

РАЗДЕЛ: СТОМАТОЛОГИЯ

Н.С. Азарова, И.Д. Харитонов

Лабораторная оценка морфологических параметров остеоинтеграции отечественных дентальных имплантатов

ФГБОУ ВО ВГМУ им. Н.Н. Бурденко Минздрава России

Резюме. Основополагающим фактором успешной функционально-эстетической реабилитации пациента с помощью дентальных имплантатов является их полноценная остеоинтеграция, что достигается путем образования устойчивой связи между поверхностью имплантата и окружающей костной тканью, ведущую роль в этом играет структура поверхности дентального имплантата. Целью исследования явилась сравнительная лабораторная оценка морфологических параметров дентальных имплантатов. Комплексное исследование дентальных имплантатов с применением высокотехнологичных исследовательских методов позволило детализировать морфо-структурные особенности рельефа и структуры их поверхности, что позволяет сделать вывод о преимуществе наличия более шероховатой морфологической структуры поверхности дентального имплантата для его более ранней остеоинтеграции и долгосрочном функционировании.

Ключевые слова: дентальная имплантация, электронная микроскопия, шероховатость поверхности, гидрофильность поверхности, остеоинтеграция.

Актуальность. Среди направлений современной стоматологии дентальная имплантация в настоящее время является наиболее востребованной методикой в реабилитации пациентов с дефектами зубного ряда. Основным фактором успешной функционально-эстетической реабилитации пациента с помощью дентальных имплантатов является их полноценная остеоинтеграция, что достигается путем образования устойчивой связи между поверхностью имплантата и окружающей костной тканью, ведущую роль в этом играет структура поверхности дентального имплантата. Исследования разных авторов указывают на преимущество текстурированной шероховатой поверхности дентальных имплантатов при сравнении с гладкой поверхностью в плане более высокой прочности при соединении с костной тканью [1-3].

На сегодняшний день известны различные методы обработки поверхности дентальных имплантатов: пескоструйная обработка, кислотное травление, плазменное напыление гидроксиапатита и др. К покрытиям и методам обработки поверхностей дентальных имплантатов существует ряд требований, обеспечивающих их высокую адгезию, шероховатость и пористость. Основной задачей при разработке биосовместимых покрытий имплантатов является соотношение их структурно-фазового состояния и параметров челюстной костной ткани [4-6].

Покрытия дентальных имплантатов (RBM и SLA), а также их морфологические параметры структуры определяют их физико-механические свойства и прочностные характеристики, являющиеся важным составляющим компонентом долгосрочной механической стабильности. Особенности микроструктуры поверхности оказывают влияние на процессы остеоинтеграции, адсорбции и адгезии элементов кровяного сгустка, что в целом обеспечивает долгосрочную эксплуатацию дентального

имплантата. В связи с чем, актуальными являются исследования морфологических параметров структуры поверхностей дентальных имплантатов [5-7].

Цель исследования – сравнительная лабораторная оценка морфологических параметров отечественных дентальных имплантатов.

Материал и методы исследования. Исследовательская работа проводилась на базе кафедры хирургической стоматологии ВГМУ им. Н.Н. Бурденко при участии Воронежского государственного университета. Для исследования были отобраны дентальные имплантаты отечественного и зарубежного производства фирм-производителей: Осстем TSIIA (Южная Корея) (образец №1), A2 (Россия) (образец №2) и Ксайв (Германия) (образец №3). Лабораторные исследования осуществляли методом электронной микроскопии при использовании микроскопа «JEOL6380» (Япония) путем сканирования поверхности дентальных имплантатов при увеличениях: $\times 50$ и $\times 1000$ (рис. 1, 2 и 3). Измерения проводили в микронах и проводили их статистическую обработку с помощью STATISTICA 10.0, Statsoft.

