



DOI: 10.15593/RZhBiomeh/2019.2.05

УДК 531/534: [57+61]

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СТОМАТОЛОГИЧЕСКИХ ЦЕМЕНТОВ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ НА УДАЛЕННЫХ ЗУБАХ, АРМИРОВАННЫХ ИНДИВИДУАЛЬНЫМИ ТРАНСДЕНТАЛЬНЫМИ ИМПЛАНТАТАМИ

М.В. Джалалова¹, С.Д. Арутюнов², А.Г. Степанов²

¹ Научно-исследовательский институт механики Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, Россия, 119192, Москва, Мичуринский проспект, 1, e-mail: margarita-vd@mail.ru

² Московский государственный медико-стоматологический университет имени А.И. Евдокимова, 127473, Москва, ул. Делегатская, 20/1, e-mail: stepanovmd@list.ru

Аннотация. Представлены результаты экспериментальных исследований адгезионной прочности при статической нагрузке на разрыв стоматологических цементных соединений индивидуального фрезерованного трансдентального имплантата с твердыми тканями корня зуба. Образцы представляли собой композицию, составленную из конструкции конической формы (аналог трансдентального имплантата, изготовленного из титанового сплава и диоксида циркония), установленной в канал культи естественного зуба и фиксированной в нем цементной склейкой. Эксперименты проводились на ранее удаленных 78 зубах с резецированной верхушкой корня. В результате исследования были определены цементы, обеспечивающие наибольшую адгезионную прочность соединения «индивидуальный трансдентальный имплантат – стоматологический цемент – культи удаленного зуба» в образце. Для внутрикорневой фиксации имплантатов из титанового сплава рекомендован композитный цемент *Multilink-N*, а для имплантатов из диоксида циркония – стеклоиономерный цемент *Fuji-1*. На втором этапе исследовалось влияние искусственно сформированной шероховатости поверхности имплантата на адгезионные свойства цементного соединения «имплантат – зуб». С этой целью перед проведением экспериментов по вытягиванию штифтов поверхности в образцах были подвергнуты пескоструйной обработке гранулами оксида алюминия размером частиц 50; 150; 250 мкм. Для фиксации были использованы цементы, показавшие наиболее высокие адгезионные характеристики на предыдущем этапе. Оказалось, что увеличение размера шероховатости в диапазоне 50–250 мкм улучшает адгезионные параметры цементного соединения «имплантат – зуб» для всех испытанных цементов. Наличие шероховатости имплантатов позволяет выдерживать значительно большую нагрузку по сравнению с гладким имплантатом, а увеличение значения шероховатости поверхности имплантата с 50 до 250 мкм также существенно (почти в 2,5 раза) повышает нагрузку.

Ключевые слова: стоматологические цементы, диоксид циркония, титановый сплав, трансдентальный имплантат, адгезионная прочность, шероховатость.

© Джалалова М.В., Арутюнов С.Д., Степанов А.Г., 2019

Джалалова Маргарита Васильевна, к.ф.-м.н., с.н.с. НИИ механики МГУ, Москва

Арутюнов Сергей Дарчоевич, з.д.н., д.м.н., профессор, завкафедрой пропедевтики стоматологических заболеваний, Москва

Степанов Александр Геннадьевич, к.м.н., доцент кафедры пропедевтики стоматологических заболеваний, Москва

ВВЕДЕНИЕ

Наиболее часто применяемой операцией на амбулаторно-поликлиническом стоматологическом приеме, проводимой с целью сохранения зуба при неудачном консервативном лечении, является резекция верхушки корня. Особенность данной операции – удаление воспалительного инфекционного очага вместе с частью корня, что, безусловно, снижает биомеханические показатели зуба. Однако достаточно часто подобные зубы используют опорой несъемных зубных протезов, что еще больше усугубляет напряженно-деформированное состояние модуля «культия зуба – костная ткань» и ведет к локальному разрушению системы [5].

Проблемы ортопедической реабилитации зубов с резецированными корнями решаются в современной стоматологии путем их армирования эндодонто-эндооссальными, или трансдентальными, имплантатами [1, 2, 4, 7]. Конструкции трансдентальных имплантатов эволюционно претерпевали значительные изменения, что было связано прежде всего с клиническими особенностями их использования и появлением новых материалов и способов изготовления [2, 3]. Появление стоматологических *CAD/CAM*-систем – систем компьютерного моделирования и компьютерного фрезерования, открыло для профессионального сообщества перспективы использования новых конструкционных материалов. Такими материалами являются диоксид циркония и титановый сплав [6, 14, 21]. Использование диоксида циркония в стоматологии значительно расширяет возможность зубного протезирования, так как сам материал обладает высокими биоинертными и эстетическими свойствами [10–13, 22, 23]. Но в использовании диоксида циркония скрыты и серьезные проблемы, ключевой из которых является его ненадежная фиксация к твердым тканям зуба, что, несомненно, связано с отсутствием на сегодняшний день унифицированных рекомендаций по формированию поверхности индивидуальных трансдентальных имплантатов, обеспечивающей как остеоинтеграцию в периапикальной области интраоперационного дефекта, так и надежную фиксацию в корневом канале. Вопросы остеоинтеграции трансдентальных имплантатов частично были изучены, о чем свидетельствуют работы, опубликованные по результатам проведенных экспериментов на животных [9, 16, 18–20].

