

УДК 616.75.8.003.67:342.012.99

ВОЗМОЖНОСТИ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ ПРИ ОЦЕНКЕ ПОВЕРХНОСТИ ВИНТОВЫХ ДЕНТАЛЬНЫХ ИМПЛАНТАТОВ

Казиева И. Э., Сирак С. В., Перикова М. Г., Мартиросян А. К.

ГБОУ ВПО «Ставропольский государственный медицинский университет», Ставрополь, Россия (355000, Ставрополь, ул. Мира, 310), e-mail: postmaster@stgma.ru, http://www.stgma.ru

С помощью атомно-силовой микроскопии выполнена оценка поверхности внутрикостной части винтовых дентальных имплантатов 5-ти различных систем: «BCS» (машинная обработка), «NIKO» (крупнозернистая пескоструйная обработка и травление кислотой), «ENDURE» (пескоструйная обработка и травление кислотой), «RADIX» (интенсивная пластическая деформация), «SGS» (электрохимически осажденная кальций-фосфатная бонитовая поверхность). В результате выполненного исследования получены оптические и АСМ-снимки, по которым описана топография поверхности винтовых дентальных имплантатов. Топография оценена по оригинальной схеме, разработанной в ходе исследования, которая включает описание по морфологическим и цифровым показателям. В качестве цифровых изучены показатели, характеризующие шероховатость поверхности. Установлено, что система дентальных имплантатов с бонитовым покрытием имеет наибольшую шероховатость поверхности по всем параметрам. В результате изучения морфологических показателей также установлено, что система дентальных имплантатов с неорганическим бонитовым покрытием имеет наиболее развитую структуру поверхности. По данным исследования составлена рабочая классификация винтовых дентальных имплантатов. Исходя из признаков классификации, винтовые дентальные имплантаты с неорганическим бонитовым покрытием системы «SGS» являются сверхшероховатыми, оптически крупнозернистыми, с высокоразвитой структурой поверхности и высокопористыми.

Ключевые слова: винтовой дентальный имплантат, атомно-силовая микроскопия.

POSSIBLE ATOMIC FORCE MICROSCOPY (AFM) IN THE EVALUATION OF DENTAL IMPLANTS SURFACE SCREW

Kazieva I. E., Sirak S. V., Perikova M. G., Martirosan A. K.

GBOU VPO "Stavropol State Medical University", Stavropol, Russia (355000, Stavropol, Mira str., 310), e-mail: postmaster@stgma.ru, http://www.stgma.ru

Using atomic force microscopy, the estimate of the surface of the intraosseous screw dental implants 5 different systems: «BCS» (machining), «NIKO» (coarse sand blasting and acid etching), «ENDURE» (sand blasting and acid etching), «RADIX» (severe plastic deformation), «SGS» (electrochemical deposition of calcium-phosphate bonitovaya surface). In result of the study received optical and AFM images, which describes the surface topography of screw dental implants. Topography evaluated by the original scheme developed in the course of the study, which includes a description of morphological and digital indicators. As Digital Indicators relating to surface roughness. Established that the system of dental implants coated with bonitovym has the greatest surface roughness on all parameters. A study of morphological indicators also show that the system of dental implants coated with an inorganic bonitovym has the most developed surface structure. According to research compiled working classification of screw dental implants. Based on the classification of signs screw dental implants coated with an inorganic bonitovym system «SGS" are sverhsherohovatyimi, optical coarse, with a highly developed and highly porous surface structure.

Keywords: screw dental implant, atomic force microscopy.

Введение. В последние 20 лет использование дентальных имплантатов для замещения отсутствующих зубов – обычная рутинная практика работы врача-стоматолога [3, 4, 8, 9]. Имплантология также стала неотъемлемой частью современной стоматологии. Эти возможности появились во многом благодаря фундаментальным открытиям групп исследователей под руководством Р. И. Branemark (Гетебург, Швеция) и А. Schroeder (Берн,

Швейцария), которые более 30 лет назад независимо друг от друга показали возможность интеграции в челюстные кости титановых имплантатов и доказали их стабильность. Этот феномен называют остеоинтеграцией [5, 6].

Спустя много лет имплантаты все также изготавливают из титана, но модификация их поверхности достигла своей кульминации. Сегодня существует огромное количество способов обработки поверхности дентальных имплантатов, что, казалось бы, должно улучшить результаты имплантации. Однако дентальная имплантация по-прежнему сопряжена с рядом сложностей, первым из которых является отторжение конструкции в постимплантационном периоде [3].

