

doi: 10.17116/rosstomat20147415-24

Изучение остеоинтеграции имплантатов КОНМЕТ с биоактивной поверхностью

Д.м.н. Б.С. СМБАТЯН, к.м.н. А.В. ВОЛКОВ^{1,2}, Т.В. ОМАРОВ³, д.м.н., проф. М.В. ЛОМАКИН^{3*}

¹Отдел общей патологии ФГБУ «ЦНИИ стоматологии и челюстно-лицевой хирургии»; ²ФГБУ «НИИ морфологии человека РАМН»; ³кафедра имплантологии и реконструктивной хирургии полости рта стоматологического факультета (зав. — д.м.н., проф. М.В. Ломакин) ГБОУ ВПО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова» Минздрава России, Москва, Россия

The study of osteointegration of CONMET implants having the bioactive surface

B.S. SMBATYAN, A.V. VOLKOV^{1,2}, T.V. OMAROV³, M.V. LOMAKIN³

¹Department of General Pathology Federal state budgetary institution «Central Research Institute of Stomatology and Maxillofacial Surgery», Russian Ministry of Health; ²Federal state budgetary institution «Research Institute of Human Morphology», Russian Academy of Medical Sciences; ³Department of Implantology and Reconstructive Surgery of Oral Cavity Faculty of Stomatology, Moscow State University of Medicine and Dentistry named after A. I. Evdokimov Russian Ministry of Health, Moscow, Russia

На протяжении более 6 лет в Российской Федерации проводились исследования по получению биоактивных покрытий для имплантатов. В результате этих исследований было получено биоактивное покрытие, существенно отличающее его от аналогов и имеющее ряд преимуществ. Компания КОНМЕТ использовала данные исследования для разработки способа получения уникальной биоактивной поверхности дентальных имплантатов на основе диоксида титана (TiO₂) с кристаллической решеткой анатаз посредством атомарно-слоевого осаждения. **Цель** данной работы — сравнение остеоинтеграции имплантатов с покрытием TiO₂ (исследуемая группа) и без него (контрольная группа) в разные сроки послеоперационного периода. **Материал и методы.** В исследовании были задействованы 10 мини-свиней, разделенных на 5 групп, по 2 особи в каждой. Экспериментальное биомоделирование имплантации в объеме 66 имплантатов; последующее изучение образцов в сроки 2, 6, 8, 16 нед с помощью тестов на выдергивание, гистологического, морфометрического исследований, рентгеновской компьютерной томографии с применением анализа по шкале Хаунсфилда. Статистическая обработка результатов с помощью однофакторного дисперсионного анализа. **Результаты.** По результатам проведенного исследования в течение 16 нед для имплантатов с биоактивной поверхностью продемонстрирована более полноценная остеоинтеграция по сравнению со стандартными имплантатами. Тест на выдергивание, гистоморфометрический анализ образцов, а также обработка компьютерных томограмм костных фрагментов показали заметную по отдельным параметрам статистически значимую, разницу в количественных и качественных показателях остеоинтеграции между имплантатами с биоактивной поверхностью и стандартными имплантатами.

Ключевые слова: дентальные имплантаты, биологическая активность поверхности, экспериментальное биомоделирование, репаративный контактный остеогенез.

Investigations designed to obtain bioactive coverings for dental implants have been carried in Russia during the past 6 years. They resulted in the production of a bioactive covering substantially differing from the previously available ones and having a number of advantages over them. The CONMET Company used these results to develop the method for manufacturing by the atomic-salt precipitation technique the unique bioactive surfaces for dental implants based on titanium dioxide (TiO₂) with the anatase crystal lattice. **The objective** of the present study was to compare osteointegration of the TiO₂-coated (the study group) and uncoated (the control group) implants at different time points during the postoperative period. A total of 10 minipigs were included in the experiment. They were allocated to 5 groups each containing two animals. **Material and methods.** A total of 66 implants were used in the experiments on biomodeling of dental implantation. Their condition was evaluated within 2, 6, 8, and 16 weeks after the placement by means of extraction tests, histological and morphometric studies, and X-ray computed tomography with the analysis based on the use of the Hounsfield scale. The statistical treatment of the data obtained was performed by the single-factor dispersion analysis. **Results.** The study has demonstrated a more complete osteointegration of the implants having the bioactive surface during a period of 16 weeks in comparison with conventional dental implants. The extraction test as well as the analysis of the histomorphological features and CT images of the samples revealed the statistically significant difference in the qualitative and quantitative characteristics of osteointegration between dental implants with the bioactive surface and conventional ones.

Key words: dental implants, biologically active surfaces, experimental biological modeling, reparative contact osteogenesis.

К настоящему времени метод дентальной имплантации эволюционировал от идеи с последующим экспериментальным обоснованием до значительного

уровня клинической и прогностической эффективности различных методик использования имплантатов при проведении стоматологического лечения.

