

DOI: <https://doi.org/10.17816/dent260872>

Исследование прочностных характеристик культевых штифтовых конструкций, используемых для восстановления коронковой части зубов при декомпенсированной форме патологической стираемости

М.М. Романов¹, И.Р. Хафизов¹, А.М. Сулейманов², И.Р. Хафизов¹, Р.Г. Хафизов¹¹ Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Российская Федерация;² Казанский государственный архитектурно-строительный университет, Казань, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Патологическая стираемость твёрдых тканей зубов встречается довольно часто и может приводить к частичному или полному разрушению коронковой части зуба с последующими нарушениями во всей зубочелюстной системе. Такие состояния трудно поддаются лечению, так как наряду с эстетической составляющей необходимо восстановить и функциональную полноценность, чего не всегда удаётся достичь в долгосрочной перспективе.

В настоящее время в стоматологии используются различные способы восстановления утраченной коронковой части при декомпенсированной форме патологической стираемости зубов, основанные на применении разных видов штифтов и штифтовых конструкций, которые не всегда позволяют достичь положительных отдалённых результатов из-за их несостоятельности и поломки во время функционирования.

Цель — изучение прочностных характеристик культевых штифтовых вкладок и культевых конструкций, изготовленных различными способами.

Методы. Проведены экспериментальные исследования прочностных характеристик различных видов культевых штифтовых конструкций. Для этого изготовили 45 образцов культевых штифтовых конструкций, которые подвергли испытанию на разрывной машине ZMGI 250 кр.

Результаты. Экспериментальные исследования показали величину напряжения, при котором происходит разрушение образцов.

Заключение. В результате исследования получены сведения о прочности культевых штифтовых конструкций, изготовленных из различных материалов, что имеет большое значение при применении зубосохраняющих технологий.

Ключевые слова: культевые штифтовые вкладки; штифты; патологическая стираемость зубов.

Как цитировать:

Романов М.М., Хафизов И.Р., Сулейманов А.М., Хафизов И.Р., Хафизов Р.Г. Исследование прочностных характеристик культевых штифтовых конструкций, используемых для восстановления коронковой части зубов при декомпенсированной форме патологической стираемости // Российский стоматологический журнал. 2023. Т. 27, № 3. С. 00–00. DOI: <https://doi.org/10.17816/dent260872>

DOI: <https://doi.org/10.17816/dent260872>

Study of the strength characteristics of post-stump structures used to restore the crown part of teeth in decompensated form of pathological abrasion

Maksim M. Romanov¹, Irek R. Khafizov¹, Alfred M. Suleimanov², Ildar R. Khafizov¹, Rais G. Khafizov¹

¹ Kazan Federal University, Kazan, Russian Federation;

² Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: Pathological abrasion of hard dental tissues is quite common and can lead to partial or complete destruction of the crown part of the tooth, followed by disturbances in the entire dentoalveolar system. Such conditions are difficult to treat, since along with the aesthetic component, it is necessary to restore functional usefulness, which is not always possible to achieve in the long term.

Currently, various methods are used in dentistry to restore the lost crown part in a decompensated form of pathological tooth abrasion based on the use of various types of pins and pin structures, which do not always allow achieving positive long-term results due to their failure and breakage during operation.

AIM: Study of the strength characteristics of stump pin inlays and stump structures made in various ways.

MATERIALS AND METHODS: Experimental studies of the strength characteristics of various types of stump pin structures were carried out. For this, 45 samples of stump pin structures were made for testing on a ZMGI 250 kp tensile testing machine.

RESULTS: Experimental studies have shown the magnitude of the stress at which the destruction of the samples occurs.

CONCLUSION: As a result of the study, information was obtained on the strength of stump pin structures made of various materials, which is of great importance in tooth-preserving technologies.

Keywords: teeth; dental pins; tooth abrasion.

To cite this article:

Romanov MM, Khafizov IR, Suleimanov AM, Khafizov IR, Khafizov RG. Study of the strength characteristics of post-stump structures used to restore the crown part of teeth in decompensated form of pathological abrasion. *Russian Journal of Dentistry*. 2023;27(3):00–00. DOI: <https://doi.org/10.17816/dent260872>

ОБОСНОВАНИЕ

Ортопедическая стоматология за последнее десятилетие достигла значительных успехов, особенно в области зубосохраняющих методик при полном разрушении коронковой части.

Наиболее ранней и распространённой формой поражения зубочелюстной системы являются дефекты коронок зубов различного происхождения, такие как снижение высоты коронковой части зуба при декомпенсированной форме патологической стираемости либо при кариозных состояниях. Эти дефекты приводят к морфофункциональным изменениям в челюстно-лицевой системе, а также дисфункциям височно-нижнечелюстного сустава. Восстановление разрушенных зубов и их корней является одной из основных задач в стоматологии. Общепринятым решением этой задачи является применение различных видов штифтов и штифтовых конструкций. Функциональная эффективность восстановления зубов во многом зависит от конструкционных особенностей штифтовых конструкций [1].

