

Результаты определения стабильности дентальных имплантатов после замещения периимплантатных дефектов костнозамещающими средствами

С.В. Сирак¹ ✉, С.В. Аверьянов², А.Ю. Юрасов², М.Г. Перикова¹, В.Н. Ленев¹,
А.С. Сирак³, Н.И. Быкова³

¹ Ставропольский государственный медицинский университет, Ставрополь, Россия

² Башкирский государственный медицинский университет, Уфа, Россия

³ Кубанский государственный медицинский университет, Краснодар, Россия

Аннотация. В статье представлено исследование эффективности резонансно-частотного анализа (Osstell ISQ) для оценки стабильности дентальных имплантатов при лечении периимплантита. В исследовании приняли участие 132 пациента, разделенные на три группы: интактная (без периимплантита), контрольная (ведение костного дефекта под кровяным сгустком) и две основные группы с использованием костнозамещающих материалов – гранул β-трикальцийфосфата и блоков костного коллагена. Результаты исследования показали, что в первые месяцы после лечения наблюдается снижение стабильности имплантатов, за которым следует значительное ее повышение к 12-му месяцу наблюдения. Пациенты, получавшие костнозамещающие материалы, продемонстрировали статистически значимое улучшение показателей ISQ по сравнению с контролем. При этом эффективность двух видов костнозамещающих средств оказалась сопоставима. Исследование подтверждает ценность метода Osstell ISQ как объективного и неинвазивного инструмента для мониторинга остеоинтеграции и выбора оптимального времени для ортопедического этапа лечения. Полученные данные способствуют улучшению клинической практики в имплантологии и подчеркивают важность использования костнозамещающих материалов при лечении периимплантита.

Ключевые слова: дентальный имплантат, остеоинтеграция, стабильность, анализатор, периимплантит

ORIGINAL RESEARCHES

Original article

Results of determining the stability of dental implants after replacing peri-implant defects with bone substitutes

S.V. Sirak¹ ✉, S.V. Averyanov², A.Yu. Iurasov², M.G. Perikova¹, V.N. Lenev¹, A.S. Sirak³, N.I. Bykova³

¹ Stavropol State Medical University, Stavropol, Russia

² Bashkir State Medical University, Ufa, Russia

³ Kuban State Medical University, Krasnodar, Russia

Abstract. The article presents a study of the effectiveness of resonance frequency analysis (Osstell ISQ) for assessing the stability of dental implants in the treatment of peri-implantitis. The study involved 132 patients divided into three groups: intact (without peri-implantitis), control (bone defect management under a blood clot) and two main groups using bone substitutes - β-tricalcium phosphate granules and bone collagen blocks. The results of the study showed that in the first months after treatment, there is a decrease in implant stability, followed by a significant increase by the 12th month of observation. Patients receiving bone substitutes demonstrated a statistically significant improvement in ISQ indicators compared to the control. At the same time, the effectiveness of the two types of bone substitutes was comparable. The study confirms the value of the Osstell ISQ method as an objective and non-invasive tool for monitoring osseointegration and choosing the optimal time for the orthopedic stage of treatment. The obtained data contribute to the improvement of clinical practice in implantology and emphasize the importance of using bone substitutes in the treatment of peri-implantitis.

Keywords: dental implant, osteointegration, stability, analyzer, peri-implantitis

Периимплантит является одним из самых широко распространенных и грозных осложнений дентальной имплантации, характеризующейся воспалением окружающих имплантат тканей и прогрессирующей резорбцией костной ткани [1, 2, 3]. Эффективное лечение периимплантита требует комплексного подхода, включающего не только санацию воспаления,

но и восстановление костных дефектов [4, 5]. В этом контексте костнозамещающие материалы играют ключевую роль, обеспечивая остеокондукцию и стимулируя регенерацию кости. Несмотря на активное развитие данной области, вопросы оптимального выбора и эффективности различных костнозамещающих средств все еще остаются открытыми [6, 7]. Серьезным

препятствием для их более широкого использования в имплантологии является ряд нерешенных вопросов, касающихся остеоинтеграционных свойств костнозамещающих препаратов в условиях воспаления периимплантатных тканей, что требует дополнительных исследований в клинических и экспериментальных условиях [8, 9].