Биологическая совместимость дентальных имплантатов — искусственных внутрикостных опор, предназначенных для долговременного функционирования, определяется видом исходного материала, макро- и микропологией поверхности, ее физико-химическими свойствами.

На протяжении более 6 лет в Российской Федерации проводились исследования по получению биоактивных покрытий для имплантатов [1]. В результате этих исследований было получено биоактивное покрытие, существенно отличающее его от аналогов и имеющее ряд преимуществ. Компания КОНМЕТ использовала данные исследования для разработки способа получения уникальной биоактивной поверхности дентальных имплантатов на основе двуоксида титана (TiO_2) с кристаллической решеткой анатаз, а также внедрения промышленной технологии нанесения такого покрытия с помощью атомарно-слоевого осаждения. Покрытие в виде поверхностного слоя внутрикостной части имплантатов толщиной не более 30 нм имеет высокую конформность, при этом в нем отсутствуют какие-либо другие, кроме анатаза, кристаллические модификации TiO_2 , что позволяет сохранить начальный микрорельеф поверхности с оптимальной степенью шероховатости, и, таким образом, придать поверхности имплантатов биоактивные свойства.

Наиболее информативным методом для оценки биоактивных поверхностных свойств имплантатов являются исследования *in vivo/ex vivo* посредством использования лабораторных животных в виде экспериментальных биомоделей с проведением гистологического изучения периимплантатных тканей, а также тестов на извлечение (выдергивание) аналогов имплантатов в различные периоды остеоинтеграции. В 2014 г. нами было запланировано и проведено экспериментальное сравнительное исследование имплантатов КОНМЕТ с биоактивным покрытием и без такового. В качестве биомоделей использовали мини-свиней.

Содержание животных, оперативные вмешательства и эвтаназию осуществляли согласно требованиям приказа МЗ СССР №755 от 12.08.1977, а также руководствуясь требованиями, изложенными в «Европейской конвенции о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях», с соблюдением этических норм и гуманного отношения к объектам изучения [2].

Материал и методы

Экспериментальное исследование

Экспериментальная часть работы была проведена на мини-свиньях (мини-пигах) Светлогорской породы массой от 2 до 2,5 кг, которые, исходя из особенностей морфотипа челюстных костей, явля-

ются адекватной биомоделью для проведения такого рода исследований [3]. Целью исследования было сравнение остеоинтеграции имплантатов с покрытием TiO_2 (исследуемая группа) и без него (контрольная группа) в разные сроки послеоперационного периода. Всего в исследовании были задействованы 10 мини-свиней, разделенных на 5 групп, по 2 особи в каждой.

Операции проводились под внутримышечной седацией препаратами Ромитар и Золетил, а также местной инфильтрационной анестезией препаратом Ultracain DS forte. Областью хирургического вмешательства были выбраны дистальные отделы верхней челюсти в связи с оптимальной плотностью костной ткани в данных участках, сопоставимой с вариантом строения костной ткани челюстей человека, плотностью D2—D3. Имплантаты контрольной и исследуемой групп устанавливались в каждом отделе поочередно, в «шахматном» порядке, для исключения попадания имплантатов контрольной и исследуемой групп в разные участки по качественному составу костной ткани.

Первым этапом у всех животных было проведение удаления зубов в дистальных отделах верхней челюсти. После этого был период ожидания 2 мес, в течение которого прошло полное восстановление костной ткани альвеолярного отростка в области удаленных зубов.

Через 2 мес одномоментно была проведена установка 66 дентальных имплантатов (рис. 1).

50 установленных имплантатов имели резбовой макрорельеф, диаметр 3,5 мм и длину 8 мм, 8 биомоделям (1—4-я группа) были установлены 25 имплантатов со стандартным покрытием и 25 имплантатов с покрытием TiO_2 (рис. 2).

Двум биомоделям (5-я группа) были установлены 16 имплантатов без внешней резьбы, в том числе 8 со стандартным покрытием и 8 — с покрытием TiO_2 . Указанные 16 имплантатов внедрялись путем



Рис. 1. Состояние через 2 мес после удаления зубов.

механического давления в сформированное костное ложе. После операции в течение 5 сут всем 10 особям внутримышечно вводился ампициллин 1 г в сутки.

Биомодели выводились из эксперимента через 2 (1-я группа), 6 (2-я и 5-я группа), 8 (3-я группа) и 16 нед (4-я группа) после имплантации. После выведения при помощи пьезоскальпеля и сепарационных дисков выделялись фрагменты челюстей с установленными имплантатами (рис. 3, 4).