Формирование внутренней поверхности стоматологической ортопедической конструкции из диоксида циркония или титанового сплава для создания надежной фиксации имплантатов к твердым тканям зуба, а также выбор адекватной клинической ситуации цемента остается актуальной проблемой современной стоматологии, что и определило цель данного исследования.

МАТЕРИАЛЫ, ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ

Полученные в проведенных экспериментах данные позволили не только подобрать цемент для внутрикорневой фиксации, но и окончательно определиться с конструктивными особенностями индивидуальных трансдентальных имплантатов, способами его изготовления и установки.

Трансдентальная имплантация осуществляется следующим образом: в дооперационном периоде корневой канал препарируется до уровня физиологической верхушки корня, далее в препарированный зуб устанавливается копия трансдентального имплантата, получают оттиск из силиконовой массы, по которому изготавливают модель из гипса. На полученной модели из воска моделируют надкорневую часть трансдентального имплантата поверх фиксированной в модели копии, соответствующую культе препарированного зуба, под несъемную ортопедическую конструкцию и фрезеруют циркулярный скос под углом 135 градусов по всему периметру.

Далее в устьевой части полученной восковой конструкции вместо копии горячим воском фиксируют прототип трансдентального имплантата, выполненного из сплава титана и диоксида циркония, имеющего внутрикорневую часть в форме удлиненного цилиндра с шероховатой поверхностью. Полученная конструкция обрабатывается специальным антибликовым порошком для получения оптического оттиска и переводится в цифровой формат посредством сканера CAD/CAM-системы [8, 15]. Затем с применением компьютерной программы моделируется диаметр внутрикорневой части имплантата с условием циркулярного зазора между имплантатом и стенками корневого канала в 50 мкм, необходимого для расположения цемента, на который фиксируется имплантат, после чего трансдентальный имплантат фрезеруется из титанового или циркониевого блока и подвергается пескоструйной обработке гранулами порошка оксида алюминия размером 250 мкм.

Объектами исследований являлись образцы конструкций фрезерованных трансдентальных имплантатов из диоксида циркония в количестве 48 единиц, из титанового сплава в количестве 30 единиц, ранее удаленные зубы с резецированной верхушкой корня в количестве 78 единиц, верхние резцы пациентов с диагнозом «верхушечный апикальный периодонтит» в количестве 24 единицы.

Для получения оптической (виртуальной) модели индивидуального трансдентального имплантата сканировали восковую копию сканером *ZirkonZahn S600 5-TEC*. Трансдентальные имплантаты фрезеровали на фрезерном станке *M-5* системы *ZirkonZahn* (Италия).

При изготовлении образцов трансдентальных имплантатов применяли два вида конструкционных материалов фирмы *ZirkonZahn*: титановый сплав 5 95H10 с химическим составом: Ti – 90%, Al – 6%, V – 3%, Fe < 1%, O < 1%; оксид циркония *Ice Zirkon Translucent 95H10* с химическим составом: ZrO₂ – 95,0%, Y₂O₃ – 4,0%, Al₂O₃ < 1%, SiO₂ – 0,02%, Fe₂O₃ – 0,01%, Na₂O – 0,04%.

Фиксацию образцов трансдентальных имплантатов в удаленный зуб осуществляли с помощью четырех видов стоматологических цемента: стеклоиономерные цементы *GC Fuji-1* (*GC Corporation*, Япония) и *GC Fuji Plus* (*GC Corporation*, Япония); композитный цемент *Multilink-N* (*Ivoclar Vivadent*, Лихтенштейн); портланд-цемент *MTA-Angelus* (*Angelus*, Бразилия).

Испытания проводились на экспериментальной установке *Instron 5900* (Великобритания).

Образцы представляли собой сборку, составленную из штифта конической формы, вставленного в канальное отверстие зуба и фиксированного в нем цементной склейкой. В качестве штифтов использовались аналоги индивидуальных фрезерованных трансдентальных имплантатов, изготовленные из титана и диоксида циркония (рис. 1). Образцы крепились с использованием специальной оснастки (рис. 2). В процессе эксперимента регистрировались растягивающие усилия (*N*), относительное перемещение захватов (мм) и время (с). Общий вид экспериментальной установки *Instron 5900*, схема крепления образцов и регистрирующий дисплей показаны на рис. 3–4.

