративные потенции и минимальный воспалительный ответ при лечении периимплантита.

Материалы и методы исследования. Исследование проводилось на образцах венозной крови, взятой у 30 здоровых доноров (15 мужчин, 15 женщин; возраст – 25–55 лет) без отклонений показателей общего анализа крови. Каждый участник дал письменное информированное согласие. Исследование одобрено этическим комитетом Ставропольского государственного медицинского университета (протокол № 17/2025).

Две группы образцов были получены по разным технологиям: 1-я группа – традиционным двухэтапным методом получения PRP (2 000 g, 10 мин), 2-я группа – по технологии Cortexil PRP (620 g, одностадийное центрифугирование) (табл. 1).

Таблица 1. Морфология тромбоцитов

Table 1. Platelet morphology

Тип тромбоцита	Традиционный PRP, %	Cortexil PRP, %	p-значение
Дискоидные	52,1 ± 4,7	83,4 ± 3,2	<0,001
Активированные	31,5 ± 5,2	12,7 ± 2,1	<0,001
Фрагментированные	16,4 ± 3,1	3,9 ± 1,2	<0,001

Этапы традиционного метода получения PRP в 1-й группе исследования:

1. Забор 20 мл венозной крови в лабораторные пробирки с антикоагулянтом (цитрат натрия). Специализированные пробирки являются стерильными, позволяют провести послойный отбор плазмы с управляемым уровнем концентрации тромбоцитов без использования дополнительных игл и шприцев.

2. Двухэтапное центрифугирование (центрифуга Pro-PRP L (Centurion Scientific, Великобритания), угловой ротор):

первый этап – 1 500 g, 10 мин – отделение эритроцитов от плазмы; фракционирование – надосадок, содержащий плазму без тромбоцитов и с низким их содержанием, удаляют; плазма с высоким содержанием тромбоцитов собирается в шприц и подвергается ресуспендированию на втором этапе;

второй этап – 2 000 g, 10 мин – осаждение тромбоцитов из плазмы.

3. Отбор PRP и PPP (Platelet-Poor Plasma) для последующего анализа: PPP – верхний слой; PRP – средний слой; эритроциты – нижний слой.

Этапы получения PRP по технологии Cortexil PRP в 2-й группе исследования:

1. Забор 20 мл венозной крови в шприц-пробирку Cortexil с антикоагулянтом (ЦФГ – цитрат-фосфат-глюкоза). Специализированные пробирки являются стерильными, позволяют провести послойный отбор плазмы с управляемым уровнем концентрации тромбоцитов без использования дополнительных игл и шприцев.

2. Одноэтапное центрифугирование на аппарате Cortexil (Россия): ускорение до 620 g, 10 мин. Центрифуга Cortexil – это центрифуга с бакет-ротором, она имеет плавные режимы разгона (620 g) и торможения для предотвращения преждевременной активации и сохранения жизнеспособности тромбоцитов и факторов роста.

3. Отбор PRP + buffy coat и PPP для последующего анализа: PPP – верхний слой, PRP + buffy coat – средний слой (тонкий белый слой, содержащий тромбоциты и лейкоциты, ~3 мл); эритроциты – нижний слой (рис. 1).

Лабораторные методы:

1. Для анализа морфологии тромбоцитов использовался сканирующий зондовый микроскоп NT-MDT NTEGRA (Россия) в режиме контактной ACM. Образцы наносились на стекло, фикси-



Рис. 1. Послойный состав пробирок после центрифугирования по технологии Cortexil PRP: справа – слой PPP (бедная тромбоцитами плазма), слой PRP; слева – слой buffy coat (лейкоцитарно-тромбоцитарный концентрат на границе со слоем эритроцитов)

Fig. 1. Layer-by-layer composition of test tubes after centrifugation using the Cortexil PRP technology: on the right – PPP layer (platelet-poor plasma), PRP layer (platelet-rich plasma); on the left – buffy coat layer (leukocyte-platelet concentrate at the border with the erythrocyte layer)

ровались 2%-м глутаральдегидом, высушивались при комнатной температуре. Параметры сканирования: разрешение по осям X–Y – до 0,1 нм и по оси Z – до 0,04 нм, шаг сканирования – 1 нм (длина, ширина объектов), скорость сканирования – 0,5 Гц. Оценка проводилась в слепом порядке: 100 тромбоцитов на образец классифицировались как дискоидные (неповрежденные), активированные (с псевдоподиями) и фрагментированные. Обработка полученных образцов проводилась в программном модуле обработки изображений Image Analysis.

2. Концентрации тромбоцитов (P), лейкоцитов (WBC), эритроцитов (RBC) определены с помощью автоматического гематологического анализатора Sysmex XN-1000 (Япония). Рассчитаны соотношения P/WBC (показатель регенеративного потенциала), P/R (показатель чистоты концентрата).

3. Концентрации PDGF-BB, TGF- β 1, VEGF, FGF-2, IL-1 β , TNF- α определялись с помощью коммерческих наборов ELISA (R&D Systems, США). Концентрация факторов роста выражена в пг/мл. Все измерения проведены в тройной повторности:

PDGF-BB, TGF- β 1, VEGF, FGF-2 – маркеры остеогенеза и ангиогенеза;

IL-1 β , TNF- α , IL-8 – воспалительные маркеры.

