

DOI: 10.37988/1811-153X\_2022\_4\_150

[С.И. Абакаров,](#)

член-корр. РАН, д.м.н., профессор, зав.  
кафедрой ортопедической и общей  
стоматологии

[Д.В. Сорокин,](#)

д.м.н., профессор кафедры ортопедической  
и общей стоматологии

[В.Ю. Лапушко,](#)

аспирант кафедры ортопедической  
и общей стоматологии

[С.С. Абакарова,](#)

к.м.н., доцент кафедры ортопедической  
и общей стоматологии

РМАНПО, 125993, Москва, Россия

## ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Абакаров С.И., Сорокин Д.В., Лапушко В.Ю., Абакарова С.С. Напряженно-деформированное состояние несъемного протеза на имплантатах в процессе цементирования в зависимости от угла наклона стенок абатмента. — *Клиническая стоматология*. — 2022; 25 (4): 150—158. DOI: 10.37988/1811-153X\_2022\_4\_150

[S.I. Abakarov,](#)

Russian Academy of Science corresponding member, PhD in Medical Sciences, full professor of the Prosthodontics and general dentistry Department

[D.V. Sorokin,](#)

PhD in Medical Sciences, professor of the Prosthodontics and general dentistry Department

[V.Yu. Lapushko,](#)

postgraduate at the Prosthodontics and general dentistry Department

## Напряженно-деформированное состояние несъемного протеза на имплантатах в процессе цементирования в зависимости от угла наклона стенок абатмента

**Реферат.** Несмотря на широкое распространение несъемных протезов с опорой на имплантаты ряд вопросов, связанных с их изготовлением, остается дискуссионным. Многие авторы поднимают вопрос о необходимой степени угла наклона стенок абатментов для улучшения пассивной припасовки и устойчивости протеза. Это и определило актуальность и цель данной публикации. **Материалы и методы.** Методом конечных элементов исследовали напряженно-деформированное состояние составляющих несъемного протеза (керамическая облицовка, каркас, цемент, абатмент) при цементировании на абатмент в зависимости от конструкции протеза, высоты и угла наклона стенок абатмента. Всего было изучено и проанализировано 99 моделей. **Результаты.** Анализ полученных результатов показал, что при цементировании имеют место остаточные напряжения в составляющих конструкции несъемного протеза (металлокерамической коронке). Так, в керамической облицовке остаточные напряжения в основном возникают в пришеечной области, увеличиваются по мере уменьшения угла наклона стенок абатментов до 0° и достигают максимальных значений при несъемном протезе на одиночной опоре — 7,88 МПа, на двух опорах — 10,34 МПа, на трех опорах — 13,12 МПа ( $p \leq 0,05$ ). При увеличенном диаметре опоры абатмента 6 мм значения напряженно-деформированного состояния ниже на 14,3% при всех углах наклона стенок абатментов ( $p \leq 0,05$ ), в отличие от значений напряженно-деформированного состояния при абатменте с диаметром в пришеечной области 4,5 мм. Также по мере уменьшения угла наклона абатментов увеличивается напряженно-деформированное состояние в металлическом каркасе в пришеечной области, достигая максимальных значений при несъемном протезе на одиночной опоре — 12,26 МПа, на двух опорах — 12,94 МПа, на трех опорах — 13,36 МПа ( $p \leq 0,05$ ). **Заключение.** Исследование напряженно-деформированного состояния абатментов показало всплеск остаточных напряжений в их верхней части несъемного протеза на одиночной опоре, на двух и на трех опорах, достигающих наибольших значений при увеличении угла наклона его стенок и высоты абатмента. Так, уже при высоте 7 мм и 8° полученные значения (39,25 МПа) в 2,7 раз выше, чем при абатменте высотой 3 мм и с углом наклона стенок 10° (14,45 МПа;  $p \leq 0,05$ ). Установлено, что высота и угол наклона стенок абатмента влияют на неравномерность распределений напряжений в керамической облицовке, каркасе, цементном слое и абатменте.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, абатмент, несъемные протезы на имплантатах, угол наклона стенок, конвергенция, напряженно-деформированное состояние коронки

## Stress-deformed state of a non-removable prosthesis on implants in the process of cementing, depending on the angle of the abutment walls

**Abstract.** Despite the widespread use of implant-supported fixed dentures, a number of issues related to their manufacture remain debatable. Many authors raise the question of the necessary degree of inclination of the abutment walls to improve the passive fit and stability of the prosthesis, which determined the relevance and aim of this publication. **Materials and methods.** A study of the stress-strain state of the components of a fixed prosthesis during cementation on an abutment (ceramic veneer, frame, cement, abutment) was carried out using the finite element method, depending on the design of the fixed prosthesis, the height and angle of inclination of the abutment

**S.S. Abakarova,**

PhD in Medical sciences, associate professor of the Prosthodontics and general dentistry Department

Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, 125993, Moscow, Russia

**FOR CITATION:**

Abakarov S.I., Sorokin D.V., Lapushko V.Yu., Abakarova S.S. Stress-deformed state of a non-removable prosthesis on implants in the process of cementing, depending on the angle of the abutment walls. *Clinical Dentistry (Russia)*. 2022; 25 (4): 151—158 (In Russ.). DOI: 10.37988/1811-153X\_2022\_4\_150

walls. A total of 99 models were studied and analyzed. **Results.** The analysis of the obtained results showed that during cementation there are residual stresses in the components of the structure of a fixed prosthesis (metal-ceramic crown). Thus, in ceramic lining, residual stresses occur mainly in the cervical region and increase as the angle of inclination of the abutment walls decreases to 0° and reach maximum values with a fixed prosthesis on a single support — 7.88 MPa, on two supports — 10.34 MPa, and on three supports — 13.12 MPa ( $p \leq 0.05$ ). With an increased diameter of the abutment support of 6 mm, the values of the stress-strain state are lower by 14.3% at all angles of inclination of the walls of the abutments ( $p \leq 0.05$ ), in contrast to the values of the stress-strain state with an abutment with a diameter in the cervical region 4.5 mm. Also as the angle of inclination of the abutments decreases, there is increase in the stress-strain state in the metal frame in the cervical area and reach maximum values with a fixed prosthesis on a single support — 12.26 MPa, on two supports — 12.94 MPa, on three supports — 13.36 MPa ( $p \leq 0.05$ ). **Conclusions.** The study of the stress-strain state of the abutments showed a surge of residual stresses in their upper part of a fixed prosthesis on a single support, on two supports, on three supports, reaching the highest values with an increase in the angle of inclination of its walls and the height of the abutment. So, already at a height of 7 mm and 8°, the obtained values (39.25 MPa) are 2.7 times higher than with an abutment with a height of 3 mm and a wall inclination angle of 10° (14.45 MPa;  $p \leq 0.05$ ). It has been established that the height and angle of inclination of the abutment walls affect the uneven distribution of stresses in the ceramic veneer, framework, cement layer and abutment.

**Key words:** mathematical modeling, abutment, fixed dentures on implants, wall inclination angle, convergence, stress-strain state of the crown

**ВВЕДЕНИЕ**

Несмотря на широкое распространение несъемных протезов с опорой на имплантаты ряд вопросов, связанных с их изготовлением, остается дискуссионным. Многие авторы поднимают вопрос о необходимой степени угла наклона стенок абатментов для улучшения пассивной припасовки и устойчивости протеза [1–5]. Ряд специалистов отмечают, что цементный слой наряду с углом наклона опоры играет важную роль в надежном функционировании несъемного протеза [6–15]. Вместе с тем отмечен большой разброс в рекомендациях по углу наклона стенок абатмента [16–20].

Неизученным остается влияние процесса цементирования на составляющие несъемного протеза на имплантатах. Поэтому в последнее время возникла необходимость изучения биомеханических процессов, возникающих во рту, многие авторы обращают особое внимание на моделирование клинических ситуаций и изучение напряженно-деформированных состояний методом конечных элементов [21–28].

**Цель исследования** — изучить напряженно-деформированное состояние составляющих несъемного протеза при цементировании на абатмент (керамическая облицовка, каркас, цемент, абатмент) методом конечных элементов в зависимости от конструкции несъемного протеза, высоты и угла наклона стенок абатмента.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Для изучения влияния угла наклона стенок абатментов на распределение напряженно-деформированного состояния в абатментах, цементном слое, каркасе и керамической облицовке при цементировании использовался метод конечных элементов с применением математического моделирования в Ansys Workbench. Изучали:

- металлокерамические коронки с опорой на единственный абатмент (рис. 1а);
- металлокерамические коронки с опорой на 2 абатмента (рис. 1б);
- металлокерамические коронки с опорой на 3 абатмента (рис. 1с).

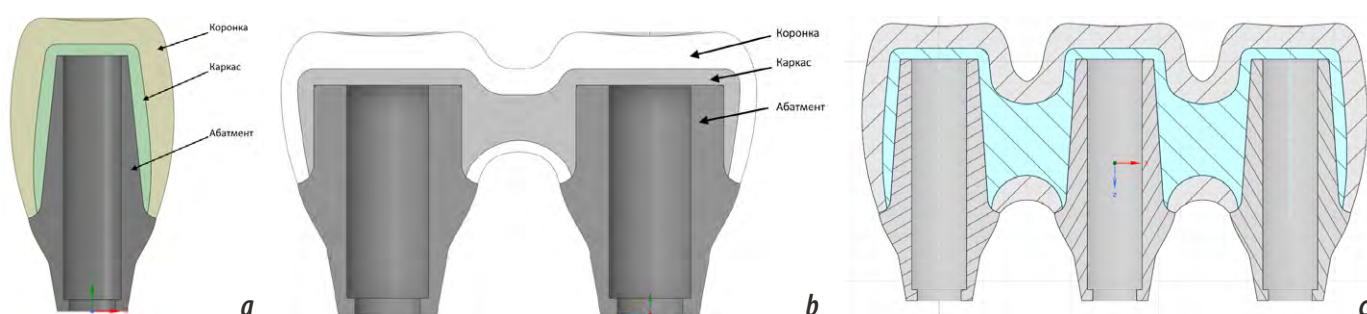


Рис. 1. Общий вид конструкции металлокерамической коронки: а — на одиночном абатменте; б — на двух опорах абатментов; с — на трех опорах абатментов