Качественные и количественные показатели остеоинтеграции напрямую зависят от топографии поверхности имплантата и ее химического состава [4]. Ряд авторов считает шероховатость поверхности дентальных имплантатов главным фактором, способствующим максимальному количеству костно-имплантационных контактов [1, 7, 8, 9, 10, 11]. Средняя глубина шероховатости (Sa) является наиболее значимым показателем архитектоники поверхности, характеризующим ее шероховатость. Но она далеко не единственный параметр поверхности дентальных имплантатов, влияющий на успешность остеоинтеграции. Структура поверхности (степень ее развитости) также играет важную роль на первых стадиях репаративного остеогенеза, поэтому некоторые производители акцентируют внимание на усложнении рельефа поверхности внутрикостной части дентальных имплантатов [6]. Указанные выше параметры объединяются общим названием – топография поверхности. Только шероховатость является математическим показателем, а структура (рельеф) – морфологическим.

Технологические усилия по оптимизации поверхности имплантата должны строиться на научных предпосылках, в основе которых лежит предельно ясное понимание, какие параметры микро- и макроструктуры поверхности имплантата способны влиять на остеоинтегративные процессы. Следовательно, актуальным является исследование по изучению топографии поверхности внутрикостной части винтовых дентальных имплантатов разных фирм-производителей и обоснование их применения при дентальной имплантации.

Цель исследования. Сравнительная оценка поверхностей винтовых дентальных имплантатов 5-ти различных систем с помощью атомно-силовой микроскопии (АСМ).

Материал и методы исследования. Зондовый микроскоп фирмы NT-MDT NTEGRA Aura (Россия), с помощью которого произведена съемка образцов, предназначен для визуальной и цифровой оценки поверхностей и имеет следующие технические характеристики:

- максимальная площадь сканирования: 100x100x10 мкм;
- минимальный шаг сканирования: 0,001 нм;
- XY разрешение до 0,1 нм (длина, ширина объектов);
- Z разрешение до 0,04 нм (высота объектов).

В работе использована контактная методика измерения – контактная атомно-силовая микроскопия (с-AFM) зондами CSG30 (Фирмы NT-MDT). Данная методика позволяет получить топографию и рельеф поверхности винтовых дентальных имплантатов. Для каждого образца подобраны индивидуальные параметры сканирования. В ходе исследования получены АСМ-снимки и оптические снимки. АСМ-снимки имеют размер 5x5 мкм (т.е. их площадь 25 мкм²), оптические снимки имеют размер 100x100 мкм (т.е. их площадь 10000 мкм²).

С целью сравнительной оценки модифицированных поверхностей при помощи АСМ изучены образцы 5-ти различных систем дентальных имплантатов, представленные в таблице 1.

Таблица 1

Группы исследуемых образцов винтовых дентальных имплантатов

Группа исследования, количество наблюдений				
контрольная группа, n=5	основные группы			
	группа 1, n=5	группа 2, n=5	группа 3, n=5	группа 4, n=5
«BCS» - Швейцария <i>машинная обработка</i>	«NIKO (Lux)» - Россия-Германия <i>крупнозернистая пескоструйная обработка и травление кислотой</i>	«ENDURE» - США <i>пескоструйная обработка и травление кислотой</i>	«RADIX» - Россия <i>интенсивная пластическая деформация</i>	«SGS Dental Systems» - Швейцария <i>электрохимически осажденная кальций-фосфатная бонитовая поверхность</i>

Изучению подвергнута поверхность внутрикостной части винтовых дентальных имплантатов (ПВЧВДИ) в следующих участках: вершина резьбы, скат резьбы, основание резьбы, расстояние между витками резьбы, желобок.

Вышеперечисленные участки ПВЧВДИ отсканированы у 5-ти одинаковых образцов в каждой группе.

После соответствующей обработки снимки описаны по разработанной в ходе исследования схеме, включающей морфологические и цифровые показатели (табл. 2).

Таблица 2

Описываемые показатели топографии поверхности внутрикостной части винтовых
дентальных имплантатов

Морфологические показатели		Цифровые показатели
АСМ-снимок	Оптический снимок	1. Средняя глубина шероховатости (S_a), нм
1. Рельеф 2. Чередование вершин и впадин: -редкое или частое; -равномерное или неравномерное 3. Поры: -глубокие или неглубокие; -правильной или неправильной формы	1. Структура: -металлическая, -неметаллическая 2. Структура: -крупнозернистая, мелкозернистая, -ультрамелкозернистая, -нанокристаллическая	2. Расстояние между высшей и низшей точками (S_y), нм
		3. Корень из среднего квадратного отклонения глубины профиля шероховатости (S_q), нм
		4. Коэффициент эксцесса, т.е. коэффициент протяженности распределения (S_{ka})
		5. Толщина пористого слоя, мкм

Исследование выполнено на базе лаборатории нанопродуктов и наноматериалов Северо-Кавказского государственного технического университета.