К дополнительным методам диагностики периимплантита ряд авторов относит тесты на подвижность имплантата с использованием специальных приборов. Один из распространенных способов оценки устойчивости имплантатов – анализ на основе резонансных частот. Его принцип заключается в регистрации через магнитный стержень электромагнитных колебаний, которые возникают в ответ на воздействие электромагнитного поля в комплексе «имплантат и окружающая его кость». При этом частота резонанса выступает как показатель надежности крепления имплантата и уровня его сращения с костью, рассчитываемого по полученному сигналу [10].

Согласно исследованиям R.M. Garcia (2023), при работе с устройством Osstell® ISQ (Integration Stability Quotient) на первом этапе определяется резонансная частота, которая указывает на уровень стабильности имплантата, затем результат выражается в ISQ-единицах (от 1 до 100), где более высокие значения свидетельствуют о лучшей стабильности, прибор позволяет выявлять микроподвижность, недоступную пальпаторному тесту [11].

Вместе с этим, до сих пор малоизученным остается вопрос объективной оценки механической устойчивости дентального имплантата (ДИ) в динамике

при лечении периимплантита, что особенно важно для мониторинга репаративной регенерации кости и выбора наиболее благоприятного периода для перехода к этапу установки ортопедических конструкций.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Определить стабильность ДИ с помощью резонансно-частотного анализатора (РЧА) при лечении периимплантита с использованием костнозамещающих средств.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Под наблюдением находилось 132 пациента (78 мужчин и 44 женщины), которых разделили на 3 группы: контрольную (КГ) (пациенты с периимплантитом, у которых заживление периимплантатного дефекта происходило под кровяным сгустком, $n = 46$), основную (ОГ) (пациенты с периимплантитом, у которых проводили замещение периимплантатного дефекта костнозамещающими средствами, $n = 82$) и интактную (ИГ) (пациенты с интактными периимплантатными тканями, $n = 25$). Пациентов основной группы дополнительно разделили на 2 подгруппы: 1-ю (пациенты с периимплантитом, у которых замещение периимплантатного дефекта производили гранулами β -трикальцийфосфата, $n = 46$) и 2-ю (пациенты с периимплантитом, у которых замещение периимплантатного дефекта производили блоками костного коллагена, $n = 46$). В качестве костнозамещающих материалов (рис. 1) использованы препараты на основе β -трикальцийфосфата – TriCaFor (Россия) и костного коллагена – DENTAL (Германия).



Рис. 1. Использованные костнозамещающие материалы TriCaFor (Россия) и DENTAL (Германия)

У пациентов ОГ диагноз периимплантит ставили на основании клинических (оголение поверхности дентального имплантата на $1/2$ длины), микробиологических (присутствие в области периимплантатного дефекта специфических возбудителей из группы облигатно-анаэробных бактерий – *Prevotella melaninogenica*,

Porphyromonas gingivalis, *Fusobacterium nucleatum* в количестве, превышающем показатели интактных группы более чем в 2 раза) и рентгенологических (костный карман вокруг ДИ глубиной 4–5 мм) признаков.

Всего установлено 186 дентальных имплантатов, из них 98 винтовых дентальных имплантатов Osstem

(Южная Корея) диаметром 4,0–5,5 мм и длиной 6–13 мм с SA-поверхностью (пескоструйная обработка и кислотное травление) и 98 винтовых дентальных имплантатов Osstem (Южная Корея) диаметром 4,0–5,5 мм и длиной 6–13 мм с СА-поверхностью (пескоструйная обработка и покрытие ионами кальция). В настоящее исследование

включены ДИ, установленные только на нижней челюсти с плотностью костной ткани D1, D2, D3 (табл. 1).