Fig. 1. General view of the design of the metal-ceramic crown: a — on a single abutment; b — on two abutment supports; c — on three abutment supports

Исследовали несъемные протезы на абатментах высотой 3 и 5 мм, диаметр абатментов у основания уступа — 4,5 мм, угол наклона стенок — от 0° до 10° с шагом в 2°. При высоте абатментов 7 мм и диаметром у основания уступа 4,5 мм изучали углы наклона стенок от 0° до 8° с шагом в 2°, из-за схождения стенок абатментов при угле наклона стенок 10° изучали дополнительные конструкции абатментов высотой 7 мм с увеличением диаметра у основания уступа до 6 мм и углами наклона стенок от 0° до 10° с шагом в 2° (рис. 2). При высоте абатментов 9 мм и диаметром у основания уступа 4,5 мм изучали углы наклона стенок от 0° до 6° с шагом в 2°. При углах наклона стенок 8° и 10° и диаметре 4,5 мм происходило схождение стенок в верхней части абатмента без возможности проектирования шахты для винта, поэтому изучались дополнительные конструкции абатментов высотой 9 мм с увеличением диаметра у основания уступа до 6 мм и углами наклона стенок от 0° до 10° с шагом в 2°. Ширина уступа всех абатментов составляла 0,5 мм, толщина цементного слоя — 50 мкм. Всего было изучено и проанализировано 99 моделей.

При математическом моделировании абатментов и каркасов за основу были приняты стандартные механические свойства общеприменяемого титанового сплава Ti6Al4V [29], а также использовались механические свойства стеклоиономерного цемента и керамики [30]. В исследовании изучали только линейно-упругие свойства материалов. Механические свойства материалов представлены в таблице.

**Механические свойства материалов**  
Mechanical properties of materials

	Ti6Al4V	Керамика	Цементный слой
Модуль упругости, МПа	108 000	82 200	80
Коэффициент Пуассона	0,37	0,35	0,33
Предел прочности на растяжение, МПа	830	50	7
Предел прочности на сжатие, МПа	830	517	140

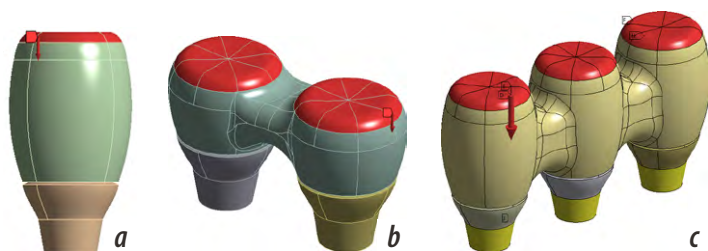


Рис. 3. Приложение внешней вертикально направленной мануальной нагрузки 50 Н при фиксации несъемных протезов на абатменты: а — протез на одиночном абатменте; б — протез с опорой на два абатмента; с — несъемный протез с опорой на три абатмента  
Fig. 3. Application of an external vertically directed manual load of 50 N during fixation of fixed prostheses on abutments: a — prosthesis on a single abutment; b — a prosthesis supported by two abutments; c — a fixed prosthesis supported by three abutments

Исследование с помощью метода конечных элементов для изучения напряженно-деформированного состояния несъемных протезов в зависимости от угла наклона стенок абатментов проводилось в процессе лабораторного моделирования клинического этапа цементирования несъемных металлокерамических протезов на абатменты имплантатов.

При моделировании фиксации несъемных протезов на абатменты за основу было взято предположение о том, что все несъемные протезы устанавливались на незастывший цементный слой с одинаковой внешней вертикально направленной нагрузкой, равной 50 Н, что соответствует средней мануальной силе при фиксации несъемных протезов (рис. 3).

При изучении фиксации несъемных протезов на абатменты были смоделированы взаимодействующие контактные поверхности для моделирования застывания цементного слоя — внутренняя поверхность несъемного протеза, отмеченная красным цветом, и внешняя поверхность абатмента, отмеченная синим цветом, которым придавались прочностные характеристики стеклоиономерного цемента толщиной 50 мкм (рис. 4). На данном этапе для моделирования фиксации несъемного протеза на жидкий цементный слой контакт между поверхностями принимался с коэффициентом трения, равным 0 (frictionless).

Затем взаимодействующим контактам несъемного протеза и абатмента придавали свойства застывшего цементного слоя. Свойства застывшего цементного слоя толщиной 50 мкм, определялись по формуле:

$$k = \frac{E}{h} = \frac{80 \frac{Н}{мм^2}}{50 \frac{мм}{мкм}} = 1,6 \cdot 10^3 \frac{Н}{мм^3}$$

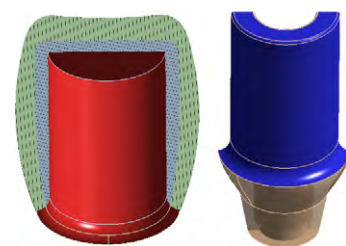


Рис. 4. Взаимодействующие контактные поверхности: внутренняя поверхность несъемного протеза (красный цвет) и внешняя поверхность абатмента (синий цвет), которым придавались свойства стеклоиономерного цемента  
Fig. 4. Interacting contact surfaces: the inner surface of the fixed prosthesis (red) and the outer surface of the abutment (blue), which were given the properties of glass ionomer cement

где  $E$  — модуль упругости стеклоиономерного цемента;  $h$  — толщина цементного слоя.