Проводилась компьютерная томография полученных фрагментов, после чего образцы 1–4-й групп передавались для проведения гистоморфо-

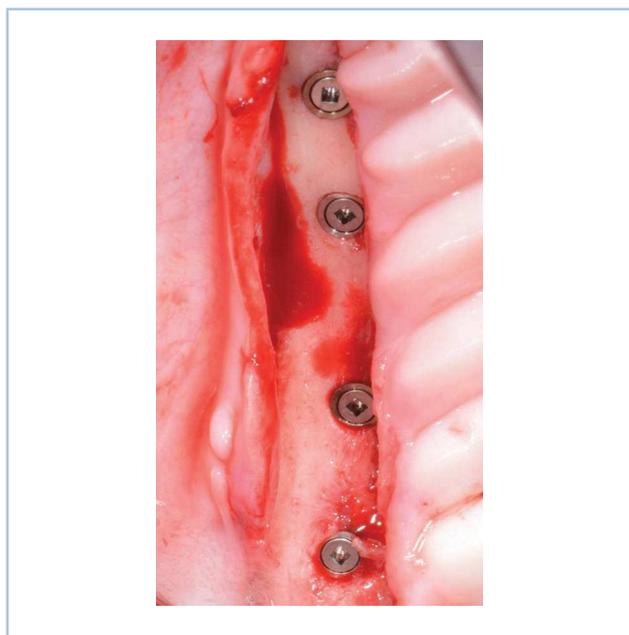


Рис. 2. Состояние после установки дентальных имплантатов.



Рис. 3. Этап выпиливания костного фрагмента с имплантатами.

метрического исследования, а образцы 5-й группы были переданы для проведения теста на выдергивание.

Тест на выдергивание проводился с использованием универсальной динамической машины сервогидравлического типа Walter+Bay AG LFV 10-50 T, заводской №905.

В соответствии с вышесказанным, имплантаты в 5-й группе не имели внешней резьбы для исключения фактора их механической фиксации за счет макрорельефа. В имплантатах была стандартная шахта с резьбой, где фиксировалась заглушка, и именно этот узел сопряжения использовался для их выдергивания из образцов костной ткани (рис. 5).

Обработка рентгеновских компьютерных томограмм проводилась в программе Osirix на операционной платформе Mac Os.

Гистологическое исследование

Образцы фиксировали в 70% изопропанол в течение 72 ч. Затем промывали, обезживали и заливали в метилметакрилат («Sigma-Aldrich», США). Из полученных блоков изготавливались первичные срезы 200 мкм («Lowspeed saw Jet», Швейцария), из которых готовились вторичные срезы толщиной 40–50 мкм («Buehler», США). Контроль толщины среза осуществлялся стандартным механическим микрометром барабанного типа.

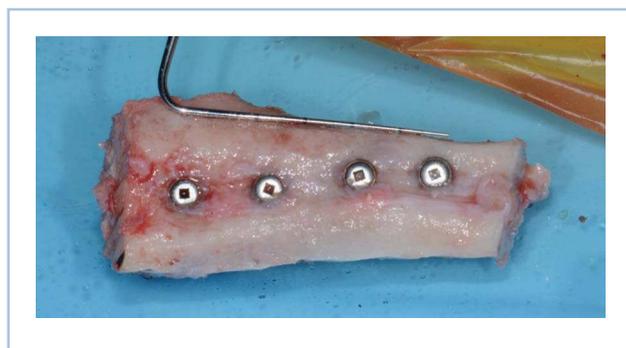


Рис. 4. Вид костного фрагмента после его выделения.



Рис. 5. Имплантаты для теста на выдергивание.

Срезы окрашивались толуидиновым синим по оригинальной методике и по Массону, затем заключались в монтирующую среду («Биооптика», Италия).

Морфометрическое исследование

Морфометрическое исследование проводилось на программно-аппаратном комплексе MegaMorph12 (ООО «ГистоЛаб», Москва), параметры которого представлены в **табл. 1** [4].

Результаты

Все животные были выведены из эксперимента согласно установленному графику. Выраженное воспаление с гнойным отделяемым и экспозицией заглушки наблюдалось только в области одного имплантата в 3-й группе. Всего отсутствие остеоинтеграции наблюдалось в области двух установленных имплантатов: имплантат с воспалением из 3-й группы и один имплантат из 5-й группы.

Образцы после выделения погружались в 70% изопропанол и передавались для проведения компьютерной томографии, а затем образцы 1–4-й группы направлялись на гистоморфометрию, а образцы 5-й группы — на проведение теста на выдергивание.

Результаты теста на выдергивание представлены в **табл. 2**.

Компьютерные томограммы 5-й группы прошли обработку в программе Osirix для оценки плотности окружающей имплантаты костной ткани в единицах Хаунсфилда, с последующей синхронизацией полученных данных с результатами теста на выдергивание (**табл. 3, 4**).

Оценка плотности костной ткани в области имплантатов проводилась в поперечном и продольном

сечении (**рис. 6**), в 16 точках на каждую плоскость (**рис. 7**).