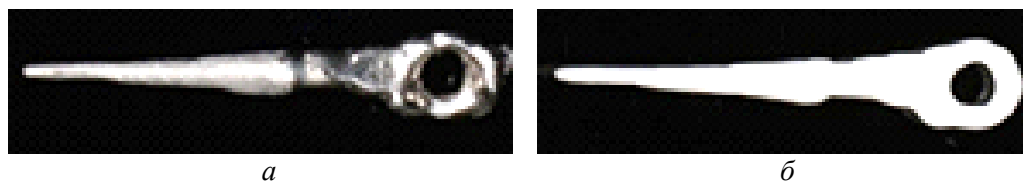


Рис. 1. Вид используемых штифтов-имплантатов: *a* – из титана,
б – из диоксида циркония

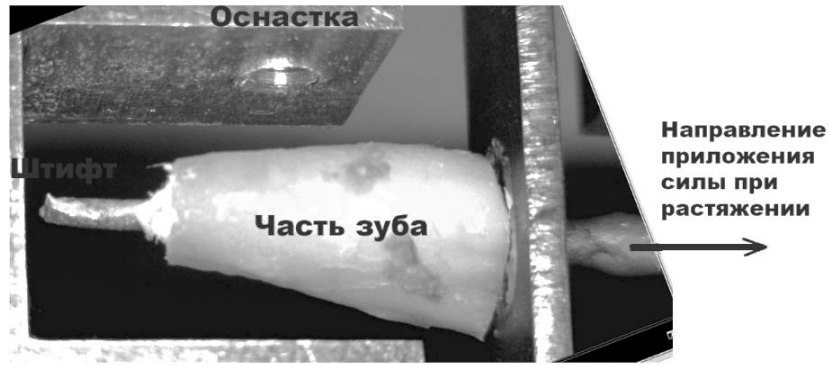


Рис. 2. Закрепление образца в оснастке во время испытаний на вытягивание



Рис. 3. Установка Instron 5900 с образцом в оснастке во время испытаний на растяжение



Рис. 4. Регистрирующий дисплей. Показаны значения нагрузки (Н), перемещения (мм) и времени (с)

Исследование было разделено на два этапа. Целью первого этапа было определение типа цемента, обеспечивающего наибольшую адгезионную прочность соединения в образце. Тестам подвергались четыре типа цементов: *Fuji-1*, *Fuji+*, *Multilink-N* и *Angelus*. На этом этапе использовались гладкие штифты из титанового сплава и диоксида циркония без дополнительной обработки их поверхности. Цементы замешивались согласно рекомендациям производителей. Застывание цементов *Fuji-1*, *Fuji+*, *Multilink-N* проводилось за 5 мин. Цемент *Angelus* застывал 4 ч. Всего было проведено 24 испытания. Во всех экспериментах нагружение проводилось при комнатной температуре 25 °С по кинематической схеме со скоростью перемещения траверсов испытательной машины 0,4 мм/мин. Регистрировались следующие параметры: растягивающее усилие (с помощью динамометра 10 кН), относительное перемещение захватов (общее удлинение и время испытания) [3].

На втором этапе исследования по изучению оптимальной чистоты поверхности индивидуальных трансдентальных имплантатов ранее описанные аналоги подвергались пескоструйной обработке: сначала они также обрабатывались в пескоструйном аппарате *Basic classic (Renfert, Германия)* под давлением в 2 атмосферы порошком оксида алюминия с размером зерен 50; 150 и 250 мкм (манипуляция однократная, в одном направлении вдоль оси имплантата); далее те же образцы были обработаны в пескоструйном аппарате в прежнем режиме в двух (поступательно-возвратных) направлениях.

Затем образцы изучали в зондовой нанолаборатории (Троицк, Россия) с помощью атомно-силового микроскопа «Интегра Прима» (Россия). Параметры шероховатости (чистоту поверхности) измеряли в нанометрах по изображениям сканирующего зондового микроскопа. Поле сканирования составлял квадрат 30×30 мкм.

Полученные результаты легли в основу определения несущей способности склейки стоматологических цементов между аналогом фрезерованного трансдентального имплантата и твердыми тканями зуба. Испытания выполняли на экспериментальной установке *Instron 5900* (Великобритания).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Экспериментальное исследование прочностных и адгезионных свойств цементного соединения трансдентального имплантата с твердыми тканями зуба

Была изучена адгезионная прочность на разрыв соединений образцов из перспективных конструкционных материалов с широким спектром механических свойств и твердых тканей зуба, фиксированных к образцам стеклоиономерными или композитными цементами [3]. Предельные адгезионно-прочностные характеристики образцов – максимальные значения растягивающей силы и значения максимальных удлинений – приведены в таблице.

Осмотр образцов после испытаний показал, что во всех тестах вытягивание штифта происходило вследствие разрушения адгезионного шва на его поверхности, зубная ткань не была повреждена. При этом поверхность изначально гладких штифтов была сильно ободрана и исцарапана – это говорит о том, что разрушение происходило в основном посредством среза. Качественно механизм деформирования при вытягивании штифта из образца может быть представлен как процесс сдвига в тонком слое между штифтом и зубным каналом. Разрушение наступает вследствие достижения адгезионного предела на срез (исключая малую область верхушки штифта, в которой цементная склейка рвется отрывом), что соответствует максимальному значению растягивающей силы в эксперименте (достижение несущей способности образца). В силу конусности штифтов процесс разрушения зарождается и инициируется в нижней части сборки, где деформации на адгезионной поверхности максимальны. Последующее движение штифта вплоть до его полного отрыва ограничивается в основном трением.