После этого внешнюю вертикально направленную нагрузку снимали и происходило перераспределение внутренних напряжений. При этом в конструкции несъемного протеза, фиксированного на абатменты, возникали напряжения, называемые остаточными. Данный этап моделирования позволил описать возникновение и распределение остаточных напряжений в несъемных протезах в процессе их цементирования на абатменты имплантатов.

При моделировании конечноэлементные конструкции, состоящие из абатмента, каркаса и керамической облицовки, содержали 200 тысяч узлов и 75 тысяч гексаэдрических элементов второго порядка; в местах скруглений сетка сгущена (рис. 5).

В результате изучения влияния наклона стенок абатментов на распределение напряжений в несъемных протезах в Ansys WorkBench были получены распределения напряжений в абатментах, каркасах, керамической облицовке, а также были определены контактные давления и величины сдвиговых напряжений в цементном слое.

В качестве анализируемой компоненты напряжений для керамической облицовки были использованы максимальные растягивающие напряжения, поскольку керамика является материалом, подверженным хрупкому разрушению. В качестве анализируемой компоненты напряжений для титанового сплава Ti6Al4V использованы эквивалентные напряжения по Мизесу, поскольку титановый сплав является пластичным материалом. В качестве анализируемой компоненты для определения прочности цементного слоя рассматривались максимальные растягивающие напряжения и максимальные напряжения сдвига, которые позволили выделить зоны, подверженные начальному разрушению цементного слоя. В качестве критерия оценки изучаемых углов наклона стенок абатментов рассматривались прочностные свойства конструкции по каждому ее элементу (абатмент, цементный слой, каркас, керамическая облицовка).

При статистической обработке результатов использовали параметрические методы статистики.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Как показало исследование процесса цементирования металлокерамических коронок на абатменты, после фиксации в конструкции возникают остаточные напряжения. Так, в керамической облицовке остаточные напряжения в основном возникают в пришеечной области, и они увеличиваются по мере уменьшения угла наклона стенок абатментов (рис. 6). Анализ уровня изменений напряжений конструкций в МПа по каждому элементу проводили в одинаковых точках элемента (рис. 7) и отображали на графиках.

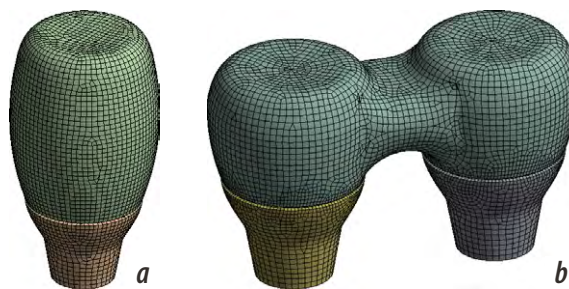


Рис. 5. Общий вид конечноэлементной модели: а — одиночного несъемного протеза, фиксированного на абатмент; б — несъемного протеза, фиксированного на два абатмента  
Fig. 5. General view of the finite element model: a — single fixed prosthesis fixed on the abutment; b — fixed prosthesis fixed on two abutments

