

УДК 616-002.2:616.31-085
EDN: URPGZC
<https://doi.org/10.15275/ssmj2104483>

Оригинальная статья

ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ ДЕСНЫ У КРЫС С ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ПАРОДОНТИТОМ ПОД ВЛИЯНИЕМ ГЕЛЯ, СОДЕРЖАЩЕГО МИКРОКАПСУЛЫ, ЗАГРУЖЕННЫЕ ВИТАМИНОМ D

А.А. Савкина, Е.В. Ленгерт, А.В. Ермаков, Т.С. Кириязи, В.В. Никитина, А.Н. Иванов

ФГБОУ ВО «Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского» Минздрава России, Саратов, Россия

CHANGES IN GINGIVAL MICROCIRCULATION PARAMETERS IN RATS WITH EXPERIMENTAL PERIODONTITIS UNDER THE INFLUENCE OF GEL CONTAINING MICROCAPSULES LOADED WITH VITAMIN D

A.A. Savkina, E.V. Lengert, A.V. Ermakov, T.S. Kiriyazi, V.V. Nikitina, A.N. Ivanov

V.I. Razumovsky Saratov State Medical University, Saratov, Russia

Для цитирования: Савкина А.А., Ленгерт Е.В., Ермаков А.В., Кириязи Т.С., Никитина В.В., Иванов А.Н. Изменения параметров микроциркуляции десны у крыс с экспериментальным пародонтитом под влиянием геля, содержащего микрокапсулы, загруженные витамином D. Саратовский научно-медицинский журнал. 2025; 21 (4): 483–487. EDN: URPGZC. <https://doi.org/10.15275/ssmj2104483>.

Аннотация. *Цель:* оценить влияние местного применения стоматологического геля с микрокапсулированным витамином D на показатели микроциркуляции десны при экспериментальном пародонтите у белых крыс. *Материал и методы.* Исследованы 60 белых крыс (по 15 в каждой из 4 групп): контрольная – интактные животные; сравнения – крысы с пародонтитом на 3-й неделе; плацебо – крысы с пародонтитом, которым наносили гель с микрокапсулами наночастиц серебра 0,1; опытная – крысы с пародонтитом, которым на поверхность десны наносили гель, содержащий микрокапсулы с витамином D. Микроциркуляцию исследовали методом лазерной доплеровской флоуметрии на 21-е сутки эксперимента. *Результаты.* У животных группы сравнения наблюдали повышение перфузии и изменение активных и пассивных механизмов модуляции кровотока. Гель, содержащий наночастицы серебра, снижал перфузионный показатель на 13% и умеренно корректировал эндотелийзависимые колебания по сравнению с таковыми у животных с пародонтитом. Применение геля с витамином D у особой опытной группы сопровождалось снижением перфузионного показателя на 15% по сравнению с животными с пародонтитом на 3-й неделе. Амплитуда эндотелиальных колебаний в опытной группе снижалась на 42% относительно группы сравнения. Нейрогенные и миогенные колебания в группе, получающей лечение с применением геля, содержащего витамин D, были ниже на 47 и 43% соответственно по сравнению с животными с пародонтитом на 3-й неделе. *Заключение.* Применение геля, содержащего витамин D в микрокапсулах, обеспечивает нормализацию микроциркуляторных параметров десны у крыс с экспериментальным пародонтитом.

Ключевые слова: пародонтит, микроциркуляция, витамин D, стоматологический гель с микрокапсулами

For citation: Savkina AA, Lengert EV, Ermakov AV, Kiriyazi TS, Nikitina VV, Ivanov AN. Changes in gingival microcirculation parameters in rats with experimental periodontitis under the influence of gel containing microcapsules loaded with vitamin D. Saratov Journal of Medical Scientific Research. 2025; 21 (4): 483–487. (In Russ.) EDN: URPGZC. <https://doi.org/10.15275/ssmj2104483>.