Результаты проведенных испытаний показали следующее:

- предельные адгезивные характеристики штифтов из титанового сплава существенно выше диоксидциркониевых для всех исследуемых цементов;
- среди протестированных цементов наибольшую адгезивную (сдвиговую) жесткость имеют цементы *Fuji-1* и *Multilink-N*;
- наилучшие прочностные и адгезивные свойства проявляют пары (титановый сплав/*Multilink-N* и диоксид циркония/*Fuji-1*);

Таблица 1

Результаты испытаний пар «трансдентальный имплантат – цемент» на растяжение

Метка образца	F_{\max} , Н	Δ_{\max} , мм
Цирконий/ <i>Fuji+</i>	43,92	1,6
Титан/ <i>Fuji+</i>	91,84	1,5
Цирконий/ <i>Fuji 1</i>	75,18	0,65
Титан/ <i>Fuji 1</i>	119,84	0,4
Цирконий/ <i>Multilink-N</i>	54,01	0,26
Титан/ <i>Multilink-N</i>	141,67	0,42
Цирконий/ <i>Angelus</i>	10,44	0,12
Титан/ <i>Angelus</i>	12,79	0,33

– цемент *Fuji Plus* обладает средними значениями адгезивной жесткости и относительно невысокими предельными параметрами в парах с титановым сплавом и диоксидом циркония, но характеризуется вязким (плавным) характером разрушения адгезивного слоя;

– цемент *Angelus* продемонстрировал низкие адгезивные свойства.

По результатам механических исследований внутрикорневой фиксации индивидуальных фрезерованных трансдентальных имплантатов, изготовленных из сплава титана, установлено преимущество композитного цемента, а в случае диоксида циркония – стеклоиономерного цемента.

Экспериментальное исследование прочностных и адгезионных свойств цементного соединения трансдентального имплантата с различной степенью шероховатости его поверхности с твердыми тканями зуба

Исследование влияния искусственной шероховатости поверхности имплантата на адгезионные свойства цементного соединения «трансдентальный имплантат – зуб» проводилось на образцах имплантатов, подвергнутых пескоструйной обработке гранулами оксида алюминия размером 50; 150; 250 мкм (рис. 5).

Для фиксации были использованы цементы *Multilink-N* и *Fuji-1* [17, 24], показавшие наиболее высокие адгезионные характеристики на предыдущем этапе. Схема проведения эксперимента по вытягиванию штифта из образца, а также условия его проведения

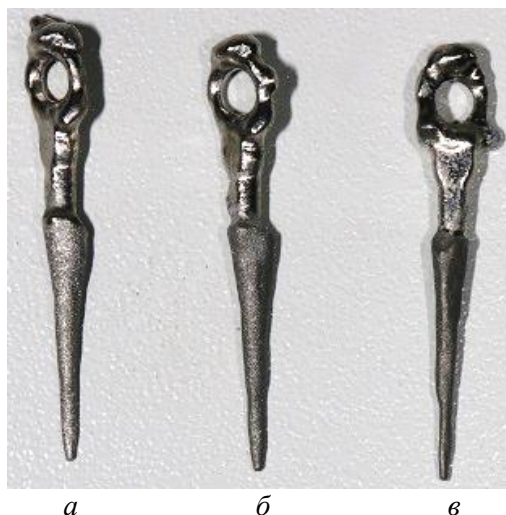


Рис. 5. Имплантат после пескоструйной обработки гранулами оксида алюминия размером: *a* – 250 мкм, *б* – 150 мкм, *в* – 50 мкм

и регистрируемые параметры были такими же, как и на первом этапе. Всего было проведено 36 испытаний. На рис. 5 показаны титановые штифты-имплантаты после пескоструйной обработки разными размерами гранул оксида алюминия; на рис. 6 – поверхности имплантатов из сплава титана и диоксида циркония в увеличенном масштабе.

