

DOI: 10.37988/1811-153X_2024_4_132

[С.В. Сирак¹](#),д.м.н., профессор, зав. кафедрой
стоматологии[А.В. Арутюнов²](#),д.м.н., доцент, зав. кафедрой стоматологии
общей практики[М.Г. Перикова¹](#),

к.м.н., доцент кафедры стоматологии

[В.Н. Ленев¹](#),

к.м.н., доцент кафедры стоматологии

[Н.И. Быкова²](#),к.м.н., доцент кафедры стоматологии ФПК
и ППС[О.Н. Рисованная²](#),д.м.н., доцент, профессор кафедры
стоматологии ФПК и ППС[В.Б. Шовгенов¹](#),аспирант кафедры стоматологии общей
практики[А.А. Овсянникова¹](#),к.м.н., доцент кафедры стоматологии общей
практики[И.И. Карташевский¹](#),лаборант кафедры стоматологии общей
практики¹ СтГМУ, 355017, Ставрополь, Россия² КубГМУ, 350063, Краснодар, Россия**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:**

Сирак С.В., Арутюнов А.В., Перикова М.Г., Ленев В.Н., Быкова Н.И., Рисованная О.Н., Шовгенов В.Б., Овсянникова А.А., Карташевский И.И. Микрорельеф дентальных имплантатов при использовании скаффолда на основе коллагеновой матрицы. — *Клиническая стоматология*. — 2024; 27 (4): 132—139. DOI: 10.37988/1811-153X_2024_4_132

Микрорельеф дентальных имплантатов при использовании скаффолда на основе коллагеновой матрицы

Реферат. Поверхность дентального имплантата, имеющего развитый микрорельеф и выраженную шероховатость, способствует лучшей биологической совместимости с костной тканью, уменьшает риск отторжения. Правильно подобранный микрорельеф дентального имплантата может снижать риск бактериального загрязнения и развития воспалительных процессов, способствуя тем самым профилактике периимплантита. **Цель** — провести сравнительный экспериментальный анализ микрорельефа и элементного состава резьбовой части дентальных имплантатов, применяемых со скаффолдом на основе коллагеновой матрицы. **Материалы и методы.** Использовали 6 однолетних овец (баранов) которым под рентгенологическим контролем установили 12 дентальных имплантатов. В зависимости от вида имплантатов животных поделили на 3 группы: I — 4 имплантата Mis (Израиль) из титанового сплава с пониженным содержанием кислорода, азота, углерода и железа (Ti6Al4V ELI) совместно со скаффолдом на основе коллагеновой матрицы; II — Osstem (Южная Корея) с ультрагидрофильной поверхностью серии TS-III CA совместно со скаффолдом на основе коллагеновой матрицы; III (контроль) — имплантаты машинной обработки Endure (США). Через 3 месяца после операции изготавливали металлокерамические коронки, которые вводили в прикус. Через 12 и 24 месяцев имплантаты удаляли вместе с окружающими тканями и отправляли на микроскопическое и гистологическое исследование. **Результаты.** На режущей поверхности имплантатов I и II группы выявлена высокоорганизованная костная ткань, в составе которой преобладали кислород, углерод, кальций и фосфор. В образцах контрольной группы обнаружена грубоволокнистая ткань с высоким содержанием углерода и кислорода, что более типично для несформированной костной ткани. Остеоинтеграция с костью к поверхностям дентальных имплантатов в I и во II группе (316,4 и 288,7 кН; $p < 0,001$) оказалась более прочной, чем фиксация к титану машинной обработки (78,4±10,4 кН; $p < 0,002$). Это подтвердилось гораздо более высоким усилием, необходимым для отделения имплантата от кости, а также большим количеством ретенционных точек контактов костной ткани с поверхностью дентального имплантата. **Заключение.** Использование дентальных имплантатов с развитым микрорельефом и модифицированной поверхностью совместно со скаффолдом на основе коллагеновой матрицы обеспечивает более полноценную остеинтеграцию в сравнении с дентальными имплантатами машинной обработки. Это подтверждается гистологической картиной и микроэлементным составом при эксплуатации дентальных имплантатов в течение 12 и 24 месяцев. В эти же сроки в контрольной группе качественные характеристики и микроэлементный состав образцов дентальных имплантатов свидетельствовал о низком уровне минерализации.

Ключевые слова: дентальный имплантат, поверхность, остеинтеграция, микрорельеф, скаффолд, эксперимент, микроэлементный состав

[S.V. Sirak¹](#),Doctor of Science in Medicine, full professor of
the Dentistry Department[A.V. Arutyunov²](#),Doctor of Science in Medicine, associate
professor and head of the General dentistry
Department[M.G. Perikova¹](#),PhD in Medical Sciences, associate professor
of the Dentistry Department[V.N. Lenev¹](#),PhD in Medical Sciences, associate professor
of the Dentistry Department[N.I. Bykova²](#),PhD in Medical Sciences, associate professor
of the Dentistry Department

Microrelief of dental implants when using a scaffold based on a collagen matrix

Abstract. The surface of the dental implant, having a developed microrelief and pronounced roughness, contributes to better biological compatibility with the bone tissue, reduces the risk of rejection. Properly selected microrelief of the dental implant can reduce the risk of bacterial contamination and development of inflammatory processes, thus contributing to the prevention of peri-implantitis. **The aim** is to carry out the comparative experimental analysis of the microrelief and elemental composition of the threaded part of the dental implants used with the scaffold on the basis of the collagen matrix. **Materials and methods.** Six year-old sheep (rams) were used and 12 dental implants were placed under the radiologic control. Depending on the type of implants the animals were divided into 3 groups: I — 4 implants Mis (Israel) made of titanium alloy with reduced content of oxygen, nitrogen, carbon and iron (Ti6Al4V ELI) together with scaffold on the basis of collagen matrix; II — Osstem (South Korea) with ultra-hydrophilic surface of TS-III CA series together with scaffold on the basis of collagen matrix;

[O.N. Risovannaya](#)²,

Doctor of Science in Medicine, associate professor of the of Dentistry Department

[V.B. Shovgenov](#)¹,

postgraduate at the General dentistry Department

[A.A. Ovsyannikova](#)¹,

PhD in Medical Sciences, associate professor of the General dentistry Department

[I.I. Kartashevsky](#)¹,

laboratory assistant at the General dentistry Department

¹ Stavropol State Medical University, 355017, Stavropol, Russia

² Kuban State Medical University, 350063, Krasnodar, Russia

III (control) — machine-processed implants Endure (USA). At 3 months after surgery, metal-ceramic crowns were fabricated and inserted into the bite. After 12 and 24 months the implants were removed together with the surrounding tissues and sent for microscopic and histologic examination.