В настоящее время в стоматологии используют различные культевые конструкции штифтовых зубов; их различают по форме, способу изготовления, материалу изготовления, способу соединения, способу фиксации, по форме соединения с корнем [2–5]. Однако очень часто наблюдаются поломки корневой штифтовой части культевых штифтовых конструкций на уровне соединения корневой и коронковой части. Это связано с неточностью изготовленных конструкций, неправильно подобранным материалом, неверными параметрами культевых штифтовых вкладок, нарушением соответствия корневой и коронковой части культевой штифтовой вкладки (перелом штифта, поломка корня, нарушение фиксации) [6, 7].

Не существует единого мнения относительно критериев, определяющих показания к тому или иному методу лечения. Этот выбор зависит от ряда факторов. Важное значение имеют свойства материалов для изготовления внутрикорневых штифтов. Металлические сплавы хорошо зарекомендовали себя на протяжении многих лет. Попытка поиска материала, обладающего высокой эстетичностью и биологической инертностью, обусловила необходимость изучения прочностных характеристик безметалловых штифтовых конструкций [8].

Цель исследования — изучить прочностные характеристики культевых штифтовых вкладок и культевых конструкций, изготовленных из разных материалов различными способами.

МЕТОДЫ

Экспериментальные образцы для исследования изготавливали в лаборатории Института фундаментальной медицины и биологии Казанского (Приволжского) федерального университета.

Экспериментальные исследования проводили в научно-исследовательской лаборатории кафедры механики Казанского государственного архитектурно-строительного университета в 2022 году.

Для экспериментальных исследований изготавливали культевые конструкции (рис. 1), состоящие из коронковой части, амортизирующей корневой части и штифтовой корневой части.

Нами были изготовлены 9 типов культевых штифтовых конструкций методом светового отверждения, прессования и литья.

1. Культевая часть зуба, восстановленная стекловолоконным штифтом IKADENT и светоотверждаемым материалом Filtek (булдан) (рис. 2).

Методика, позволяющая изготовить культевую часть зуба прямым методом непосредственно в полости рта. Для изготовления не требуется снятие слепков и лабораторный этап работы. Время изготовления — 30 минут.

Материалы: стекловолоконный штифт фирмы IKADENT, светоотверждаемый композитный материал Filtek Ultimate, адгезив 5-го поколения Adper Single Bond 2, гель для протравливания «Травекс-32».

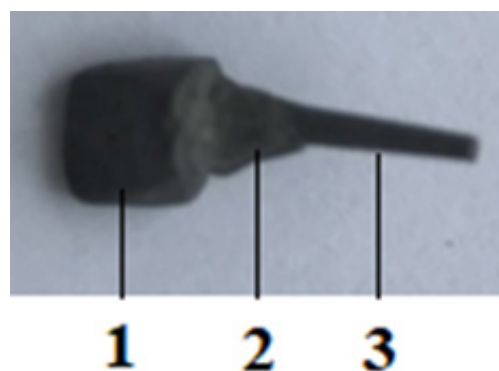


Рис. 1. Модель культевой конструкции для экспериментальных исследований. 1 — коронковая часть, 2 — амортизирующая корневая часть, 3 — штифтовая корневая часть.

Fig. 1. Model of the stump structure for experimental studies. 1 is the coronal part, 2 is the shock-absorbing root part, 3 is the pin root part.



Рис. 2. Культевая часть зуба, восстановленная стекловолоконным штифтом IKADENT и светоотверждаемым материалом Filtek.

Fig. 2. The stump part of the tooth, restored with an IKADENT fiberglass pin and Filtek light-curing material.

2. Культевая часть зуба, восстановленная коническим титановым штифтом ООО «Форма» и светоотверждаемым материалом Filtek (билдан) (рис. 3).

Методика, позволяющая изготовить культевую часть зуба прямым методом непосредственно в полости рта. Для изготовления не требуется снятие слепков и лабораторный этап работы. Время изготовления — 30 минут.

Материалы: титановый штифт ООО «Форма», светоотверждаемый композитный материал Filtek Ultimate, адгезив 5-го поколения Adper Single Bond 2, гель для протравливания «Травекс-32».

3. Культевая часть зуба, восстановленная титановым штифтом IKADENT диаметром 1,2 мм и светоотверждаемым материалом Filtek (билдан) (рис. 4).

Методика, позволяющая изготовить культевую часть зуба прямым методом непосредственно в полости рта. Для изготовления не требуется снятие слепков и лабораторный этап работы. Время изготовления — 30 минут.

Материалы: титановый штифт IKADENT (диаметр 1,2 мм), светоотверждаемый композитный материал Filtek Ultimate, адгезив 5-го поколения Adper Single Bond 2, гель для протравливания «Травекс-32».