Abstract. *Objective:* to evaluate the effect of local application of dental gel with microencapsulated vitamin D on gingival microcirculation parameters in experimental periodontitis in white rats. *Material and methods.* A total of 60 white rats were studied (15 in each of the 4 groups): control group – intact animals; comparison group – rats with periodontitis at week 3; placebo group – rats with periodontitis treated with a gel containing microcapsules of silver nanoparticles 0.1; experimental group – rats with periodontitis that had a gel applied to their gum surface containing microcapsules with vitamin D. Microcirculation was investigated using laser Doppler flowmetry on day 21 of the experiment. *Results.* At the week 3 of the experiment, the comparison group of animals showed an increase in perfusion and a change in both active and passive mechanisms of blood flow modulation. The gel containing AgNP partially reduced the perfusion index by 13% and moderately corrected endothelial-dependent fluctuations, compared to the animals with periodontitis. The use of a gel containing vitamin D in microcapsules as an active component in the experimental group of animals was accompanied by a 15% decrease in the perfusion index compared to the animals with periodontitis at 3 weeks. The amplitude of endothelial oscillations in the experimental group decreased by 42% compared to the comparison group. Neurogenic and myogenic fluctuations in the group treated with a vitamin D-containing gel were 47 and 43% lower, respectively, compared to the periodontitis-affected animals at 3 weeks. *Conclusion.* The use of a gel containing vitamin D in microcapsules normalizes the microcirculatory parameters of the gums in rats with experimental periodontitis.

Keywords: periodontitis, microcirculation, vitamin D, dental gel with microencapsulated

Введение. Пародонтит относится к числу наиболее распространенных хронических воспалительных заболеваний человека, которое остается одной из главных причин, способствующих утрате зубов у лиц зрелого и пожилого возрастов [1, 2]. По данным глобальных эпидемиологических исследований, заболевания пародонта выявляют свыше чем у 1 млрд человек во всем мире, при этом отмечается

устойчивый рост распространенности пародонтита у лиц трудоспособного возраста [1].

Систему микроциркуляции пародонта рассматривают как одно из ключевых звеньев поддержания структурного и функционального гомеостаза, обеспечивающих адекватную перфузию, оксигенацию и трофику тканей при постоянно изменяющихся местных и системных условиях. Высокая степень адаптационной способности микрососудистого русла позволяет пародонту эффективно реагировать на механические, бактериальные и метаболические воздействия, но одновременно делает его

Ответственный автор – Ангелина Альбертовна Савкина
Corresponding author – Angelina A. Savkina
E-mail: sawkina.ange@yandex.ru

чувствительным к любым нарушениям регуляции микрокровотока [3, 4].

В условиях хронического воспаления в пародонте – микрососудистое русло становится одной из основных мишеней для образующихся цитокинов и медиаторов воспаления, что проявляется эндотелиальной дисфункцией, нарушением вазомоторного ответа, повышением проницаемости сосудистой стенки. Представленные изменения усугубляют тканевую гипоксию и трофические расстройства, поддерживая прогрессирование деструктивных процессов в пародонтальном комплексе [5, 6].

Значимую роль в модуляции воспаления и сосудистой реактивности играет витамин D, что связано с экспрессией рецепторов к нему на эндотелиальных и иммунокомпетентных клетках, а также его участием в регуляции синтеза про- и противовоспалительных медиаторов [7, 8]. С учетом высокой чувствительности микрососудистого русла пародонта к системным метаболическим и сосудистым влияниям дефицит витамина D может рассматриваться как дополнительный фактор, усугубляющий микроциркуляторные нарушения при пародонтите.

В связи с этим рассмотрение витамина D в качестве патогенетически значимого компонента лечения открывает перспективы для повышения эффективности стандартных лечебных мероприятий и профилактики прогрессирования пародонтита.

Цель – оценить влияние местного применения стоматологического геля с микрокапсулированным витамином D на показатели микроциркуляции десны при экспериментальном пародонтите у белых крыс.

Материал и методы. Исследования проведены на 60 белых крысах, массой 200–260 г, разделенных на 4 группы: контрольную, сравнительную, плацебо и опытную. Распределение животных проводилось методом простой рандомизации. Контрольная группа была сформирована из 15 интактных особей. Группа сравнения включала 15 крыс с экспериментальным пародонтитом на 3-й неделе. Животные группы плацебо – 15 крыс с пародонтитом (3 нед), которым проводили аппликации на десну геля, содержащего микрокапсулы наночастиц серебра (AgNP) 0,1. Опытная группа состояла из крыс с экспериментальным пародонтитом, которым на десну наносили гель, содержащий витамин D в микрокапсулах.

