

## □ Оригинальные научные публикации

DOI: <https://doi.org/10.51922/1818-426X.2025.4.118>

*C. V. Прялкин<sup>1</sup>, С. П. Рубникович<sup>1</sup>, В. Н. Бусько<sup>2</sup>*

# АНАЛИЗ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦЕМЕНТНО-ВИНТОВОЙ ФИКСАЦИИ МУЛЬТИ-ЮНИТ АБАТМЕНТОВ К ДЕНТАЛЬНЫМ ИМПЛАНТАТАМ С ПЛОСКОСТНЫМ И КОНИЧЕСКИМ ТИПОМ СОЕДИНЕНИЯ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ

*УО «Белорусский государственный медицинский университет»,<sup>1</sup>  
«Институт прикладной физики Национальной академии наук Беларусь»<sup>2</sup>*

**Цель** – провести анализ прочностных характеристик цементно-винтовой фиксации мульти-юнит абатментов к дентальным имплантатам с плоскостным и коническим типом соединения в эксперименте в условиях циклических нагрузений, имитирующих функциональные нагрузки в ротовой полости.

**Методы.** Оценивали прочностные характеристики цементно-винтового соединения (ЦВС) мульти-юнит абатментов к дентальным имплантатам из сплава Ti-6Al-4V диаметром 3,75 мм и длиной 11,5 мм с коническим и плоскостным типом соединения. Всего в эксперимент было включено 48 дентальных имплантатов – 24 с плоскостным и 24 с коническим типом соединения. В свою очередь каждые 24 имплантата были распределены на шесть групп в зависимости от экспериментальных условий: три группы при угле нагружения 22,5° и силе воздействия 100 Н с количеством циклов нагружения 100 000, 150 000 и 200 000; три группы при угле нагружения 45° и силе воздействия 100 Н с количеством циклов нагружения 100 000, 150 000 и 200 000.

**Результаты.** При сравнительном анализе прочности экспериментальных образцов в условиях максимальной нагрузки (угол нагружения 45° и 200 000 циклов нагружения) во 2-ом положении имплантата, как наиболее слабом элементе всей конструкции, выявлено, что при коническом типе глубина ЦВС снижается на 19 %, а степень захвата винтов – на 73 % от изначального уровня до нагрузки, в то время как при плоскостном типе аналогичные параметры снижаются на 33 % и 80 % соответственно.

**Заключение.** Установлено, что конический тип соединения является более надёжным нежели плоскостной тип, его использование позволяет повысить сопротивление нагрузкам, так как накопление усталости ортопедических конструкций при коническом мульти-юнит соединении возрастает в 1,2 раза, при плоскостном мульти-юнит соединении – в 1,5 раза. соединения, имитирующего проекцию 2-го премоляра) на 24 % по сравнению с плоскостным типом соединения.

**Ключевые слова:** дентальный имплантат, циклические нагрузки, цементно-винтовое соединение, ортопедическая конструкция, экспериментальная модель, мульти-юнит абатменты.

*S. V. Pryalkin<sup>1</sup>, S. P. Rubnikovich<sup>1</sup>, V. N. Busco<sup>2</sup>*

# ANALYSIS OF STRENGTH CHARACTERISTICS OF CEMENT-SCREW FIXATION OF MULTI-UNIT ABUTMENTS TO DENTAL IMPLANTS WITH FLAT AND CONICAL TYPE OF CONNECTION IN EXPERIMENT

*Educational Institution «Belarusian State Medical University»,<sup>1</sup>  
Institute of Applied Physics of the National Academy of Sciences of Belarus<sup>2</sup>*

**Purpose** is to analyze the strength characteristics of the cement-screw fixation of multi-unit abutments to dental implants with a planar and conical type of connection in an experiment under conditions of cyclic loads simulating functional loads in the oral cavity.

**Methods.** The strength characteristics of the cement-screw connection (CSC) of multi-unit abutments to dental implants made of Ti-6Al-4V alloy with a diameter of 3.75 mm and a length of 11.5 mm with a conical and planar type of connection were evaluated. A total of 48 dental implants were included in the experiment – 24 with a planar and 24 with a conical type of connection. In turn, every 24 implants were divided into six groups depending on the experimental conditions: three groups with a loading angle of 22.5° and a force of 100 N with a number of loading cycles of 100 000, 150 000 and 200 000; three groups at loading angle of 45° and impact force of 100 N with number of loading cycles of 100 000, 150 000 and 200 000.

**Results.** In comparative analysis of the strength of experimental samples under maximum load conditions (loading angle of 45° and 200,000 loading cycles) in the 2nd position of the implant, as the weakest element of the entire structure, it was revealed that with the conical type, the depth of the CSC decreases by 19 %, and the degree of screw clamping – by 73 % from the initial level to the load, while with the planar type, similar parameters decrease by 33 % and 80 %, respectively.

**Conclusion.** It has been established that the conical type of connection is more reliable than the planar type, its use allows you to increase the resistance to loads, since the accumulation of fatigue of orthopedic structures with a conical multi-unit connection increases in 1.2 times, with a planar multi-unit connection – in 1.5 times. compound simulating the projection of the 2nd premolar) by 24 % compared to the planar type of compound.

