

Разработка конструкций керамических имплантатов из композита на основе диоксида циркония.

1. Дентальные имплантаты

В. В. Лашнева, О. В. Михайлов

Институт проблем материаловедения им. И. Н. Францевича НАН Украины, Киев, e-mail: lashneva@ipms.kiev.ua; o_v_mikhailov@rambler.ru

Разработаны конструкции дентальных имплантатов из нового керамического композита на основе диоксида циркония. Проведенный анализ напряженно-деформированного состояния биомеханической системы дентальный имплантат—кость показал, что необходимая эксплуатационная прочность имплантатов обеспечена, а нагрузки на костную ткань не приводят к ее перенапряжению. Изготовлены опытные образцы дентальных имплантатов.

Ключевые слова: конструкция, керамика, дентальный имплантат, компьютерное моделирование, напряженно-деформированное состояние.

В настоящее время в стоматологии широко используется имплантация, с помощью которой эффективно решаются все проблемы, связанные с утратой зубов. Дентальные имплантаты, вживляемые в челюстную кость на место отсутствующего зуба, заменяют утраченные корни зубов и являются опорой для последующей установки коронки, съемных или несъемных зубных протезов. Имплантация — альтернатива традиционному зубному протезированию мостовидными конструкциями.

Из множества видов и конструкций дентальных имплантатов в стоматологической практике чаще всего применяются внутрикостные металлические из сплавов титана и керамические из оксида алюминия и диоксида циркония [1—4]. Указанные имплантаты имеют преимущественно цилиндрическую, винтовую или конусную форму и внутреннее отверстие, в которое после адаптации имплантата вводят абатмент, служащий опорой для будущего протеза или коронки.

Однако срок функционирования применяемых имплантатов ограниченный (10—15 лет), после чего их необходимо заменять, поэтому они не удовлетворяют пациентов и требуют доработки и совершенствования. Это обусловлено в основном недостаточными физико-химическими свойствами имплантатов и несовершенством их конструкций, а также анатомо-физиологическими особенностями и биологическими процессами, протекающими в кости. Трудности при создании дентальных имплантатов связаны как с неоднородностью строения костной ткани, так и с особенностями их функционирования. Они должны быть биосовместимы с костными и мягкими тканями челюсти, а также ротовой полости и при небольших размерах выдерживать значительные динамические нагрузки. В этой связи усовершенствование дентальных имплантатов требует комплексного подхода к решению конструкторско-технологических, биотехнических и материаловедческих проблем, а также оптимизации существующих технологий и конструкций [5].

© В. В. Лашнева, О. В. Михайлов, 2014

В Институте проблем материаловедения им. И. Н. Францевича НАН Украины для изготовления керамических имплантатов разработан новый керамический материал из композита на основе диоксида циркония, в состав которого входит тетрагональный диоксид циркония, частично стабилизированный оксидом иттрия и диоксидом церия и упрочненный высокотемпературной α -фазой оксида алюминия. Разработанный материал характеризуется высокой прочностью, оптимальной микроструктурой, высокой стабильностью в условиях применения и удовлетворяет всем требованиям международных стандартов к материалам на основе тетрагонального диоксида циркония для имплантатов для хирургии [6].

Цель настоящей работы — разработать конструкции дентальных керамических имплантатов из данного композита на основе диоксида циркония.

Материалы и методы исследований

Создание имплантатов оптимальной формы требует обеспечения их эксплуатационной прочности. Нагрузки на костную ткань не должны приводить к ее перенапряжению и в то же время быть на достаточном уровне. В связи с этим необходимо знать напряженно-деформированное состояние биомеханической системы имплантат—костная ткань. Эти данные можно получить, используя компьютерное моделирование. Одним из наиболее эффективных методов моделирования является метод конечных элементов [7], который применен в проведенных исследованиях.