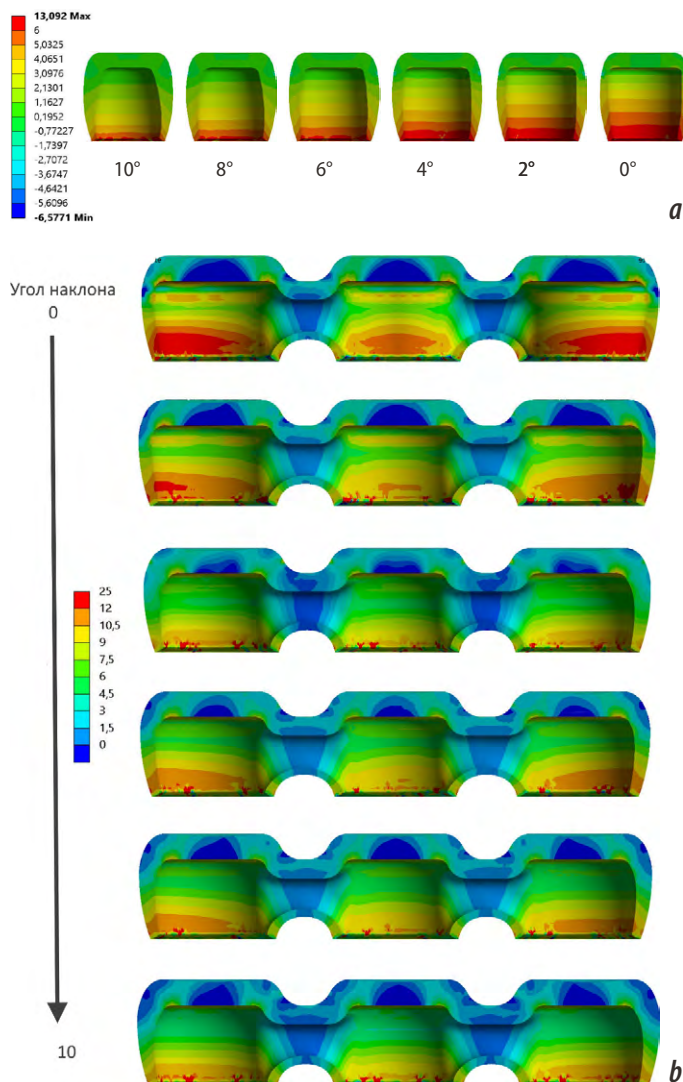


Рис. 6. Остаточные напряжения в керамической облицовке несъемного протеза: а — фиксированного на одиночный абатмент при высоте абатмента 5 мм с углами наклона стенок 10°, 8°, 6°, 4°, 2°, 0°; б — фиксированного на трех опорах, при высоте абатмента 3 мм с углами наклона стенок 0°, 2°, 4°, 6°, 8°, 10°  
Fig. 6. Residual stresses in the ceramic lining of a fixed prosthesis: a — fixed on a single abutment with an abutment height of 5 mm with wall inclination angles of 10°, 8°, 6°, 4°, 2°, 0°; b — fixed on three supports, with an abutment height of 3 mm with wall inclination angles of 0°, 2°, 4°, 6°, 8°, 10°

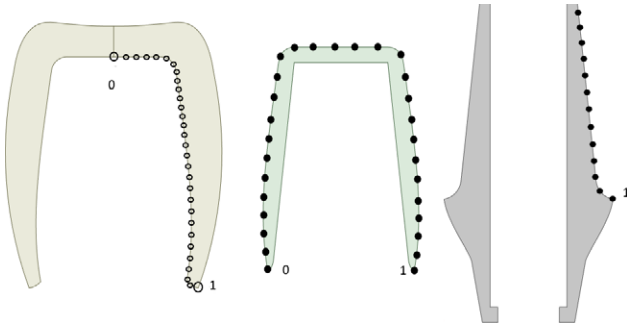


Рис. 7. Схематическое обозначение точек на элементах конструкции для отслеживания изменений и отображения их на графике: а — керамическая облицовка; б — каркас; с — абатмент

Fig. 7. Schematic designation of points on structural elements to track changes and display them on a graph: a — ceramic cladding; b — frame; c — abutment

Как показано на рис. 8, увеличение уровня напряжения возникает в пришеечной области керамической облицовки, максимальное при 0° напряжение достигает 7,88 МПа; при 2° — 7,47 МПа; 4° — 7,34 МПа; 6° — 6,83 МПа; 8° — 6,33 МПа; 10° — 6,21 МПа.

Как показано на рис. 9 увеличение уровня напряжений возникает с середины коронки до пришеечной области керамической облицовки. Максимальное при 0° напряжение достигает 13,12 МПа; при 2° — 12,71 МПа; 4° — 12,06 МПа; 6° — 11,69 МПа; 8° — 11,72 МПа; 10° — 11,21 МПа.

Анализ исследования графиков изменения уровня напряжений в керамической облицовке несъемных протезов на одиночной опоре, на двух и на трех опорах абатментов, при абатментах высотой 3, 5, 7 и 9 мм, а также углами наклона стенок от 0° до 10° с шагом в 2° показал уменьшение уровня напряжений в пришеечной

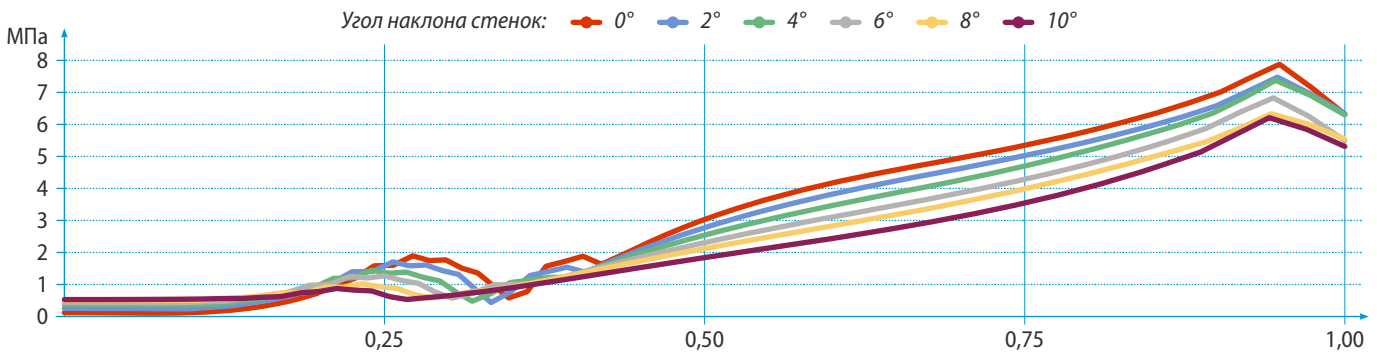


Рис. 8. График остаточных напряжений в керамической облицовке несъемного протеза, фиксированного на одиночный абатмент, при высоте абатмента 5 мм с углами наклона стенок 0°, 2°, 4°, 6°, 8° и 10°