**Key words:** dental implant, cyclic loadings, cement-screw joint, orthopedic construction, experimental model, multi-unit abutments.

При применении мульти-юнит абатментов обеспечивает комфортные условия для работы врача-стоматолога-ортопеда во время ортопедического лечения пациентов с использованием дентальных имплантатов. Также применение данного типа абатментов способствует минимизации травмы десны на этапе изготовления зубных протезов с опорой на дентальные имплантаты за счёт переноса ортопедической платформы с уровня костной ткани на выше расположенный уровень мягких тканей. Данный перенос платформы способствует лучшему сохранению костной ткани за счёт ряда факторов, таких как отсутствие микробной контаминации шейки дентального имплантата при припасовке абатментов, наиболее полное сохранение вновь образованной десневой манжетки на границе «дентальный имплантат-абатмент», минимальную травму подлежащих тканей в процессе врачебных манипуляций [1, 2].

Применение мульти-юнит абатментов является наиболее простым и предсказуемым в клинической практике с целью смещения ортопедической платформы от шейки имплантата и переходу на мягкотканый уровень работы с дентальными имплантатами. База мульти-юнита фиксируется в дентальном имплантате однократно и находится там весь период службы имплантата, а все врачебные манипуляции проводятся с уровня ортопедической платформы мульти-юнита с применением трансферов мульти-юнитов и лабораторных аналогов мульти-юнитов [3].

Мульти-юнит абатмент имеет двухкомпонентное строение [1, 4]. Первый компонент – это база мульти-юнита, которая имеет разную высоту основания (от 1 до 5 мм) и фиксируется на имплантате с за-

данным усилием. Ортопедическая платформа может располагаться параллельно длинной оси дентального имплантата (прямой мульти-юнит) или же располагаться под углом к длинной оси имплантата (угловой мульти-юнит). На ортопедической платформе имеется резьбовая шахта для вторичного фиксирующего винта ортопедической конструкции. Ортопедическая платформа выпускается без антиторационных компонентов или с антиторационными компонентами. Наличие антиторационных компонентов позволяет выполнять протезирование одиночными искусственными коронками с уровня коннект-абатмента без риска прокручивания одиночных реставраций.

К основным преимуществам использования мульти-юнитов относится следующее: отдаление ортопедической платформы от кости при немедленной нагрузке на дентальные имплантаты; уменьшение сроков заживления и формирования соединительно-тканной манжеты вокруг базы мульти-юнита и нарастания костной ткани выше шейки имплантата при субкрестальном погружении и наличия эффекта переключения платформ; меньшая травматизация и контаминация десневой манжеты в процессе ортопедических стоматологических манипуляций; возможность изготовления условно-съёмных протезов, в том числе шинирующих балочных конструкций с полностью пассивной посадкой; снижение погрешности в позиционировании трансферов и супраструктур при большой толщине десны [1, 2, 5].

Однако следует отметить, что при явно выраженных преимуществах данный вид абатментов не лишен некоторых недостатков. Вот некоторые из них: малый размер и малое сечение вторичного винта, отсутствие антиторационных элементов при фикса-

## □ Оригинальные научные публикации

ции базы к дентальному имплантату у прямых мульти-юнитов, малая сила зажатия первичного винта у баз угловых мульти-юнитов [6, 7].

В связи с вышеизложенным, нами были изучены прочностные характеристики цементно-винтовой фиксации мульти-юнит абатментов к дентальным имплантатам с плоскостным и коническим типом соединения в экспериментальных условиях при циклических нагрузлениях, имитирующих функциональные нагрузки в ротовой полости.

**Цель исследования** – провести анализ прочностных характеристик цементно-винтовой фиксации мульти-юнит абатментов к дентальным имплантатам с плоскостным и коническим типом соединения в эксперименте.

**Методы и материалы.** Экспериментальное исследование в системе «мульти-юнит абатмент – дентальный имплантат» проводили на компактной лабораторной установке для изучения прочностных характеристик испытуемых образцов при механических циклических воздействиях в Институте прикладной физики Национальной академии наук Республики Беларусь [8]. Величину воздействуемой силовой нагрузки установки на испытуемый образец определяли при помощи метода грузиков. По данной методике измеряли величину общего прогиба дистально конца консоли металлического основания, закреплённого в горизонтальных пластинах под действием закреплённого груза величиной 10 кг, что соответствует силе в 100 Н и величине прогиба консоли в 100 мкм. Прогиб дистального конца консоли измеряли цифровым глубиномером, который закрепляли на штативе перпендикулярно испытуемой конструкции. Количество циклов нагрузления конструкции определяли при помощи электронного счётчика частоты вращения вала электродвигателя.