Результаты исследования и их обсуждение. С целью изучения топографии поверхности винтовых дентальных имплантатов по морфологическим показателям получены оптические и АСМ-снимки, по которым изучены все группы исследуемых образцов.

При визуальной оценке топографии ПВЧВДИ всех образцов (рис. 1) видно, что системы винтовых дентальных имплантатов «НИКО» и «ENDURE», подвергнутые пескоструйной обработке и травлению по различным методикам, имеют схожий мелкобугристый рельеф на АСМ-снимках и идентичную металлическую и ультрамелкозернистую структуру на оптических снимках. Чередование вершин (наиболее светлые участки) и впадин (наиболее темные участки) неравномерное, частое. При визуальной оценке глубины микропор видно, что они неглубокие; имеются достаточно крупные впадины, вытянутые в диаметре. Такое чередование микро- и макропор объясняется способом обработки поверхности (пескоструйная обработка образует крупные углубления на поверхности винтового дентального имплантата, а кислотное травление способствует образованию микропор).

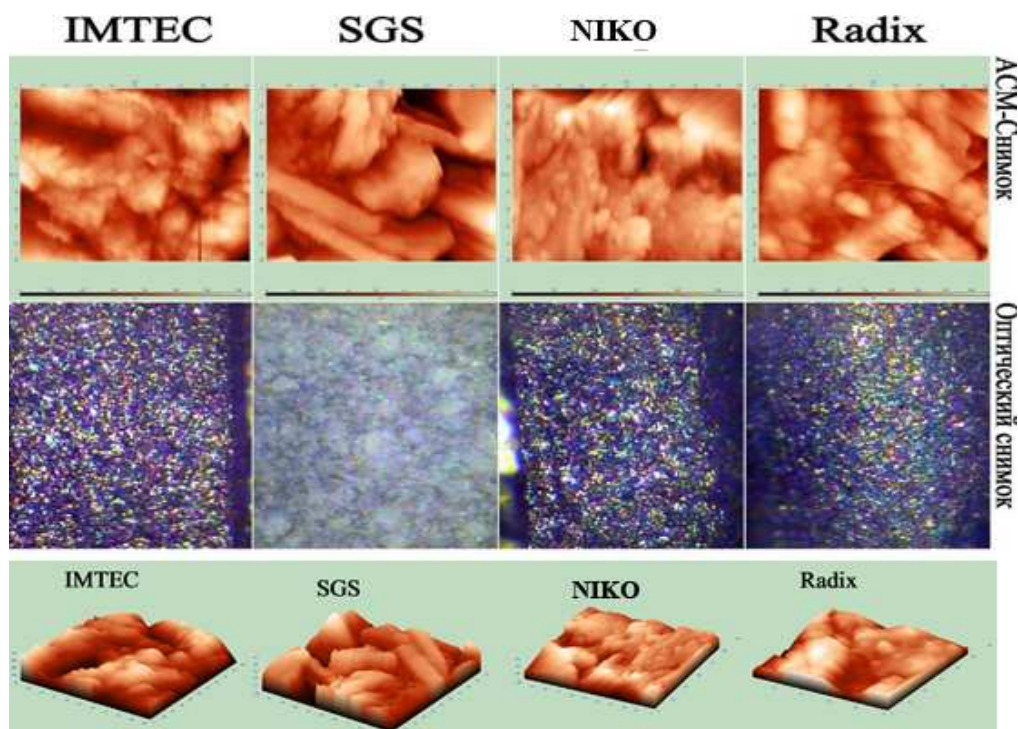


Рис. 1. Оптические, АСМ-снимки и 3D-изображения образцов винтовых дентальных имплантатов

Система винтовых дентальных имплантатов «RADIX», поверхность которых подвергнута интенсивной пластической деформации, характеризуется крупнобугристым рельефом поверхности, наличием неглубоких, но крупных в диаметре пор, неравномерным и редким чередованием вершин и впадин; на оптическом снимке зерна измеряются не микрометрами, а нанометрами, что связано со способом обработки.