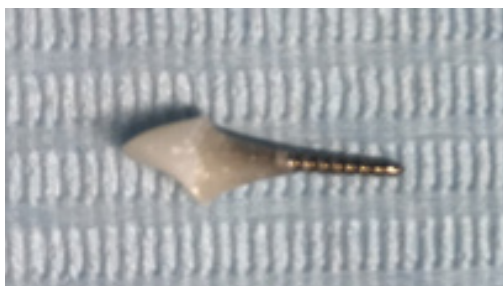


Рис. 3. Культевая часть зуба, восстановленная коническим титановым штифтом ООО «Форма» и светоотверждаемым материалом Filtek.

Fig. 3. The stump part of the tooth, restored with a Forma LLC conical titanium pin and Filtek light-curing material.



Рис. 4. Культевая часть зуба, восстановленная титановым штифтом IKADENT (диаметр 1,2 мм) и светоотверждаемым материалом Filtek.

Fig. 4. The stump part of the tooth, restored with an IKADENT titanium pin (1.2 mm in diameter) and Filtek light-curing material.

4. Культевые штифтовые вкладки CoCr+EMAX, изготовленные методом литья и прессования (рис. 5).

Методика, позволяющая изготовить культевую часть зуба непрямым методом в зуботехнической лаборатории. Для изготовления требуется снятие слепков и лабораторный этап работы. Конструкция отличается от других культевых штифтовых вкладок тем, что культевую часть моделируют в виде кольца. Вкладку отливают из металла CoCr, на культевую часть в виде кольца из воска моделируют культю вкладки. Далее прессуют в электровакуумной печи культевую часть вкладки. Время изготовления — 1–2 дня.

Материалы и оборудование: гипс 3-го класса для отливки моделей, воск для моделирования культевой штифтовой вкладки, сплав кобальт-хромовый для керамики Starbond CoS (Германия), IPS e.max Press — заготовки из стеклокерамики на основе дисиликата лития (LS₂) для технологии прессования, литейная высокочастотная установка, электровакуумная печь для прессования и обжига керамики.

5. Культевые штифтовые вкладки EMAX, изготовленные методом прессования (рис. 6).

Методика, позволяющая изготовить культевую часть зуба непрямым методом в зуботехнической лаборатории. Для изготовления требуется снятие слепков и лабораторный этап работы:



Рис. 5. Культевая штифтовая вкладка CoCr+EMAX.

Fig. 5. CoCr+EMAX stump pin inlay.



Рис. 6. Культевая штифтовая вкладка EMAX.

Fig. 6. EMAX stump pin inlay.

По слепкам отливают модели из гипса. На модели из воска моделируют культевую штифтовую вкладку. Далее прессуют в электровакуумной печи. Время изготовления — 1–2 дня.

Материалы и оборудование: гипс 3-го класса для отливки моделей, воск для моделирования культевой штифтовой вкладки, IPS e.max Press — заготовки из стеклокерамики на основе дисиликата лития (LS_2) для технологии прессования, электровакуумная печь для прессования и обжига керамики.

6. Культевые штифтовые вкладки из ZrO_2 , изготовленные методом фрезерования (рис. 7).

Методика, позволяющая изготовить культевую часть зуба непрямым методом в зуботехнической лаборатории. Для изготовления требуется снятие слепков и лабораторный этап работы:

По слепкам отливают модели из гипса. На модели из воска моделируют культевую штифтовую вкладку, сканируют восковую культевую штифтовую вкладку, отправляют скан культевой штифтовой вкладки на фрезерный станок для фрезерования, спекают готовую штифтовую культевую вкладку из ZrO_2 в печи для синтеризации для придания прочности. Время изготовления — 1–2 дня.

Материалы и оборудование: гипс 3-го класса для отливки моделей, воск для моделирования культевой штифтовой вкладки, диск из диоксида циркония для открытых CAD/CAM-систем, фрезерный станок Up3d P52 для CAD/CAM, печь для синтеризации циркония.

7. Литые культевые штифтовые вкладки из NiCr (рис. 8).

Методика, позволяющая изготовить культевую часть зуба непрямым методом в зуботехнической лаборатории. Для изготовления требуется снятие слепков и лабораторный этап работы:

По слепкам отливают модели из гипса. На модели из воска моделируют культевую штифтовую вкладку. Далее отливают в литейной установке из сплава NiCr. Время изготовления — 1–2 дня.

Материалы и оборудование: гипс 3-го класса для отливки моделей, воск для моделирования культевой штифтовой вкладки, сплав никель-хромовый для керамики Starbond NiCr (Германия), литейная высокочастотная установка.

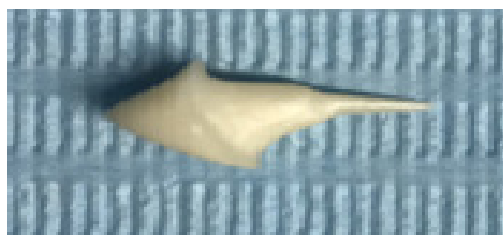


Рис. 7. Культевая штифтовая вкладка ZrO_2 .
Fig. 7. ZrO_2 stump pin inlay.

8. Литые культевые штифтовые вкладки из CoCr (рис. 9).