В экспериментальных условиях оценивали прочностные характеристики цементно-винтового соединения (ЦВС) мульти-юнит абатментов к дентальным имплантатам из сплава Ti-6Al-4V диаметром 3,75 мм и длиной 11,5 мм с коническим и плоскостным типом соединения. Всего в эксперимент было включено 48 дентальных имплантатов – 24 с плоскостным и 24 с коническим типом соединения. В свою очередь каждые 24 имплантата были распределены на шесть групп в зависимости от экспериментальных условий (угла нагрузления и длительности воздействия): три группы при угле нагрузления 22,5° и силе воздействия 100 Н с количеством циклов нагрузления 100 000, 150 000 и 200 000; три группы при угле нагрузления 45° и силе воздействия 100 Н с количеством циклов нагрузления 100 000, 150 000 и 200 000. В каждой группе испытуемый образец состоял из 4 имплантов, нумерацию которых проводили от начала свободного торца металлического основания с 1-го до 4-го номера соответственно (номер соединения). Силовое воздействие осуществляли на середину ортопедической конструкции между

2-ым и 3-им винтовым соединением, что соответствует проекции области 2-го премоляра и 1-го моляра как функционального центра жевания человека. Проводили по 5 экспериментальных серий ( $n = 5$ ) во всех соединениях каждой группы.

Осуществляли анализ следующих прочностных параметров экспериментальной модели: момент зажатия и последующего ослабления мульти-юнитов и фиксирующих винтов, который контролировали динамометрическим ключом типа MT-R1040 (в Н/см) с точно заданным крутящим моментом зажатия, глубину соединения. Величина нагрузки на испытуемый образец была равна ориентировочно 100 Н, угол нагрузки на ортопедическую конструкцию составил 22,50 и 450.

Статистический анализ полученных данных проводили с помощью программы STATISTICA version 10. С помощью критерия Шапиро-Уилка определяли соответствие распределения количественных показателей закону нормального распределения. Полученные данные имели нормальное распределение и были представлены средним значением и стандартным отклонением в виде  $M \pm SD$ . В расчетах использовали параметрические методы описательной статистики, анализ осуществляли по *t*-критерию Стьюдента для связанных выборок. Статистически значимыми являлись различия при  $p < 0,05$  независимо от метода применяемого анализа. Наличие связи двух случайных величин и оценка существенности этой связи определена с помощью корреляционного анализа Спирмена, где линейный коэффициент корреляции ( $r$ ) принимает значения от -1 (обратная связь) до +1 (прямая функциональная связь), а при  $r = 0$  связь отсутствует.

**Результаты.** Проведена серия экспериментов с различным количеством циклов нагрузления на испытуемые образцы с мульти-юнит абатментами для плоскостного соединения, результаты чего приведены в таблицах 1–4. При величине нагрузки на испытуемые образцы 100 Н, угле нагрузки 22,5° и количестве циклов 100 000 установлены достоверные изменения показателей степени зажатия винтов после нагружения (таблица 1). Наиболее значимые изменения наблюдались в ортопедической конструкции между 2-ом и 3-ем соединением: средние значения этого показателя снизились в 1,7 раза ( $p = 0,001$ ) и в 2,0 раза ( $p = 0,000$ ) по сравнению с показателями до нагружения. При этом изменения показателей степени зажатия мульти-юнитов и глубины соединения не были значимы.

При увеличении количества циклов нагрузления до 150 000 установлено достоверное снижение среднего уровня степени зажатия винтов во всех соединениях испытуемых образцов. Наиболее значимые изменения отмечались во 2-ом и 3-ем соединениях, где в 1,9 раза ( $p = 0,001$ ;  $p = 0,001$  соответственно) этот показатель был ниже по сравнению с аналогичными данными до нагружения. Уровни

Таблица 1. Мульти-юнит абатменты для плоскостного соединения, угол нагружения 22,5°, сила воздействия 100 Н, количество циклов нагружения 100 000,  $M \pm SD$

| № п/п ЦВС,<br>n = 5 | Степень зажатия мульти-юнитов, Н/см |                  | Степень зажатия винтов, Н/см |                                  | Глубина ЦВС, мм |                  |
|---------------------|-------------------------------------|------------------|------------------------------|----------------------------------|-----------------|------------------|
|                     | до нагружения                       | после нагружения | до нагружения                | после нагружения                 | до нагружения   | после нагружения |
| 1                   | 30,0 ± 0,10                         | 30,0 ± 0,15      | 20,0 ± 0,10                  | 15,0 ± 0,31<br><i>p</i> = 0,014  | 4,75 ± 0,25     | 4,73 ± 0,21      |
| 2                   | 30,0 ± 0,10                         | 30,0 ± 0,15      | 20,0 ± 0,10                  | 12,0 ± 0,70<br><i>p</i> = 0,001  | 4,50 ± 0,27     | 4,45 ± 0,20      |
| 3                   | 30,0 ± 0,10                         | 30,0 ± 0,15      | 20,0 ± 0,10                  | 10,21 ± 0,37<br><i>p</i> = 0,000 | 4,10 ± 0,27     | 4,04 ± 0,26      |
| 4                   | 30,0 ± 0,10                         | 30,0 ± 0,15      | 20,0 ± 0,10                  | 15,0 ± 0,32<br><i>p</i> = 0,011  | 4,0 ± 0,26      | 3,98 ± 0,17      |

Примечание: здесь и далее *p* – статистически значимые различия между показателями до и после нагружения при *p* < 0,05 по *t*-критерию Стьюдента.