При определении показателей смачиваемости поверхности имплантата дистиллированной водой определяли параметры смачиваемости, используя штангенциркуль электронный. Детализацию визуализации процесса смачивания поверхности дентальных имплантатов проводили с помощью хирургического микроскопа общего назначения 9442-001-09715522-2014 Прима Д (МедПрибор, Россия) при увеличениях от $\times 4$ до $\times 25$ крат с опциональным объективом NuVar с изменяемым фокусным расстоянием $f300 - 400$ мм, расположенного на базе кафедры терапевтической стоматологии Института стоматологии ВГМУ им. Н.Н. Бурденко.

С учетом структуры растекания капли воды на поверхности дентального имплантата рассчитывали ее площадь (S) через 2 минуты после смачивания по формуле:

$$S = \pi \cdot ab,$$

где a – длина большой полуоси, b – длина малой полуоси.

Процесс смачивания играет важную роль в адсорбции белка и клеток на поверхности и представляет межмолекулярное взаимодействие поверхности с жидкостью, и характеризуется краевым углом смачивания (углом контакта). Угол контакта определяется как угол между касательной к поверхности воды и поверхностью имплантата, направлен внутрь жидкостной фазы. Гидрофильная поверхность – поверхность имплантата хорошо смачивается водой, большая площадь контакта, форма капли менискообразная, значения угла контакта менее 90° . Гидрофобная поверхность – поверхность имплантата плохо смачивается водой, маленькая площадь контакта, капля шарообразной формы, значения угла контакта более 90° . Полное смачивание (растекание воды) поверхности наблюдается при значениях угла контакта 0° , площадь контакта воды с поверхностью максимальна. Абсолютное несмачивание поверхности при значениях угла контакта 180° . Смачиваемость поверхности определяется значением косинуса контактного угла (табл. 1).

Таблица 1 – Значение $\cos$ контактного угла при смачиваемости поверхности дентального имплантата

cos	Интерпретация
1 (0°)	сверхгидрофильная поверхность (жидкость полностью растекается по поверхности дентального имплантата)
$\frac{1}{2}$ (60°)	гидрофильная поверхность (жидкость на поверхности дентального имплантата образует мениск, площадь контакта с поверхностью меньше)
0 (90°)	капля на поверхности дентального имплантата имеет полукруглую форму, площадь контакта с поверхностью еще меньше.

Угол контакта связан с работой сил взаимодействия адгезии и когезии. Работа сил адгезии характеризуется растеканием жидкости путем растяжения на поверхности дентального имплантата, работа сил когезии характеризуется стягиванием жидкости в каплеобразную форму. Чем выше значение работы сил адгезии и ниже значение работы сил когезии, тем больше площадь смачиваемой поверхности. Чтобы увеличить смачиваемость поверхности водой необходимо увеличить работу сил адгезии и уменьшить работу сил когезии.

Полученные результаты и их обсуждение. Определение морфологии дентальных имплантатов (рис. 1-3) при разных увеличениях (x50 и x1000) позволило получить более достоверные результаты и выбрать наиболее четко визуализируемые изображения для дальнейшего статистического обсчета (РЭМ при увеличении x1000) и определения среднего размера пор.

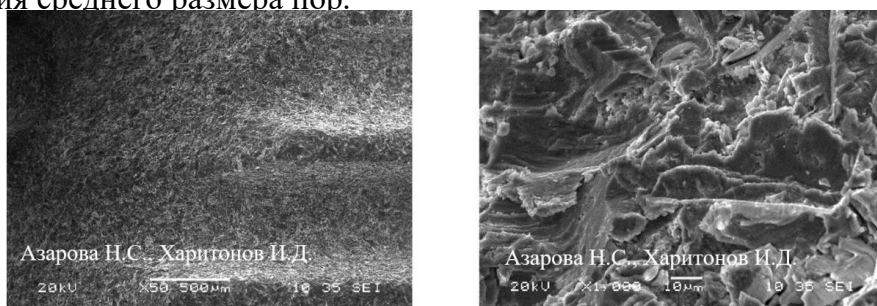


Рис. 1. Параметры РЭМ дентального имплантата Осстем TSHIA (Южная Корея)