Методика, позволяющая изготовить культевую часть зуба непрямым методом в зуботехнической лаборатории. Для изготовления требуется снятие слепков и лабораторный этап работы:

По слепкам отливают модели из гипса. На модели из воска моделируют культевую штифтовую вкладку. Далее отливают в литейной установке из сплава CoCr. Время изготовления — 1–2 дня.

Материалы и оборудование: гипс 3-го класса для отливки моделей, воск для моделирования культевой штифтовой вкладки, сплав кобальт-хромовый для керамики Starbond CoS (Германия), литейная высокочастотная установка.

9. Литые культевые штифтовые вкладки из NiTi (рис. 10).

Методика, позволяющая изготовить культевую часть зуба непрямым методом в зуботехнической лаборатории. Для изготовления требуется снятие слепков и лабораторный этап работы:

По слепкам отливают модели из гипса. На модели из воска моделируют культевую штифтовую вкладку. Далее отливают в литейной установке из сплава NiTi. Время изготовления — 1–2 дня.



Рис. 8. Культевая штифтовая вкладка из NiCr.
Fig. 8. NiCr stump pin inlay.



Рис. 9. Культевая штифтовая вкладка из CoCr.
Fig. 9. CoCr stump pin inlay.



Рис. 10. Культевая штифтовая вкладка из NiTi.
Fig. 10. NiTi stump pin inlay.

Материалы и оборудование: гипс 3-го класса для отливки моделей, воск для моделирования культевой штифтовой вкладки, литевой сплав из никелида титана с памятью формы «Титанид», литейная высокочастотная установка.

Для проведения испытания создали экспериментальные модели штифтовых конструкций. Для этого в корнях зубов формировали полость для культевых штифтовых конструкций и фиксировали их на цемент «Унифас-2» (рис. 11). Далее использовали форму из фторопластового материала: в углубления в форме цилиндров размерами $L=14$ мм, $D=6$ мм заливали жидкий цемент «Унифас-2» и устанавливали экспериментальные корни с культевыми конструкциями. После затвердевания цемента фторопластовую форму, состоящую из двух половин и зафиксированную двумя болтами с двух сторон, разъединяли и извлекали образцы (рис. 12). Для каждого типа штифтовых конструкций изготовили по 5 образцов (рис. 13), всего 45 образцов.



Рис. 11. Культевая штифтовая вкладка, зафиксированная в корне зуба.

Fig. 11. Stump pin inlay fixed in the root of the tooth.



Рис. 12. Изготовление экспериментальных образцов для одной из групп культевых штифтовых конструкций с использованием формы из фторопластового материала.

Fig. 12. Production of experimental samples for one of the groups of stump pin structures using a mold made of fluoroplastic material.



Рис. 13. Вид пяти образцов одной из групп культевых штифтовых конструкций после извлечения из фторопластовой формы.

Fig. 13. View of five samples of one of the groups of stump pin structures after being removed from the fluoroplastic mold.

Испытания образцов культевых штифтовых вкладок проводили на разрывной машине ZMGI 250 кр (рис. 14).

Ширина рабочей зоны машины 500 мм, высота рабочего пространства 900 мм и более. Машина предназначена для испытания материалов (в верхней рабочей зоне — на растяжение, в нижней рабочей зоне — на сжатие и изгиб) с целью определения прочностных и деформационных характеристик испытываемых образцов по ГОСТ 1497-84, ГОСТ 270-75, ГОСТ 11262-80.

Рабочие зоны машины рассчитаны на проведение испытаний с номинальной нагрузкой до 250 кН. Класс точности машин 0,5 и 1 (относительная погрешность измерения нагрузки 0,5 или 1%).

Для испытаний использовали разработанный нами испытательный стенд (рис. 15). Элементы испытательного стенда обозначены на его схеме (рис. 16).



Рис. 14. Разрывная машина ZMGI 250 кр. 1 — рукоятка для нагружения.

Fig. 14. Tensile machine ZMGI 250 kp. 1 is the handle for loading.



Рис. 15. Испытательный стенд.

Fig. 15. Test stand.

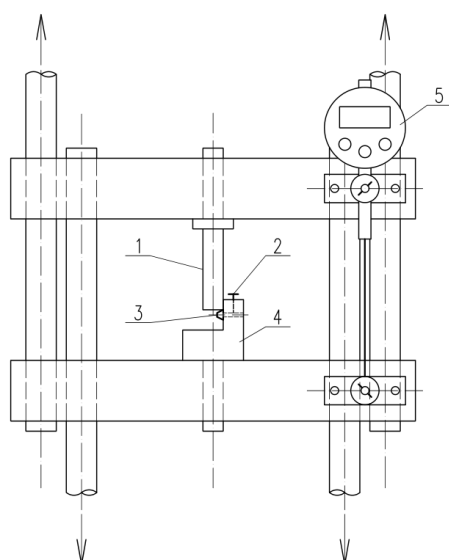


Рис. 16. Схема испытательного стенда. 1 — подвижный шток, 2 — крепёжный винт установочного отверстия в неподвижном захвате, 3 — образец культевой штифтовой вкладки, зафиксированный в неподвижном захвате, 4 — неподвижный захват для крепления образца культевой штифтовой вкладки, 5 — датчик перемещений.