степени зажатия 1-го и 4-го соединений снизились в 1,5 раза (*p* = 0,011) и в 1,4 раза (*p* = 0,014) соответственно. При этом изменения показателей степени зажатия мульти-юнитов и глубины соединения также оставались статистически не значимыми. Увеличение количества циклов нагружения до 200 000 приводит к изменению уровней не только степени зажатия винтов, но и степени зажатия мульти-юнитов, что отражено в таблице 2. Наиболее выраженные сдвиги установлены во 2-ом и 3-ем соединениях. Так, в сравнении со значениями до нагружения степень зажатия мульти-юнитов снизилась в 1,2 раза (*p* = 0,031) и в 1,3 раза (*p* = 0,029) соответственно, а степень зажатия винтов – в 2,9 раза (*p* = 0,001) и в 3,7 раза (*p* = 0,001) соответственно. Изменение показателей глубины соединения статистически не было значимым.

Изменение угла нагружения с 22,5° на 45° привело к значительному снижению показателей степени зажатия винтов во 2-ом и 3-ем соединениях – в 2,7 раза (*p* = 0,001) и в 3,0 раза (*p* = 0,001) соответственно (таблица 3). Эти изменения были более выражены в сравнении с аналогичными показателями степени зажатия винтов при угле нагружения 22,5° и одинаковом количестве циклов нагружения

(в 1,7 раза (*p* = 0,001) и в 2,0 раза (*p* = 0,000) соответственно).

При увеличении количества циклов нагружения до 150 000 установлено значимое снижение среднего уровня степени зажатия винтов с 1-го по 4-е соединения испытуемых образцов. Наиболее значительные изменения были отмечены во 2-ом, 3-ем и 4-ом соединениях: в 3,3 раз (*p* = 0,001), в 4,4 раза (*p* = 0,001) и в 2,4 раз с показателями до нагружения. При этом изменения степени зажатия мульти-юнитов и глубины соединения статистически были не значимы.

Выявлено значимое снижение показателей степени зажатия мульти-юнитов и ортопедических винтов после экспериментального нагружения при количестве циклов 200 000 и угле нагружения 45° (таблица 4), которое наиболее выраженно проявлялось во 2-ом и 3-ем соединениях. Так, по сравнению с аналогичными данными до нагружения отмечено снижение среднего значения степени зажатия мульти-юнитов и винтов во 2-ом соединении в 1,2 раза (*p* = 0,032) и в 5,0 раза (*p* = 0,000) соответственно, в 3-ем соединении – в 1,4 раза (*p* = 0,001) и в 6,3 раза (*p* = 0,000) соответственно. Также отмечено значимое уменьшение степени зажатия

Таблица 2. Мульти-юнит абатменты для плоскостного соединения, угол нагружения 22,5°, сила воздействия 100 Н, количество циклов нагружения 200 000,  $M \pm SD$

| № п/п ЦВС,<br>n = 5 | Степень зажатия мульти-юнитов, Н/см |                                | Степень зажатия винтов, Н/см |                                | Глубина ЦВС, мм |                  |
|---------------------|-------------------------------------|--------------------------------|------------------------------|--------------------------------|-----------------|------------------|
|                     | до нагружения                       | после нагружения               | до нагружения                | после нагружения               | до нагружения   | после нагружения |
| 1                   | 30,0 ± 0,10                         | 26,41 ± 2,45                   | 20,0 ± 0,10                  | 12,53 ± 2,76, <i>p</i> = 0,015 | 5,03 ± 0,34     | 4,89 ± 0,39      |
| 2                   | 30,0 ± 0,10                         | 24,22 ± 2,71, <i>p</i> = 0,031 | 20,0 ± 0,10                  | 7,12 ± 1,86, <i>p</i> = 0,001  | 4,03 ± 0,21     | 3,95 ± 0,55      |
| 3                   | 30,0 ± 0,10                         | 22,87 ± 3,18, <i>p</i> = 0,029 | 20,0 ± 0,10                  | 5,39 ± 1,33, <i>p</i> = 0,001  | 3,69 ± 0,28     | 3,60 ± 0,64      |
| 4                   | 30,0 ± 0,10                         | 25,53 ± 2,09                   | 20,0 ± 0,10                  | 12,42 ± 2,98, <i>p</i> = 0,009 | 3,62 ± 0,15     | 3,58 ± 0,36      |