Results. On the cutting surface of the implants of group I and II the highly organized bone tissue was revealed, the composition of which was dominated by oxygen, carbon, calcium and phosphorus. In the samples of the control group the coarse-fiber tissue with high content of carbon and oxygen was found, which is more typical for the unformed bone tissue. Osseointegration with bone to dental implant surfaces in Group I and in Group II (316.4 and 288.7 kN; $p < 0.001$) was stronger than fixation to machine-processed titanium (78.4±10.4 kN; $p < 0.002$). This was confirmed by a much higher force required to separate the implant from the bone, as well as by a greater number of retention points of bone tissue contacts with the surface of the dental implant. **Conclusion.** The use of the dental implants with the developed microrelief and modified surface together with the scaffold on the basis of the collagen matrix provides more complete osseointegration in comparison with the dental implants of the machine processing. It is confirmed by the histologic picture and microelement composition at operation of the dental implants during 12 and 24 months. In the same terms in the control group qualitative characteristics and microelement composition of the samples of dental implants testified to the low level of mineralization.

Key words: dental implant, surface, osseointegration, microrelief, scaffold, experiment, microelement composition

FOR CITATION:

Sirak S.V., Arutyunov A.V., Perikova M.G., Lenev V.N., Bykova N.I., Risovannaya O.N., Shovgenov V.B., Ovsyannikova A.A., Kartashevsky I.I. Microrelief of dental implants when using a scaffold based on a collagen matrix. *Clinical Dentistry (Russia)*. 2024; 27 (4): 132—139 (In Russian). DOI: 10.37988/1811-153X_2024_4_132

ВВЕДЕНИЕ

Как известно из специальной литературы и современного уровня техники, микрорельеф поверхности дентального имплантата (ДИ) играет ключевую роль в его интеграции с окружающими тканями [1, 2]. Так, шероховатая поверхность способствует лучшей адгезии костной ткани к имплантату, что улучшает остеоинтеграцию и обеспечивает более прочное соединение, микрорельеф увеличивает площадь поверхности имплантата, что способствует более эффективному распределению нагрузки и улучшает первичную стабильность ДИ [3]. Немаловажное значение для благоприятного прогноза выживаемости ДИ играет поверхность с определенной степенью шероховатости, которая регулируется производителем и может способствовать лучшей биологической совместимости, а также уменьшать риск отторжения [4, 5]. Кроме этого, правильно подобранный микрорельеф ДИ может снижать риск бактериального загрязнения и развития воспалительных процессов вокруг имплантата, способствуя профилактике периимплантита [6]. Таким образом, микрорельеф является важным фактором, обеспечивающим долгосрочную функциональность и безопасность дентальных имплантатов. Известно, что различные материалы, такие как титан, цирконий или никель-палладиевые сплавы, имеют разную степень износостойкости и могут по-разному взаимодействовать с тканями рта, поэтому точность и качество изготовления имплантата влияют на его долговечность и способность сохранять первоначальный микрорельеф, вместе с этим сегодня отсутствует единая позиция о выборе наиболее эффективного материала для изготовления ДИ, а также о способах обработки и трансформации их поверхности [7, 8]. Однако жевательные нагрузки

и их неправильное распределение со временем могут привести к микроскопическим изменениям поверхности имплантата, что в сочетании с плохой гигиеной полости рта, в свою очередь, может привести к накоплению зубного налета и камня, а это может изменить микрорельеф имплантата, оказав негативное влияние на скорость регенерации тканей и развитие воспалительных процессов [9, 10].

Для поддержания оптимального микрорельефа и продления срока службы дентальных имплантатов важно соблюдать рекомендации по уходу за ДИ, регулярно посещать стоматолога и следить за состоянием здоровья полости рта. Некоторые специалисты считают, что соблюдения только этих мер явно недостаточно для гарантированной остеоинтеграции ДИ в тканях полости рта в условиях длительных функциональных нагрузок [11, 12].

Сегодня для решения проблемы обеспечения стабильности и обеспечения трехмерной структуры, поддерживающей рост и регенерацию костной ткани вокруг имплантата, активно используют скаффолды на основе коллагеновой матрицы [13, 14]. Коллаген хорошо совместим с человеческими тканями, что снижает риск отторжения и способствует более быстрой интеграции имплантата: скаффолды служат своеобразными направляющими для плюрипотентных клеток, помогая им распределиться и организовать вокруг ДИ для формирования новой кости. Кроме этого, коллагеновые скаффолды могут быть модифицированы для доставки ростовых факторов, которые стимулируют костную регенерацию и ускоряют процесс заживления [15]. Таким образом, коллагеновые скаффолды (КСК) играют важную роль в улучшении исходов дентальной имплантации, способствуя более быстрой и качественной остео-

интеграции, однако до настоящего времени в доступной литературе отсутствуют сведения о степени износа, изменения микрорельефа, а следовательно, элементного состава поверхности ДИ при их длительной эксплуатации.

В этой связи определенный интерес для практикующих стоматологов представляет исследование степени износостойкости отдельных видов винтовых ДИ, используемых в сочетании с КСК, что и предопределило цель настоящего исследования.

Цель — сравнительный экспериментальный анализ микрорельефа и элементного состава резьбовой части дентальных имплантатов, применяемых со скаффолдом на основе коллагеновой матрицы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования включал:

- 1) Подготовку образцов ДИ с различными типами микрорельефа и элементным составом, а также подготовку скаффолда на основе коллагеновой матрицы.
- 2) Исследование микрорельефа ДИ с использованием сканирующего электронного микроскопа для получения изображений поверхности имплантатов и измерения параметров микрорельефа, таких как шероховатость и топография.
- 3) Исследование элементного состава резьбовой части имплантатов методом энергодисперсионного спектрального анализа.
- 4) Механические исследования образцов ДИ с испытанием на отрыв и/или сжатие для оценки прочности соединения имплантата с коллагеновым скаффолдом.
- 5) Гистологическое исследование для определения способности плюрипотентных клеток к адгезии и пролиферации на поверхности ДИ.
- 6) Статистическую обработку данных с использованием непараметрических методов для сравнения групп, если данные не распределены нормально или размер выборки недостаточен для параметрических тестов.