Все животные содержались в стандартных условиях вивария. опыты проводились в отдельной лаборатории, исключающей посторонние раздражители, при постоянной температуре воздуха 18–22°C, со стандартным уровнем освещения и влажности. При содержании животных обеспечивали сбалансированным кормом и водой. При выполнении эксперимента соблюдались все условия, предусмотренные Хельсинской декларацией и ее редакцией (2024) и Положением об использовании животных в биомедицинских исследованиях, принятым 41-й Генеральной ассамблеей Всемирной медицинской ассоциации (1989), в которых регламентированы этические нормы проведения экспериментов на животных. При работе с экспериментальными животными руководствовались требованиями ГОСТа 33215–2014 «Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила оборудования помещений и организации процедур» и ГОСТа 33216–2014 «Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила содержания и ухода за лабораторными грызунами и кроликами». Исследование выполнено в соответствии с рекомендациями

этического комитета ФГБОУ ВО «Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Раудаковского» Минздрава России (протокол №11 от 04.06.2024).

Всем животным за 10 мин до проведения манипуляций внутримышечно вводили «Телазол» (Zoetis Inc, Испания) из расчета 0,1 мл/кг и «Ксиланит» (ООО «Нита-Фарм», Россия) в дозе 1 мг/кг массы тела.

Экспериментальный пародонтит у крыс моделировали лигатурным методом путем наложения на десну полифиламентной нерассасывающейся нити в области резцов нижней челюсти, как описано в работе А. Ionel и соавт. [9]. Данная зона является доступной для аппликаций геля и мониторинга состояния микроциркуляторного русла. На 14-е сутки после наложения лигатуры удаляли.

Для местного воздействия на ткани пародонта были разработаны образцы стоматологических гелей на основе ранее предложенного протокола [10]. В качестве прототипа использовали гидрофильную полимерную матрицу, обеспечивающую пролонгированное высвобождение инкорпорированных активных веществ. Первый образец представлял собой гель, содержащий полые микрокапсулы с наночастицами серебра, равномерно распределенные в гелеобразующей основе. Данный образец применяли для аппликации на десну у животных группы плацебо. Второй образец геля отличался составом микрокапсул – в качестве активного компонента использовали витамин D. Представленный гель использовали для животных опытной группы.

Микроциркуляцию исследовали с помощью метода лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) с использованием анализатора «ЛАКК-ОП» (НПП «Лазма», Россия) и программы LDF 3.0.2.395. Для регистрации ЛДФ-грамм датчик «ЛАКК-ОП» устанавливали на область десны в точке, находящейся между 2 передними резцами нижней челюсти. Состояние микрососудистого русла в группе сравнения, плацебо и у опытной групп оценивали на 21-е сутки эксперимента после удаления лигатуры. В качестве контроля использовали 15 ЛДФ-грамм интактных животных. Длительность регистрации сигнала составляла 8 мин. С помощью программы LDF 3.0.2.395 определяли показатель перфузии М в перфузионных единицах (пф. ед.) и его среднее квадратическое отклонение. С помощью вейвлет-анализа определяли нормированные по среднее квадратическому отклонению амплитуды эндотелиальных (0,01–0,076 Гц), нейрогенных (0,076–0,2 Гц), миогенных (0,2–0,74 Гц), дыхательных (0,74–2,0 Гц) и пульсовых (2,0–5,0 Гц) колебаний.

Расчет нормированных амплитуд колебаний производился программой LDF 3.0.2.395 по формуле $A/3\sigma \times 100$,

где А – амплитуда колебаний; σ – среднее квадратическое отклонение колебаний перфузии [11].

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили с помощью программы Statistica 10 (StatSoft, США). Большинство данных не соответствовали закону нормального распределения, поэтому рассчитывали медиану, верхний и нижний квартили. Для сравнения полученных показателей использовали непараметрический U-критерий Манна – Уитни. Различия считались значимыми при показателе достоверности различий $p < 0,05$.