ПВЧВДИ системы «SGS» значительно отличается от остальных своим рельефом в форме блоков, уложенных в различном направлении, неравномерным и частым чередованием плоских широких вершин и глубоких впадин, а также глубокими порами неправильной формы. Структура на оптическом снимке крупнозернистая, так как она имеет неметаллическое бонитовое покрытие.

На оптическом снимке системы винтовых дентальных имплантатов «BCS» (рис. 2) структура металлическая, зернистости нет. На АСМ-снимке поверхность выглядит гладкой. Так как после машинной обработки поверхность внутрикостной части винтового дентального имплантата не является идеально гладкой, уместно указывать показатели шероховатости.

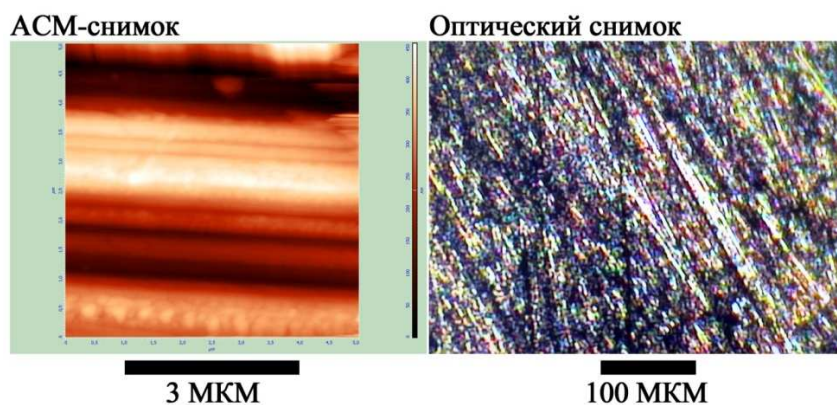


Рис. 2. Система винтовых дентальных имплантатов «BCS»

Согласно исследованиям ряда авторов, усложнение микрорельефа поверхности имплантатов напрямую влечет повышение адгезии компонент перимплантатной зоны и вместе с тем интеграционного потенциала. Так, Сунг Ам Чо и Санг-Кио Юнг (2009) доказали, что в группе имплантатов с лазерной обработкой усилия при выкручивании имплантата выше, чем в группе имплантатов с машинной обработкой. Повышенное усилие при выкручивании имплантата авторы объясняют более сильным контактом имплантата с костью, что, в свою очередь, обусловлено более развитым микрорельефом поверхности дентальных имплантатов с лазерной обработкой [4, 11].

Следуя предложенной схеме, при оценке поверхностей винтовых дентальных имплантатов по цифровым показателям, установлено: разброс величин средней глубины шероховатости (S_a) составляет от 30,15 нм в контрольной группе до 195,68 нм в 4-й основной группе («SGS»); расстояния между наивысшей и наиминимней точками (S_y) – от 290,44 нм до 1687,39 нм соответственно; корня из среднего квадратного отклонения глубины профиля шероховатости (S_q) – от 34,62 нм до 296,27 нм соответственно. Различия показателей в основных группах статистически достоверны по сравнению с контрольной группой ($p < 0,01$) и находятся в зоне значимости ($p_1 < 0,01$). Следовательно, выявлена следующая восходящая последовательность значений у образцов винтовых дентальных имплантатов: 1 – контроль < 2 – «НИКО» < 3 – «ENDURE» < 4 – «RADIX» < 5- «SGS», из которой видно, что система дентальных имплантатов с бонитовым покрытием имеет наибольшую шероховатость поверхности.

Анализ данных литературы показал, что средняя глубина шероховатости поверхностей с различными способами обработки составляет от 1,5 до 5 мкм и совпадает со средними значениями оптимальной шероховатости поверхности. Результаты ряда экспериментов, в которых оценивались имплантаты с различной топографией поверхности, показали, что оптимальная остеоинтеграция наблюдается в тех случаях, когда $S_a = 1,5$, теоретически рассчитанная Ханнсоном как оптимальная шероховатость поверхности [6].

Результаты, полученные в ходе данного лабораторного исследования, значительно отличаются от сведений литературы, что связано с оборудованием, на котором выполнено исследование, со способами обработки данных (коррекция плоскостями, обработка фильтрами и т.д.), а также с шагом и площадью сканирования. Подтверждением достоверности, полученной в ходе проведения атомно-силовой микроскопии информации, является то, что данные других авторов также свидетельствуют о минимальной шероховатости дентальных имплантатов с машинной обработкой поверхности и максимальной шероховатости дентальных имплантатов с неорганическим неметаллическим покрытием [7].