Результаты проведенных замеров прошли статистическую обработку с помощью однофакторного дисперсионного анализа, в результате которого была доказана их симметричность, исходя из чего мы могли сравнивать данные, опираясь на средние значения. Сравнив средние показатели теста на выдергивание у имплантатов со стандартным покрытием и покрытием TiO₂, определили, что последние имели фиксацию в костной ткани в период 6 нед после установки на 22,1% выше. Оценка плотности костной ткани в области двух групп имплантатов показала, что имплантаты с покрытием TiO₂ окружены костной тканью на 13,8% более высокой плотности. Учитывая, что имплантаты обеих групп устанавливались поочередно, т.е. в «шахматном» порядке, а не по отдельным участкам, этот показатель наглядно демонстрирует более активные процессы ремоделирования и минерализации в области имплантатов с покрытием TiO₂ (**табл. 5**).

Гистологическое исследование

Группа имплантатов без покрытия.

Срок 2 нед.

При гистологическом исследовании образцов костной ткани верхней челюсти мини-пиггов через 2 нед после имплантации титановых имплантатов без покрытия обращало на себя внимание, что костная ткань челюсти в зоне имплантации была представлена губчатой костью и умеренно выраженной кортикальной пластинкой. Структура костных балок в целом обычного строения с участками перестройки, характерными для данной биомодели (**рис. 8, а**).

Новообразованная костная ткань умеренно прилежит к поверхности имплантата, чередуясь с прослойками фиброзной ткани.

Таблица 1. Параметры морфометрии остеоинтеграции дентальных имплантатов

Параметр	Описание
BIC	Относительная доля площади поверхности имплантата, контактирующего с костью
FIC	Относительная доля площади поверхности имплантата, контактирующего с фиброзной тканью
MaIC	Относительная доля площади поверхности имплантата, контактирующего с костным мозгом
NBH	Высота прироста костной ткани в области шейки имплантата
BV/CV	Относительная доля костной ткани в образце
FbV/CV	Относительная доля фиброзной ткани в образце
MaV/CV	Относительная доля костного мозга в образце

Таблица 2. Параметры усилий теста на выдергивание, полученные в 5-й группе

№ животного/очередность имплантата в медиодистальном направлении	Максимальное усилие при выдергивании образцов из зоны установки в правой ветви верхней челюсти, Н				Максимальное усилие при выдергивании образцов из зоны установки в левой ветви верхней челюсти, Н			
	1	2	3	4	5	7	8	9
83	370	320	180	200	430	310	120	70
93	130	Неприжившийся имплантат	260	160	510	330	320	220

Примечание. Обычный шрифт — образцы без покрытия; полужирный шрифт — образцы с покрытием.

Таблица 3. Результаты замеров плотности костной ткани в единицах Хаунсфилла в 5-й группе у первой биомодели

	Правая половина								Левая половина							
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
899	1300	1138	1637	121	967	1127	1273	1465	1232	833	1232	535	659	448	1236	
1099	-478	1293	1439	1566	1033	443	699	1413	1560	1198	953	1326	972	688	1066	
1162	992	987	1017	558	-139	171	-116	1543	634	1152	1316	461	1120	-152	762	
976	1093	682	860	-249	529	477	-109	901	660	1379	1364	-42	1024	-133	979	
224	109	1087	898	-235	-125	-26	-27	779	621	1467	1157	-59	864	-231	32	
1700	-102	374	692	-71	-40	267	525	659	1203	1568	730	-54	414	1522	1055	
1848	47	758	143	386	774	674	-84	1368	1311	1411	1254	624	607	-889	-755	
1208	-10	1338	93	614	1104	1204	386	1297	1051	1587	1576	572	1082	-885	-822	
71	286	265	1038	618	613	1032	1187	843	1299	1733	1480	625	121	-288	-848	
-22	954	782	1532	1218	738	518	532	-855	1103	-4	1637	608	118	3	-330	
824	404	1075	741	1230	898	218	300	503	1582	396	424	910	1069	1023	1402	
37	367	784	16	525	367	685	172	1325	1704	150	267	994	788	1151	1046	
1108	166	454	636	-185	-179	905	482	1426	349	663	525	1117	1031	-16	865	
1047	454	843	515	-204	-249	752	602	1384	600	1010	1032	612	729	380	-198	
1109	1111	1307	1118	28	335	730	871	1364	1415	1240	1072	932	1258	911	-205	
289	1388	869	1138	1435	1292	140	115	1604	1430	1127	742	942	246	914	563	

Таблица 4. Результаты замеров плотности костной ткани в единицах Хаунсфилла в 5-й группе у второй биомодели

	Левая половина								Правая половина							
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1200	1026	1002	1361	619	868	850	704	1185	1148	282	-107	1251	432			
1415	1001	853	1272	958	1049	648	916	934	1199	526	619	1449	424			
1374	495	832	276	1258	1268	992	1070	888	1114	644	372	1217	194			
1066	956	815	729	491	555	908	665	1008	995	1141	653	-634	314			
643	1042	852	1103	882	938	-130	1068	883	715	1150	725	883	107			
195	921	74	1072	928	511	-154	1136	1150	629	1172	1246	1039	358			
-75	1065	-730	1216	884	312	87	315	923	900	-955	1178	313	111			
								Угол								
661	1063	544	657	1030	1214	944	1199	814	875	-1000	829	1077	690			
1100	988	460	727	1196	1276	691	632	566	530	901	1032	1475	792			
1169	1039	1261	719	650	628	844	855	594	484	1457	836	1274	1223			
								Угол								
893	1223	774	1041	1093	587	755	425	505	587	-19	177	540	992			
1059	813	861	1093	848	846	155	627	254	29	-36	448	-125	270			
865	593	737	970	76	832	253	73	690	-115	-139	817	-61	-112			
1001	643	1202	976	714	1046	-90	797	951	-53	-80	426	21	1025			
1100	1196	984	1352	988	1170	927	454	363	26	-139	967	1242	352			
1271	1174	875	1131	1002	1290	1002	-85	1154	1142	95	993	1084	973			