Fig. 16. Scheme of the test stand. 1 — movable rod, 2 — fixing screw of the mounting hole in the fixed grip, 3 — sample of the stump pin inlay, fixed in the fixed grip, 4 — fixed grip for fastening the sample of the stump pin inlay, 5 — motion sensor.

Каждый образец фиксировали в неподвижный захват испытательного стенда (рис. 17) и проводили испытания на разрывной машине (рис. 18).

Испытания осуществляли путём опускания подвижного штока 1 на образец культевой штифтовой вкладки 3, зафиксированный в неподвижном захвате 4. Значения показателей разрушающей нагрузки считывали с датчика перемещений 5 (см. рис. 16). Подвижный шток 1 приводился в движение путём поворота по часовой стрелке рукоятки для нагружения (см. рис. 14). Скорость нагружения составляла 5 мм/мин, а температура испытания — 20 °С.

Диаметр излома корневой штифтовой части культевой конструкции измеряли при помощи микрометра окулярного винтового АМ-9-2 (рис. 19).

Микрометр окулярный винтовой АМ-9-2 является принадлежностью к микроскопу и служит для измерения линейных размеров объектов, рассматриваемых в микроскоп. Представляет собой специальный окуляр, в плоскости полевой диафрагмы окуляра (плоскость промежуточного изображения) установлено дополнительное стёклышко с разметкой (шкалой) для выполнения микрометрических измерений, вычисления длины и ширины частиц, величины зерна, глубины слоя (азотирования, цементации), размера микродефектов. Цена деления самого окуляра-микрометра составляет 0,1 мм. Пределы измерения — от 0 до 8 мм.

На рис. 20 показано измерение диаметра излома корневой штифтовой части культевой конструкции при помощи микрометра окулярного винтового АМ-9-2.



Рис. 17. Образец культевой штифтовой конструкции, установленный в неподвижный захват испытательного стенда.

Fig. 17. Sample of the stump pin structure, installed in a fixed grip of the test stand.



Рис. 18. Проведение испытания культевых штифтовых конструкций на разрывной машине ZMGI 250 kp.

Fig. 18. Testing of stump pin structures on a tensile testing machine ZMGI 250 kp.



Рис. 19. Микрометр окулярный винтовой АМ-9-2.

Fig. 19. Ocular screw micrometer AM-9-2.

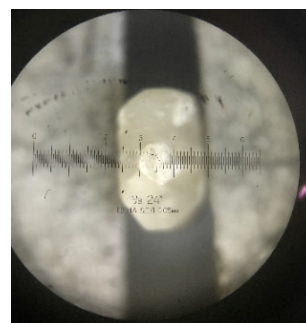


Рис. 20. Измерение диаметра излома корневой штифтовой части культевой конструкции при помощи микрометра окулярного винтового АМ-9-2.

Fig. 20. Measuring the fracture diameter of the root pin part of the stump structure using an ocular screw micrometer AM-9-2.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для проведения испытания были созданы экспериментальные модели культевых штифтовых конструкций, которые разделили по 9 группам. Использовали по 5 образцов из каждой группы. Всего в эксперименте использовали 45 образцов. В ходе проведения эксперимента было выявлено, что критическим местом перелома для всех видов конструкций является переход корневой амортизирующей части в корневую штифтовую часть (рис. 21).

В результате проведения эксперимента по испытанию 45 образцов культевых штифтовых конструкций на разрывной машине ZMGI 250 кр получили показатели разрушающей нагрузки и диаметра излома для каждой группы экспериментальной модели:

- для 1-го типа разрушающая нагрузка составляла от 314 до 363 Н, диаметр излома — от 1,4 до 1,74 мм;
- для 2-го типа разрушающая нагрузка составляла от 456 до 478 Н, диаметр излома — 1,2 мм;
- для 3-го типа разрушающая нагрузка составляла от 300 до 334 Н, диаметр излома — 1 мм;
- для 4-го типа разрушающая нагрузка составляла от 950 до 982 Н, диаметр излома — от 0,87 до 0,98 мм;
- для 5-го типа разрушающая нагрузка составляла от 420 до 448 Н, диаметр излома — от 1,4 до 1,75 мм;

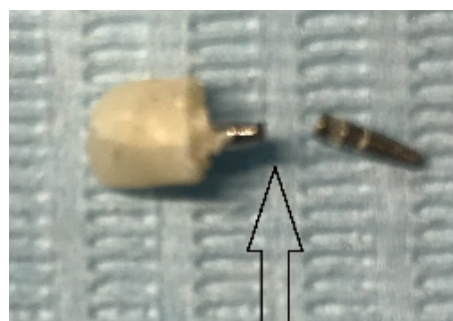


Рис. 21. Образец культевой штифтовой конструкции. Стрелкой указано место перелома.