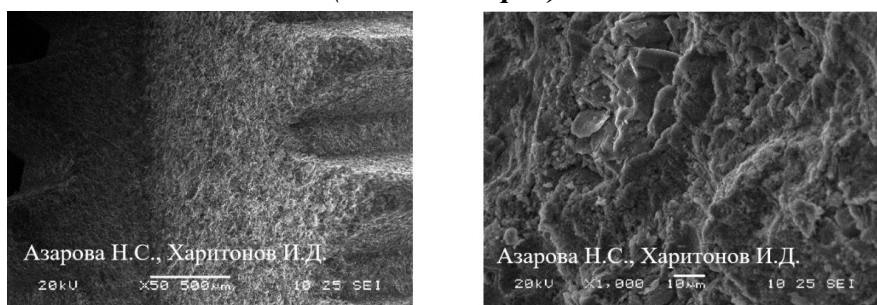


Рис. 2. Параметры РЭМ дентального имплантата A2 (Россия)

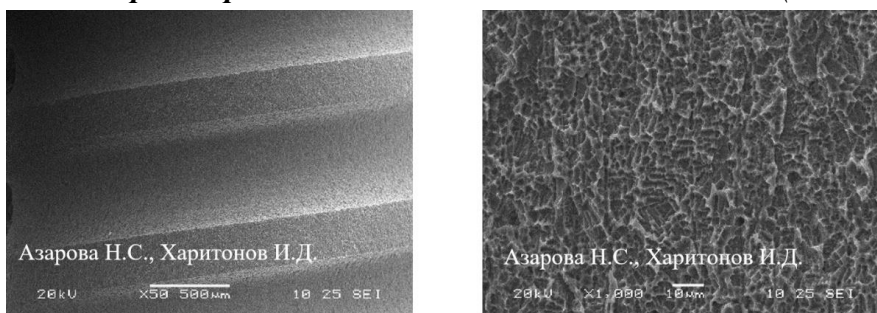


Рис. 3. Параметры РЭМ дентального имплантата Ксайв (Дентсплай, Германия)

На рисунках 1, 2 и 3 представлены результаты морфологического исследования поверхности дентальных имплантатов Осстем TSIII A (Южная Корея) (образец №1), A2 (Россия) (образец №2) и Ксайв (Дентсплай, Германия) (образец №3) методом электронной микроскопии. Исследования указывают на шероховатый рельеф поверхности дентальных имплантатов при увеличении $\times 50$, более однородный рельеф визуализируется в образце №3. При большом увеличении $\times 1000$ рельеф поверхности исследуемых образцов становится более шероховатым, однако в образцах №1 и №2 на поверхности наблюдаются бороздки, ступеньки и поры, а в образце №3 обнаруживаются в основном поры различных форм и размеров, визуализируется меньшая степень шероховатости поверхности, что связано с особенностями обработки поверхности исследуемых дентальных имплантатов.

Таблица 2 – Параметры структуры дентальных имплантатов

Наименование дентального имплантата	Размер пор (мкм)
Осстем TSIII SA (Южная Корея)	$3,27 \pm 0,41$
A2 (Россия)	$2,73 \pm 0,27$
Ксайв (Дентсплай, Германия)	$1,46 \pm 0,16$

Данные таблицы 2, представляющие результаты микроструктурных параметров исследуемых дентальных имплантатов, свидетельствуют, что размеры пор в образце №1 в 1,2 раза больше, чем в образце №2 и в 2,2 раза больше, чем в образце №3, что указывает на объективные различия параметров шероховатости образцов ($p < 0,01$).

При определении показателей смачиваемости поверхности имплантата измерения величины контактного угла проводили на трех образцах имплантатов. Для проведения исследования применяли дистиллированную воду объемом капли – 0,1 мкл. Время исследования составило 2 минуты. Измерения проводили с помощью электронного штангенциркуля.