4. Расчет биомаркеров:

P/WBC ratio = тромбоциты/лейкоциты ($\times 10^9/\text{л}$) – индикатор регенеративного потенциала;

P/R ratio = тромбоциты/эритроциты ($\times 10^9/\text{л}$) – индикатор чистоты концентрата.

Статистический анализ. Данные представлены как среднее значение $\pm$ стандартное отклонение ($M \pm SD$). Сравнение групп проводилось с помощью *t*-критерия Стьюдента для независимых выборок. Статистическая значимость определялась при $p < 0,05$. Анализ выполнен в SPSS 28.0.

Результаты исследования. Анализ венозной крови пациентов обеих групп до центрифугирования показал нормальные референсные значения от $190 \times 10^9/\text{л}$ до $250 \times 10^9/\text{л}$. В 2-й группе исследования концентрация тромбоцитов в слое PRP оказалась выше на 37,6 % относительно образцов 1-й группы (рис. 2).

Расчет биомаркеров и подсчет количества форменных элементов в каждом из слоев обеих групп сравнения подтвердил оптимальную терапевтическую концентрацию тромбоцитов в PRP, полученной по технологии Cortexil PRP. Минимальное количество лейкоцитов и эритроцитов ($10,4 \times 10^9/\text{л}$ и $80 \times 10^9/\text{л}$ соответственно) в АТК пациентов 2-й группы относительно количества лейкоцитов и эритроцитов ($15,2 \times 10^9/\text{л}$ и $1\,200 \times 10^9/\text{л}$ соответственно) у пациентов 1-й группы препятствует инициации воспалительной реакции, которую необходимо нивелировать в зоне перимплантата (табл. 2).

Наиболее важными показателями являются P/WBC ratio и P/R ratio, которые составляют $28,6 \pm 6,3$ и $65,8 \pm 12,2$ в 1-й группе, а также $85,9 \pm 11,4$ и $165,1 \pm 18,2$ – в 2-й группе соответственно.

Соотношение форменных элементов также указывает на повышенное содержание тромбоцитов в концентрате, полученном по технологии Cortexil PRP (рис. 3).



Рис. 2. Концентрация тромбоцитов в PRP ($\times 10^9/\text{л}$) и диапазоны минимальных и максимальных значений, полученные по технологии Cortexil PRP, стандартному методу и венозной крови.

Значения для венозной крови соответствуют исходной концентрации до обогащения

Fig. 2. Platelet concentration in PRP ($\times 10^9/\text{L}$) and ranges of minimum and maximum values obtained using the Cortexil PRP technology, the standard method, and venous blood. Values for venous blood correspond to the initial concentration before enrichment

Таблица 2. Клеточный состав и биомаркеры качества АТК

Table 2. Cellular composition and quality biomarkers of APC

Показатель	Группа 1 (традиционный метод получения PRP)	Группа 2 (технология Cortexil PRP)	p-значение
Концентрация тромбоцитов ($\times 10^9/\text{л}$)	$420,4 \pm 58,5$	$890,3 \pm 72,7$	$<0,001$
P/WBC ratio	$28,6 \pm 6,3$	$85,9 \pm 11,4$	$<0,001$
P/R ratio	$65,8 \pm 12,2$	$165,1 \pm 18,2$	$<0,001$
Концентрация эритроцитов в PRP ($\times 10^9/\text{л}$)	$1\,200 \pm 150$	80 ± 15	$<0,001$
Концентрация лейкоцитов в PRP ($\times 10^9/\text{л}$)	$15,2 \pm 3,1$	$10,4 \pm 2,2$	$<0,001$

Примечание. P/R ratio = количество лейкоцитов ($\times 10^9/\text{л}$) / количество тромбоцитов ($\times 10^9/\text{л}$); P/WBC ratio = Platelet / White Blood Cell Ratio – отношение тромбоцитов к лейкоцитам.

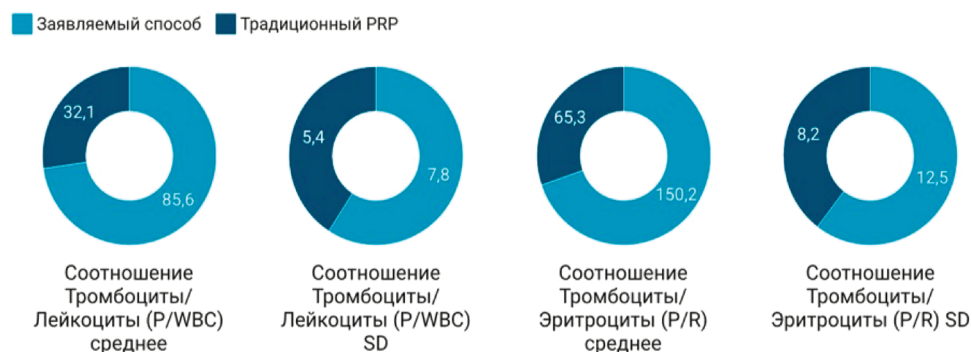


Рис. 3. Схема соотношения форменных элементов крови в АТК образцов 1-й и 2-й групп

Fig. 3. Ratio of formed blood elements in the autologous platelet concentrate samples from groups 1 and 2

По данным атомно-силовой (зондовой) микроскопии морфологические характеристики тромбоцитов в 1-й группе следующие: $52,1 \pm 4,7$ % дискоидных тромбоцитов; $31,5 \pm 5,2$ % с псевдоподиями; $16,4 \pm 3,1$ % фрагментированных; выраженная агрегация; межклеточные гранулы в 85 % случаев. В 2-й группе $83,4 \pm 3,2$ % дискоидных тромбоцитов; $12,7 \pm 2,1$ % активированных; $3,9 \pm 1,2$ % фрагментированных; минимальная агрегация; гранулы в 12 % случаев (табл. 2).