На основании данных лабораторного исследования предложена рабочая классификация систем винтовых дентальных имплантатов по следующим признакам:

- средняя глубина шероховатости (низкошероховатые (<50 нм), среднешероховатые (от 50 до 100 нм), высокошероховатые (от 100 до 150 нм), сверхшероховатые (>150 нм);
- размер зернистости на оптическом снимке – оптически незернистые, оптически ультрамелкозернистые, оптически нанокристаллические, оптически крупнозернистые;
- рельеф поверхности на АСМ-снимке – с неразвитой структурой, со слаборазвитой структурой, со среднеразвитой структурой, с высокоразвитой структурой;
- толщина пористого слоя – непористые (<0,5 мкм), тонкопористые (от 0,5 до 1 мкм), среднепористые (от 1 до 1,5 мкм), высокопористые (>1,5 мкм);
- наличие дополнительного (неметаллического) покрытия – поверхностно-металлические, поверхностно-неметаллические.

Таким образом, винтовые дентальные имплантаты с неорганическим бонитовым покрытием системы «SGS» являются сверхшероховатыми, оптически крупнозернистыми, с высокоразвитой структурой поверхности и высокопористыми.

Заключение. Атомно-силовая микроскопия дает возможность объективно провести визуальную и цифровую оценку поверхности винтовых дентальных имплантатов и разработать их рабочую классификацию, учитывающую морфологические и цифровые показатели поверхности. Кроме этого, система дентальных имплантатов с электрохимически осажденной кальций-фосфатной бонитовой поверхностью («SGS») имеет наиболее развитую топографию поверхности и высокие показатели шероховатости. Это позволяет рекомендовать к использованию данную систему дентальных имплантатов в клинических ситуациях с выраженной атрофией альвеолярной части нижней челюсти или альвеолярного отростка верхней челюсти, а также в сочетании с субантральной аугментацией.

Список литературы

1. Воложин, Г. А. Влияние физико-химических свойств поверхности титановых имплантатов и способов их модификации на показатели остеоинтеграции / Г. А. Воложин, А. П. Алехин, А. М. Маркеев, Д. В. Тетюхин, Е. Н. Козлов, М. А. Степанова // Институт стоматологии. – 2010. – № 44. – С.100-108.
2. Зеличенко, Е. А. Разработка защитных биосовместимых керамических и полимерных покрытий на поверхности титана: Автореф. дисс... канд. мед. наук. – Ставрополь, 2011. – 23 с.
3. Нечаева, Н.К. Клинико-рентгенологическая диагностика хирургических осложнений дентальной имплантации: Автореф. дисс... канд. мед.наук. – Москва, 2010. – 24 с.
4. Сирак С. В. Влияние пористого титана на остеогенный потенциал клеток костного мозга *in vitro* / Сирак С. В., Ибрагимов И. М., Кодзоков Б. А. // Медицинский вестник Северного Кавказа. – 2012. – Т. 27, № 3. – С. 22-25.
5. Branemark, P. I. Intraosseous anchorage of dental prostheses. I. Experimental studies / P.I. Branemark, R. Adell, U. Breine et. al. // Scand. J. Plast. Reconstr. Surg. – 1969. – Vol. 3. – P.81.
6. Cooper, L.F. Роль топографии поверхности в регенерации и сохранении кости при установке титановых эндоссальных зубных имплантатов / L. F. Cooper // Новое в стоматологии. – 2008. – № 8. – С. 83-92.
7. Патент RUS 2326648 от 09.01.2007 г.
8. Патент RUS 2447859 от 15.12.2010 г.
9. Патент RUS 2469675 от 09.11.2011.
10. Патент на полезную модель RUS 117086 07.02.2011.
11. Патент на полезную модель RUS 117289 17.01.2011.

Список сокращений

АСМ – атомно-силовая микроскопия.

ПВЧВДИ – поверхность внутрикостной части винтовых дентальных имплантатов.

Рецензенты:

Водолацкий Михаил Петрович, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой челюстно-лицевой хирургии и стоматологии детского возраста ГБОУ ВПО «Ставропольский государственный медицинский университет» Минздрава России, г. Ставрополь.

Порфириадис Михаил Павлович, доктор медицинских наук, профессор кафедры стоматологии общей практики СтГМУ, главный врач МБУЗ «Городская стоматологическая поликлиника», г. Ставрополь.