На рисунке 4 представлены фотографии капель дистиллированной воды на поверхности исследуемых дентальных имплантатов.



Рис. 4. Исследования гидрофильности поверхности дентальных имплантатов с применением хирургического микроскопа общего назначения 9442-001-09715522-2014 Прима Д (МедПрибор, Россия)

Каждому образцу поверхности исследуемого дентального имплантата соответствует определенная площадь растекания (длинная ось, короткая ось) в

зависимости от конфигурации растекания капли воды вдоль насечек резьбы дентальных имплантатов со временем. По результатам измерений исходный диаметр капли исследуемых образцов дентальных имплантатов составлял 1,0 мм; спустя 2 минуты после исследования были произведены замеры длинной и короткой оси поверхности растекания капли; произведен расчет площади смачиваемости поверхности дентальных имплантатов, представленный в таблице 3.

Таблица 3 – Параметры смачиваемости поверхности образцов дентальных имплантатов

Наименование имплантата	Короткая ось образца (мм)	Длинная ось образца (мм)	Площадь смачиваемости (мм ²)
Осстем TSIII SA (Южная Корея)	1,34±0,027	1,65±0,031	1,738±0,05
A2 (Россия)	1,52±0,029	1,69±0,023	1,975±0,04
Ксайв (Дентсплай, Германия)	1,43±0,015	1,74±0,022	1,954±0,03

Представленные в таблице 3 результаты сравнительного анализа площади смачиваемости поверхности образцов дентальных имплантатов свидетельствуют о большей площади смачиваемости поверхности образца №2.

В рамках определения показателей смачиваемости поверхности имплантата проводили измерения величины контактного угла. По результатам измерений исходный контактный угол образцов составлял: №1-110°, №2-90°, №3-100°; контактный угол спустя 2 минуты после исследования составлял: №1-90°, №2-75°, №3-90°. Результаты исследования представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты контактного угла образцов дентальных имплантатов

Наименование имплантата	Cos угла исходный	Cos угла через 2 минуты
Осстем TSIII SA (Южная Корея)	Cos (110°)=-0,34202	Cos (90°)=0
A2 (Россия)	Cos (90°)=0	Cos (75°)=0,258819
Ксайв (Дентсплай, Германия)	Cos (100°)=-0,173648	Cos (90°)=0

Согласно результатам исследования (табл. 4) поверхности дентальных имплантатов гидрофильные, капля воды растекается на поверхности имплантата, образуя мениск; наибольшая площадь контакта с поверхностью в образце №2; в образцах №1 и №3 капля на поверхности дентального имплантата имеет полукруглую форму, площадь контакта с поверхностью меньше, чем в образце №2.

Выводы. Исследования морфологии образца дентального имплантата №1 и №2 показали схожесть строения системы пор с выраженной неравномерной шероховатостью, отличной от системы пористости в образце №3, представленной более равномерным рельефом с порами в 2,2 раза меньшего размера. Несмотря на имеющиеся различия морфологическая структура образцов дентальных имплантатов дает основание предполагать высокую биоактивность материала за счет более шероховатой поверхности, улучшая возможность проникновения остеогенных клеток на поверхности дентального имплантата в образцах №1 и №2, способствуя повышению эффективности регенерации костной ткани и усилению ангиогенеза микроциркуляторного русла за счет большей площади контакта поверхности дентального имплантата и костной ткани.

Полученные результаты сравнительного анализа смачиваемости поверхности дентальных имплантатов показали большую площадь растекания воды на поверхности

и меньший контактный угол в образце №2, что указывает на меньшую работу сил когезии, его более высокую гидрофильность и способствует его более эффективной остеointеграции в челюстной кости.