Таблица 3. Мульти-юнит абатменты для плоскостного соединения, угол нагружения 45°, сила воздействия 100 Н, количество циклов нагружения 100 000,  $M \pm SD$

| № п/п ЦВС,<br>n = 5 | Степень зажатия мульти-юнитов, Н/см |                  | Степень зажатия винтов, Н/см |                               | Глубина ЦВС, мм |                  |
|---------------------|-------------------------------------|------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------|------------------|
|                     | до нагружения                       | после нагружения | до нагружения                | после нагружения              | до нагружения   | после нагружения |
| 1                   | 30,0 ± 0,10                         | 30,0 ± 0,15      | 20,0 ± 0,10                  | 12,0 ± 1,27, <i>p</i> = 0,029 | 5,02 ± 0,14     | 4,99 ± 0,24      |
| 2                   | 30,0 ± 0,10                         | 30,0 ± 0,15      | 20,0 ± 0,10                  | 7,50 ± 1,64, <i>p</i> = 0,001 | 5,04 ± 0,11     | 4,96 ± 0,38      |
| 3                   | 30,0 ± 0,10                         | 30,0 ± 0,15      | 20,0 ± 0,10                  | 6,70 ± 1,87, <i>p</i> = 0,001 | 3,71 ± 0,12     | 3,62 ± 0,42      |
| 4                   | 30,0 ± 0,10                         | 30,0 ± 0,15      | 20,0 ± 0,10                  | 11,0 ± 1,31, <i>p</i> = 0,033 | 3,63 ± 0,10     | 3,59 ± 0,19      |

## □ Оригинальные научные публикации

Таблица 4. Мульти-юнит абатменты для плоскостного соединения, угол нагружения 45°, сила воздействия 100 Н, количество циклов нагружения 200 000,  $M \pm SD$

| № п/п ЦВС, n = 5 | Степень зажатия мульти-юнитов, Н/см |                         | Степень зажатия винтов, Н/см |                        | Глубина ЦВС, мм |                        |
|------------------|-------------------------------------|-------------------------|------------------------------|------------------------|-----------------|------------------------|
|                  | до нагружения                       | после нагружения        | до нагружения                | после нагружения       | до нагружения   | после нагружения       |
| 1                | 30,0 ± 0,10                         | 27,52 ± 2,06            | 20,0 ± 0,10                  | 8,60 ± 0,28, p = 0,023 | 5,03 ± 0,13     | 4,98 ± 0,22            |
| 2                | 30,0 ± 0,10                         | 24,30 ± 2,39, p = 0,032 | 20,0 ± 0,10                  | 4,00 ± 0,62, p = 0,000 | 5,06 ± 0,14     | 3,35 ± 0,15, p = 0,001 |
| 3                | 30,0 ± 0,10                         | 21,81 ± 3,18, p = 0,028 | 20,0 ± 0,10                  | 3,20 ± 0,71, p = 0,000 | 3,72 ± 0,12     | 3,60 ± 0,16            |
| 4                | 30,0 ± 0,10                         | 25,12 ± 2,38            | 20,0 ± 0,10                  | 7,20 ± 0,88, p = 0,001 | 3,64 ± 0,19     | 3,56 ± 0,12            |

винтов в 1-ом и 4-ом соединениях. Кроме того, при угле нагружения 45° и возрастании числа циклов нагружения до 200 000 во 2-ом соединении зарегистрировано самое выраженное снижение его глубины – в 1,5 раза в сравнении с донагрузочным уровнем ( $p = 0,001$ ) и значением при 100 000 ( $p = 0,000$ ).

Таким образом, наблюдается нарастающее ослабление плоскостного соединения базы мульти-юнитов к телу дентальных имплантатов при возрастании нагружочного угла с 22,5° до 45° – в пересчете на процентное соотношение ослабление 2-го и 3-го винтовых соединений увеличилось на 43,8 % и 40,6 % соответственно.

Проведен корреляционный анализ взаимосвязей между глубиной ЦВС и углом нагружения, а также количеством нагружочных циклов при испытании прочностных характеристик мульти-юнит абатментов для плоскостного соединения во 2-ом положении. Установлена прямая зависимость между накоплением усталости ортопедических конструкций и размером угла ( $r = 0,89, p = 0,011$ ), а также количеством циклов нагружения ( $r = 0,92, p = 0,001$ ), что является следствием снижения прочности конструкции мульти-юнитов. При увеличении угла до 45° и количества циклов нагружения до 200 000 накопление усталости ортопедических конструкций по изменению глубины ее соединения во 2-ом положении возрастает в 1,5 раза как по сравнению с донагрузочным уровнем, так и с аналогичным значением при 100 000 циклах нагружения.

Таблица 5. Мульти-юнит абатменты для конического соединения, угол нагружения 22,5°, сила воздействия 100 Н, количество циклов нагружения 100 000,  $M \pm SD$

| № п/п ЦВС, n = 5 | Степень зажатия мульти-юнитов, Н/см |                  | Степень зажатия винтов, Н/см |                        | Глубина ЦВС, мм |                  |
|------------------|-------------------------------------|------------------|------------------------------|------------------------|-----------------|------------------|
|                  | до нагружения                       | после нагружения | до нагружения                | после нагружения       | до нагружения   | после нагружения |
| 1                | 30,0 ± 0,10                         | 30,0 ± 0,15      | 20,0 ± 0,10                  | 15,5 ± 0,56, p = 0,041 | 5,21 ± 0,16     | 5,19 ± 0,27      |
| 2                | 30,0 ± 0,10                         | 30,0 ± 0,15      | 20,0 ± 0,10                  | 10,4 ± 0,89, p = 0,001 | 4,73 ± 0,28     | 4,69 ± 0,78      |
| 3                | 30,0 ± 0,10                         | 30,0 ± 0,15      | 20,0 ± 0,10                  | 10,0 ± 0,44, p = 0,001 | 4,56 ± 0,25     | 4,53 ± 0,62      |
| 4                | 30,0 ± 0,10                         | 30,0 ± 0,15      | 20,0 ± 0,10                  | 14,9 ± 0,38, p = 0,039 | 4,01 ± 0,18     | 3,99 ± 0,55      |