Fig. 21. Sample of the stump pin structure. The arrow indicates the fracture site.

- для 6-го типа разрушающая нагрузка составляла от 584 до 614 Н, диаметр излома — от 1,14 до 1,2 мм;
- для 7-го типа разрушающая нагрузка составляла от 1603 до 1670 Н, диаметр излома — 1,2 мм;
- для 8-го типа разрушающая нагрузка составляла от 1265 до 1321 Н, диаметр излома — 1,2 мм;
- для 9-го типа разрушающая нагрузка составляла от 1700 до 1760 Н, диаметр излома — 1,2 мм.

Результаты испытаний всех образцов культевых штифтовых конструкций на разрывной машине ZMGI 250 кр приведены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты испытаний образцов культевых штифтовых конструкций

Table 1. Results of testing of the samples of stump pin structures

Вид культевой конструкции	Параметры для расчёта прочности	Результаты испытаний				
		1	2	3	4	5
№ 1	Разрушающая нагрузка, Н	314	330	360	363	330
	Диаметр излома, мм	1,4	1,74	1,5	1,4	1,6
№ 2	Разрушающая нагрузка, Н	459	460	466	478	456
	Диаметр излома, мм	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
№ 3	Разрушающая нагрузка, Н	310	300	330	326	334
	Диаметр излома, мм	1	1	1	1	1
№ 4	Разрушающая нагрузка, Н	950	970	963	982	978
	Диаметр излома, мм	0,93	0,98	0,95	0,87	0,91
№ 5	Разрушающая нагрузка, Н	420	436	430	448	434
	Диаметр излома, мм	1,4	1,5	1,6	1,75	1,62
№ 6	Разрушающая нагрузка, Н	584	614	590	603	596
	Диаметр излома, мм	1,16	1,2	1,19	1,2	1,14
№ 7	Разрушающая нагрузка, Н	1670	1655	1603	1646	1632
	Диаметр излома, мм	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
№ 8	Разрушающая нагрузка, Н	1265	1302	1316	1321	1294
	Диаметр излома, мм	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
№ 9	Разрушающая нагрузка, Н	1760	1700	1710	1750	1720
	Диаметр излома, мм	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2

ОБСУЖДЕНИЕ

Для математической обработки экспериментально-го материала использовали программу Microsoft Excel 2016. Вывели средние статистические значения образцов для каждой группы модели в зависимости от разрушающей нагрузки и диаметра излома, которые составили:

- для 1-го типа разрушающая нагрузка — 339,4 Н, диаметр излома — 1,528 мм;
- для 2-го типа разрушающая нагрузка — 463,8 Н, диаметр излома — 1,2 мм;
- для 3-го типа разрушающая нагрузка — 320 Н, диаметр излома — 1 мм;
- для 4-го типа разрушающая нагрузка — 968,6 Н, диаметр излома — 0,928 мм;
- для 5-го типа разрушающая нагрузка — 433,6 Н, диаметр излома — 1,574 мм;
- для 6-го типа разрушающая нагрузка — 597,4 Н, диаметр излома — 1,178 мм;
- для 7-го типа разрушающая нагрузка — 1641,2 Н, диаметр излома — 1,2 мм;
- для 8-го типа разрушающая нагрузка — 1299,6 Н, диаметр излома — 1,2 мм;
- для 9-го типа разрушающая нагрузка — 1728 Н, диаметр излома — 1,2 мм.

По получившимся данным определяли прочность на срез экспериментальных моделей каждого типа τ , МПа по формуле

$$\tau = \frac{4P}{\pi d^2}, \quad (1)$$

где P — разрушающая нагрузка, Н; d — диаметр излома, мм; $\pi=3,14$ (константа).

Например, прочность на срез для 1-го типа экспериментальной модели определили по формуле (1), подставив значения разрушающей нагрузки $P=339,4$ Н и диаметра излома $d=1,528$ мм: $\tau=4 \times 339,4 / (3,14 \times 1,528^2) = 184,962349$ МПа.

Аналогично определяли прочность для остальных типов экспериментальной модели. Предел прочности на срез 9 типов экспериментальной модели составил: для 1-го типа — 184,962349 МПа, 2-го типа — 410,29 МПа, 3-го типа — 407,64 МПа, 4-го типа — 1432,77784 МПа, 5-го типа — 222,951378 МПа, 6-го типа — 548,409514 МПа, 7-го типа — 1451,87544 МПа, 8-го типа — 1149,68153 МПа, 9-го типа — 1528,66 МПа.

Результаты испытаний культовых штифтовых конструкций 9 типов экспериментальной модели представили в виде диаграммы (рис. 22).