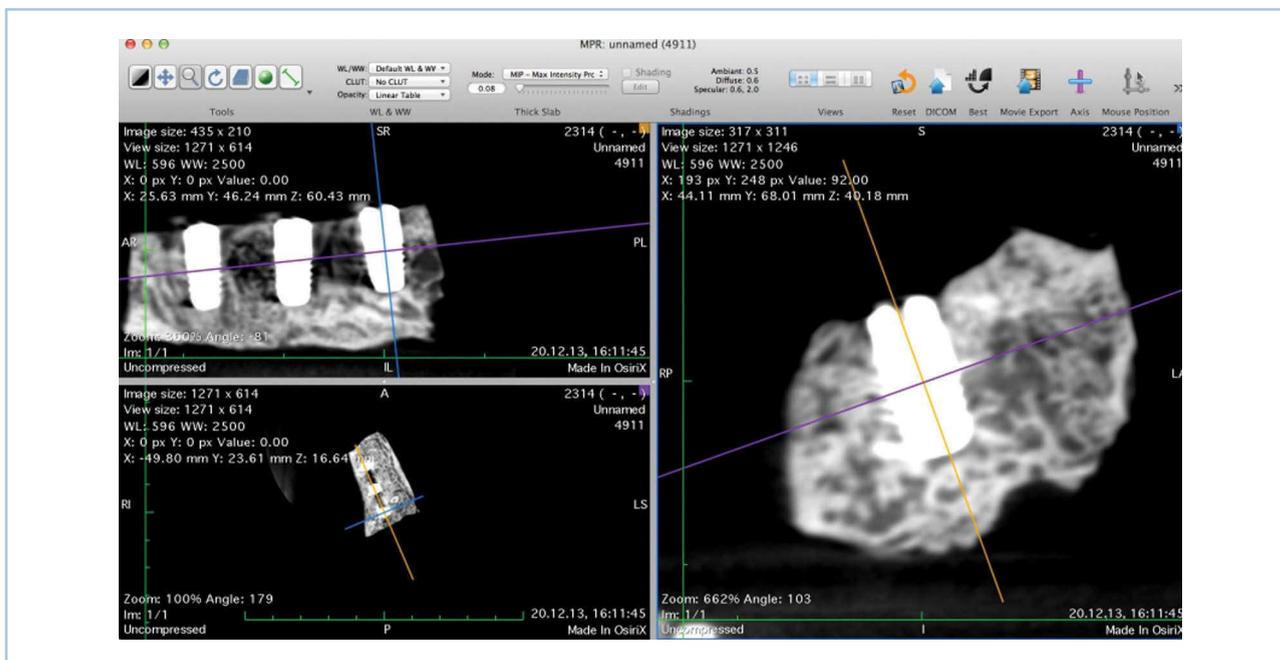


Рис. 6. Поперечное и продольное сечение на компьютерной томограмме.

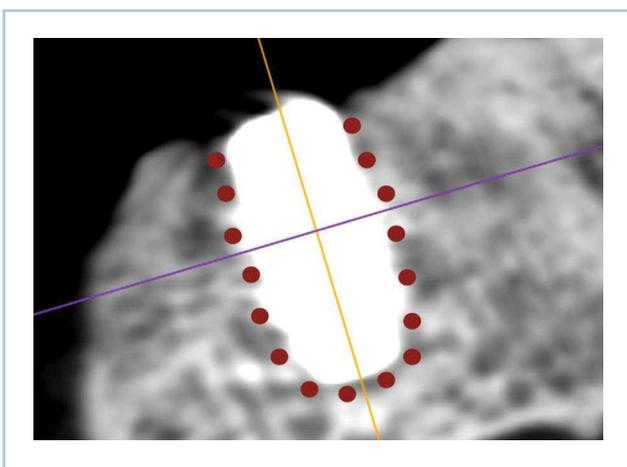


Рис. 7. Участки замеров плотности костной ткани.

Срок 6 нед.

При гистологическом исследовании образцов костной ткани верхней челюсти мини-пигов через 6 нед после имплантации титановых имплантатов без покрытия обращало на себя внимание, что костная ткань челюсти в зоне имплантации была представлена губчатой костью и выраженной кортикальной пластинкой, причем вокруг денальных имплантатов имелись очаги резорбции костной ткани, которая может быть охарактеризована как этапная перестройка кости после повреждения (см. рис. 8, б).