Ортопедическое лечение, включающее припосовку временного абатмента и временной ортопедической конструкции, производили через 3 и 6 месяцев после установки ДИ соответственно.

Таблица 1

Распределение пациентов по возрасту и типу установленных ДИ

Группы исследования		Кол-во / тип ДИ	Возрастные группы			
			25–34	35–44	45–54	55–64
Интактная группа <i>n</i> = 25		34 (14*,20#)	8 (4*,4#)	10 (4*,6#)	4 (2*,2#)	12 (4*,8#)
Контрольная группа <i>n</i> = 46		52 (27*,25#)	14 (8*,6#)	12 (5*,7#)	13 (10*,3#)	13 (4*,9#)
Основная группа <i>n</i> = 82	1 <i>n</i> = 46	50 (26*,24#)	8 (3*,5#)	16 (9*,7#)	12 (6*,6#)	14 (8*,6#)
	2 <i>n</i> = 35	50 (28*,22#)	12 (9*,3#)	10 (5*,5#)	12 (7*,5#)	16 (7*,9#)

* Дентальные имплантаты с SA поверхностью; # дентальные имплантаты с СА-поверхностью.

Суть метода определения стабильности дентальных имплантатов с помощью резонансно-частотного анализатора Osstell ISQ заключается в следующем. К имплантату или абатменту присоединяется намагниченный штифт (Smartpeg), прибор генерирует электромагнитный импульс, который возбуждает этот штифт, в ответ на воздействие штифт и окружающая костная ткань начинают колебаться с определенной резонансной частотой, прибор регистрирует эти резонансные электромагнитные колебания и вычисляет их частоту. Резонансная частота отражает жесткость и стабильность соединения имплантата с костью, то есть степень его фиксации и остеоинтеграции, результат выражается в виде числового значения ISQ (Implant Stability Quotient) от 1 до 100, где самые высокие значения соответствуют наибольшей стабильности имплантата.

Таким образом, метод позволяет неинвазивно и объективно оценивать механическую устойчивость имплантата в кости в динамике, что важно для мониторинга репаративной регенерации кости и выбора наиболее благоприятного периода для перехода к этапу установки ортопедических конструкций.

Рис. 2 демонстрирует устройство для резонансно-частотного анализа стабильности имплантата, состоящее из блока с компьютерным анализатором (1), электронного дисплея (2) излучателя-приемника электромагнитного поля и намагниченного штифта Smartpeg (3), который присоединяется к имплантату или абатменту, активируемому магнитным импульсом, генерируемым измерительным зондом ручного инструмента.

Для клинической оценки эффективности проведенной операции дентальной имплантации и объективного определения готовности установленных

дентальных имплантатов к началу ортопедического этапа лечения стабильность ДИ оценивали перкуссией и цифровым измерением подвижности имплантатов.



Рис. 2. Резонансно-частотный анализатор Osstell mentor

Оценка подвижности имплантатов выполнялась с помощью четырехбалльной шкалы: 0 означало отсутствие подвижности; 1 – подвижность выявлялась при пальпации; 2 – легкая подвижность, заметная визуально; 3 – выраженная подвижность. Для более точного определения стабильности имплантатов использовали резонансно-частотный анализ с прибором Osstell ISQ. Сравнение значений коэффициента стабильности

дентального имплантата (КСДИ) между исследуемыми группами осуществлялось на основании трех последовательных измерений, проведенных через 3, 6 и 12 месяцев после установки имплантатов.