Комплексное исследование дентальных имплантатов с применением высокотехнологичных исследовательских методов позволяет детализировать морфологические особенности рельефа, что имеет важное значение при сравнительной оценке данных параметров и позволяет сделать вывод о преимуществе наличия более шероховатой морфологической структуры поверхности дентального имплантата для его более ранней остеointеграции и долгосрочном функционировании.

Литература/ References.

1. Дентальная имплантология : учебное пособие / Д.Ю. Харитонов, Н.С. Моисеева, И.В. Степанов [и др.]. – Воронеж : Изд-во ВГМУ им. Н.Н. Бурденко, 2018. – 98 с.
2. Клинико-лабораторная оценка морфологических параметров остеопластических материалов, применяемых при костной аугментации альвеолярного отростка / Н.С. Моисеева, Д.Ю. Харитонов, И.Д. Харитонов, И.В. Степанов, А.В. Подопригра // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. – 2021. – Т. 15. – № 4. – С.18-23.
3. Моисеева Н.С. Клиническое обоснование эффективности применения обогащенной тромбоцитами плазмы в комплексном хирургическом лечении рецессии десны / Н.С. Моисеева, Д.Ю. Харитонов // Прикладные информационные аспекты медицины. – 2023. – Т. 26, № 3. – С. 25-32.
4. Моисеева Н.С. Эффективность применения остеопластических материалов для лечения и профилактики деформаций альвеолярного отростка челюстей / Н.С. Моисеева, И.Д. Харитонов // Прикладные информационные аспекты медицины. – 2022. – Т. 25, № 1. – С. 4-9.
5. Реконструктивная хирургия полости рта [Текст] : монография / Н.С.Азарова, Д.Ю.Харитонов – Воронеж : Издательство ВГУ, 2024. – 200 с.
6. Efficacy of lateral bone augmentation performed simultaneously with dental implant placement: A systematic review and meta-analysis / D. S. Thoma, S. P. Bienz, E. Figuero [et al.]. – DOI: 10.1111/jcpe.13050 // J. Clin. Periodontol. – 2019. – Vol. 46, № 21. – P. 257-276.
7. Yun P.Y., Kim Y.K., Jeong K.I., Park J.C., Choi Y.J. Influence of bone morphogenetic protein and proportion of hydroxyapatite on new bone formation in biphasic calcium phosphate graft: two pilot studies in animal bony defect model. J Craniomaxillofac Surg. – 2014. Dec;42(8):1909-17. doi: 10.1016/j.jcms.2014.07.011. Epub 2014 Sep 2. PMID: 25443868.

Abstract.

N.S. Azarova, I.D. Kharitonov

Clinical and laboratory assessment of dental implants morphology to improve the efficiency of osseointegration

Voronezh State Medical University, Dentistry Institute, Department of Surgical Dentistry

The fundamental factor of successful functional and aesthetic rehabilitation of a patient using dental implants is their full-fledged osseointegration, which is achieved by forming a stable connection between the implant surface and the surrounding bone tissue, the leading role in this is played by the structure of the dental implant surface. The aim of the study was a clinical and laboratory assessment of the morphological parameters of dental implants to increase the effectiveness of osseointegration. A comprehensive study of dental implants using high-tech research methods made it possible to detail the morphochemical features of the surface structure, to study the elemental composition of particles, which allows to conclude that the advantage of having a more rough morphological structure of the surface of a dental implant in the absence third-party particles on the surface of a titanium dental implant for its earlier osseointegration and long-term functioning.

Keywords: dental implantation, electron microscopy, surface roughness, surface hydrophilicity, osseointegration.

Сведения об авторах: Азарова Наталья Сергеевна – д.м.н., профессор кафедры хирургической стоматологии Института стоматологии ВГМУ им. Н.Н. Бурденко, e-mail: natazarova@yandex.ru; Харитонов Илья Дмитриевич – ординатор кафедры хирургической стоматологии Института стоматологии ВГМУ им. Н.Н. Бурденко; e-mail: harit2000@mail.ru.