В целом структура костной ткани может быть охарактеризована как плотная с выраженным балочным строением губчатой кости и сформированной кортикальной пластинкой.

Новообразованная костная ткань умеренно прилежит к поверхности имплантата, чередуясь с прослойками фиброзной ткани, которые располагаются преимущественно в базальных отделах имплантата и имеют преимущественно очаговый характер. На поверхности имплантатов имеются наложения остеоида.

Срок 8 нед.

При гистологическом исследовании образцов костной ткани верхней челюсти мини-пигов через 8 нед после имплантации титановых имплантатов без покрытия обращало на себя внимание, что костная ткань челюсти в зоне имплантации была представлена губчатой костью и выраженной кортикальной пластинкой, причем вокруг денальных имплантатов очаги резорбции костной ткани отсутствуют (см. рис. 8, в).

В целом структура костной ткани может быть охарактеризована как плотная с выраженным балочным строением губчатой кости и сформированной кортикальной пластинкой. Межбалочное пространство повсеместно заполнено красным и желтым костным мозгом. Новообразованная костная ткань плотно прилежит к поверхности имплантата, прослойки фиброзной ткани практически отсутствуют и имеют преимущественно очаговый характер.

Срок 16 нед.

При гистологическом исследовании образцов костной ткани верхней челюсти мини-пигов через 16 нед после имплантации титановых имплантатов без покрытия обращало на себя внимание, что костная ткань челюсти в зоне имплантации была пред-



Рис. 8. Гистотопограмма костного фрагмента челюсти с установленным дентальным имплантатом через 2 (а), 6 (б), 8 (в), 16 (г) нед после имплантации.

ставлена рыхлой губчатой костью и выраженной кортикальной пластинкой, вокруг дентальных имплантатов очаги резорбции костной ткани отсутствуют (см. рис. 8, г).

В целом структура костной ткани может быть охарактеризована как умеренно плотная и в некото-

рых случаях рыхлая с умеренно выраженным балочным строением губчатой кости. Межбалочное пространство повсеместно заполнено красным и желтым костным мозгом. Новообразованная костная ткань плотно прилежит к поверхности имплантата, прослойки фиброзной ткани отсутствуют.