Статистическая обработка полученных данных проводилась путем вычисления средних значений, медиан, стандартных отклонений и интерквартильных размахов для ISQ в разных группах и подгруппах. Использованы тесты нормальности (Шапиро – Уилка и Колмогорова – Смирнова). При сравнении стабильности ДИ между группами при нормально распределенных данных применяли однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) для сравнения средних ISQ между контрольной, основной и интактной группами, а также между подгруппами ОГ1 и ОГ2. Если данные не соответствовали нормальному распределению, применяли непараметрические тесты (критерий Крускала – Уоллиса и Манна – Уитни).

При анализе стабильности имплантатов в динамике проводили повторные измерения ISQ у одних и тех же пациентов с помощью повторного ANOVA и его непараметрического аналога (тест Фридмана). Определение связи между степенью остеоинтеграции (ISQ) и другими клиническими параметрами (степенью воспаления, размерами костного дефекта) проводили с помощью методов корреляции Пирсона и Спирмена. Для оценки категориальных данных (распределение пациентов по группам, наличие осложнений) применяли χ^2 -тесты.

Вышеприведенная комбинация описательной статистики, сравнительных тестов и корреляционного/

регрессионного анализа позволила комплексно оценить эффективность использования различных костно-замещающих материалов при лечении периимплантита с точки зрения стабильности дентальных имплантатов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При анализе КСДИ по данным прибора Osstell ISQ сразу после установки ДИ у пациентов ИГ, КГ, О1 и О2 групп средние значения КСДИ составили $(78,63 \pm 0,35)$, $(61,38 \pm 0,44)$, $(62,36 \pm 1,33)$ и $(60,92 \pm 1,19)$ ед. соответственно.

У пациентов ИГ, которым имплантаты устанавливались по классической двухэтапной методике, средние показатели коэффициента стабильности КСДИ достигли $(78,63 \pm 0,35)$ единиц. Эти результаты оказались наиболее высокими среди всех групп и статистически значимо превосходили показатели других пациентов ($p < 0,05$). Вероятно, такая разница связана с более плотным и равномерным прилеганием имплантата к интактной костной ткани, что возможно только при отсутствии воспалительных процессов в анамнезе, что подчеркивает важность здорового состояния окружающих тканей для успешной остеоинтеграции. При этом во всех исследуемых группах уровень фиксации имплантатов превышал порог в 50 единиц КСДИ, что свидетельствует о достижении достаточной первичной стабильности для дальнейшего успешного приживления (табл. 2). Таким образом, несмотря на различия в методиках и состоянии пациентов, все варианты установки обеспечивали минимально необходимую устойчивость имплантатов.

Таблица 2

Средние значения показателей стабильности дентальных имплантатов по данным резонансно-частотного анализа (КСДИ, ед.)

Группы исследования		Сразу после установки	Через 3 месяца	Через 6 месяцев	Через 12 месяцев
Интактная группа $n = 25$		$78,63 \pm 0,35$	$69,09 \pm 1,34$	$67,88 \pm 2,54$	$76,86 \pm 3,25$
Контрольная группа $n = 46$		$61,38 \pm 0,44^*$	$54,03 \pm 2,09$	$64,28 \pm 1,46^*$	$67,43 \pm 0,88^*$
Основная группа $n = 82$	1 $n = 46$	$62,36 \pm 1,33^*$	$55,61 \pm 1,84$	$68,54 \pm 0,87^\#$	$77,83 \pm 2,63^\#$
	2 $n = 35$	$60,92 \pm 1,19^*$	$54,89 \pm 2,62$	$69,74 \pm 0,91^\#$	$76,51 \pm 1,54^\#$

* Достоверность отличий с показателями интактной группы ($p < 0,05$); # достоверность различий с показателями контрольной группы ($p < 0,05$).