Таблица 6. Мульти-юнит абатменты для конического соединения, угол нагружения 45°, сила воздействия 100 Н, количество циклов нагружения 100 000,  $M \pm SD$

| № п/п ЦВС, n = 5 | Степень зажатия мульти-юнитов, Н/см |                  | Степень зажатия винтов, Н/см |                        | Глубина ЦВС, мм |                  |
|------------------|-------------------------------------|------------------|------------------------------|------------------------|-----------------|------------------|
|                  | до нагружения                       | после нагружения | до нагружения                | после нагружения       | до нагружения   | после нагружения |
| 1                | 30,0 ± 0,10                         | 30,0 ± 0,15      | 20,0 ± 0,10                  | 14,2 ± 0,68, p = 0,038 | 5,22 ± 0,21     | 5,19 ± 0,18      |
| 2                | 30,0 ± 0,10                         | 30,0 ± 0,15      | 20,0 ± 0,10                  | 10,0 ± 0,92, p = 0,001 | 4,75 ± 0,44     | 4,72 ± 0,64      |
| 3                | 30,0 ± 0,10                         | 30,0 ± 0,15      | 20,0 ± 0,10                  | 9,5 ± 0,72, p = 0,001  | 4,58 ± 0,38     | 4,53 ± 0,63      |
| 4                | 30,0 ± 0,10                         | 30,0 ± 0,15      | 20,0 ± 0,10                  | 13,0 ± 0,54, p = 0,032 | 4,01 ± 0,35     | 3,98 ± 0,66      |

Таблица 7. Мульти-юнит абатменты для конического соединения, угол нагружения 22,5°, сила воздействия 100 Н, количество циклов нагружения 200 000,  $M \pm SD$

| № п/п ЦВС, $n = 5$ | Степень зажатия мульти-юнитов, Н/см |                  | Степень зажатия винтов, Н/см |                          | Глубина ЦВС, мм |                  |
|--------------------|-------------------------------------|------------------|------------------------------|--------------------------|-----------------|------------------|
|                    | до нагружения                       | после нагружения | до нагружения                | после нагружения         | до нагружения   | после нагружения |
| 1                  | 30,0 ± 0,10                         | 27,9/0,39        | 20,0 ± 0,10                  | 12,9 ± 0,31, $p = 0,027$ | 5,21 ± 0,13     | 5,16 ± 0,26      |
| 2                  | 30,0 ± 0,10                         | 27,5/0,43        | 20,0 ± 0,10                  | 7,5 ± 0,27, $p = 0,001$  | 4,73 ± 0,08     | 4,65 ± 0,29      |
| 3                  | 30,0 ± 0,10                         | 27,0/0,26        | 20,0 ± 0,10                  | 8,0 ± 0,37, $p = 0,001$  | 4,56 ± 0,17     | 4,47 ± 0,51      |
| 4                  | 30,0 ± 0,10                         | 27,8/0,48        | 20,0 ± 0,10                  | 11,2 ± 0,42, $p = 0,023$ | 4,03 ± 0,11     | 3,97 ± 0,28      |

Таблица 8. Мульти-юнит абатменты для конического соединения, угол нагружения 45°, сила воздействия 100 Н, количество циклов нагружения 200 000,  $M \pm SD$

| № п/п ЦВС, $n = 5$ | Степень зажатия мульти-юнитов, Н/см |                  | Степень зажатия винтов, Н/см |                          | Глубина ЦВС, мм |                          |
|--------------------|-------------------------------------|------------------|------------------------------|--------------------------|-----------------|--------------------------|
|                    | до нагружения                       | после нагружения | до нагружения                | после нагружения         | до нагружения   | после нагружения         |
| 1                  | 30,0 ± 0,10                         | 27,2 ± 0,62      | 20,0 ± 0,10                  | 10,2 ± 0,43, $p = 0,001$ | 5,22 ± 0,18     | 5,17 ± 0,29              |
| 2                  | 30,0 ± 0,10                         | 27,0 ± 1,06      | 20,0 ± 0,10                  | 5,4 ± 0,76, $p = 0,000$  | 4,74 ± 0,24     | 3,84 ± 0,38, $p = 0,001$ |
| 3                  | 30,0 ± 0,10                         | 26,3 ± 1,17      | 20,0 ± 0,10                  | 6,5 ± 0,88, $p = 0,001$  | 4,55 ± 0,17     | 4,46 ± 0,51              |
| 4                  | 30,0 ± 0,10                         | 27,5 ± 0,98      | 20,0 ± 0,10                  | 8,5 ± 0,43, $p = 0,001$  | 4,03 ± 0,11     | 3,97 ± 0,32              |

степень снижение этого показателя возрастает – в 2,8 раза ( $p = 0,001$ ) и в 3,2 раза ( $p = 0,001$ ) соответственно, что свидетельствует об уменьшении прочности ортопедической конструкции при возрастании экспериментальной нагрузки за счет повышения угла и количества циклов нагружения.