Механические свойства материалов, используемых в разрабатываемой конструкции дентальных имплантатов, а также костной ткани, полученные на основе анализа литературных данных [6, 8—10], приведены в табл. 1.

Результаты и их обсуждение

Разработанные конструкции внутрикостных керамических дентальных имплантатов из композита на основе диоксида циркония приведены на рис. 1. Имплантаты имеют цилиндрическую форму и 2 варианта исполнения, отличающихся друг от друга размерами и конфигурацией внешней

Т а б л и ц а 1. Механические свойства материалов

Материал	Модуль упругости, МПа	Коэффициент Пуассона	Плотность, г/см ³	Предел текучести, МПа	Предел прочности, МПа
Композит ZrO ₂	224 850	—	5,8—6,01	—	600, изгиб
Сплав титана ВТ6	115 000	0,3	4,43	980	1048, растяжение
Ti6Al4V (аналог ВТ6)	105 000—110 000	0,3—0,33	4,5	800—860	900—1200, растяжение
Кортикальная кость (Cortical bone)	12 400—20 000	0,22—0,3	1,7	—	90—150, сжатие
Губчатая кость (Cancellous bone)	300—1370	0,12—0,22	1,5	—	23, сжатие

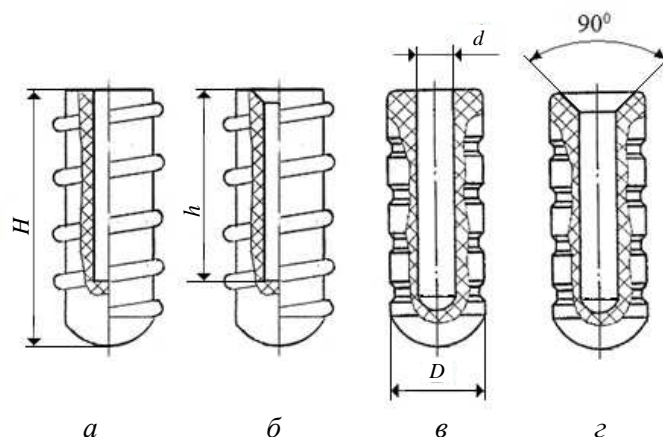


Рис. 1. Конструкции дентальных керамических имплантатов из композита на основе диоксида циркония: H — длина имплантата; h — глубина внутреннего отверстия; D — наружный диаметр; d — диаметр внутреннего отверстия; $a, б$ — вариант исполнения 1; $в, г$ — вариант исполнения 2; $a, в$ — без фаски; $б, г$ — с фаской.

Т а б л и ц а 2. Размеры имплантатов

Вариант	Размеры, мм				Фаска
	H	h	D	d	
1	14,0	11,0	4	2	—
1	14,0	11,0	4	2	✓
2	10,5	8,5	5	2	—
2	10,5	8,5	5	2	✓
2	11,5	9,5	5	2	✓
2	12,5	10,5	5	2	✓
2	13,5	11,5	5	2	✓

поверхности. Кроме того, в каждом варианте рассмотрено исполнение с фаской и без нее. Форма имплантатов максимально приближена к форме естественного корня зуба, а конфигурация поверхности (проточки, углубления) увеличивает контактную поверхность и улучшает фиксацию имплантатов в кости.

Размеры имплантатов приведены в табл. 2. Их длина — от 10,5 до 14,0 мм и диаметр — от 4 до 5 мм учитывают анатомические вариации пациентов и не требуют механической доработки перед установкой. Имплантаты можно использовать для восстановления зубного ряда как в верхней, так и в нижней челюсти при частичной и полной утрате зубов.