Fig. 8. Graph of residual stresses in the ceramic lining of a fixed prosthesis fixed on a single abutment, with an abutment height of 5 mm with wall inclinations of 0°, 2°, 4°, 6°, 8°, and 10°

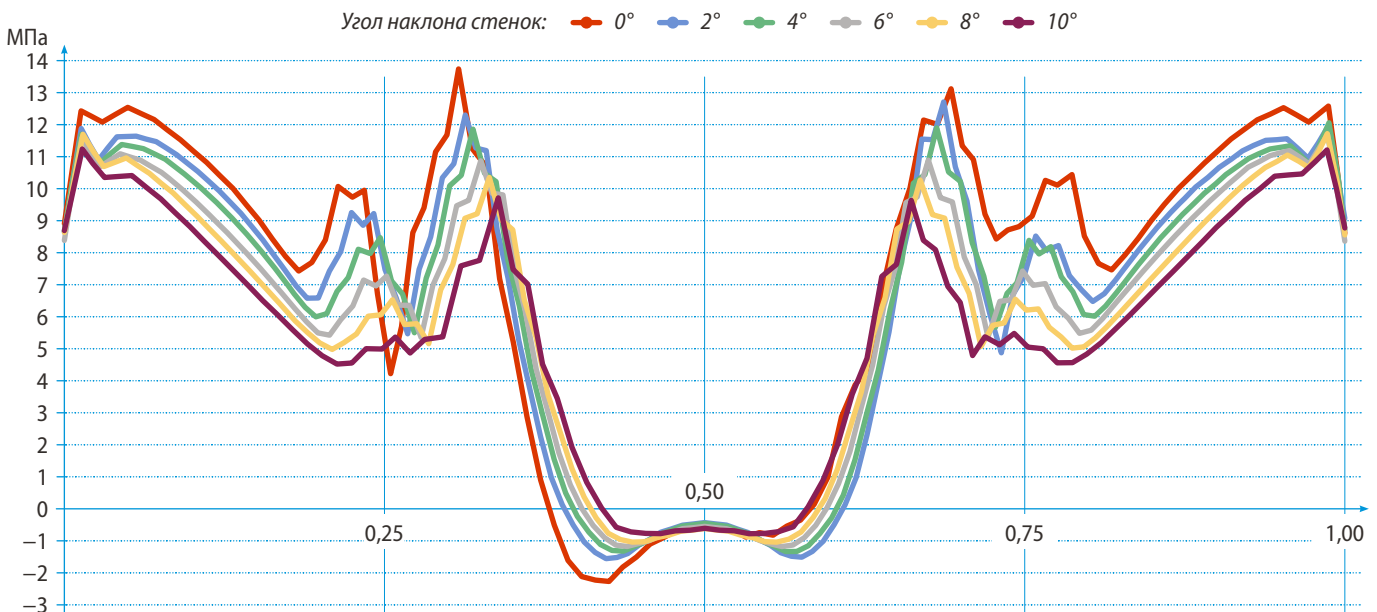


Рис. 9. График остаточных напряжений в керамической облицовке несъемного протеза, фиксированного на трех опорах, при высоте абатмента 3 мм с углами наклона стенок 0°, 2°, 4°, 6°, 8° и 10°

Fig. 9. Graph of residual stresses in the ceramic lining of a fixed prosthesis fixed on three supports, with an abutment height of 3 mm with wall inclinations of 0°, 2°, 4°, 6°, 8°, and 10°

области керамической облицовки с увеличением угла наклона стенок абатментов. Различия значений остаточных напряжений в керамической облицовке между несъемными протезами на одиночной опоре, на двух и на трех опорах абатментов равнозначной высотой 3, 5, 7 и 9 мм и с углами наклона стенок от 0° до 10° с шагом в 2° статистически не достоверны ( $p \geq 0,05$ ).

Анализируя значения графиков напряжений в керамической облицовке всех несъемных протезов, можно сделать следующие выводы:

- При увеличении угла наклона стенок абатментов от 0° до 10° остаточные напряжения в керамическом слое уменьшаются в пришеечной области абатмента.
- При увеличенном диаметре опоры абатмента 6 мм значения напряженно-деформированного состояния ниже при всех углах наклона стенок абатментов, в отличие от значений напряженно-деформированного состояния при абатменте с диаметром в пришеечной области 4,5 мм, что статистически достоверно ( $p \leq 0,05$ ).

Также при исследовании отмечается увеличение напряженно-деформированного состояния в металлическом каркасе в пришеечной области несъемных протезов на одиночной опоре, на двух и на трех опорах абатментов при высоте абатмента 3, 5, 7 и 9 мм с уменьшением угла наклона стенок абатмента. На рис. 10 видно, что область напряженно-деформированного состояния увеличивается с пришеечной части металлического каркаса до его середины с уменьшением угла наклона стенок абатмента.