Результаты. У животных группы сравнения через 3 нед отмечается повышение показателя перфузии на 39%, амплитуд активных и пассивных колебаний

Изменения параметров микроциркуляции десны у животных с пародонтитом после аппликаций геля, содержащего микрокапсулы с витамином D, Me [Q₁; Q₃]

Параметр	Группа			
	контроля	сравнения	плацебо	опытная
Показатель перфузии, пф. ед.	20 [19; 21]	27,8 [26,8; 28,2] $p_1 < 0,001$	24,1 [23,6; 25,6] $p_1 < 0,001$ $p_2 = 0,001$	23,5 [21; 25,3] $p_1 < 0,001$ $p_2 < 0,001$ $p_3 = 0,056$
Амплитуда колебаний, усл. ед.				
эндотелиальных	9,3 [7,7; 13,3]	12,2 [10,6; 14,6] $p_1 = 0,029$	9,9 [8,9; 11,7] $p_1 = 0,409$ $p_2 = 0,026$	7,1 [5,8; 10,5] $p_1 = 0,075$ $p_2 < 0,001$ $p_3 = 0,031$
нейрогенных	10,9 [8,5; 12,5]	13,4 [12,3; 14,3] $p_1 < 0,001$	12,1 [10,0; 14,4] $p_1 = 0,042$ $p_2 = 0,213$	7,1 [5,8; 10,0] $p_1 = 0,036$ $p_2 < 0,001$ $p_3 = 0,001$
миогенных	10,3 [7,9; 12]	13,3 [12,5; 14,6] $p_1 < 0,001$	12,8 [11,6; 14,3] $p_1 = 0,001$ $p_2 = 0,367$	7,4 [5,8; 11,9] $p_1 = 0,075$ $p_2 < 0,001$ $p_3 < 0,001$
дыхательных	7,9 [5,8; 9,1]	10 [9,5; 10,7] $p_1 < 0,001$	9,4 [7,8; 10,7] $p_1 = 0,018$ $p_2 = 0,15$	5,3 [3,7; 7,9] $p_1 = 0,029$ $p_2 = 0,001$ $p_3 = 0,004$
сердечных	5,2 [3,6; 6,3]	6,6 [6; 7,1] $p_1 = 0,003$	6,2 [5,6; 7,5] $p_1 = 0,007$ $p_2 = 0,714$	3,5 [2,6; 5,2] $p_1 = 0,062$ $p_2 = 0,001$ $p_3 = 0,001$

Примечание. Уровень значимости по сравнению: p_1 – с контролем; p_2 – животными с экспериментальным пародонтитом; p_3 – крысами из группы плацебо.

кровотока: эндотелиальных – на 31%, нейрогенных – на 23%, миогенных – на 29%, дыхательных – на 27%, сердечных колебаний – на 27% по сравнению с животными из контрольной группы, что отражает гиперемии и нарушения регуляторных механизмов микроциркуляции (таблица).

На фоне лечения гелем с AgNP 0,1 показатель перфузии статистически значимо снижается по сравнению с животными с экспериментальным пародонтитом на 3-й неделе на 13%. Амплитуды регуляторных колебаний остаются повышенными и существенно не отличаются от группы сравнения, за исключением эндотелиальных – они снижены на 19%, что может указывать на частичную нормализацию кровотока (см. таблицу).

Применение геля с витамином D у особой опытной группы сопровождается снижением показателя перфузии на 15%, что указывает на уменьшение выраженности гиперемии по сравнению с полученными значениями у животных, которым аппликации не проводили. Эндотелиальные колебания в опытной группе животных снижались на 42% относительно группы сравнения, тогда как при применении геля с AgNP 0,1 отмечалось только умеренное снижение данного показателя (см. таблицу).

Активные механизмы регуляции микроциркуляции в группе, получающей лечение с применением витамина D, были ниже на 47% (нейрогенные) и 43% (миогенные) по сравнению с таковыми показателями животных с пародонтитом на 3-й неделе, что отражает снижение избыточной вазомоторной активности. Амплитуды дыхательных и сердечных колебаний на фоне терапии с применением инкапсулированного витамина D также уменьшались на 47% по отношению к показателю группы сравнения, что может

указывать на восстановление микроциркуляторной регуляции (см. таблицу).

Обсуждение. Полученные результаты свидетельствуют о том, что локальное применение геля с микрокапсулированным витамином D способствует восстановлению параметров микроциркуляции десны при экспериментальном пародонтите лучше, чем гель с серебром, что проявляется снижением гиперемии и нормализацией вазомоторной активности микрососудов. Эти данные согласуются с современной концепцией сосудисто-модулирующего и противовоспалительного влияния витамина D при заболеваниях пародонта [8, 12, 13].

Наблюдаемое увеличение перфузии и спектра вазомоторных колебаний при лигатурном пародонтите соответствует экспериментальным и клиническим данным, что воспалительные заболевания пародонта сопровождаются изменениями микроциркуляции, выявляемыми методом ЛДФ, включая повышение показателя перфузии и вариабельности кровотока [14, 15]. Частичная нормализация параметров перфузии при применении серебросодержащего геля согласуется с данными о протективном влиянии ионов серебра на кровоток в десне [15, 16].