При анализе напряженно-деформированного состояния дентальной системы имплантат—костная ткань строили геометрическую модель участка кости, в которую затем устанавливали керамический имплантат и абатмент из сплава титана ВТ6 (рис. 2). Кость состояла из двух частей: наружный слой из плотной кортикальной костной ткани и внутренняя

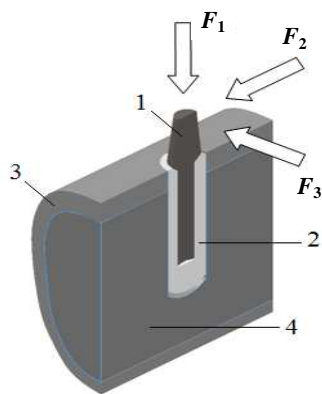


Рис. 2. Расчетная схема нагружения дентальной системы имплантат—костная ткань: 1 — абатмент; 2 — керамический имплантат; 3, 4 — кортикальная и губчатая кости.

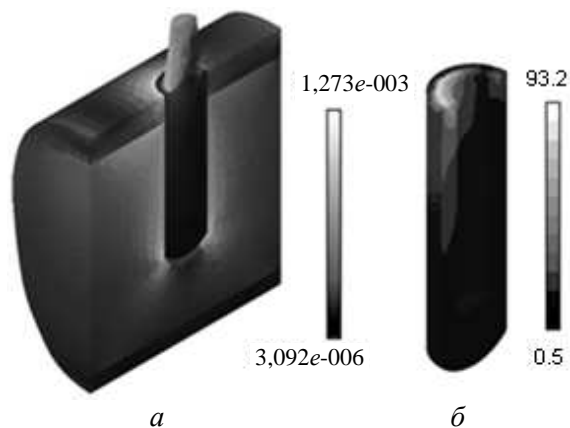


Рис. 3. Распределение эквивалентных деформаций в биомеханической системе имплантат—костная ткань (а) и эквивалентных напряжений Мизеса в керамическом имплантате (МПа) (б).

часть — из губчатой костной ткани. Величины внешних нагрузок на абатмент брали на основании данных, приведенных в работе [8]. Внешние силы (рис. 2) составляли (Н): $F_1 = 114,6$, $F_2 = 23,4$ и $F_3 = 17,1$.

Распределение эквивалентных деформаций в биомеханической системе имплантат—костная ткань и эквивалентных напряжений по Мизесу в керамическом имплантате представлено на рис. 3. Результаты, полученные на основе выполненных расчетов, показали, что величина максимальных эквивалентных напряжений Мизеса, возникающих в абатменте, изменяется в пределах 102,9—141,3 МПа, что значительно ниже предела текучести сплава титана ВТ6. Наличие фаски в имплантате облегчает установку абатмента. В то же время максимальные эквивалентные напряжения, наблюдаемые в керамических имплантатах всех рассмотренных конструкций, изменяются от 92,3 до 141,3 МПа и не превышают предела прочности материала на основе композита диоксида циркония. Таким образом, механические характеристики данных материалов достаточны для применения в разработанных конструкциях имплантатов.

Максимальные напряжения Мизеса, возникающие в кортикальной кости, составляют 16,1—31,6 МПа, а напряжения в губчатой кости — 10,7—16,2 МПа и не превышают пределов прочности (пределы прочности при сжатии кортикальной и губчатой костей 90—150 и 23 МПа соответственно). Таким образом, нагрузки на костную ткань при эксплуатации имплантатов не приведут к перенапряжению кости.

Имплантат воздействует на губчатую кость как рычаг, закрепленный в кортикальном слое, к наружному концу которого приложена нагрузка. В результате с уменьшением длины имплантата эквивалентные напряжения в кортикальной кости возрастают, а в губчатой — уменьшаются. При этом следует отметить, что напряжения в костной ткани носят оценочный характер и существенно зависят от конкретных особенностей пациента. Это означает, что размеры имплантата следует выбирать индивидуально в каждом конкретном случае.



Рис. 4. Опытные образцы керамических дентальных имплантатов.

В результате проведенных исследований разработаны конструкции и изготовлены опытные образцы дентальных имплантатов (искусственных корней зубов) из композита на основе диоксида циркония (рис. 4).