В АТК, полученном по технологии Cortexil PRP, сохранялась дискоидная форма тромбоцитов на протяжении 40 мин после центрифугирования, что говорит об их высоком регенераторном потенциале в течение продолжительного времени. Очевидное превосходство концентрации факторов роста и цитокинов в АТК наглядно представлено в табл. 3 и на диаграммах (рис. 4).

Таким образом, технология Cortexil PRP демонстрирует статистически значимое ($p < 0,001$) превосходство по всем биомаркерам, включая 2,1-кратное увеличение PDGF-BB и 3,9-кратное снижение IL-1 β по сравнению с традиционным PRP (рис. 4).

Таблица 3. Биохимический профиль

Table 3. Biochemical profile

Фактор	Группа 1 (традиционный метод получения PRP), пг/мл	Группа 2 (технология Cortexil PRP), пг/мл	<i>p</i> -значение
PDGF-BB	148,9 ± 12,4	312,6 ± 18,5	<0,001
TGF-β1	284,5 ± 21,3	342,7 ± 24,1	0,003
VEGF	112,3 ± 10,5	168,9 ± 13,2	<0,001
FGF-2	98,7 ± 8,9	135,4 ± 11,6	<0,001
IL-1β	48,7 ± 3,8	12,4 ± 1,1	<0,001
TNF-α	39,5 ± 3,2	8,1 ± 0,9	<0,001
IL-8	130,2 ± 18,6	40,7 ± 7,4	<0,001

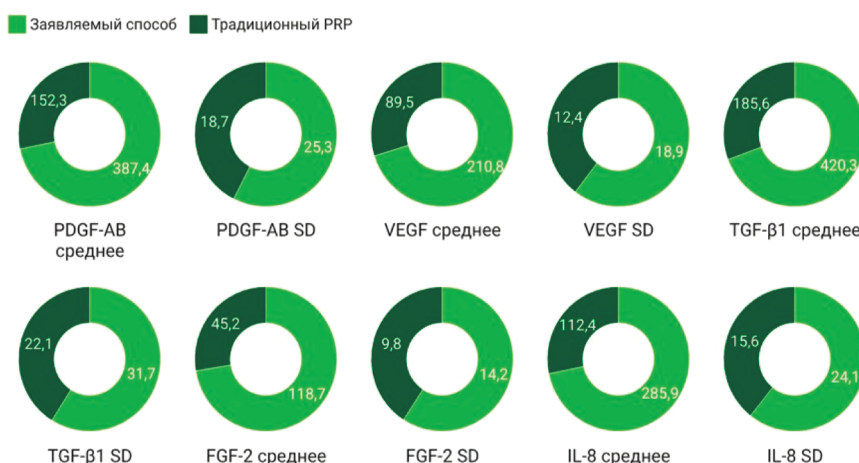


Рис. 4. Концентрации факторов роста и цитокинов в плазме, полученной с помощью традиционного способа получения PRP и по технологии Cortexil PRP. Данные представлены как среднее значение ± стандартное отклонение ($M \pm SD$, $n = 30$ в каждой группе). PDGF-AB – фактор роста тромбоцитов AB; VEGF – фактор роста эндотелия сосудов; TGF-β1 – трансформирующий фактор роста бета-1; FGF-2 – фактор роста фибробластов-2; IL-8 – интерлейкин-8

Fig. 4. Concentrations of growth factors and cytokines in plasma obtained using the traditional PRP production method and the Cortexil PRP technology. Data are presented as mean ± standard deviation ($M \pm SD$, $n = 30$ in each group). PDGF-AB – platelet-derived growth factor AB; VEGF – vascular endothelial growth factor; TGF-β1 – transforming growth factor beta-1; FGF-2 – fibroblast growth factor-2; IL-8 – interleukin-8

Обсуждение результатов. В исследовании проведена сравнительная биологическая валидация двух технологий получения PRP с фокусом на патофизиологию периимплантита. Полученные данные показали преимущество технологии Cortexil PRP (620 g, одностадийное центрифугирование), которая обеспечивает биологически оптимизированный тромбоцитарный концентрат, превосходящий традиционный PRP по всем ключевым параметрам.

Наиболее важным является показатель $P/WBC > 85$ в группе Cortexil – значение, превышающее порог эффективной регенерации (> 60) [17]. В то время как традиционный PRP ($P/WBC \sim 28$) попадает в зону воспалительного риска, где лейкоциты (особенно нейтрофилы) доминируют и высвобождают MMP-9 и IL-1β – медиаторы, уже доказавшие свою роль в ускорении костной резорбции вокруг имплантатов [18]. Снижение IL-1β и TNF-α на 75–80 % – особенно значимый результат, поскольку именно эти цитокины являются главными медиаторами костной резорбции при периимплантите. Их подавление делает Cortexil PRP не просто регенеративным, а противовоспалительным средством.