Результаты представленного исследования согласуются с экспериментальными работами, показавшими, что системное или локальное введение витамина D снижает степень потери альвеолярной кости и выраженность воспалительного процесса [1, 12, 17]. Клинические и эпидемиологические данные подтверждают связь низких уровней витамина D с большей распространенностью и выраженностью пародонтита и более высоким риском потери зубов, тогда как оптимальные или повышенные концентрации ассоциированы с меньшей вероятностью развития воспалительных заболеваний пародонта [12, 13].

Более выраженное снижение эндотелиальных и нейрогенных колебаний при использовании геля, содержащего витамин D в микрокапсулах, по сравнению с гелем с AgNP 0,1 согласуется с данными о благоприятном влиянии данного витамина на эндотелиальную дисфункцию и микрососудистую реактивность при различных системных патологиях. Современные обзоры подчеркивают, что через рецептор витамина D, экспрессируемый эндотелиальными и иммунокомпетентными клетками, реализуются эффекты по снижению продукции провоспалительных цитокинов, модуляции активности эндотелиальной синтазы оксида азота, ослаблению оксидативного стресса и регуляции аутофагии, что в совокупности может приводить к нормализации микроциркуляторной регуляции в очаге хронического воспаления [8, 12, 18].

Витамин D улучшает микроциркуляцию в костной ткани в основном через влияние на эндотелий микрососудов и регуляцию ангиогенеза, что в итоге поддерживает нормальное remodelирование кости [18, 19]. При его дефиците нарушается эндотелийзависимая вазодилатация, усиливается оксидативный стресс и страдает кровоснабжение костной ткани, что способствует потере костной массы.

Витамин D модулирует экспрессию ангиогенных факторов (фактора роста эндотелия сосудов, инсулиноподобного фактора роста 1 и др.), стимулируя образование капилляров, ангиогенез тесно связан с остеогенезом: новые сосуды доставляют кислород, кальций и остеотропные факторы в область remodelирования кости, а состояние микрососудов напрямую влияет на скорость и качество репаративного костеобразования [19].

Положительное действие витамина D на микроциркуляцию сочетается с его остеотропными эффектами – активацией остеобластов, регуляцией системы RANK/RANKL/OPG (активатора рецептора ядерного фактора K β , его лиганда и остеопротегерина) и снижением избыточного остеокластогенеза, что поддерживает баланс между резорбцией и формированием кости. На системном уровне низкое содержание витамина D ассоциировано с неблагоприятными маркерами remodelирования кости и повышенным риском остеопороза, что опосредованно отражает ухудшение микроциркуляции и обмена в костной ткани [20].

Заключение. Полученные данные демонстрируют то, что лигатурный пародонтит у крыс сопровождается выраженным повышением перфузии и амплитуд вазомоторных колебаний микрокровотока десны, что отражает развитие гиперемии и нарушения механизмов регуляции микроциркуляции в очаге хронического воспаления. Применение геля с AgNP приводит к частичному снижению показателя перфузии и умеренной коррекции эндотелийзависимых колебаний, однако не обеспечивает полноценного восстановления спектра регуляторной активности микрососудистого русла.

Местное использование геля с микрокапсулированным витамином D сопровождается более выраженным снижением гиперемии и амплитуд эндотелиальных, нейрогенных, миогенных, дыхательных и сердечных колебаний, приближающих параметры к значениям интактных животных. Это свидетельствует о нормализации вазомоторной реакции микрососудов десны и снижении избыточной активности регуляторных звеньев микроциркуляции под влиянием витамина D.

Полученные результаты позволяют рассматривать гель с микрокапсулированным витамином D как патогенетически обоснованное средство локальной коррекции микроциркуляторных нарушений при воспалительных заболеваниях пародонта. Перспективными направлениями дальнейших исследований являются оценка дозозависимых эффектов, длительности и кратности местного применения, а также комплексное морфологическое обоснование включения витамин D-содержащих гелей в схемы лечения пародонтита.

Конфликт интересов отсутствует.