При увеличении количества циклов нагружения до 200 000 и угле прилагаемой силы 22,5° происходит ещё более выраженное снижение прочности всех винтовых соединений, максимальное уменьшение наблюдается во 2-ом и 3-ем соединениях – в 2,7 раза ( $p = 0,001$ ) и в 2,5 раза ( $p = 0,001$ ) соответственно в сравнении с исходным уровнем до нагрузки (таблица 7), при увеличении угла нагружения до 45° этот показатель снижается в 3,7 раза ( $p = 0,000$ ) и в 3,1 раза ( $p = 0,001$ ) соответственно (таблица 8).

Следовательно, наблюдается нарастающее ослабление конического соединения базы мульти-юнитов к телу дентальных имплантатов при возрастании нагрузочного угла – в пересчете на процентное соотношение ослабление 2-го и 3-го винтовых соединений увеличилось на 28,0 % и 18,7 % соответственно. Кроме того, при угле нагружения 45° и возрастании числа циклов нагружения до 200 000 во 2-ом соединении зарегистрировано выраженное снижение глубины – в 1,2 раза в сравнении с донагрузочным уровнем ( $p = 0,001$ ) и его значением при 100 000 циклах нагрузки ( $p = 0,000$ ).

Необходимо отметить, что изменения степени зажатия мульти-юнитов статистически были не значимы во всех сериях экспериментального исследования для конического соединения.

Осуществлен корреляционный анализ взаимосвязей между глубиной ЦВС во 2-ом положении и размером угла нагружения, а также количеством нагрузочных циклов. Установлена выраженная прямая зависимость между глубиной ЦВС и увеличением угла от 22,5° до 45° ( $r = 0,98, p = 0,000$ ) и количеством циклов нагружения от 100 000 до 200 000 ( $r = 0,94, p = 0,001$ ). Накопление усталости ортопедических

конструкций при увеличении угла нагружения до 45° и количества циклов нагружения до 200 000 по глубине соединения возрастает в 1,2 раза как по сравнению с донагрузочным уровнем, так и с аналогичным значением при 100 000 циклах нагрузления.

Установлено, что конический тип соединения является более надёжным нежели плоскостной тип, его использование позволяет повысить сопротивление нагрузкам, так как накопление усталости ортопедических конструкций при коническом мульти-юнит соединении возрастает в 1,2 раза, при плоскостном мульти-юнит соединении – в 1,5 раза. При сравнительном анализе прочности экспериментальных образцов в условиях максимальной нагрузки (угол нагружения 45° и 200 000 циклов нагружения) во 2-ом положении импланта, как наиболее слабом элементе всей конструкции, выявлено, что при коническом типе глубина ЦВС снижается на 19 %, а степень зажатия винтов – на 73 % от изначального уровня до нагрузки, в то время как при плоскостном типе аналогичные параметры снижаются на 33 % и 80 % соответственно. Следовательно, использование конического типа ЦВС мульти-юнит абатментов к дентальным имплантатам позволяет снизить величину эквивалентных жевательной нагрузке напряжений (по изменению глубины 2-го соединения, имитирующего проекцию 2-го премоляра) на 14 % по сравнению с плоскостным типом соединения.

### Заключение

1. Проведена оценка прочностных характеристик цементно-винтовой фиксации мульти-юнит абатментов к дентальным имплантатам с плоскостным типом соединения в эксперименте. Продемонстрировано снижение степени зажатия ортопедических винтов после экспериментального нагружения, с увеличением количества циклов нагружения оно постепенно возрастает и наиболее выражено проявляется во 2-ом и 3-ем соединениях экспериментальной модели. Значимое снижение степени зажатия мульти-

## □ Оригинальные научные публикации

юнитов наблюдается после экспериментального нагружения с 200 000 циклами независимо от угла нагружения во 2-ом и 3-ем соединениях. Установлена прямая корреляционная зависимость между глубиной ЦВС и размером угла ( $r = 0,89, p = 0,011$ ), а также количеством циклов нагружения ( $r = 0,92, p = 0,001$ ), что является следствием снижения степени зажатия ортопедических винтов и мульти-юнитов. При увеличении угла до 45° и количества циклов нагружения до 200 000 накопление усталости ортопедических конструкций при плоскостном типе соединения по глубине ЦВС возрастает в 1,5 раза.

2. Осуществлен анализ прочностных характеристик цементно-винтовой фиксации мульти-юнит абатментов к дентальным имплантатам с коническим типом соединения в эксперименте. Выявлено выраженное снижение степени зажатия ортопедических винтов после экспериментального нагружения, с увеличением количества циклов нагружения оно постепенно возрастает и наиболее значимо проявляется во 2-ом и 3-ем соединениях экспериментальной модели. Установлена выраженная прямая корреляционная зависимость между глубиной ЦВС и увеличением угла от 22,5° до 45° ( $r = 0,98, p = 0,000$ ) и количеством циклов нагружения от 100 000 до 200 000 ( $r = 0,94, p = 0,001$ ), при этом накопление усталости ортопедических конструкций возрастает в 1,2 раза.