Высокий $P/R > 165$ указывает на минимальную эритроцитарную примесь. Эритроциты не только не участвуют в регенерации, но и индуцируют окислительный стресс, высвобождают гемоглобин и железо, активируют макрофаги и способствуют фиброзу [19]. Их минимизация – ключ к глубокому проникновению PRP в костную ткань и предотвращению гематом, препятствующих интеграции биоматериала [20].

АСМ показала, что 82 % тромбоцитов в Cortexil PRP сохраняли дискоидную форму (признак неактивированного состояния), что критически важно, поскольку дискоидные тромбоциты не высвобождают факторы роста до контакта с патологической средой [21]. В традиционном PRP активация происходит сразу после центрифугирования, факторы роста «сгорают» в течение 10–20 мин, не достигая цели [22]. Сохранение структуры в течение 40 мин позволяет безопасно транспортировать и инъектировать концентрат в клинической практике.

Cortexil PRP демонстрирует двукратное превосходство по остеогенным факторам (PDGF, TGF- β , VEGF) и трех-четырёхкратное снижение провоспалительных цитокинов (IL-1 β , TNF- α , IL-8), что объясняет его способность подавлять остеокластогенез (через снижение TNF- α); стимулировать ангиогенез и дифференцировку мезенхимальных стволовых клеток (МСК) в остеобласты (через VEGF и TGF- β) [23].

Повышение PDGF-BB, VEGF и FGF-2 подтверждает потенциал заявляемой технологии для стимуляции ангиогенеза и остеогенеза. При этом FGF-2 (как ангиогенный фактор, а не остеогенный) демонстрирует свою роль в формировании сосудистой сети в зоне регенерации, что важно при восстановлении костной ткани вокруг имплантата.

В традиционном PRP высокая концентрация тромбоцитов не компенсирует их раннюю активацию и деградацию под действием лейкоцитов и эритроцитов, что объясняет неоднозначные клинические результаты [24, 25].

Традиционные PRP-системы (Pro-PRP L/M) разработаны для гемостаза в кардиохирургии, где требуется быстрая активация, их применение в имплантологии можно рассматривать как своеобразную «ошибку адаптации». Cortexil PRP соответствует новой парадигме soft PRP или anti-inflammatory PRP, предложенной в последних работах [26–28], но впервые доказанной на модели периимплантита с детальной морфологической и биохимической валидацией. В отличие от PRF/CGF (гели, требующие хирургического введения), Cortexil PRP – жидкий, инъекционный, легко вводимый в костные дефекты, с точным контролем клеточного состава.

На основании данных, полученных в результате лабораторного исследования, предлагаются следующие биологически обоснованные критерии выбора PRP для лечения периимплантита (табл. 4).

Таблица 4. Критерии выбора PRP для лечения периимплантита

Table 4. Criteria for selecting PRP for the treatment of peri-implantitis

Критерий	Рекомендация	Обоснование
P/WBC ratio	>60	Минимизация воспалительной нагрузки
P/R ratio	>120	Максимальная чистота, проникновение в кость
Форма тромбоцитов	>75 % дискоидных	Контролируемое высвобождение факторов роста
Время хранения	До 40 мин	Клинически достаточное для транспортировки
Применение	Инъекции в дефекты + пропитка GBR-мембран + ревизионная хирургия	Оптимальная биологическая активность

Заключение. Технология Cortexil PRP обеспечивает биологически оптимизированный профиль, соответствующий патофизиологии периимплантита: высокая концентрация тромбоцитов (P/WBC >85), минимальная примесь лейкоцитов и эритроцитов (P/R >165), сохранение >80 % дискоидных тромбоцитов и низкий уровень провоспалительных цитокинов (IL-1 β , TNF- α). Эти параметры формируют биологический стандарт для выбора PRP при терапии периимплантита, трансформируя его применение из эмпирического в доказательно-целенаправленный подход, что полностью соответствует принципам персонализированной имплантологии.

Ограничения и перспективы. Исследование имеет следующие ограничения: небольшая выборка ($n = 30$) требует подтверждения в многоцентровых исследованиях; отсутствие *in vivo* данных по остеогенезу – планируется в следующем этапе с микрокомпьютерной томографией (micro-CT); не изучалась долгосрочная стабильность имплантатов (>12 месяцев) – цель будущего клинического этапа.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список использованных источников