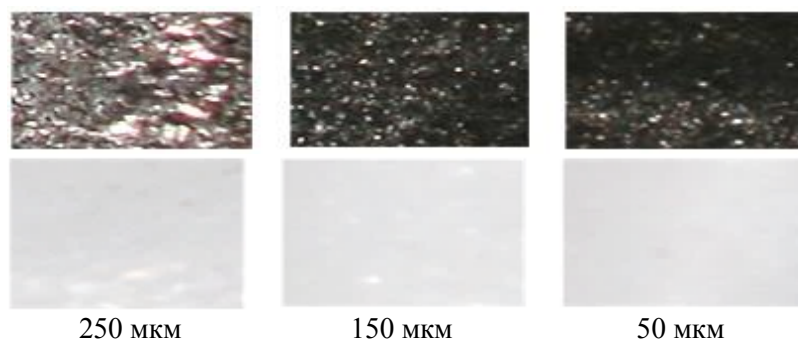


Рис. 6. Вид поверхностей имплантатов после пескоструйной обработки разными размерами гранул оксида алюминия: 1-й ряд – титановые, 2-й ряд – из диоксида циркония

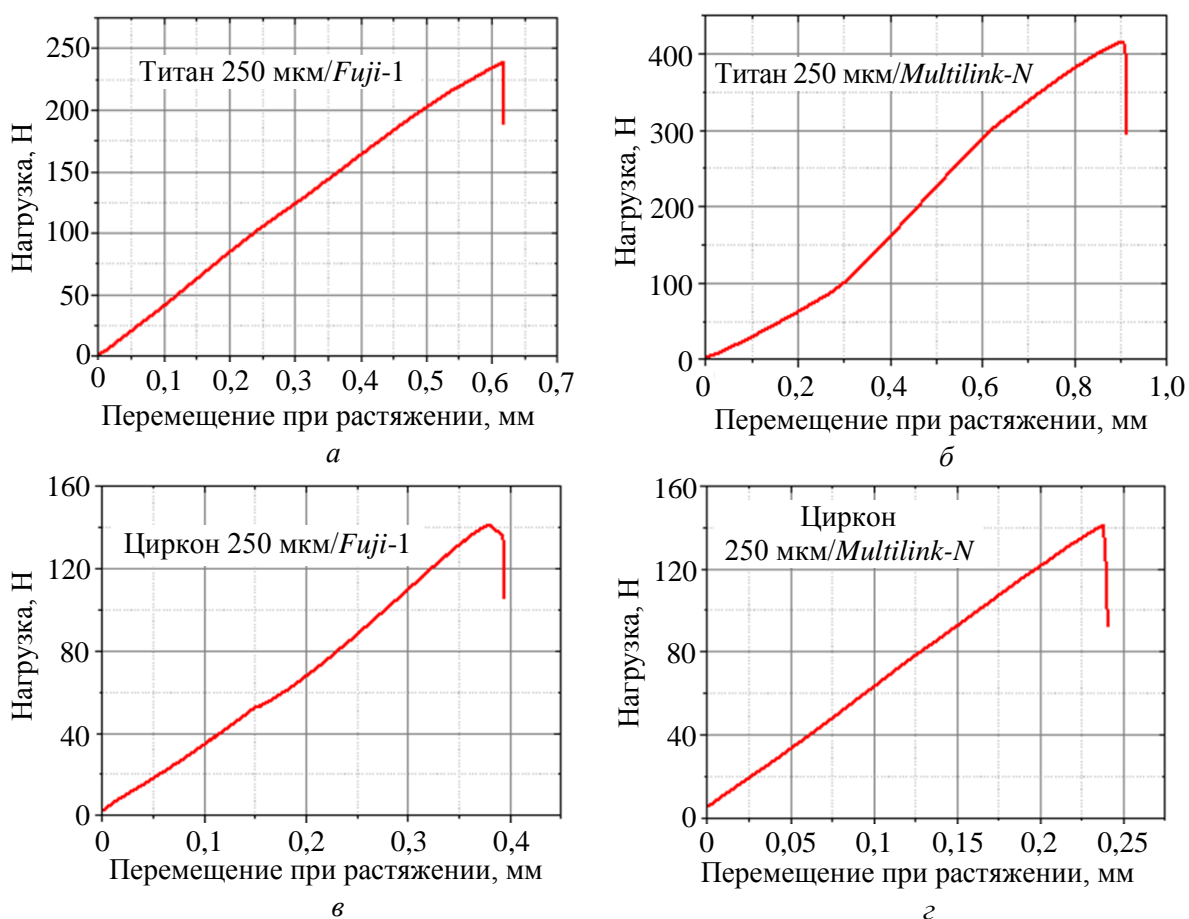


Рис. 7. Пример деформационной кривой в координатах «нагрузка – перемещения», полученной при испытании образца индивидуального фрезерованного трансдентального имплантата из: *а* – титанового сплава/цемента *Fuji-1*; *б* – титанового сплава/цемента *Multilink-N*; *в* – диоксида циркония/цемента *Fuji-1*; *г* – диоксида циркония/цемента *Multilink-N*. Пескоструйная обработка поверхности имплантата зерном 250 мкм

По итогам проведенного исследования были получены графические результаты для всех образцов из различных соединений. На рис. 7 в качестве примера показаны зависимости перемещений от нагрузок для пар: титановый сплав 250 мкм/*Multilink-N*, титановый сплав 250 мкм/*Fuji-1*, диоксид циркония 250 мкм/*Fuji-1*, диоксид циркония 250 мкм/*Multilink-N*. На графиках представлены интегральные силовые и кинематические величины, так как получение точных локальных механических прочностных и адгезионных характеристик в проведенных экспериментах (величин напряжений, деформаций, коэффициентов трения и пр.) затруднено из-за наличия неоднородного напряженно-деформированного состояния в образце.