В экспериментальном исследовании использовали 6 однолетних овец (баранов) северо-кавказской породы массой 18–20 кг, которым под рентгенологическим контролем устанавливали разные ДИ в беззубом участке нижней челюсти. В зависимости от вида имплантов и места установки образовали 3 равные группы:

- I — 4 импланта *Mis* (Израиль) из титанового сплава 23 класса с пониженным содержанием кислорода, азота, углерода и железа (*Ti6Al4V ELI*) совместно со скаффолдом на основе коллагеновой матрицы, их устанавливали по 2 на правой стороне;
- II — 4 имплантата *Osstem* (Южная Корея) с ультрагидрофильной поверхностью серии *TS-III SA*, их по 2 устанавливали на левой стороне совместно со скаффолдом на основе коллагеновой матрицы;
- III — 4 имплантата *Endure* (3M ESPE, США) машинной обработки — контрольная группа (2 животных).

Для наркоза внутримышечно применяли смесь 2%-ных растворов рометара и калипсола (1:1) в дозе

0,5 мл/кг. В зоне оперативного вмешательства для дополнительной инфильтрационной анестезии вводили 2%-ный раствор лидокаина с адреналином (1:100 000). Для обеспечения точности исследования через 3 месяца после установки имплантов изготавливали металлокерамические коронки, которые вводили в прикус. Животных содержали в вольере на привычном твердом корме без ограничения воды. Через 12 и 24 месяцев импланты удаляли вместе с окружающими тканями и отправляли на механическое, микроскопическое и гистологическое исследование.

Для исследования морфологии поверхности и элементного состава после декальцинации образцов в растворе 10%-ного забуференного формалина импланты отделяли от окружающих тканей, фиксировали на углеродный скотч на специальных столиках и помещали в растровый электронный микроскоп «FEI Quanta 600 FEG» (Германия).

Микроэлементный состав исследуемой части образцов измеряли на энергодисперсионном спектрометре рентгеновского излучения «Octane Elect Plus» (EDAX), установленного в микроскопе «Olimpus-4» (Япония). Разрешение по энергии данного метода составляло 126 эВ, а по концентрации — до 0,1% для Ag и более тяжелых элементов и порядка 0,5% для C, N и O.

Гистологическое исследование проводили по стандартной методике с заливкой блоков в парафин, изготовлением срезов толщиной 5 мкм с помощью специального микротомы повышенной мощности «ACTUS-3000» (Япония) и с окрашиванием образцов по Маллори и Массону.

Испытания микротвердости образцов проводили по Виккерсу с помощью микротвердомера «QATM Qness 60 EVO» (Австрия) с пирамидальным индентором в диапазоне тестовых нагрузок 0,00335–613 Н и картированием поверхности исследуемых образцов в 2D/3D-формате. Испытания прочности на разрыв проводили с помощью разрывной машины двухколонного исполнения в диапазоне силы от 100 до 700 кН в соответствии с ГОСТ 28840-90, ГОСТ 1497-84, по стандартам СЭВ 471-88, по ISO 6892-84 для проведения исследований и обработки результатов для металлов, композитов и изделий из них с размером в поперечном сечении 3,0 мм и менее.

При статистической обработке результатов при соответствии данных нормальному распределению, гомоскедастичности (однородность дисперсий) и независимости наблюдений применяли параметрические методы анализа, включая *t*-тест Стьюдента для сравнения средних значений двух выборок, однофакторный дисперсионный анализ для сравнения средних значений трех и более групп, а также корреляционный анализ (Пирсона) для определения степени линейной связи между двумя переменными. При несоответствии этим предположениям использовали непараметрические методы, включая критерий рангов Вилкоксона (для сравнения двух связанных выборок), *U*-критерий Манна–Уитни для сравнения двух независимых выборок, а также критерий Краскела–Уоллиса (аналог ANOVA для непараметрических данных) для сравнения трех и более выборок.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Полученные данные исследования позволили получить новые сведения о микроструктуре ДИ с различным

типом поверхности после длительной эксплуатации — в течение 12 и 24 месяцев (рис. 1, 2). В основании резьбы образца ДИ из I группы присутствует крупный нарост размером около 4 мм вдоль оси резьбы. Нарост имеет