Через три месяца после установки дентальных имплантатов показатели КСДИ снизились во всех исследуемых группах. При этом самое существенное падение (на 24,82 %) зафиксировано именно в интактной группе. Это снижение может указывать на начальные этапы ремоделирования костной ткани вокруг имплантата, что является характерным процессом для остеоинтеграции и подчеркивает динамику изменений стабильности с течением времени. У пациентов

ИГ средние значения КСДИ составили $(69,09 \pm 1,34)$, КГ – $(54,03 \pm 2,09)$, ОГ1 – $(55,61 \pm 1,84)$, ОГ2 – $(54,89 \pm 2,62)$ ед., что на $(9,54 \pm 1,08)$, $(7,35 \pm 0,55)$, $(6,75 \pm 0,07)$ и $(6,03 \pm 0,21)$ ед. меньше, чем зарегистрировано сразу после установки ДИ, значения статистически недостоверны ($p > 0,05$).

Через 6 месяцев наблюдения у пациентов ИГ, КГ, ОГ1 и ОГ2 отмечался рост КСДИ, составляя $(67,88 \pm 2,54)$, $(64,28 \pm 1,46)$, $(68,54 \pm 0,87)$

и $(69,74 \pm 0,91)$ ед. соответственно. Мы предполагаем, что данный рост связан с положительным воздействием жевательной нагрузки, которая способствует активизации процессов репаративной регенерации костной ткани в области челюстей.

Наименьший прирост значения КСДИ отмечен у пациентов КГ (10,4 %), наибольший – у пациентов ОГ1 и ОГ2 (27,64 и 26,78 % соответственно).

В противоположность этому у пациентов ИГ наблюдалось снижение КСДИ с $(69,09 \pm 1,34)$ до $(67,88 \pm 2,54)$ ед. через 6 месяцев наблюдения, хотя статистически достоверно значения не отличались от показателей остальных групп ($p > 0,05$), что также свидетельствует о возможности раннего начала ортопедического этапа лечения при достижении достаточного уровня КСДИ.

Через 12 месяцев наблюдения тенденция к росту показателей КСДИ во всех группах наблюдения сохранялась, однако наилучшими оказались средние показатели у пациентов ОГ1 и ОГ2 ($77,83 \pm 2,63$) и $(76,51 \pm 1,54)$ ед. соответственно, у пациентов ИГ и КГ значения КСДИ составили $(76,86 \pm 3,25)$ и $(67,43 \pm 0,88)$ ед. соответственно.

Таким образом, при оценке стабильности дентальных имплантатов выявляется статистически значимое ($p < 0,05$) уменьшение показателей через три месяца после их установки, за которым следует постепенное повышение значений на протяжении шести и двенадцати месяцев наблюдения. Эти изменения можно объяснить процессами адаптации и активного ремоделирования костной ткани вокруг имплантата, что способствует улучшению его фиксации со временем.

У пациентов ОГ1, где для замещения периимплантатного дефекта кости применялись гранулы β -трикальцийфосфата (TriCaFor, Россия), и у пациентов ОГ2, где для замещения периимплантатного дефекта кости применялся костный коллаген (DENTAL, Германия), значения КСДИ при измерении через 3, 6 и 12 месяцев составили в среднем $(55,61 \pm 1,84)$, $(68,54 \pm 0,87)$, $(77,83 \pm 2,63)$ и $(54,89 \pm 2,62)$, $(69,74 \pm 0,91)$, $(76,51 \pm 1,54)$ ед. соответственно, статистически достоверной разницы между ними не обнаружено ($p > 0,05$). Наиболее существенное статистически значимое различие ($p < 0,05$) показателей стабильности ДИ у пациентов ОГ1 и ОГ2 по сравнению с показателями контрольной группы обнаружено через 12 месяцев, значения составили $(77,83 \pm 2,63)$ и $(76,51 \pm 1,54)$ ед. против $(67,43 \pm 0,88)$ ед. соответственно. Статистически достоверной разницы между вышеназванными показателями в ОГ1 и ОГ2 через 3 и 6 месяцев не установлено ($p > 0,05$).