В ходе испытания было выявлено самое слабое место культовой штифтовой вкладки на излом. Самой высокой прочностью, по нашим исследованиям, обладала цельнолитая культовая штифтовая вкладка №9, изготовленная из нового литейного сплава «Титанид» (её предел прочности составлял 1528,66 МПа), а самой низкой прочностью — культовая штифтовая вкладка №1 (предел прочности 184,962349 МПа).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По итогам исследования наименее прочными (показатели прочности до 500 МПа) оказались культовые конструкции, которые изготавливали с использованием стандартных штифтов и светополимерных материалов и из прессованной керамики (показатели прочности 185–410 МПа). Средние показатели прочности (от 500

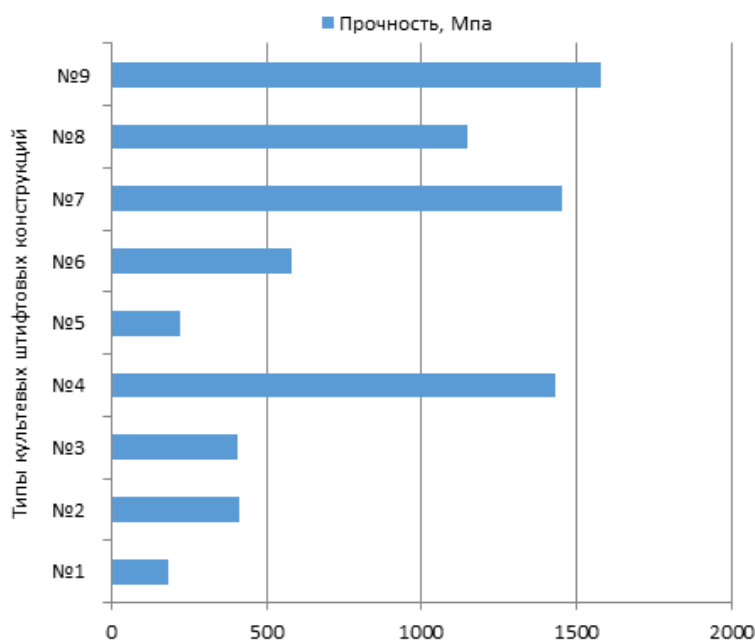


Рис. 22. Прочностные характеристики различных культовых конструкций.

Fig. 22. Strength characteristics of various stump structures.

до 1000 МПа) имели культовые вкладки, изготовленные из циркониевого материала (показатели прочности около 548 МПа). Наибольшей прочностью (от 1000 МПа и более) обладают культовые штифтовые вкладки, изготовленные из NiCr, CoCr, никелида титана с памятью формы. Их прочность составляет 1149–1528,6 МПа.

Таким образом, в результате исследования получены сведения о прочностных характеристиках культовых штифтовых конструкций, изготовленных из различных материалов, используемых в настоящее время. Полученную информацию можно применять в сложных клинических случаях для улучшения качества и увеличения срока службы ортопедических конструкций при восстановлении коронковой части зубов у пациентов с кариозными и не кариозными поражениями зубов, а также с декомпенсированной формой патологической стираемости III степени.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования и подготовке публикации.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с проведённым исследованием и публикацией настоящей статьи.

Вклад авторов. М.М. Романов, Р.Г. Хафизов, А.М. Сулейманов — концепция и дизайн исследования; М.М. Романов, И.Р. Хафизов — сбор и обработка материала; М.М. Романов, И.Р. Хафизов, Р.Г. Хафизов, Ильдар Р. Хафизов — написание текста; М.М. Романов, Р.Г. Хафизов,

Ильдар Р. Хафизов — редактирование; Р.Г. Хафизов — утверждение окончательного варианта статьи; М.М. Романов — ответственность за целостность всех частей статьи. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Благодарности. Работа выполнена в инициативном порядке в рамках реализации Программы стратегического академического лидерства Казанского (Приволжского) федерального университета («Приоритет-2030»).

ADDITIONAL INFO

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Authors' contribution. M.M. Romanov, R.G. Khafizov, A.M. Suleimanov — the concept and design of the study; M.M. Romanov, I.R. Khafizov — collection and processing of material; M.M. Romanov, I.R. Khafizov, R.G. Khafizov, Ildar R. Khafizov — text writing; M.M. Romanov, R.G. Khafizov, Ildar R. Khafizov — editing; R.G. Khafizov — approval of the final version of the article; M.M. Romanov — responsibility for the integrity of all parts of the article. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Acknowledgments. The work was carried out on an initiative basis as part of the implementation of the Strategic Academic Leadership Program of Kazan Federal University (Priority-2030).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Джалалова М.В., Оганян А.И., Цаликова Н.А. Численно-экспериментальное исследование прочностных свойств премоляров с штифтовыми циркониевыми вкладками при разных углах нагрузки // Российский журнал биомеханики. 2021. Т. 25, № 3. С. 273–284.
2. Хафизов Р.Г., Азизова Д.А., Хафизова Ф.А., и др. Современные материалы и методы профилактики стоматологических заболеваний. Казань: Казанский (Приволжский) федеральный университет, 2014.
3. Бурло А.В. Современные тенденции при изготовлении штифтовых конструкций зубных протезов из различных материалов // Молодёжный инновационный вестник. 2021. Т. 10, № S1. С. 379–382.
4. Сальников В.Н., Сальников Н.В., Жибылев Е.А. Изготовление штифтовых культовых вкладок из прессовой керамики // Бюллетень медицинских интернет-конференций. 2015. Т. 5, № 10. С. 1196.
5. Разаков Д.Х., Арутюнов Э.И. Сравнительная характеристика применения циркониевых, металлических и комбинированных

штифтовых культовых вкладок при лечении передней группы зубов верхней челюсти // Бюллетень медицинских интернет-конференций. 2019. Т. 9, № 7. С. 305.