На обобщенном рис. 8 показаны зависимости величин перемещений от нагрузок для всех испытуемых образцов с различными сочетаниями материала с цементом. Хорошо видна закономерность кривых 1, 2 и 3: для одного и того же сочетания «титановый сплав/*Multilink-N*» увеличение размеров гранул оксида алюминия с 50 до 250 мкм при пескоструйной обработке поверхности имплантата значительно (почти в 2,5 раза) повышает нагрузку.

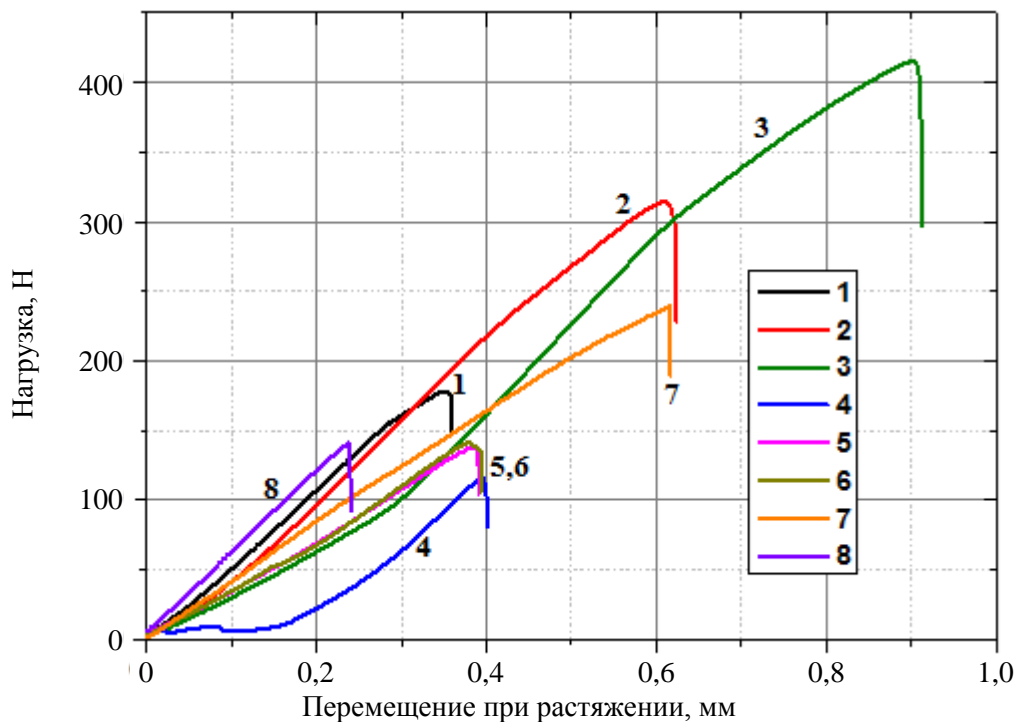


Рис. 8. Результаты испытаний влияния искусственной шероховатости трансдентальных имплантатов на адгезионные свойства цементного соединения «трансдентальный имплантат – зуб»: 1 – титановый сплав 50 мкм/*Multilink-N*; 2 – титановый сплав 150 мкм/*Multilink-N*; 3 – титановый сплав 250 мкм/*Multilink-N*; 4 – диоксид циркония 50 мкм/*Fuji-1*; 5 – диоксид циркония 150 мкм/*Fuji-1*; 6 – диоксид циркония 250 мкм/*Fuji-1*; 7 – титановый сплав 250 мкм/*Fuji-1*; 8 – диоксид циркония 250 мкм/*Multilink-N*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенных испытаний можно сделать следующие выводы:

- предельные адгезионные характеристики титановых штифтов существенно выше циркониевых для всех исследуемых цементов (см. таблицу);
- среди протестированных цементов наибольшую адгезионную жесткость имеют цементы *Fuji-1* и *Multilink-N*;

– цемент *Fuji+* обладает средними значениями адгезионной жесткости и относительно невысокими предельными параметрами в парах с титановым сплавом и диоксидом циркония, но характеризуется вязким (плавным) характером разрушения адгезионного слоя;

– цемент *Angelus* продемонстрировал низкие адгезионные свойства;

– увеличение размера шероховатости в диапазоне 50–250 мкм улучшает адгезионные параметры цементного соединения «имплантат – зуб» для всех испытанных цемента;

– наличие шероховатости имплантата из титанового сплава позволяет образцу выдерживать значительно бóльшую нагрузку по сравнению с гладким имплантатом; увеличение значения шероховатости поверхности имплантата с 50 до 250 мкм также существенно (почти в 2,5 раза) повышает нагрузку;

– наилучшие адгезионные характеристики имеют пары: титановый сплав 250 мкм/*Multilink-N*, диоксид циркония 250 мкм/*Fuji-1* и диоксид циркония 250 мкм/*Multilink-N*. С использованием этих пар удастся получить практически линейную зависимость растягивающей силы от полных удлинений вплоть до отрыва и обеспечить равномерное распределение нагрузки по всей области склейки.