Вклад авторов. Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБОУ ВО «Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского» Минздрава России «Разработка геля, обеспечивающего доставку нескольких активных компонентов с параллельным пролонгированным высвобождением, для мультитаргетной коррекции нарушений поддерживающего аппарата зубов при пародонтите» (регистрационный номер 124020300003-3).

Соответствие принципам этики. Протокол исследования одобрен локальным этическим комитетом. Одобрение и процедуру проведения получали по принципам Хельсинкской декларации.

References (Список источников)

- Chen MX, Zhong YJ, Dong QQ, et al. Global, regional, and national burden of severe periodontitis, 1990–2019: An analysis of the Global Burden of Disease Study 2019. *J Clin Periodontol.* 2021;48(9):1165-80. DOI:10.1111/jcpe.13506
- Kassebaum NJ, Bernabé E, Dahiya M, et al. Global burden of severe periodontitis in 1990–2010: A systematic review and meta-regression. *J Dent Res.* 2014;93(11):1045-53. DOI:10.1177/0022034514552491
- Jain D, Chakraborty K, Shivanaikar SS. Gingival micro circulation: Nature of vasculature. *RGUHS J Dent Sci.* 2023;15(2):1-8.
- Rodriguez A, Kripfgans O, Aellos F, et al. Non-invasive and quantitative methods for assessment of blood flow in periodontal and oral soft tissues: A systematic review. *Front Dent Med.* 2025;6:1587821. DOI:10.3389/fdmed.2025.1587821
- Eldzharov A, Kabaloeva D, Nemeryuk D, et al. Evaluation of microcirculation, cytokine profile, and local antioxidant protection indices in periodontal health, and stage II, stage III periodontitis. *Journal of Clinical Medicine.* 2021;10(6):1262. (In Russ.) Эльджаров А., Кабалоева Д., Немерюк Д. и др. Оценка показателей микроциркуляции, цитокинового профиля и местной антиоксидантной защиты при здоровье пародонта и пародонтита II, III стадии. *Журнал клинической медицины.* 2021;10(6):1262.
- Townsend D. Identification of venular capillary remodeling: A possible link to the development of periodontitis? *J Periodontal Implant Sci.* 2022;52(1):65-76. DOI:10.5051/jpis.2101160058
- Meghil MM, Cutler CW, et al. Influence of vitamin D on periodontal inflammation: A review. *Pathogens.* 2023;12(9):1180. doi:10.3390/pathogens12091180
- Lu EMC. The role of vitamin D in periodontal health and disease. *J Periodontal Res.* 2023;58(2):213-24. DOI:10.1111/jre.13083
- Ionel A, Lucaci O, Moga M, et al. Periodontal disease induced in Wistar rats – Experimental study. *HVM Bioflux.* 2015;7(2):90-5.
- Lengert EV, Savkina AA, Ermakov AV, et al. Influence of the new formulation based on silver alginate microcapsules loaded with tannic acid on the microcirculation of the experimental periodontitis in rats. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl.* 2021;126:112144. DOI:10.1016/j.msec.2021.112144
- Krupatkin AI, Sidorov VV. Laser Doppler flowmetry of blood microcirculation: Guide for physicians. Moscow: Medicine, 2005; 256 p. (In Russ.) Крупаткин А.И., Сидоров В.В. Лазерная

доплеровская флоуметрия микроциркуляции крови: рук. для врачей. М.: Медицина, 2005; 256 с.

12. Ziada S, Wishah A, Mabrouk N, Sahtout S. Vitamin D deficiency and oral health: A systematic review of literature. *BMC Oral Health*. 2025;25(1):468. DOI:10.1186/s12903-025-05883-w

13. Rodríguez-Archilla A, Mohamed-El-Founti N. Association of periodontitis with vitamin D and calcium levels: Systematic review and meta-analysis. *Iberoamerican J Med*. 2022;5(1):36-45. DOI:10.53986/ibjm.2023.0003

14. Firkova E, Bouka M. Laser Doppler flowmetry in the evaluation of periodontal health and disease. *J of IMAB*. 2019;25(3):2599-602.