3. В экспериментальном исследовании продемонстрировано, что использование конического типа ЦВС мульти-юнит абатментов к дентальным имплантатам позволяет снизить величину эквивалентных жевательной нагрузке напряжений (по изменению глубины 2-го соединения, имитирующего проекцию 2-го премоляра) на 14 % по сравнению с плоскостным типом соединения.

4. Полученные результаты экспериментального исследования прочностных характеристик ортопедических конструкций свидетельствуют о том, что использование зубных протезов с опорой на дентальные имплантаты с коническим типом соединения при их гибридной (цементно-винтовой) фиксации является оптимальным методом протезирования пациентов с частичной вторичной адентией.

Исследование выполнено в рамках инициативной научно-исследовательской работы «Разработка и внедрение эффективных технологий в стоматологии с использованием дентальной имплантации» (номер госрегистрации 20200407 от 31.03.2020 г., срок выполнения 2020–2022 гг.).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Литература

1. Pakhshan, G., Zahra B. Multi-Unit Abutment: Why, Where, When? // J. Oral Med. and Dent. Res. – 2025. – Vol. 6, № 2. – P. 1–8.
2. Андриянова, Н. В. Улучшение конструкции внутрикостного дентального винтового имплантата // Тенденции развития науки и образования. – 2017. – № 33–1. – С. 31–32.
3. Farah, R. I., Alshabi A. M. Technique to verify the accuracy of a definitive cast before the fabrication of a fixed dental prosthesis // J. Prosthet. Dent. – 2016. – Vol. 116, № 3. – P. 325–327.
4. Baig, M. Multi-unit implant impression accuracy: A review of the literature // Quintessence international. – 2014. – Vol. 45. – P. 39–51. – doi: org/10.3290/j.qi.a30769.
5. Wu, Y.-L., Aaron Y.-J. W. A method of fabricating an accurate repositioning device for relocating multiple multiunit abutments // The Journal of Prosthetic Dentistry. – 2017. – Vol. 118, № 4. – P. 564–566.
6. Albadani, M., Alahmari M. Full-Mouth Rehabilitation Using Combined Multiunit Abutment and Screw-Retained T-Base Abutment System: A Case Report with 24-Month Followup // Open Dent. J. – 2024. – Vol. 18. – P. e18742106293859. – doi: org/10.2174/0118742106293859240520103643.
7. Mashkov, K. N. Применение дентальных имплантатов при полном отсутствии зубов // Бюллетень медицинских интернет-конференций. – 2019. – Т. 9, № 6. – С. 243–244.
8. Бусько, В. Н. Лабораторная установка для исследования усталостной повреждаемости плоских ферромагнитных образцов // Приборы и техника эксперимента. – 2011. – № 1. – С. 165–167.

## References

1. Pakhshan, G., Zahra B. Multi-Unit Abutment: Why, Where, When? // J. Oral Med. and Dent. Res. – 2025. – Vol. 6, № 2. – P. 1–8.
2. Andriyanova, N. V. Uluchshenie konstrukcii vnutrikostnogo dental'nogo vintovogo implantata // Tendencii razvitiya nauki i obrazovaniya. – 2017. – № 33–1. – S. 31–32.
3. Farah, R. I., Alshabi A. M. Technique to verify the accuracy of a definitive cast before the fabrication of a fixed dental prosthesis // J. Prosthet. Dent. – 2016. – Vol. 116, № 3. – P. 325–327.
4. Baig, M. Multi-unit implant impression accuracy: A review of the literature // Quintessence international. – 2014. – Vol. 45. – P. 39–51. – doi: org/10.3290/j.qi.a 30769.
5. Wu, Y.-L., Aaron Y.-J. W. A method of fabricating an accurate repositioning device for relocating multiple multiunit abutments // The Journal of Prosthetic Dentistry. – 2017. – Vol. 118, № 4. – P. 564–566.
6. Albadani, M., Alahmari M. Full-Mouth Rehabilitation Using Combined Multiunit Abutment and Screw-Retained T-Base Abutment System: A Case Report with 24-Month Followup // Open Dent. J. – 2024. – Vol. 18. – P. e18742106293859. – doi: org/10.2174/0118742106293859240520103643.
7. Mashkov, K. N. Primenenie dental'nyh implantatov pri polnom otsutstvii Zubov // Byulleten' medicinskikh internet-konferencij. – 2019. – T. 9, № 6. – S. 243–244.
8. Bus'ko, V. N. Laboratornaya ustavoknka dlya issledovaniya ustalostnoj povrezhdaemosti ploskikh ferromagnitnyh obrazcov // Pribyrny i tekhnika eksperimenta. – 2011. – № 1. – S. 165–167.

Поступила 18.09.2025 г.