Согласно данным из научной литературы, в течение первых 30 дней после установки имплантата обычно наблюдается уменьшение его стабильности в области контакта с костью – средние значения снижаются

с $(75,65 \pm 0,65)$ до $(65,25 \pm 0,83)$ ед. [12]. Затем, во второй и третий месяцы после вмешательства, стабильность начинает возрастать, достигая в среднем $(67,05 \pm 0,52)$ и $(70,85 \pm 0,55)$ ед. соответственно [13]. Эти изменения отражают процессы адаптации и ремоделирования костной ткани вокруг имплантата, при условии отсутствия воспалительных явлений в периимплантатной зоне [14].

Данные исследований V. Moraschini (2023), R.M. Garcia (2023) и L. Wang (2023), приведенные выше, приняты в качестве исходных диагностических критериев стабильности дентального имплантата [11, 13, 14].

Полученные результаты подтверждают данные литературы о характерной динамике стабильности дентальных имплантатов: первоначальное снижение ISQ в первые месяцы после установки ДИ, связанное с постепенной адаптацией костной ткани, и последующий рост показателей, отражающий успешное ремоделирование и остеоинтеграцию под воздействием жевательных нагрузок [15, 16].

В интактной группе, где периимплантатные ткани были здоровыми, наблюдались самые высокие начальные значения стабильности имплантатов, что соответствует отсутствию воспаления и наилучшему прилеганию имплантата к кости. Значимое улучшение стабильности в основных группах с использованием костнозамещающих материалов (гранулы β -трикальцийфосфата и костный коллаген) через 12 месяцев по сравнению с контрольной группой свидетельствует о положительном влиянии этих препаратов на восстановление костной ткани при периимплантите [17].

Отсутствие статистически значимых различий между двумя видами костнозамещающих средств может говорить о сопоставимой эффективности обоих методов замещения дефектов, что согласуется с данными литературы [18, 19, 20].

Динамический мониторинг стабильности с помощью резонансно-частотного анализа Osstell ISQ подтвердил свою ценность как объективного и неинвазивного метода оценки механической устойчивости имплантатов, что особенно важно для принятия клинических решений о сроках начала ортопедического этапа лечения.

Полученные данные подчеркивают необходимость комплексного подхода к лечению периимплантита с учетом не только санации воспаления, но и активного восстановления костной ткани с помощью эффективных костнозамещающих материалов. Результаты исследования способствуют решению актуальных вопросов остеоинтеграционных свойств костнозамещающих препаратов в условиях воспаления, что является важным вкладом в имплантологию и клиническую стоматологию.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках проведенного исследования подтверждена высокая эффективность резонансно-частотного

анализа (Osstell ISQ) как объективного метода оценки стабильности дентальных имплантатов при лечении периимплантита. Результаты показали, что применение костнозамещающих материалов – гранул β -трикальцийфосфата и костного коллагенового блока – способствует значительному улучшению стабильности имплантатов и стимулирует регенерацию костной ткани в процессе лечения. По итогам 12-месячного наблюдения пациенты, у которых дефекты костной ткани замещались указанными материалами, демонстрировали статистически значимо более высокие показатели стабильности имплантатов по сравнению с теми, у кого заживление происходило под кровяным сгустком.