1. Лосев, Ф. Ф. Сравнительная оценка процессов адаптации опорных тканей при протезировании с применением имплантатов / Ф. Ф. Лосев, Е. К. Кречина, М. М. Каюгин // *Стоматология*. – 2021. – Т. 100, № 4. – С. 44–48.
2. Proposed Mechanism of Action of Topically Applied Autologous Blood Clot Tissue A Quintessential Cellular and Tissue-Based Therapy / R. J. Snyder, G. Schultz, Ch. Wachuku [et al.] // *Journal of the American Podiatric Medical Association*. – 2023. – Vol. 113, N 3. – P. 1–9. <https://doi.org/10.7547/20-140>
3. Park, Ch. H. Fibrin-Based Biomaterial Applications in Tissue Engineering and Regenerative Medicine / Ch. H. Park, K. M. Woo // *Advances in Experimental Medicine and Biology*. – 2018. – Vol. 1064. – P. 253–261. https://doi.org/10.1007/978-981-13-0445-3_16
4. Репаративная регенерация тканей пародонта – результаты экспериментального исследования / Е. В. Щетинин, С. В. Сирак, Л. А. Григорьянц [и др.] // *Медицинский вестник Северного Кавказа*. – 2015. – Т. 10, № 4. – С. 411–415.
5. Daugela, P. Surgical Regenerative Treatments for Peri-Implantitis: Meta-analysis of Recent Findings in a Systematic Literature Review / P. Daugela, M. Cicciù, N. Saulacic // *Journal of Oral and Maxillofacial Research*. – 2016. – Vol. 7, N 3. – Art. e15. <https://doi.org/10.5037/jomr.2016.7315>
6. Surgical therapy of single peri-implantitis intrabony defects, by means of deproteinized bovine bone mineral with 10 % collagen / M. Rocuzzo, L. Gaudioso, M. Lungo, P. Dalmasso // *Journal of Clinical Periodontology*. – 2016. – Vol. 43, N 3. – P. 311–318. <https://doi.org/10.1111/jcpe.12516>
7. Reconstructive treatment of peri-implantitis infrabony defects of various configurations: 5-year survival and success // M. Rocuzzo, D. Mirra, D. Pittoni [et al.] // *Clinical Oral Implants Research*. – 2021. – Vol. 32, N 10. – P. 1209–1217. <https://doi.org/10.1111/clr.13818>
8. Noelken, R. Bone regeneration as treatment of peri-implant disease: A narrative review / R. Noelken, B. Al-Nawas // *Clinical Implant Dentistry and Related Research*. – 2023. – Vol. 25, N 4. – P. 696–709. <https://doi.org/10.1111/cid.13209>
9. Reconstructive therapy for the management of peri-implantitis via submerged guided bone regeneration: A prospective case series / A. Monje, R. Pons, A. Rocuzzo [et al.] // *Clinical Implant Dentistry and Related Research*. – 2020. – Vol. 22, N 3. – P. 342–350. <https://doi.org/10.1111/cid.12913>
10. The adjunctive effect of a resorbable membrane to a xenogeneic bone replacement graft in the reconstructive surgical therapy of peri-implantitis: A randomized clinical trial / E. Regidor, A. Ortiz-Vigón, M. Romandini [et al.] // *Journal of Clinical Periodontology*. – 2023. – Vol. 50, N 6. – P. 765–783. <https://doi.org/10.1111/jcpe.13796>
11. Effects of soft tissue augmentation procedures on peri-implant health or disease: A systematic review and meta-analysis / D. S. Thoma, N. Naenni, E. Figuero [et al.] // *Clinical Oral Implants Research*. – 2018. – Vol. 29, Suppl. 15. – P. 32–49. <https://doi.org/10.1111/clr.13114>
12. Efficacy of reconstructive surgical therapy at peri-implantitis-related bone defects. A systematic review and meta-analysis / C. Tomasi, E. Regidor, A. Ortiz-Vigón, J. Derks // *Journal of Clinical Periodontology*. – 2019. – Vol. 46, Suppl. 21. – P. 340–356. <https://doi.org/10.1111/jcpe.13070>
13. Ramanauskaite, A. Efficacy of alternative or adjunctive measures to conventional non-surgical and surgical treatment of peri-implant mucositis and peri-implantitis: a systematic review and meta-analysis / A. Ramanauskaite, T. Fretwurst, F. Schwarz // *International Journal of Implant Dentistry*. – 2021. – Vol. 7, N 1. – Art. 112. <https://doi.org/10.1186/s40729-021-00388-x>
14. Reconstructive surgical therapy of peri-implantitis: A multicenter randomized controlled clinical trial / J. Derks, A. Ortiz-Vigón, A. Guerrero [et al.] // *Clinical Oral Implants Research*. – 2022. – Vol. 33, N 9. – P. 921–944. <https://doi.org/10.1111/clr.13972>
15. Changes in peri-implant soft tissue levels following surgical treatment of peri-implantitis: A systematic review and meta-analysis / I. Sanz-Martín, J. K. Cha, I. Sanz-Sánchez [et al.] // *Clinical Oral Implants Research*. – 2021. – Vol. 32, Suppl. 21. – P. 230–244. <https://doi.org/10.1111/clr.13840>
16. Атомно-силовая микроскопия в оценке механических свойств мембран эритроцитов при воздействии различных физико-химических агентов / Е. А. Шерстюкова, В. А. Иноземцев, А. П. Козлов [и др.] // *Альманах клинической медицины*. – 2021. – Т. 49, № 6. – С. 427–434.
17. Нозологический статус хронического перимплантита: синдром или болезнь? / А. В. Лабутова, А. М. Цициашвили, М. В. Ломакин [и др.] // *Пародонтология*. – 2018. – Т. 24, № 4. – С. 15–21.
18. Wang, Ch. W. RECONSTRUCTIVE THERAPY OF PERI-IMPLANTITIS, COMPARED TO RESECTIVE INTERVENTION, MAY RESULT IN LESS PERI-IMPLANT MUCOSAL RECESSON / Ch.-W. Wang, Ch.-Y. Wu, M.-Sh. Chen // *Journal of Evidence-Based Dental Practice*. – 2023. – Vol. 23, N 4. – Art. 101917. <https://doi.org/10.1016/j.jebdp.2023.101917>
19. Soft-Tissue Management as Part of the Surgical Treatment of Periimplantitis: A Narrative Review / A. Sculean, G. Romanos, F. Schwarz [et al.] // *Implant Dentistry*. – 2019. – Vol. 28, N 2. – P. 210–216. <https://doi.org/10.1097/ID.0000000000000870>
20. Do soft tissue augmentation techniques provide stable and favorable peri-implant conditions in the medium and long term? A systematic review / M. Stefanini, S. Barootchi, M. Sangiorgi // *Clinical Oral Implants Research*. – 2023. – Vol. 34, N S26. – P. 28–42. <https://doi.org/10.1111/clr.14150>
21. Autogenous graft versus collagen matrices for peri-implant soft tissue augmentation. A systematic review and network meta-analysis / G. Tommasato, M. Del Fabbro, N. Oliva [et al.] // *Clinical Oral Investigations*. – 2024. – Vol. 28, N 5. – Art. 300. <https://doi.org/10.1007/s00784-024-05684-5>
22. Peri-implant soft tissue phenotype modification and its impact on peri-implant health: A systematic review and network meta-analysis / L. Tavelli, S. Barootchi, G. Avila-Ortiz [et al.] // *Journal of Periodontology*. – 2021. – Vol. 92, N 1. – P. 21–44. <https://doi.org/10.1002/JPER.19-0716>