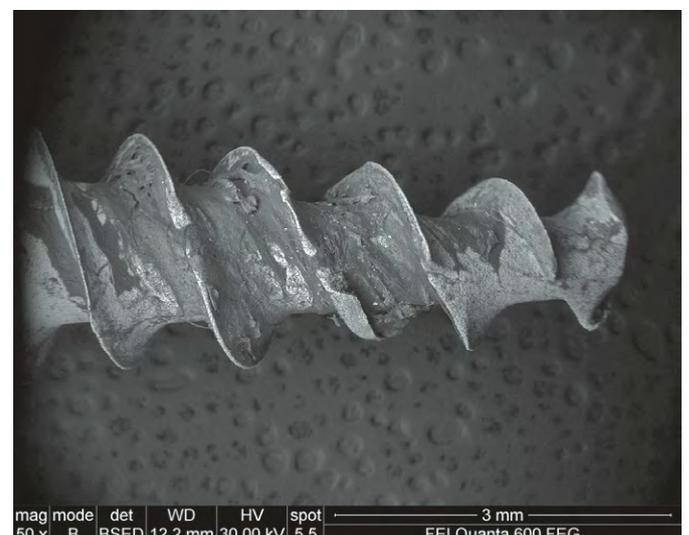
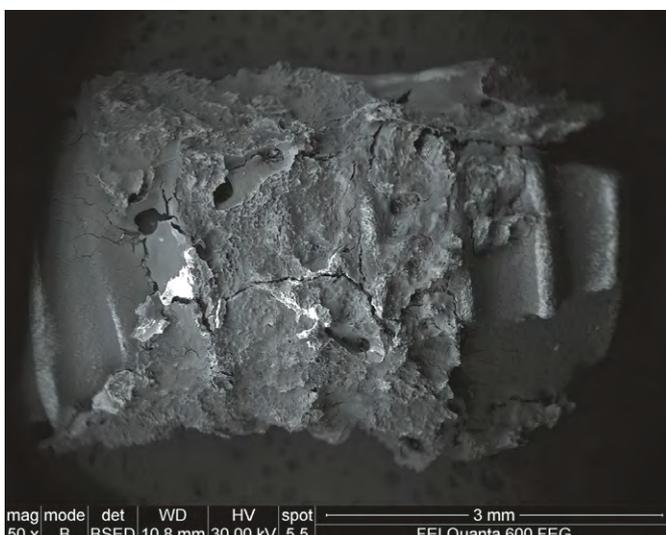
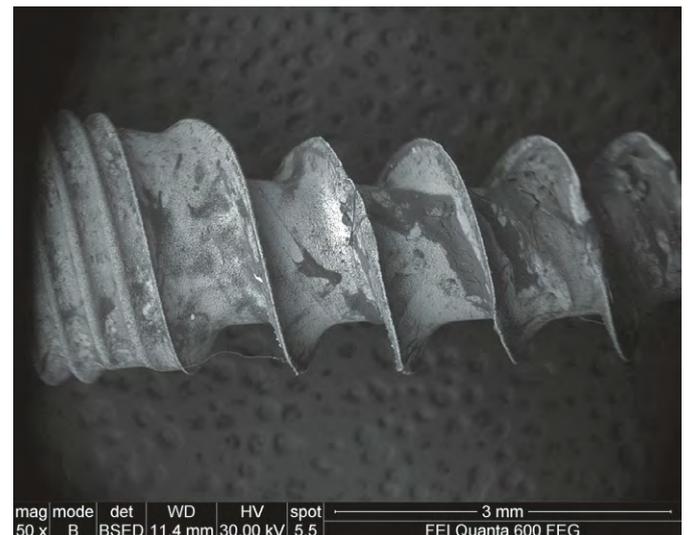
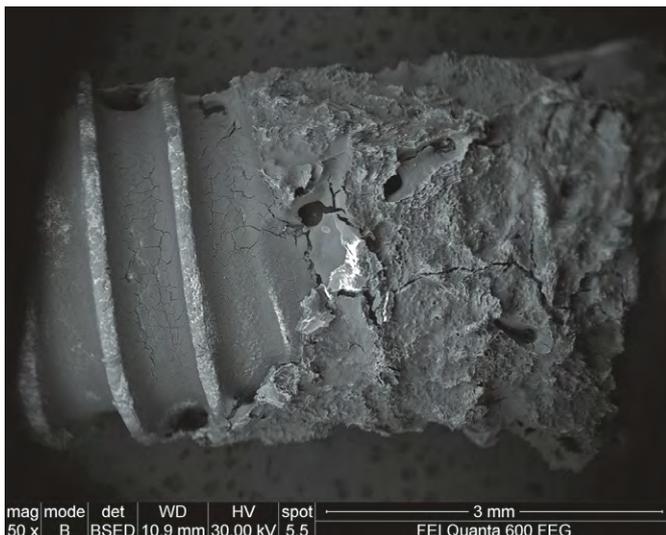
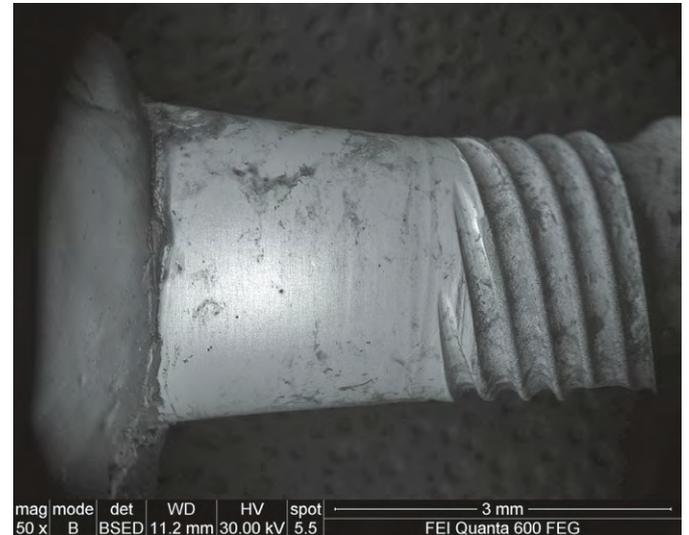
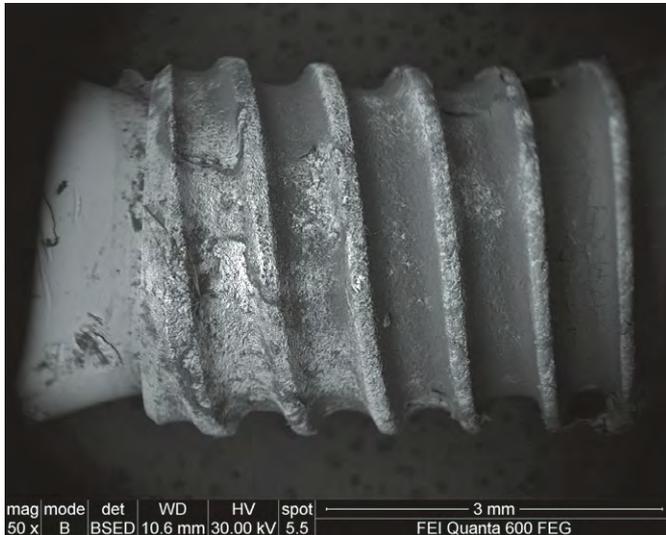


Рис. 1. Резьбовая часть имплантов I группы (ув. 50)
Fig. 1. Threaded part of group I implants (mag. 50x)

Рис. 2. Резьбовая часть имплантов II группы (ув. 50)
Fig. 2. Threaded part of group II implants (mag. 50x)

развитую морфологию поверхности и покрыт многочисленными трещинами (рис. 3).

На резьбе образца из II группы также присутствуют образования, однако они распределены более равномерно и тонким слоем (рис. 4А–С). Трещины на их поверхности присутствуют в малом количестве преимущественно в участках увеличения толщины нароста (рис. 4D, E).