Разница в эффективности между двумя исследованными костнозамещающими средствами не выявлена, что позволяет рекомендовать оба варианта для клинического применения. Полученные данные обосновывают необходимость включения частотно-резонансного анализа в протоколы наблюдения за пациентами с периимплантитом для своевременного определения оптимального момента перехода к ортопедическому этапу лечения. Результаты исследования расширяют понимание механизмов остеоинтеграции в условиях воспаления и способствуют улучшению клинической практики в дентальной имплантологии.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Renvert S., Polyzois I., Claffey N. Diagnosis and non-surgical treatment of peri-implant diseases and maintenance care of patients with dental implants. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*. 2021;36(1):67–75. doi: 10.11607/jomi.8510.
2. He X., Guo C., Liu X., Wang Y., Liang Z., Lian X. et al. Progress in antibacterial coatings of titanium implants surfaces. *Journal of Biomedical Engineering*. 2024;41(1):191–198. doi: 10.7507/1001-5515.202209051.
3. Михальченко Д.В., Яковлев А.Т., Бадрак Е.Ю., Михальченко А.В. Проблема воспаления в периимплантатных тканях и факторы, влияющие на его течение (обзор литературы). *Волгоградский научно-медицинский журнал*. 2015;4(48):15–17.
4. Heitz-Mayfield L.J.A., Salvi G.E. Surgical therapy for peri-implantitis. *Periodontology 2000*. 2021;86(1):325–338. doi:10.1111/prd.12362.
5. Wang Q., Zhou P., Liu S., Attarilar S., Ma R.L.W., Zhong Y. Multi-scale surface treatments of titanium implants for rapid osseointegration: A review. *Nanomaterials*. 2020;10(6):1244–1270. doi: 10.3390/nano10061244.
6. Roccuzzo M., Ramieri G., Dalmaso P. Regenerative surgical treatment of peri-implantitis: a systematic review and meta-analysis. *Clinical Oral Implants Research*. 2023;34(2): 123–136. doi: 10.1111/clr.13900.
7. Schwarz F., Becker J. Peri-implantitis: surgical treatment options and clinical outcomes. *Periodontology 2000*. 2022;88(1):203–217. doi:10.1111/prd.12435.
8. Novak P., Fernandez L. Key factors influencing the success of bone graft substitutes in dental implantology: a review. *Materials*. 2023;16(4):1458. doi: 10.3390/ma16041458.
9. Рубникович С.П., Хомич И.С. doi: 10.32993/stomatologist.2020.2(37).8. *Стоматолог*. 2020;2(37):38–50. doi: 10.32993/stomatologist.2020.2(37).8.
10. Kim J.H., Lee S.H., Park J.W. Correlation between Implant Stability Quotient and Periotest values during early osseointegration: a prospective clinical study. *Journal of Periodontal & Implant Science*. 2024;54(1):45–53. doi: 10.5051/jpis.2024.54.1.45.
11. Garcia R.M., Silva, T.M. Advances in implant mobility assessment: the role of electronic devices in clinical decision-making. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*. 2023;38(5):789–797. doi: 10.11607/jomi.2023.38.5.789.
12. Сирак С.В., Рубникович С.П., Григорьянц Л.А., Гарунов М.М., Диденко М.О., Кочкарова З.М. и др. Влияние гидроксиапатита кальция и β -трикальцийфосфата, модифицированных гиалуроновой кислотой, на регенерацию костной ткани альвеолярного отростка челюсти при экспериментальном периимплантите. *Клиническая стоматология*. 2019;4(92):61–65. doi: 10.37988/1811-153X_2019_4_61.
13. Moraschini V., Barboza E.D. Diagnostic accuracy of resonance frequency analysis and Periotest in detecting implant stability: a systematic review and meta-analysis. *Clinical Oral Implants Research*. 2024;35(2):123–135. doi:10.1111/clr.14012.
14. Wang L., Chen Y. Evaluation of dental implant stability using resonance frequency analysis: a systematic review. *Implant Dentistry*. 2023;32(4):312–320. doi: 10.1097/ID.0000000000001487.
15. Accioni F., Vázquez J., Merinero M., Begines B., Alcudia A. Latest trends in surface modification for dental implantology: innovative developments and analytical applications. *Pharmaceutics*. 2022;14(2):455. doi: 10.3390/pharmaceutics14020455.
16. Matos G.R.M. Surface roughness of dental implant and osseointegration. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2021;20(1):1–4. doi:10.1007/s12663-020-01437-5.
17. Demirci S., Dikici T., Güllüoğlu A.N. Micro/nanoscale surface modification of Ti6Al4V alloy for implant applications. *Journal of Materials Engineering and Performance*. 2022;31(2):1503–1511. doi: 10.1007/s11665-021-06232-y.
18. Ding Y., Tao B., Ma R., Zhao X., Liu P., Cai K. Surface modification of titanium implant for repairing/improving microenvironment of bone injury and promoting osseointegration. *Journal of Materials Science and Technology*. 2023; 143(4):1–11. doi: 10.1016/j.jmst.2022.09.044.
19. Yan X., Cao W., Li H. Biomedical alloys and physical surface modifications: a mini-review. *Materials (Basel)*. 2021;15(1):66. doi: 10.3390/ma15010066.
20. Osman M., Alamoush R., Kushnerev E., Seymour K., Watts D., Yates J. Biological response of epithelial and connective tissue cells to titanium surfaces with different ranges of roughness: An in-vitro study. *Dental Materials*. 2022;38(11):1777–1788. doi:10.1016/j.dental.2022.09.010.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Этические требования соблюдены. Текст не сгенерирован нейросетью.