На рис. 11 показано, что увеличение уровня напряжения возникает в пришеечной области металлических каркасов несъемных протезов, где максимальное напряжение достигается при 0° — 12,26 МПа, 2° — 11,45 МПа, 4° — 11,17 МПа, 6° — 10,79 МПа, 8° — 9,82 МПа, 10° — 9,65 МПа.

Анализ исследования графиков изменения уровня напряжений в металлическом каркасе несъемных протезов на одиночной опоре, на двух и на трех опорах абатментов при абатментах высотой 3, 5, 7 и 9 мм, с углами наклона стенок от 0° до 10° с шагом в 2°, показал уменьшение уровня напряжений в пришеечной области с увеличением угла наклона стенок абатментов. При высоте 7 и 9 мм угол наклона стенок абатментов также оказывал влияние на область напряженно-деформированного состояния в металлическом каркасе, которая увеличивалась с уменьшением угла наклона стенок абатментов. Максимальные значения напряженно-деформированного состояния доходили до 10,15 МПа при высоте абатмента 7 мм и угле наклона 0°, 35 МПа при высоте абатмента 9 мм и угле наклона 0°, при диаметре 4,5 мм. При диаметре 6 мм и высоте абатментов 7 и 9 мм угол наклона стенок абатментов также влиял на область распространения напряженно-деформированного состояния в металлическом каркасе, максимальные значения которого не превышали 7,5 МПа при угле наклона стенок

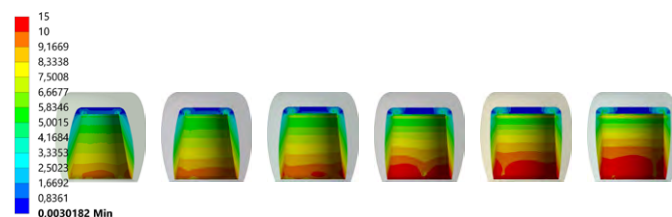


Рис. 10. Остаточные напряжения в металлическом каркасе несъемного протеза при высоте абатмента 5 мм с углами наклона стенок 10°, 8°, 6°, 4°, 2° и 0°

Fig. 10. Residual stresses in the metal frame of a fixed prosthesis at an abutment height of 5 mm with wall inclinations of 10°, 8°, 6°, 4°, 2°, and 0°

0°. Различия значений остаточных напряжений в металлическом каркасе между несъемными протезами на одиночной опоре, на двух и на трех опорах абатментов равнозначной высотой 3, 5, 7 и 9 мм, с углами наклона стенок от 0° до 10° с шагом в 2° не значимы, статистически не достоверны. Также отмечается, что при увеличенном диаметре опоры абатмента 6 мм значения напряженно-деформированного состояния ниже при всех углах наклона стенок абатментов, в отличие от значений напряженно-деформированного состояния при абатменте с диаметром в пришеечной области 4,5 мм, и это статистически достоверно ( $p \leq 0,05$ ).

В ходе дальнейшего исследования были изучены абатменты высотой 3, 5, 7 и 9 мм, с углами наклона стенок от 0° до 10° с шагом в 2°, на которые фиксировались несъемные протезы. Данное исследование напряженно-деформированного состояния абатментов показало всплеск остаточных напряжений в их верхней части, достигающий наибольших значений при максимальном угле наклона его стенок (рис. 12).

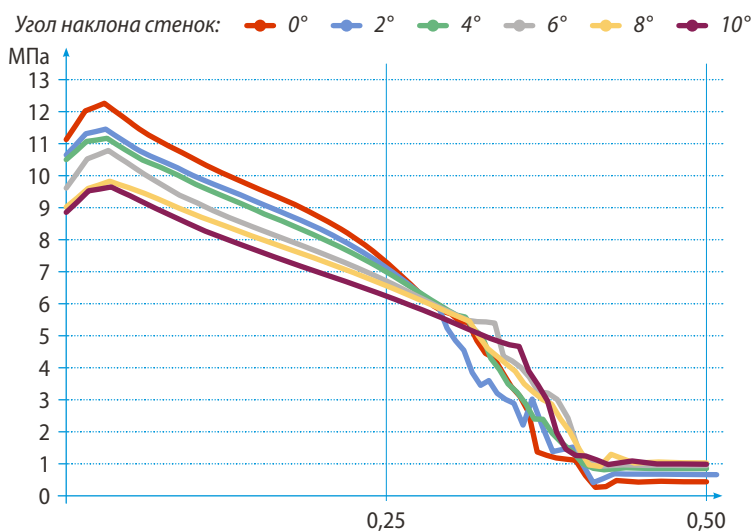


Рис. 11. График остаточных напряжений в металлическом каркасе несъемного протеза при высоте абатмента 5 мм с углами наклона стенок 0°, 2°, 4°, 6°, 8° и 10°