Из результатов элементного анализа наростов обоих образцов можно сделать вывод, что наросты состоят преимущественно из гидроксиапатита — на это указывает высокое содержание фосфора в сочетании с кальцием. Максимальное содержание углерода также свидетельствует о присутствии в объеме наростов или органических соединений и/или карбонатов на их поверхности. Массовая доля алюминия, кислорода, натрия, хлора, калия, магния, кальция, титана и молибдена на поверхности

образцов из I и II группы имела статистически значимые различия (см. таблицу; $p < 0,05$).

Элементный состав резьбовой части дентальных имплантов (%) Elemental content of the threaded part of the dental implants (%)

Эле- МЕНТ	I группа		II группа		Эле- МЕНТ	I группа		II группа	
	масс.	ат.	масс.	ат.		масс.	ат.	масс.	ат.
C	25,9	35,0	21,1	29,7	Na	1,8	1,3	1,0	0,7
N	6,9	8,1	7,2	8,7	Mg	0,2	0,1	0,4	0,2
O	46,2	47,0	47,2	49,9	P	5,3	2,8	6,9	3,7
Al	—	—	0,3	0,2	S	1,3	0,7	0,6	0,3
Ca	10,3	4,2	14,1	5,9	Si	—	—	0,1	0,1
Cl	0,4	0,2	0,3	0,2	Ti	1,1	0,4	0,5	0,2
K	0,4	0,2	0,2	0,1					

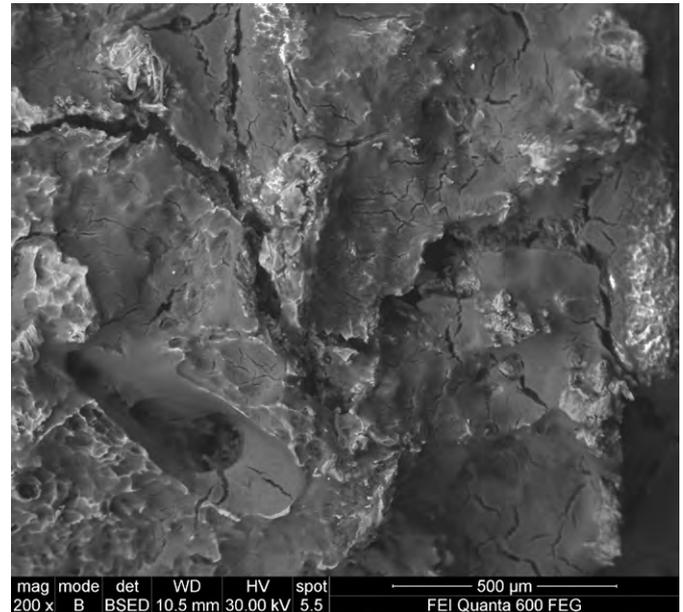
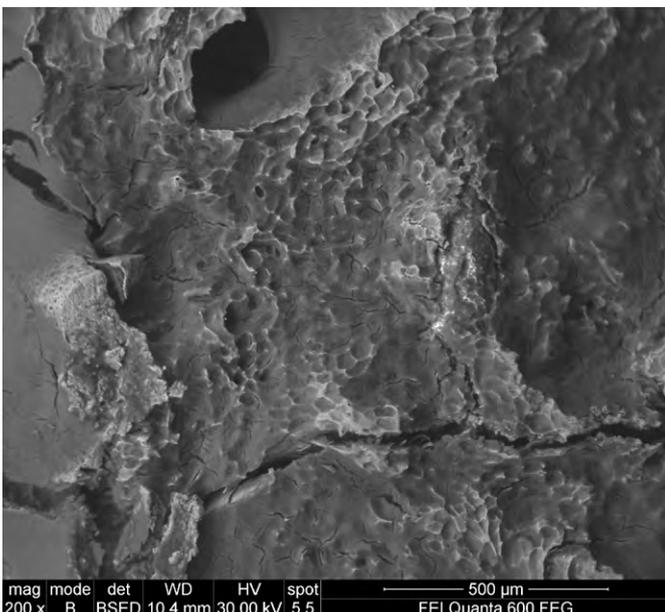
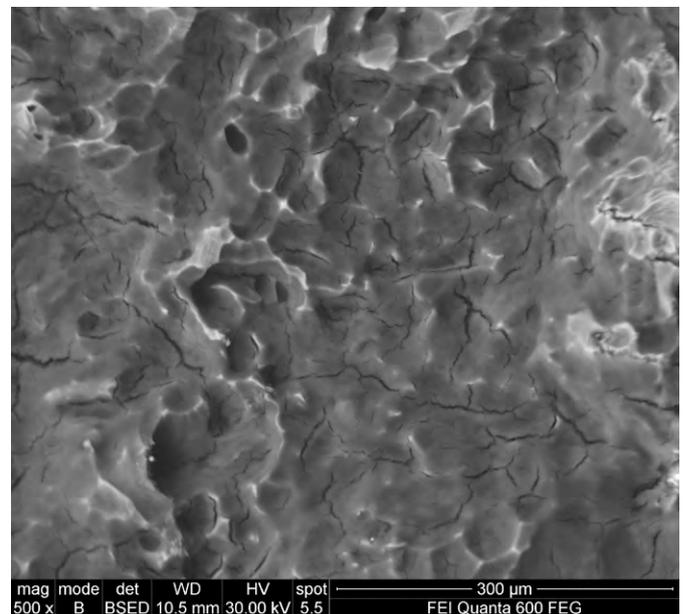
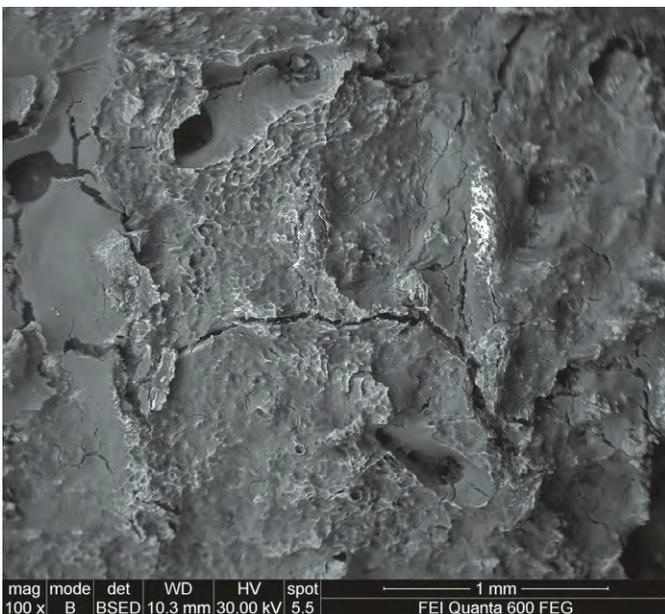