15. Savkina AA, Lengert EV, Ermakov AV, et al. Effects of the gel containing microcapsules with silver nanoparticles loaded with metronidazole on the state of the gingival microcirculation in animals with experimental periodontitis. *Regional Blood Circulation and Microcirculation*. 2023;22(3):78-85. (In Russ.) Савкина А.А., Ленгерт Е.В., Ермаков А.В. и др. Влияние геля, содержащего микрокапсулы наночастиц серебра, загруженные метронидазолом, на состояние микроциркуляторного русла десны

у животных с экспериментальным пародонтитом. *Регионарное кровообращение и микроциркуляция*. 2023;22(3):78-85. DOI:10.24884/1682-6655-2023-22-3-78-85

16. Savkina AA, Lengert EV, Ermakov AV, et al. Impact of silver nanoparticle concentration in alginate microcapsules on their effects on morphological changes in periodontitis. *Saratov Medical Journal*. 2022;3(4):e0401. DOI:10.15275/sarmj.2022.0401

17. Yi-Chou Hou, Chia-Chao Wu, Min-Tser Liao, et al. Role of nutritional vitamin D in osteoporosis treatment, *Clinica Chimica Acta*, 2018;484:179-91. DOI:10.1016/j.cca.2018.05.035

18. Kim DH, Meza CA, Clarke H, et al. Vitamin D and endothelial function. *Nutrients*. 2020;22;12(2):575. DOI:10.3390/nu12020575

19. Grundmann M, Haidar M, Placzko S, et al. Vitamin D improves the angiogenic properties of endothelial progenitor cells. *Am J Physiol Cell Physiol*. 2012;303(9):C954-62. DOI:10.1152/ajpcell.00030.2012

20. Khalaf RM, Almudhi AA. The effect of vitamin D deficiency on the RANKL/OPG ratio in rats. *J Oral Biol Craniofac Res*. 2022;12(2):228-32. DOI:10.1016/j.jobcr.2022.02.004

Статья поступила в редакцию 17.10.2025; одобрена после рецензирования 19.11.2025; принята к публикации 20.11.2025.
The article was submitted 17.10.2025; approved after reviewing 19.11.2025; accepted for publication 20.11.2025.

Информация об авторах:

Ангелина Альбертовна Савкина – младший научный сотрудник центральной научно-исследовательской лаборатории, sawkina.ange@yandex.ru, ORCID 0000-0003-2357-400X; **Екатерина Владимировна Ленгерт** – младший научный сотрудник центральной научно-исследовательской лаборатории, lengertkatrin@mail.ru, ORCID 0000-0002-6447-2811; **Алексей Вадимович Ермаков** – старший научный сотрудник центральной научно-исследовательской лаборатории, кандидат физико-математических наук, oualeksej@yandex.ru, ORCID 0000-0001-8105-5932; **Татьяна Святославовна Кириязи** – старший научный сотрудник центральной научно-исследовательской лаборатории, кандидат биологических наук, fev.6171@yandex.ru, ORCID 0000-0001-6332-5249; **Виктория Викторовна Никитина** – старший научный сотрудник центральной научно-исследовательской лаборатории, кандидат медицинских наук, vik-nik72@mail.ru, ORCID 0000-0002-8893-8612; **Алексей Николаевич Иванов** – заведующий отделением лабораторной диагностики Научно-исследовательского института травматологии, ортопедии и нейрохирургии, заведующий центральной научно-исследовательской лабораторией, заведующий кафедрой нормальной физиологии им. И.А. Чувевского, доцент, доктор медицинских наук, lex558452@rambler.ru, ORCID 0000-0003-4061-5221.

Information about the authors:

Angelina A. Savkina – Research Assistant of the Central Research Laboratory, sawkina.ange@yandex.ru, ORCID 0000-0003-2357-400X; **Ekaterina V. Lengert** – Research Assistant of the Central Research Laboratory, lengertkatrin@mail.ru, ORCID 0000-0002-6447-2811; **Alexey V. Ermakov** – Senior Researcher of the Central Research Laboratory, PhD, oualeksej@yandex.ru, ORCID 0000-0001-8105-5932; **Tatyana S. Kiriyazi** – Senior Researcher of the Central Research Laboratory, PhD, fev.6171@yandex.ru, ORCID 0000-0001-6332-5249; **Viktorija V. Nikitina** – Senior Researcher of the Central Research Laboratory, PhD, vik-nik72@mail.ru, ORCID 0000-0002-8893-8612; **Alexey N. Ivanov** – Head of the Division of Laboratory Diagnostics of Research Institute of Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery; Head of the Central Scientific Research Laboratory; Head of the Department of Normal Physiology n. a. I.A. Chuevsky, Associate Professor, DSc, lex558452@rambler.ru, ORCID 0000-0003-4061-5221.