Выводы

Разработан ряд конструкций дентальных внутрикостных имплантатов из нового керамического материала на основе композита диоксида циркония.

Проведенный анализ напряженно-деформированного состояния биомеханической системы дентальный имплантат—кость позволил установить, что необходимая эксплуатационная прочность имплантатов обеспечена, а нагрузки на костную ткань не должны приводить к ее перенапряжению.

Изготовлены опытные образцы дентальных имплантатов (искусственных корней зубов).

1. *Иванов С. Ю.* Стоматологическая имплантология / С. Ю. Иванов, М. В. Ломакин // Рос. стоматологический журн. — 2000. — № 2. — С. 21—27.
2. *Перова М. Д.* Сравнительная эффективность остеотропных материалов в дентальной имплантологии / М. Д. Перова, В. А. Козлов // Клиническая имплантология в стоматологии. — 1999. — № 2. — С. 36—43.
3. *Олесова В. Н.* Соотношение функциональных и морфологических характеристик периимплантатной слизистой оболочки / В. Н. Олесова, Н. А. Кащенко // Рос. стоматологический журн. — 2000. — № 2. — С. 7—10.
4. *Тимофеев А. А.* Хирургические методы дентальной имплантации. — К. : ООО "Червона Рута-Турс", 2007. — 128 с.
5. *Лясникова А. В.* Стоматологические имплантаты: исследование, разработка, производство и клиническое применение / [А. В. Лясникова, А. В. Лепилин, Н. В. Бекренев, Д. С. Дмитриенко]. — Саратов : СГТУ, 2006. — 254 с.
6. *Шевченко А. В.* Технология изготовления и физико-химические свойства керамики на основе нанокристаллического порошка композита диоксида циркония / [А. В. Шевченко, В. В. Лашнева, Е. В. Дудник и др.] // Тез. IV Междунар. науч. конф. "Наноразмерные системы: Строение, Свойства, Технологии", Киев, 2013. — С. 562.
7. *Зенкевич О.* Применение метода конечных элементов в технике. — М. : Мир, 1985. — 242 с.
8. *Geng J.* Application of the finite element method in implant dentistry / Jianping Geng, Weiqi Yan, Wei Xu (Eds.) // Jointly Published with Zhejiang University Press. — 2008. — VIII. — 137 p.
9. *Третьяков А. В.* Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением / А. В. Третьяков, В. И. Зюзин. — М. : Металлургия, 1973. — 224 с.
10. *Tanwongwan W.* Finite element modelling of titanium foam behaviour for dental application / W. Tanwongwan and J. Carmai // Proc. of the World Congress on Engineering, July 6—8, 2011. — London, U. K., 2011. — Vol. III.

Розробка конструкцій керамічних імплантатів з композита на основі діоксиду цирконію.

1. Дентальні імплантати

В. В. Лашнева, О. В. Михайлов

Розроблено конструкції дентальних імплантатів з нового керамічного матеріалу на основі композита діоксиду цирконію. Проведений аналіз напружено-деформованого стану біомеханічної системи дентальний імплантат—кістка показав, що необхідна експлуатаційна міцність імплантатів забезпечена, а навантаження на кісткову тканину не приводять до її перенапруження. Виготовлено дослідні зразки дентальних імплантатів.

Ключові слова: конструкція, кераміка, дентальний імплантат, комп'ютерне моделювання, напружено-деформований стан.

Development of the ceramic implants construction based zirconia composite. 1. Dental implants

V. V. Lashneva, O. V. Mikhailov

Dental implants of the new ceramic material based on zirconia composite have been designed. The analysis of the strain-deformation state of the biomechanical system dental implant—bone showed that the necessary strength of the implants is provided, and the load on the bone does not lead to its overstrain. Samples of dental implants have been made.

Keywords: design, ceramics, dental implant, computer modeling, strain-deformation state.