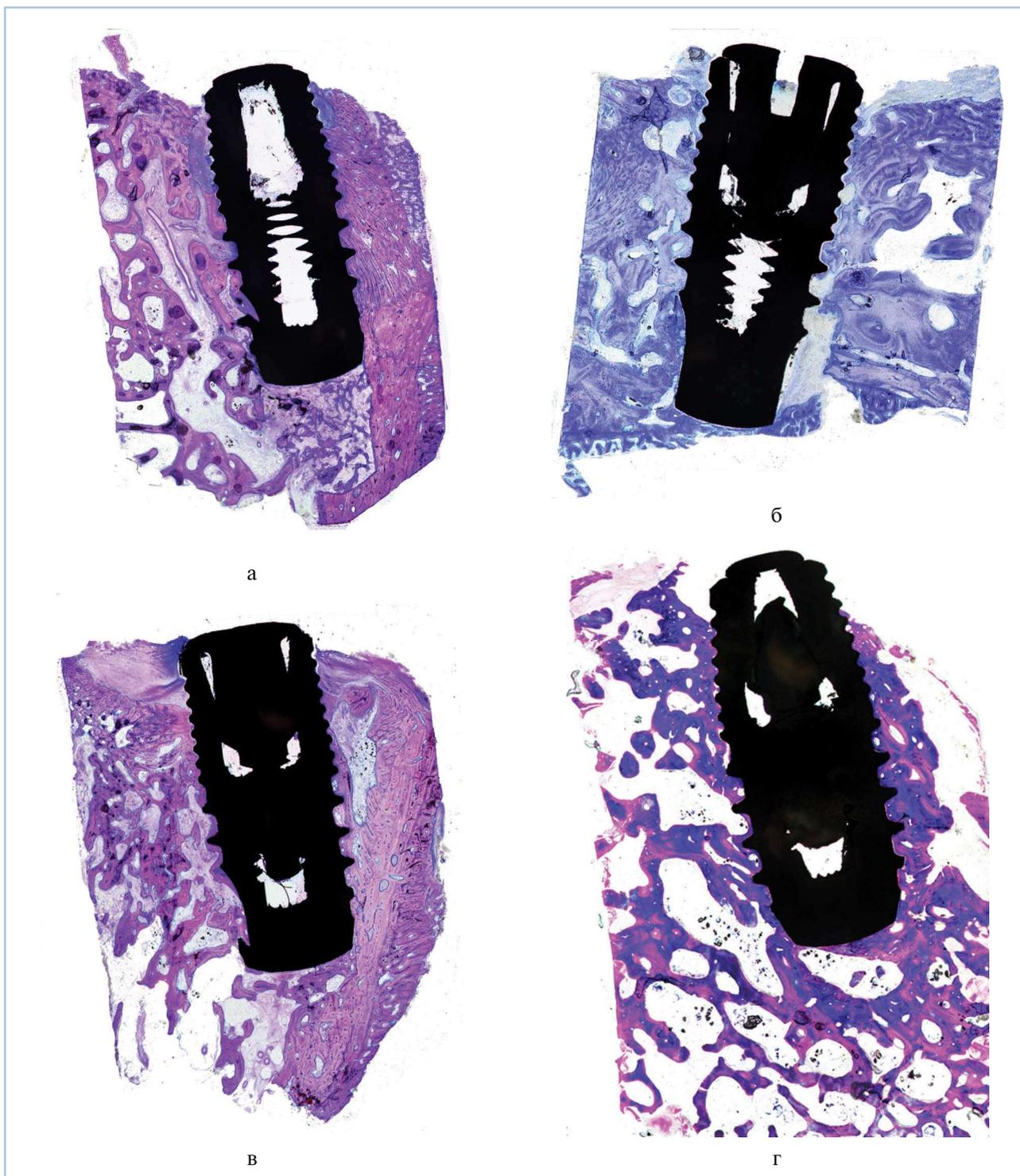


Рис. 9. Гистотопограмма костного фрагмента челюсти с установленным дентальным имплантатом, имеющим биоактивное покрытие через 2 (а), 6 (б), 8 (в), 16 (г) нед после имплантации.

Группа имплантатов с покрытием.

Срок 2 нед

При гистологическом исследовании образцов костной ткани верхней челюсти минипигов через 2 нед после имплантации титановых имплантатов с покрытием обращало на себя внимание, что костная ткань челюсти в зоне имплантации была представ-

лена губчатой костью и умеренно выраженной кортикальной пластинкой. Структура костных балок в целом обычного строения с участками перестройки, характерными для данной биомодели (рис. 9, а).

Межбалочное пространство, прилежащие к зоне имплантации местами с незрелой соединительной и грануляционной тканью, преимущественно в обла-

Таблица 5. Сравнение средних значений теста на выдергивание и плотности костной ткани стандартных имплантатов и имплантатов с биоактивной поверхностью

Значение	Стандартная поверхность		Биоактивная поверхность	
	тест на выдергивание	плотность окружающей костной ткани	тест на выдергивание	плотность окружающей костной ткани
Значения по образцам	370	672,25	130	943
	180	477,2	320	860,85
	260	846,59	200	503,9
	160	875,2149	430	1086
	310	1051,5	510	610,4
	330	724,08	120	1387,7
	70	643	320	506,59
	220	630,93		
Средние значения	237,5	740	290	842,6
Разница в средних показателях силы выдергивания/плотности окружающей костной ткани, %	100	100	122,1	113,8

Таблица 6. Результаты морфометрического исследования остеоинтеграции дентальных имплантатов (медианы)

Параметр	Имплантаты без покрытия				Имплантаты с покрытием				Достоверность
	2 нед	6 нед	8 нед	16 нед	2 нед	6 нед	8 нед	16 нед	
BIC, %	58*	56*	47*	78*	77*	58*	85*	86*	* $p \leq 0,05$
FIC, %	6**	29**	30**	0	12**	7**	0,5**	0	** $p \leq 0,05$
MaIC, %	27	15	21	21	22	35	13	13	
NBH	1	1,5	1,3	0	1,7	0,7	0,7	0	
BV/CV, %	64,5	77	54	63	63,5	67	69	53	
FbV/CV, %	1,5	5***	0,5	0	1	2,5***	0	0	*** $p \leq 0,05$
MaV/CV, %	34	18	45,5	37	35	30,5	31	47	

сти шейки; изменения могут считаться характерными для данного этапа процесса регенерации кости после нанесенного повреждения. На поверхности костных балок и на поверхности дентальных имплантатов активные остеобласты, образующие остеоидные наложения.

Срок 6 нед.

При гистологическом исследовании образцов костной ткани верхней челюсти мини-пигов через 6 нед после имплантации титановых имплантатов с покрытием обращало на себя внимание, что костная ткань челюсти в зоне имплантации была представлена губчатой костью и выраженной кортикальной пластинкой (см. рис. 9, б), причем вокруг дентальных имплантатов имелись очаги резорбции костной ткани, которая может быть охарактеризована как этапная перестройка кости после повреждения.

Новообразованная костная ткань хорошо прилежит к поверхности имплантата, чередуясь с прослойками фиброзной ткани, которые располагаются преимущественно в базальных отделах имплантата и имеют преимущественно очаговый характер. На поверхности имплантатов имеются наложения остеоида.

Срок 8 нед.

При гистологическом исследовании образцов костной ткани верхней челюсти мини-пигов через

8 нед после имплантации титановых имплантатов с покрытием обращало на себя внимание, что костная ткань челюсти в зоне имплантации была представлена губчатой костью и выраженной кортикальной пластинкой, причем вокруг дентальных имплантатов очаги резорбции костной ткани отсутствуют (см. рис. 9, в).