Проведенное исследование показало, что использование титановых имплантатов с искусственной шероховатостью 250 мкм и цемента *Multilink-N* обеспечивает наиболее высокие адгезионные характеристики. В парах диоксид циркония 250 мкм/*Fuji-1* и диоксид циркония 250 мкм/*Multilink-N* при примерно равной несущей способности последняя пара обладает почти вдвое бóльшей адгезионной прочностью.

Таким образом, определены характеристики поверхности индивидуальных фрезерованных трансдентальных имплантатов из диоксида циркония и титанового сплава и верифицированы цементы для фиксации, что в комплексе позволяет обеспечить надежную и долговременную стабилизацию имплантата в корневом канале зуба.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арутюнов С.Д., Степанов А.Г., Джалалова М.В., Малазоня Т.Т. Временный зубной протез-прототип после проведения трансдентальной имплантации: патент РФ № 2587016. Приоритетная справка № 2015117568 от 12.05.2015.
2. Джалалова М.В., Арутюнов С.Д., Степанов А.Г. Влияние уровня резекции корня зуба на величины перемещений и напряжений трансдентального имплантата в структуре костной ткани // Российский вестник дентальной имплантологии. – 2015. – № 1 (31). – С. 31–35.
3. Джалалова М.В., Арутюнов С.Д., Степанов А.Г. Исследование прочностных и адгезионных свойств цементного соединения трансдентального имплантата с твердыми тканями зуба // Ломоносовские чтения. – М.: Изд-во Моск. гос. ун-та, 2016. – С. 73–74.
4. Джалалова М.В., Степанов А.Г. Влияние уровня резекции корня зуба на напряженно-деформированное состояние эндодонто-эндооссального имплантата в зубочелюстном сегменте // Российский журнал биомеханики. – 2017. – Т. 21, № 1. – С. 51–63.
5. Кулаков А.А. Хирургические аспекты реабилитации больных с зубными имплантатами: автореф. дис. ... д-ра мед. наук. – М., 1997. – 49 с.
6. Няшин Ю.И., Рогожников Г.И., Рогожников А.Г., Никитин В.Н., Асташина Н.Б. Биомеханический анализ зубных имплантатов из сплава титана и диоксида циркония // Российский журнал биомеханики. – 2012. – Т. 16, № 1 (55). – С. 102–109.
7. Робустова Т.Г., Митронин А.В. Эндодонто-эндооссальная имплантации // Клиническая стоматология. – 1998. – № 2. – С. 20–24.
8. Степанов А.Г., Зязиков М.Д. Экспериментальное определение физико-механических параметров, повышающих внутрикорневую фиксацию индивидуальных трансдентальных имплантатов, изготовленных CAD/CAM-фрезерованием // Стоматология. – 2015. – Т. 94, № 2. – С. 100–101.
9. Aboushelib M.N., Noha A. Salem, Ahmed L. Abo Taleb, Naglaa M. Abd El Moniem. Influence of surface nano-roughness on osseointegration of zirconia implants in rabbit femur heads using selective infiltration