Рис. 3. Резьбовая часть имплантов I группы (ув. 100—500)
Fig. 3. Threaded part of group I implants (mag. 100—500×)

При гистологическом анализе режущих поверхностей ДИ I и II группы выявлена высокоорганизованная костная ткань. При микроэлементном исследовании в I группе большинство содержания составляли кислород, углерод, кальций и фосфор — 46,2; 25,9; 10,3 и 5,3% (масс.) соответственно, а во II группе — 47,2; 21,1; 14,1 и 6,9% (масс.) соответственно. В зонах наростов образцов ДИ из III группы в основном обнаружена грубоволокнистая ткань с высоким содержанием углерода (71,5% масс.) и кислорода (14,4% масс.), что более типично для несформированной костной ткани. Количественные показатели выявленных микроэлементов по массовой доле имели статистически значимые различия ($p < 0,05$).

Остеоинтеграция с костью к поверхностям имплантов в I и II группе оказалась более прочной, чем фиксация к титану машинной обработки (III группа), — это подтвердилось гораздо более высоким усилием, необходимым для отделения имплантата от кости. Для образцов

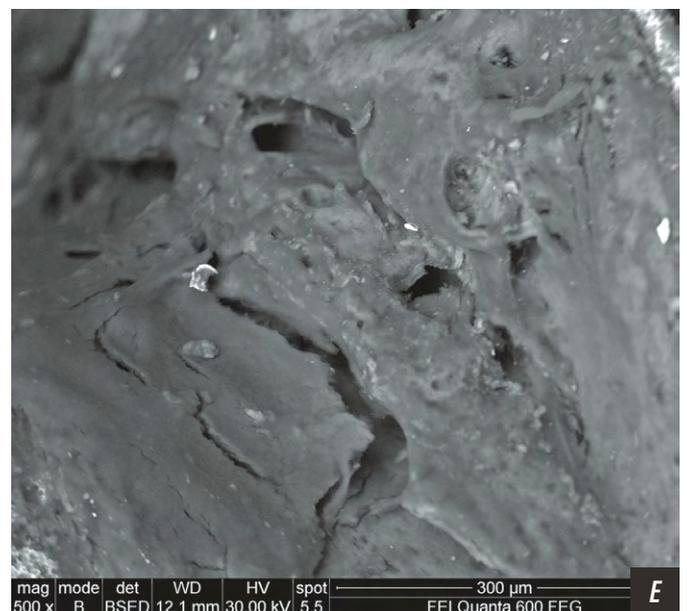
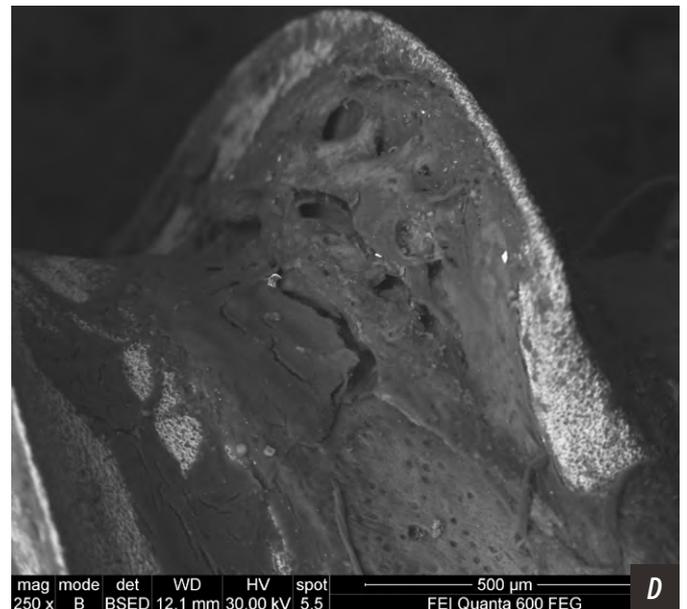
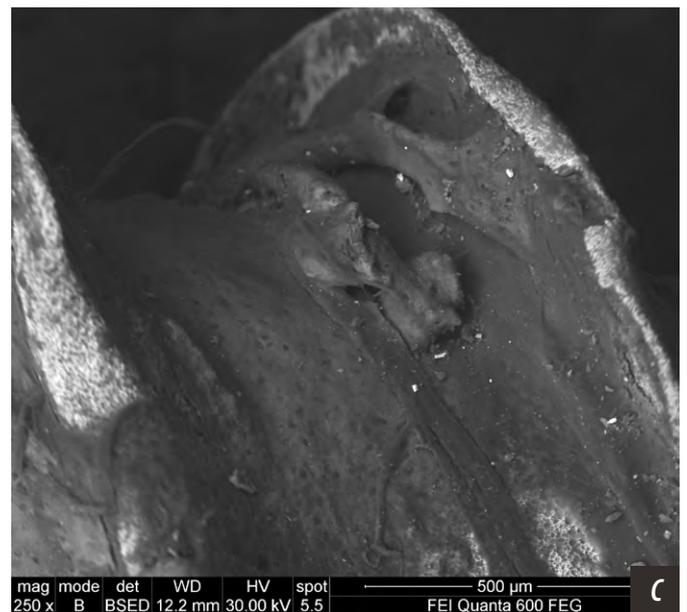
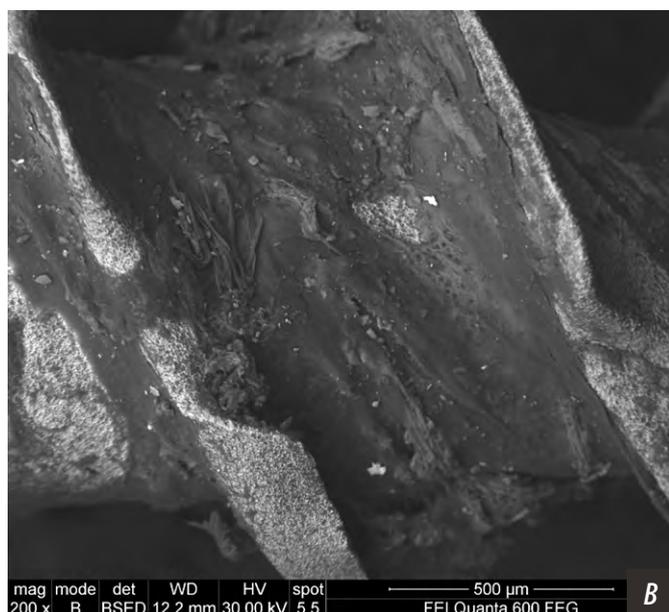
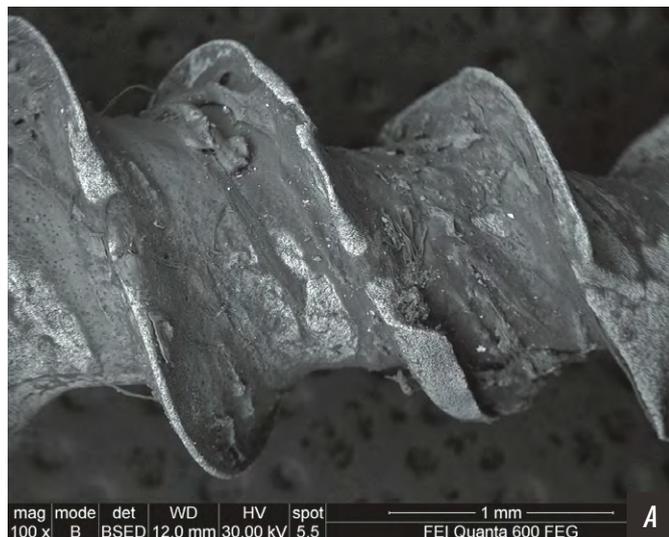