В целом структура костной ткани может быть охарактеризована как плотная с выраженным балочным строением губчатой кости и сформированной кортикальной пластинкой. Межбалочное пространство повсеместно заполнено красным и желтым костным мозгом. Новообразованная костная ткань плотно прилежит к поверхности имплантата, прослойки фиброзной ткани отсутствуют.

Срок 16 нед.

При гистологическом исследовании образцов костной ткани верхней челюсти мини-пигов через 16 нед после имплантации титановых имплантатов с покрытием обращало на себя внимание, что костная ткань челюсти в зоне имплантации была представлена рыхлой губчатой костью и выраженной кортикальной пластинкой, вокруг дентальных имплантатов очаги резорбции костной ткани отсутствуют (см. рис. 9, г).

В целом структура костной ткани может быть охарактеризована как умеренно плотная и в некото-

рых случаях рыхлая с умеренно выраженным балочным строением губчатой кости. Межбалочное пространство повсеместно заполнено красным и желтым костным мозгом. Новообразованная костная ткань плотно прилежит к поверхности имплантата, прослойки фиброзной ткани отсутствуют.

Морфометрическое исследование

При морфометрическом исследовании образцов костной ткани верхней челюсти мини-пигов с установленными дентальными имплантатами на различных сроках наблюдения выявлен ряд закономерностей. Так, основные параметры остеоинтеграции ВИС и FIC имели статистически значимые различия ($p < 0,05$). ВИС в группе имплантатов с покрытием имел стабильные хорошие показатели на протяжении всего срока, что обусловлено, вероятно, высоким сродством поверхности имплантата с костной тканью и хорошей остеокондукцией, что подтверждалось микроскопической картиной (рост остеобластов на поверхности имплантатов). В группе имплантатов без покрытия, несмотря на хорошие показатели ВИС, особенно на последнем сроке (78%), на ранних сроках он был не столь высок за счет увеличения FIC (разрастание соединительной ткани), это может свидетельствовать о хорошей, но не высокой биосовместимости (табл. 6).

Параметр прироста костной ткани в области шейки имплантата (NBH), характеризующий остеокондуктивные свойства поверхности имплантата в области шейки, демонстрировал более уверенные показатели в группе с покрытием, вероятно это связано с особенностями геометрии имплантата и распространением области специфического покрытия (покрытие распространялось и на шейку). Общие объемные показатели основных структурных

компонентов кости в обеих группах не имели статистически значимых различий за исключением срока 6 нед, когда в данном случае имели место признаки перестройки костной ткани и в связи с этим транзитное образование соединительной ткани, как недифференцированной, так и фиброзной.

Заключение

Таким образом, на основании экспериментального гистологического и морфометрического сравнительного изучения остеоинтеграции дентальных имплантатов в эксперименте следует заключить, что изучаемое покрытие дентальных имплантатов, во-первых, повышает биосовместимость поверхности дентальных имплантатов до уровня биоактивности, что выражается в снижении количества соединительной ткани на всех этапах процесса остеоинтеграции; во-вторых, за счет биоактивной поверхности увеличивается сродство имплантата к костной ткани различной плотности, которое проявляется положительным влиянием на качественные и количественные признаки репаративного контактного остеогенеза.

По результатам проведенного исследования в течение 16 нед для имплантатов с биоактивной поверхностью продемонстрирована более полноценная остеоинтеграция по сравнению со стандартными имплантатами. Тест на выдергивание, гистоморфометрический анализ образцов, а также обработка компьютерных томограмм костных фрагментов показали заметную, по отдельным параметрам статистически значимую разницу в количественных и качественных показателях остеоинтеграции между имплантатами с биоактивной поверхностью и стандартными имплантатами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воложин Г.А., Тетюхин Д.В., Козлов Е.Н., М.А. Степанова, Алехин А.П., Маркеев А.М. Влияние физико-химических свойств поверхности титановых имплантатов и способов их модификации на показатели остеоинтеграции. Институт стоматологии 2009; 3 (44): 81—83.
2. Лепехова С.А. Программа стандартных операционных процедур: лабораторные животные (прием, содержание, уход и контроль здоровья животных в вивариях медицинского учреждения). Иркутск: НЦРВХ СО РАМН 2012. 96 с.
3. Смбалян Б.С., Капанадзе Г.Д., Ломакин М.В., Алейников А.С., Ожаровская Г.М., Полева Н.А., Хуцишвили Л.Т. Экспериментальное биомоделирование для оценки возможности изменения морфотипа слизистой оболочки полости рта. Биомедицина 2011; 1 (3): 34—41.
4. Волков А.В., Бадалян В.А., Кулаков А.А., Бабиченко И.И., Капанадзе Г.Д., Станкова Н.В. Гистоморфологические исследования взаимоотношений костной ткани с дентальным имплантатом. Биомедицина 2012; 4: 96—100.