- etching technique // *J. Oral Implantol.* – 2013. – Vol. 39, № 5. – P. 583–590. DOI: 10.1563/AAID-JOI-D-11-00075
10. Bankoğlu Güngör M., Cemal Aydın, Handan Yılmaz, Esma Basxak Gül. An overview of zirconia dental implants: basic properties and clinical application of three cases // *J. Oral Implantol.* – 2014. – Vol. 40, № 4. – P. 485–494. DOI: 10.1563/AAID-JOI-D-12-00109
 11. Chen Y.-W., Moussi J., Drury J.L., Wataha J.C. Zirconia in biomedical applications // *Expert Rev. Med. Devices.* – 2016. – Vol. 13, № 10. – P. 945–963. DOI: 10.1080/17434440.2016.1230017
 12. Egawa M., Miura, T., Kato T., Saito A., Yoshinari M. In vitro adherence of periodontopathic bacteria to zirconia and titanium surfaces // *Dent. Mater. J.* – 2013. – Vol. 32, № 1. – P. 101–106.
 13. Depprich R., Naujoks C., Ommerborn M., Schwarz F., Kübler N.R., Handschel J. Current findings regarding zirconia implants // *Clin. Implant Dent. Relat. Res.* – 2014. – Vol. 16, № 1. – P. 124–137. DOI: 10.1111/j.1708-8208.2012.00454.x
 14. Foong J.K., Judge R.B., Palamara J.E., Swain M.V. Fracture resistance of titanium and zirconia abutments: An in vitro study // *J. Prosthet. Dent.* – 2013. – Vol. 109, № 5. – P. 304–312. DOI: 10.1016/S0022-3913(13)60306-6
 15. Gehrke P., Alius J., Fischer C., Erdelt K.J., Beuer F. Retentive strength of two-piece CAD/CAM zirconia implant abutments // *Clin. Implant Dent. Relat. Res.* – 2014. – Vol. 16, № 6. – P. 920–925. DOI: 10.1111/cid.12060
 16. Hoffmann O., Angelov N., Zafiroopoulos G.G., Andreana S. Osseointegration of zirconia implants with different surface characteristics: an evaluation in rabbits // *Int. J. Oral Maxillofac. Implants.* – 2012. – Vol. 27, № 2. – P. 352–358.
 17. Ilie N., Hickel R., Valceanu A.S., Huth K.C. Fracture toughness of dental restorative materials // *Clin. Oral Invest.* – 2012. – Vol. 16, № 2. – P. 489–498. DOI: 10.1007/s00784-011-0525-z
 18. Koch F.P., Weng D., Krämer S., Biesterfeld S., Jahn-Eimermacher A., Wagner W. Osseointegration of one-piece zirconia implants compared with a titanium implant of identical design: a histomorphometric study in the dog // *Clin. Oral Implants Res.* – 2010. – Vol. 21, № 3. – P. 350–356. DOI: 10.1111/j.1600-0501.2009.01832.x
 19. Kohal R.J., Wolkewitz M., Hinze M., Han J.S., Bächle M., Butz F. Biomechanical and histological behavior of zirconia implants: an experiment in the rat // *Clin. Oral Implants Res.* – 2009. – Vol. 20, № 4. – P. 333–339. DOI: 10.1111/j.1600-0501.2008.01656.x
 20. Manzano G., Herrero L.R., Montero J. Comparison of clinical performance of zirconia implants and titanium implants in animal models: a systematic review // *Int. J. Oral Maxillofac. Implants.* – 2014. – Vol. 29, № 2. – P. 311–320. DOI: 10.11607/jomi.2817
 21. Mobilio N., Stefanoni F., Contiero P., Mollica F., Catapano S. Experimental and numeric stress analysis of titanium and zirconia one-piece dental implants // *Int. J. Oral Maxillofac. Implants.* – 2013. – Vol. 28, № 3. – P. e135–142. DOI: 10.11607/jomi.2335
 22. Prithviraj D.R., Deeksha S., Regish K.M., Anoop N. A systematic review of zirconia as an implant material // *Indian J. Dent. Res.* – 2012. – Vol. 23, № 5. – P. 643–649. DOI: 10.4103/0970-9290.107383
 23. Van Dooren E., Calamita M., Calgaro M., Coachman C., Ferencz J.L., Pinho C., Silva N.R. Mechanical, biological and clinical aspects of zirconia implants // *Eur. J. Esthet. Dent.* – 2012. – Vol. 7, № 4. – P. 396–417.
 24. Zoergiebel J., Ilie N. Evaluation of a conventional glass ionomer cement with new zinc formulation: effect of coating, aging and storage agents // *Clin. Oral Invest.* – 2013. – Vol. 17, № 2. – P. 619–626. DOI: 10.1007/s00784-012-0733-1

RESEARCH OF DENTAL CEMENTS PROPERTIES IN EXPERIMENT ON REMOTE TEETH REINFORCED BY INDIVIDUAL TRANSDENTAL IMPLANTS

M.V. Dzhahalova, S.D. Arutyunov, A.G. Stepanov (Moscow, Russia)

The paper presents the results of experimental studies of the adhesion strength at a static load on the gap of dental cement joints of an individual milled transdental implant with solid tissues of the tooth root. The samples consisted of a composition composed of a conical-shaped structure (similar to a transdental implant made of titanium alloy and zirconium dioxide) inserted into the canal of a natural tooth stump and fixed in it with cement gluing.

The experiments were performed on previously removed teeth with a resected root tip in the amount of 78 units. As a result of the study, cements were identified that ensure the highest adhesive strength of the joint “individual transdental implant–dental cement–stump of an extracted tooth” in the specimen. For the root fixation of titanium alloy implants, composite *Multilink-N* cement is recommended, and for zirconium dioxide implants, *Fuji-1* glass ionomer cement is recommended. At the second stage, the effect of artificial surface roughness of the implant on the adhesion properties of the cement joint implant–tooth was investigated. To this end, before conducting experiments on the extrusion of the pins, the samples surfaces were sandblasted with aluminum oxide granules of 50, 150, 250 microns in size. Cements were used for fixation, which showed the highest adhesive characteristics at the previous stage. It turned out that an increase in the roughness size in the range of 50–250 μm improves the adhesion parameters of the cement joint implant – tooth for all tested cements. The presence of implant roughness allows one to withstand a significantly greater load compared to a smooth implant, and an increase in the implant surface roughness value from 50 to 250 μm also significantly (almost 2.5 times) increases the load.

Key words: dental cements, zirconium dioxide, titanium alloy, transdental implant, adhesive strength, roughness.

Получено 5 февраля 2019