Рис. 4. Резьбовая часть имплантов II группы (ув. 100—500)
Fig. 4. Threaded part of group II implants (mag. 100—500×)

I и II группы прочность соединения имплант—кость составила $316,42 \pm 16,98$ и $288,71 \pm 14,56$ кН соответственно ($p < 0,001$), против $78,44 \pm 10,42$ в III группе ($p < 0,002$). Количество ретенционных точек контактов костной ткани с поверхностью имплантов также было значительно больше в I и во II группе ($66,15 \pm 9,83$ и $59,64 \pm 11,09$; $p < 0,001$) против $12,86 \pm 8,22$ в III группе.

Полученные данные о преимуществах использования дентальных имплантатов с развитым микрорельефом и модифицированной поверхностью по сравнению с имплантатами из титана машинной обработки согласуются с данными литературы [16]. Ряд авторов отмечает улучшение остеоинтеграции микрорельефной поверхности за счет увеличения площади контакта между имплантатом и костью, что способствует лучшей адгезии и росту костной ткани [17]. Также отмечается, что шероховатая поверхность значительно ускоряет процесс заживления, поскольку обеспечивает лучшее приращение для новообразованной костной ткани, а развитый микрорельеф способствует более прочному механическому соединению между имплантатом и костью, что важно для долговременной стабильности ДИ [18, 19]. Перечисленные преимущества делают имплантаты с развитым микрорельефом и модифицированной поверхностью предпочтительным выбором для многих стоматологических процедур, однако следует отметить, что выбор конкретного типа имплантата должен основываться на индивидуальных клинических показаниях с учетом анатомо-топографических условий и уровнем гигиены полости рта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование ДИ с развитым микрорельефом и модифицированной поверхностью совместно со скаффолдом на основе коллагеновой матрицы (I группа) обеспечивает более полноценную остеоинтеграцию в сравнении с ДИ машинной обработки (III группа), что подтверждается гистологической картиной, механическими испытаниями на прочность и разрыв, а также микроэлементным составом при эксплуатации ДИ в течение 12 и 24 месяцев, где в эти же сроки в контрольной группе качественные характеристики и микроэлементный состав образцов ДИ отражает низкий уровень минерализации (суммарное содержание фосфора и кальция составило 4,22 и 2,74 и 6,34 и 4,96% масс. соответственно) и умеренные прочностные характеристики.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках конкурса «Приоритет-2030» КубГМУ.

FUNDING

The work was carried out within the framework of the KubSMU Priority 2030 competition

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов.

Поступила: 21.04.2024 **Принята в печать:** 10.11.2024

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

Received: 21.04.2024 **Accepted:** 10.11.2024

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES:

- Иванов С.Ю., Карасенков Я.Н., Латута Н.В., Джатдаев В.В., Егоров Е.А., Тарасова Е.К., Козлова Э.В., Козлов П.А. Применение наночастиц металлов и их оксидов в стоматологических композитных материалах и конструкциях. Обзор (часть 1). — *Клиническая стоматология*. — 2022; 4: 159—165. [Ivanov S.Yu., Karasenkov Ya.N., Latuta N.V., Dzhatdaev V.V., Egorov E.A., Tarasova E.K., Kozlova E.V., Kozlov P.A. Application of metal nanoparticles and their oxides in dental composite materials and structures: A review (part I). — *Clinical Dentistry (Russia)*. — 2022; 4: 159—165 (In Russian)]. [eLibrary ID: 49940631](#)
- Мурзабеков А.И., Мураев А.А., Мухаметшин Р.Ф., Ким Э.В., Иванов С.Ю., Клименков В.А. Результаты применения дентальных имплантатов ИРИС с поверхностью, модифицированной методом плазменного электролитического оксидирования. — *Медицинский алфавит*. — 2024; 1: 77—83. [Murzabekov A.I., Muraev A.A., Mukhametshin R.F., Kim E.V., Ivanov S.Y., Klimentov V.A. Results of application of the IRIS dental implants with the surface modified by the method of plasma electrolytic oxidation. — *Medical alphabet*. — 2024; 1: 77—83 (In Russian)]. [eLibrary ID: 65365143](#)
- Hammouri M.H., Salekh K.M. Dental implants osseointegration in patients with osteoporosis. — *RUDN Journal of Medicine*. — 2022; 4: 422—430. [DOI: 10.22363/2313-0245-2022-26-4-422-430](#)
- Zhao F., Yang Z., Liu L., Chen D., Shao L., Chen X. Design and evaluation of a novel sub-scaffold dental implant system based on the osteoinduction of micro-nano bioactive glass. — *Biomater Transl.* — 2020; 1 (1): 82—88. [PMID: 35837658](#)
- Кулаков А.А., Гребнев Г.А., Брайловская Т.В., Багненко А.С., Ильин С.В., Ишниязова А.И. Отдаленные результаты дентальной имплантации у военнослужащих. — *Стоматология*. — 2022; 2: 31—35. [Kulakov A.A., Grebnev G.A., Brailovskaya T.V., Bagnenko A.S., Ilyin S.V., Ishniyazova A.I. Long-term results of dental implantation in military personnel. — *Stomatology*. — 2022; 2: 31—35 (In Russian)]. [eLibrary ID: 48239903](#)
- Asa'ad F., Pagni G., Pilipchuk S.P., Gianni A.B., Giannobile W.V., Rasperini G. 3D-printed scaffolds and biomaterials: Review of alveolar bone augmentation and periodontal regeneration applications. — *Int J Dent*. — 2016; 2016: 1239842. [PMID: 27366149](#)
- Васильев А.В., Кузнецова В.С., Бухарова Т.Б., Григорьев Т.Е., Загоскин Ю.Д., Бабиченко И.И., Чвалун С.Н., Гольдштейн Д.В., Лосев Ф.Ф., Кулаков А.А. Композиция на основе реактивированного хитозан-глицерофосфатного гидрогеля с высокопористыми PLA-гранулами и BMP-2 для регенерации костной ткани. — *Гены и Клетки*. — 2022; 3: 41—42. [Vasilyev A.V., Kuznetsova V.S., Bukharova T.B., Grigoriev T.E.,