23. Sun, T. Ch. Soft tissue management around dental implant in esthetic zone – the current concepts and novel techniques / T. Ch. Sun, T.-K. Chang // *Journal of Dental Sciences*. – 2024. – Vol. 19, N 3. P. 1348–1358. <https://doi.org/10.1016/j.jds.2024.03.003>
24. Periodontal Phenotype Modification of Peri-Implant Soft Tissue Deficiency Using Subepithelial Connective Tissue Grafts and Bone Grafts in the Esthetic Region / W.-B. Park, R.-G. Yumar, J.-Y. Han, P. Kang // *Medicina (Kaunas)*. – 2024. – Vol. 60, N 6. – Art. 841. <https://doi.org/10.3390/medicina60060841>
25. Watanabe, M. Treatment of peri-implant soft tissue dehiscence around implants placed in calvarial bone graft maxilla and mandible 20 years ago: A case report / M. Watanabe, R. Tanimura // *Clinical Advances in Periodontics*. – 2023. – Vol. 13, N 4. – P. 209–216. <https://doi.org/10.1002/cap.10213>
26. Efficacy of soft tissue augmentation around dental implants and in partially edentulous areas: a systematic review / D. S. Thoma, B. Buranawat, C. H. Hämmerle [et al.] // *Journal of Clinical Periodontology*. – 2014. – Vol. 41, Suppl. 15. – P. S77–S91. <https://doi.org/10.1111/jcpe.12220>
27. Efficacy of soft tissue substitutes, in comparison with autogenous grafts, in surgical procedures aiming to increase the peri-implant keratinized mucosa: A systematic review / E. Montero, A. Molina, P. Matesanz [et al.] // *Clinical Oral Implants Research*. – 2022. – Vol. 33, Suppl. 23. – P. 32–46. <https://doi.org/10.1111/clr.13751>
28. Soft Tissue Substitutes in Periodontal and Peri-Implant Soft Tissue Augmentation: A Systematic Review / R. Rotundo, G. L. Pancrazi, A. Grassi [et al.] // *Materials (Basel)*. – 2024. – Vol. 17, N 5. – Atr. 1221. <https://doi.org/10.3390/ma17051221>