6. Комлев С.С., Куликова Е.С. Методы профилактики осложнённых, возникающих после протезирования культовыми штифтовыми вкладками // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. № 3. С. 86–87.

7. Брагин Е.А., Скрыль А.В., Мрикаева М.Р. Напряжённо-деформированное состояние корней зубов, восстановленных различными штифтовыми конструкциями // Кубанский научный медицинский вестник. 2013. № 1. С. 35–37.

8. Скрыль А.В., Мрикаева М.Р. Исследование напряжённо-деформированного состояния культовых штифтовых вкладок // Владикавказский медико-биологический вестник. 2011. Т. 12, № 19. С. 100–104.

REFERENCES

1. Dzhahalalova MV, Oganyan AI, Tsalikova NA. Chislenno-eksperimental'noe issledovanie prochnostnykh svoistv premolyarov s shtiftovymi tsirkonievymi vkladkami pri raznykh uglakh nagruzki. *Russian Journal of Biomechanics*. 2021;25(3):273–284. (In Russ).

2. Khafizov RG, Azizova DA, Khafizova FA, et al. *Sovremennye materialy i metody profilaktiki stomatologicheskikh zabolevaniy*. Kazan: Kazan Federal University; 2014. (In Russ).

3. Burlo AV. Modern trends in the manufacture of post designs of dentures from various materials. *Molodezhnyi innovatsionnyi vestnik*. 2021;10(S1):379–382. (In Russ).

4. Salnikov VN, Salnikov NV, Zhibylev EA. Izgotovlenie shtiftovykh kul'tevykh vkladok iz pressovoi keramiki. *Bulletin of Medical Internet Conferences*. 2015;5(10):1196. (In Russ).

5. Razakov DK, Arutyunov EI. Sravnitel'naya kharakteristika primeneniya tsirkonievyykh, metallicheskiy i kombinirovannykh shtiftovykh kul'tevykh vkladok pri lechenii perednei gruppy zubov verkhnei chelyusti. *Bulletin of Medical Internet Conferences*. 2019;9(7):305. (In Russ).

6. Komlev SS, Kulikova ES. Methods of prevention of complications arising after orthopedic treatment of pinlays. *International Research Journal*. 2015;(3):86–87. (In Russ).

7. Bragin EA, Skryl AV, Mrikaeva MR. The intense deformed condition roots of the teeth restored by different pin constructions. *Kubanskii nauchnyi meditsinskii vestnik*. 2013;(1):35–37. (In Russ).

8. Skryl AV, Mrikaeva MR. The research on intense deformed condition of stump pin inserts. *Vladikavkazskii mediko-biologicheskii vestnik*. 2011;12(19):100–104. (In Russ).

ОБ АВТОРАХ

* **Романов Максим Михайлович**, ассистент кафедры; адрес: Россия, 420012, Казань, ул. Карла Маркса, д. 74; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7965-2770>; eLibrary SPIN: 1681-2229; e-mail: rov.maks@mail.ru

Хафизов Ирек Раисович, доцент; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4077-2788>; eLibrary SPIN: 9973-5280; e-mail: khafozovirek@mail.ru

Сулейманов Альфред Мидхатович, д.т.н., профессор; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7376-8043>; eLibrary SPIN: 4703-0478; e-mail: alfred-sulejmanov@yandex.ru

Хафизов Илдар Раисович, научный сотрудник; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0195-5453>; eLibrary SPIN: 6385-4308; e-mail: ildar.226@mail.ru

Хафизов Раис Габбасович, д.м.н., профессор; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6578-6743>; eLibrary SPIN: 4041-9445; e-mail: implantstom@bk.ru

AUTHORS' INFO

* **Maksim M. Romanov**, Assistant Lecturer; address: 74 Karla Marksa street, 420012 Kazan, Russia; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7965-2770>; eLibrary SPIN: 1681-2229; e-mail: rov.maks@mail.ru

Irek R. Khafizov, Assistant Professor; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4077-2788>; eLibrary SPIN: 9973-5280; e-mail: khafozovirek@mail.ru

Alfred M. Suleimanov, Dr. Sci. (Engin.), Professor; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7376-8043>; eLibrary SPIN: 4703-0478; e-mail: alfred-sulejmanov@yandex.ru

Ildar R. Khafizov, Research Associate; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0195-5453>; eLibrary SPIN: 6385-4308; e-mail: ildar.226@mail.ru

Rais G. Khafizov, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6578-6743>; eLibrary SPIN: 4041-9445; e-mail: implantstom@bk.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author