- Zagoskin Y.D., Babichenko I.I., Chvalun S.N., Goldstein D.V., Los-ev F.F., Kulakov A.A. Composition based on reacylated chito-san-glycerophosphate hydrogel with highly porous PLA granules and BMP-2 for bone regeneration. — *Genes and Cells*. — 2022; 3: 41—42 (In Russian)]. [eLibrary ID: 49902424](#)
8. Titsinides S., Agrogiannis G., Karatzas T. Bone grafting materials in dentoalveolar reconstruction: A comprehensive review. — *Jpn Dent Sci Rev*. — 2019; 55 (1): 26—32. [PMID: 30733842](#)
 9. Maiorana C., Poli P.P., Mascellaro A., Ferrario S., Beretta M. Dental implants placed in resorbed alveolar ridges reconstructed with iliac crest autogenous onlay grafts: A 26-year median follow-up retrospective study. — *J Craniomaxillofac Surg*. — 2019; 47 (5): 805—814. [PMID: 30797661](#)
 10. Li J., Jansen J.A., Walboomers X.F., van den Beucken J.J. Mechanical aspects of dental implants and osseointegration: A narrative review. — *J Mech Behav Biomed Mater*. — 2020; 103: 103574. [PMID: 32090904](#)
 11. Рубникович С.П., Хомич И.С. Регенеративные стоматологические технологии в комплексной хирургической и ортопедической реабилитации пациентов с дефектами зубных рядов. — *Стоматолог. Минск*. — 2020; 2 (37): 38—50. [Rubnikovich S.P., Khomich I.S. Regenerative dental technologies in complex surgical and prosthetic rehabilitation of patients with dentition defects. — *Dentist (Minsk)*. — 2020; 2 (37): 38—50 (In Russian)]. [eLibrary ID: 42970311](#)
 12. Lee H., Kim E.Y., Lee U.L. Vertical augmentation of a severely atrophied posterior mandibular alveolar ridge for a dental implant using a patient-specific 3D printed PCL/BGS7 scaffold: A technical note. — *J Stomatol Oral Maxillofac Surg*. — 2023; 124 (2): 101297. [PMID: 36195533](#)
 13. Lukin I., Erezuma I., Maeso L., Zarate J., Desimone M.F., Al-Tel T.H., Dolatshahi-Pirouz A., Orive G. Progress in gelatin as biomaterial for tissue engineering. — *Pharmaceutics*. — 2022; 14 (6): 1177. [PMID: 35745750](#)
 14. Jeong H.J., Gwak S.J., Seo K.D., Lee S., Yun J.H., Cho Y.S., Lee S.J. Fabrication of three-dimensional composite scaffold for simultaneous alveolar bone regeneration in dental implant installation. — *Int J Mol Sci*. — 2020; 21 (5): 1863. [PMID: 32182824](#)
 15. Yu F., Geng D., Kuang Z., Huang S., Cheng Y., Chen Y., Leng F., Bei Y., Zhao Y., Tang Q., Huang Y., Xiang Q. Sequentially releasing self-healing hydrogel fabricated with TGFβ3-microspheres and bFGF to facilitate rat alveolar bone defect repair. — *Asian J Pharm Sci*. — 2022; 17 (3): 425—434. [PMID: 35782329](#)
 16. Hung K.S., Chen M.S., Lan W.C., Cho Y.C., Saito T., Huang B.H., Tsai H.Y., Hsieh C.C., Ou K.L., Lin H.Y. Three-dimensional printing of a hybrid bioceramic and biopolymer porous scaffold for promoting bone regeneration potential. — *Materials (Basel)*. — 2022; 15 (5): 1971. [PMID: 35269209](#)
 17. Stafin K., Śliwa P., Piątkowski M. Towards polycaprolactone-based scaffolds for alveolar bone tissue engineering: A biomimetic approach in a 3D printing technique. — *Int J Mol Sci*. — 2023; 24 (22): 16180. [PMID: 38003368](#)
 18. von Stein-Lausnitz M., Nickenig H.J., Wolfart S., Neumann K., von Stein-Lausnitz A., Spies B.C., Beuer F. Survival rates and complication behaviour of tooth implant-supported, fixed dental prostheses: A systematic review and meta-analysis. — *J Dent*. — 2019; 88: 103167. [PMID: 31306691](#)
 19. Зекий А.О. Улучшение остеоинтеграции дентальных имплантатов с помощью наноразмерных покрытий. — *Институт стоматологии*. — 2017; 2 (75): 46—49. [Zekiy A.O. An improvement of dental implant osseointegration with nano-size coating. — *The Dental Institute*. — 2017; 2 (75): 46—49 (In Russian)]. [eLibrary ID: 29436545](#)