References

1. Losev F. F., Krechina E. K., Kayugin M. M. Comparative assessment of the processes of adaptation of supporting tissues in prosthetics with the use of implants. *Stomatologiya = Stomatology*, 2021, vol. 100, no. 4, pp. 44–48 (in Russian).
2. Snyder R. J., Schultz G., Wachuku Ch., Rashid A. M., Ead J. K. Proposed Mechanism of Action of Topically Applied Autologous Blood Clot Tissue A Quintessential Cellular and Tissue-Based Therapy. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 2023, vol. 113, no. 3, pp. 1–9. <https://doi.org/10.7547/20-140>
3. Park Ch. H., Woo K. M. Fibrin-Based Biomaterial Applications in Tissue Engineering and Regenerative Medicine. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 2018, vol. 1064, pp. 253–261. https://doi.org/10.1007/978-981-13-0445-3_16
4. Shchetinin E. V., Sirak S. V., Grigor'yants L. A., Vafiadi M. Yu., Dilekova O. V., Petrosyan G. G., Parazyan L. A., Gatilo Yu. Yu., Adamchik A. A. Reparative regeneration of periodontal tissues – results of experimental studies. *Meditinskii vestnik Severnogo Kavkaza = Medical news of the North Caucasus*, 2015, vol. 10, no. 4, pp. 411–415 (in Russian).
5. Daugela P., Cicciù M., Saulacic N. Surgical Regenerative Treatments for Peri-Implantitis: Meta-analysis of Recent Findings in a Systematic Literature Review. *Journal of Oral and Maxillofacial Research*, 2016, vol. 7, no. 3, art. e15. <https://doi.org/10.5037/jomr.2016.7315>
6. Rocuzzo M., Gaudio L., Lungo M., Dalmasso P. Surgical therapy of single peri-implantitis intrabony defects, by means of deproteinized bovine bone mineral with 10 % collagen. *Journal of Clinical Periodontology*, 2016, vol. 43, no. 3, pp. 311–318. <https://doi.org/10.1111/jcpe.12516>
7. Rocuzzo M., Mirra D., Pittoni D., Ramieri G., Rocuzzo A. Reconstructive treatment of peri-implantitis infrabony defects of various configurations: 5-year survival and success. *Clinical Oral Implants Research*, 2021, vol. 32, no. 10, pp. 1209–1217. <https://doi.org/10.1111/clr.13818>
8. Noelken R., Al-Nawas B. Bone regeneration as treatment of peri-implant disease: A narrative review. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 2023, vol. 25, no. 4, pp. 696–709. <https://doi.org/10.1111/cid.13209>
9. Monje A., Pons R., Rocuzzo A., Salvi G. E., Nart J. Reconstructive therapy for the management of peri-implantitis via submerged guided bone regeneration: A prospective case series. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 2020, vol. 22, no. 3, pp. 342–350. <https://doi.org/10.1111/cid.12913>
10. Regidor E., Ortiz-Vigón A., Romandini M., Dionigi C., Derks J., Sanz M. The adjunctive effect of a resorbable membrane to a xenogeneic bone replacement graft in the reconstructive surgical therapy of peri-implantitis: A randomized clinical trial. *Journal of Clinical Periodontology*, 2023, vol. 50, no. 6, pp. 765–783. <https://doi.org/10.1111/jcpe.13796>
11. Thoma D. S., Naenni N., Figuero E., Hämmerle Ch. H. F., Schwarz F., Jung R. E., Sanz-Sánchez I. Effects of soft tissue augmentation procedures on peri-implant health or disease: A systematic review and meta-analysis. *Clinical Oral Implants Research*, 2018, vol. 29, suppl. 15, pp. 32–49. <https://doi.org/10.1111/clr.13114>
12. Tomasi C., Regidor E., Ortiz-Vigón A., Derks J. Efficacy of reconstructive surgical therapy at peri-implantitis-related bone defects. A systematic review and meta-analysis. *Journal of Clinical Periodontology*, 2019, vol. 46, suppl. 21, pp. 340–356. <https://doi.org/10.1111/jcpe.13070>
13. Ramanauskaitė A., Fretwurst T., Schwarz F. Efficacy of alternative or adjunctive measures to conventional non-surgical and surgical treatment of peri-implant mucositis and peri-implantitis: a systematic review and meta-analysis. *International Journal of Implant Dentistry*, 2021, vol. 7, no. 1, art. 112. <https://doi.org/10.1186/s40729-021-00388-x>
14. Derks J., Ortiz-Vigón A., Guerrero A., Donati M., Bressan E., Ghensi P. [et al.]. Reconstructive surgical therapy of peri-implantitis: A multicenter randomized controlled clinical trial. *Clinical Oral Implants Research*, 2022, vol. 33, no. 9, pp. 921–944. <https://doi.org/10.1111/clr.13972>
15. Sanz-Martín I., Cha J. K., Sanz-Sánchez I., Figuero E., Herrera D., Sanz M. Changes in peri-implant soft tissue levels following surgical treatment of peri-implantitis: A systematic review and meta-analysis. *Clinical Oral Implants Research*, 2021, vol. 32, suppl. 21, pp. 230–244. <https://doi.org/10.1111/clr.13840>
16. Sherstyukova E. A., Inozemtsev V. A., Kozlov A. P., Gudkova O. E., Sergunova V. A. Atomic force microscopy in the assessment of erythrocyte membrane mechanical properties with exposure to various physicochemical agents. *Al'manakh klinicheskoi meditsiny = Almanac of Clinical Medicine*, 2021, vol. 49, no. 6, pp. 427–434 (in Russian).