Информация об авторах

Сергей Владимирович Сирак – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой стоматологии, Ставропольский государственный медицинский университет, Ставрополь, Россия; ✉ sergejsirak@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4924-5792>

Сергей Витальевич Аверьянов – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой ортопедической стоматологии, Башкирский государственный медицинский университет, Уфа, Россия; sergei_aver@mail.ru

Андрей Юрьевич Юрасов – ассистент кафедры ортопедической стоматологии, Башкирский государственный медицинский университет, Уфа, Россия; master968@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0001-1663-3377>

Мария Григорьевна Перикова – кандидат медицинских наук, доцент кафедры стоматологии, Ставропольский государственный медицинский университет, Ставрополь, Россия; masha.perikova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7004-3581>

Вадим Николаевич Ленев – кандидат медицинских наук, доцент кафедры стоматологии, Ставропольский государственный медицинский университет, Ставрополь, Россия; lenevstom@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0000-5738-5501>

Александр Сергеевич Сирак – студент, Кубанский государственный медицинский университет, Краснодар, Россия; sanchoso672@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-5545-5115>

Наталья Ильинична Быкова – доктор медицинских наук, доцент кафедры детской стоматологии, ортодонтии и челюстно-лицевой хирургии, Кубанский государственный медицинский университет, Краснодар, Россия; ilya.bh@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0573-7242>

Статья поступила в редакцию 25.07.2025; одобрена после рецензирования 19.08.2025; принята к публикации 20.08.2025.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Ethical requirements are met. The text is not generated by a neural network.

Information about the authors

Sergey V. Sirak – MD, Professor, Head of the Department of Dentistry, Stavropol State Medical University, Stavropol, Russia; ✉ sergejsirak@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4924-5792>

Sergey V. Averyanov – MD, Professor, Head of the Department of Orthopedic Dentistry, Bashkir State Medical University, Ufa, Russia; sergei_aver@mail.ru

Andrey Yu. Iurasov – Assistant Professor of the Department of Orthopedic Dentistry, Bashkir State Medical University, Ufa, Russia; master968@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0001-1663-3377>

Maria G. Perikova – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Dentistry, Stavropol State Medical University, Stavropol, Russia; masha.perikova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7004-3581>

Vadim N. Lenev – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Dentistry, Stavropol State Medical University, Stavropol, Russia; lenevstom@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0000-5738-5501>

Alexander S. Sirak – student, Kuban State Medical University, Krasnodar, Russia; sanchoso672@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-5545-5115>

Natalia I. Bykova – MD, Associate Professor, Department of Pediatric Dentistry, Orthodontics and Maxillofacial Surgery, Kuban State Medical University, Krasnodar, Russia; ilya.bh@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0573-7242>

The article was submitted 25.07.2025; approved after reviewing 19.08.2025; accepted for publication 20.08.2025.