17. Labutova A. V., Tsitsiashvili A. M., Lomakin M. V., Panin A. M., Soloshchanskii I. I., Ektova A. P. Nosological status of chronic peri-implantitis: syndrome or disease? *Parodontologiya = Periodontology*, 2018, vol. 24, no. 4, pp. 15–21 (in Russian).
18. Wang Ch.-W., Wu Ch.-Y., Chen M.-Sh. RECONSTRUCTIVE THERAPY OF PERI-IMPLANTITIS, COMPARED TO RESECTIVE INTERVENTION, MAY RESULT IN LESS PERI-IMPLANT MUCOSAL RECESSION. *Journal of Evidence-Based Dental Practice*, 2023, vol. 23, no. 4, art. 101917. <https://doi.org/10.1016/j.jebdp.2023.101917>
19. Sculean A., Romanos G., Schwarz F., Ramanauskaite A., Kervee P. L., Khoury F., Koo K. T., Cosgarea R. Soft-Tissue Management as Part of the Surgical Treatment of Periimplantitis: A Narrative Review. *Implant Dentistry*, 2019, vol. 28, no. 2, pp. 210–216. <https://doi.org/10.1097/ID.0000000000000870>
20. Stefanini M., Barootchi S., Sangiorgi M., Pispero A., Grusovin M. G., Mancini L., Zucchelli G., Tavelli L. Do soft tissue augmentation techniques provide stable and favorable peri-implant conditions in the medium and long term? A systematic review. *Clinical Oral Implants Research*, 2023, vol. 34, no. S26, pp. 28–42. <https://doi.org/10.1111/clr.14150>
21. Tommasato G., Del Fabbro M., Oliva N., Khijmatgar Sh., Grusovin M. G., Sculean A., Canullo L. Autogenous graft versus collagen matrices for peri-implant soft tissue augmentation. A systematic review and network meta-analysis. *Clinical Oral Investigations*, 2024, vol. 28, no. 5, art. 300. <https://doi.org/10.1007/s00784-024-05684-5>
22. Tavelli L., Barootchi S., Avila-Ortiz G., Urban I. A., Giannobile W. V., Wang H.-L. Peri-implant soft tissue phenotype modification and its impact on peri-implant health: A systematic review and network meta-analysis. *Journal of Periodontology*, 2021, vol. 92, no. 1, pp. 21–44. <https://doi.org/10.1002/JPER.19-0716>
23. Sun T. Ch., Chang T.-K. Soft tissue management around dental implant in esthetic zone - the current concepts and novel techniques. *Journal of Dental Sciences*, 2024, vol. 19, no. 3, pp. 1348–1358. <https://doi.org/10.1016/j.jds.2024.03.003>
24. Park W.-B., Yumar R. G., Han J.-Y., Kang P. Periodontal Phenotype Modification of Peri-Implant Soft Tissue Deficiency Using Subepithelial Connective Tissue Grafts and Bone Grafts in the Esthetic Region. *Medicina (Kaunas)*, 2024, vol. 60, no. 6, art. 841. <https://doi.org/10.3390/medicina60060841>
25. Watanabe M., Tanimura R. Treatment of peri-implant soft tissue dehiscence around implants placed in calvarial bone graft maxilla and mandible 20 years ago: A case report. *Clinical Advances in Periodontics*, 2023, vol. 13, no. 4, pp. 209–216. <https://doi.org/10.1002/cap.10213>
26. Thoma D. S., Buranawat B., Hämmerle Ch. H. F., Held U., Jung R. E. Efficacy of soft tissue augmentation around dental implants and in partially edentulous areas: a systematic review. *Journal of Clinical Periodontology*, 2014, vol. 41, suppl. 15, pp. S77–S91. <https://doi.org/10.1111/jcpe.12220>
27. Montero E., Molina A., Matesanz P., Monje A., Sanz-Sánchez I., Herrera D. Efficacy of soft tissue substitutes, in comparison with autogenous grafts, in surgical procedures aiming to increase the peri-implant keratinized mucosa: A systematic review. *Clinical Oral Implants Research*, 2022, vol. 33, suppl. 23, pp. 32–46. <https://doi.org/10.1111/clr.13751>
28. Rotundo R., Pancrazi G. L., Grassi A., Ceresoli L., Di Domenico G. L., Bonafede V. Soft Tissue Substitutes in Periodontal and Peri-Implant Soft Tissue Augmentation: A Systematic Review. *Materials (Basel)*, 2024, vol. 17, no. 5, art. 1221. <https://doi.org/10.3390/ma17051221>

Информация об авторах

Рубникович Сергей Петрович – член-корреспондент, д-р мед. наук, профессор, ректор. Белорусский государственный медицинский университет (пр. Дзержинского, 83, 220083, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: rubnikovichs@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0002-7450-3757>

Перикова Мария Григорьевна – канд. мед. наук, доцент. Ставропольский государственный медицинский университет (ул. Мира, 310, 355017, г. Ставрополь, Российская Федерация). E-mail: masha.perikova@yandex.ru. <https://orcid.org/0000-0001-7004-3581>

Сирак Сергей Владимирович – д-р мед. наук, профессор, заведующий кафедрой. Ставропольский государственный медицинский университет (ул. Мира, 310, 355017, г. Ставрополь, Российская Федерация). E-mail: sergejsirak@yandex.ru. <https://orcid.org/0000-0002-4924-5792>

Information about the authors

Sergey P. Rubnikovich – Corresponding Member, D. Sc. (Med.), Professor, Rector. Belarusian State Medical University (83, Dzerzhinsky Ave., 220083, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: rubnikovichs@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0002-7450-3757>

Maria G. Perikova – Ph. D. (Med.), Associate Professor. Stavropol State Medical University (310, Mira Str., 355017, Stavropol, Russian Federation). E-mail: masha.perikova@yandex.ru. <https://orcid.org/0000-0001-7004-3581>

Sergey V. Sirak – D. Sc. (Med.), Professor, Head of the Department. Stavropol State Medical University (310, Mira Str., 355017, Stavropol, Russian Federation). E-mail: sergejsirak@yandex.ru. <https://orcid.org/0000-0002-4924-5792>