Fig. 11. Graph of residual stresses in the metal frame of a fixed prosthesis at an abutment height of 5 mm with wall inclination angles of 0°, 2°, 4°, 6°, 8°, and 10°

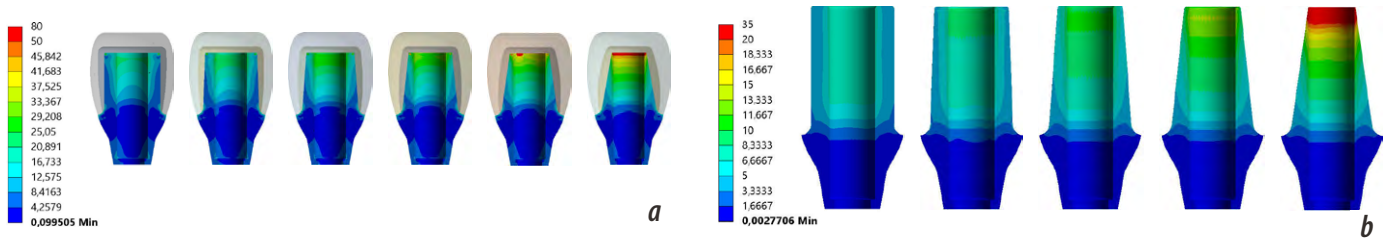


Рис. 12. Остаточные напряжения в абатменте после фиксации металлокерамической коронки: а — при высоте абатмента 5 мм с углами наклона стенок 0°, 2°, 4°, 6°, 8°, 10°; б — при высоте абатмента 7 мм с углами наклона стенок 0°, 2°, 4°, 6° и 8° и диаметре 4,5 мм  
 Fig. 12. Residual stresses in the abutment after fixation of the ceramic-metal crown: a — at abutment height of 5 mm with wall inclination angles of 0°, 2°, 4°, 6°, 8°, 10°; b — with an abutment height of 7 mm with wall inclination angles of 0°, 2°, 4°, 6°, and 8° and a diameter of 4.5 mm

На рис. 13, где отображены значения напряженно-деформированного состояния абатмента высотой 5 мм при углах наклона от 0° до 10° и на рис. 14 с абатментами высотой 7 мм и диаметром 4,5 мм с углами наклона

стенок от 0° до 8° наблюдается высокая концентрация напряжений при максимальных углах наклона стенок абатментов. При высоте 7 мм значения в 2,7 раз выше, чем при абатменте высотой 3 мм с углом наклона стенок

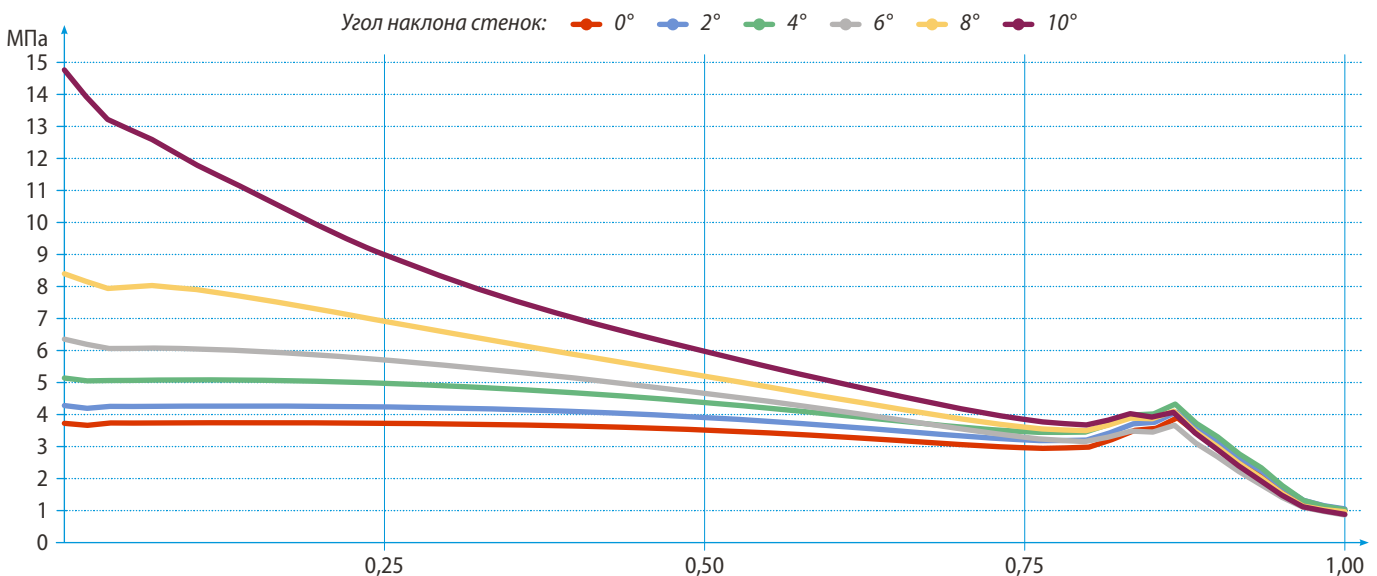


Рис. 13. График остаточных напряжений в абатменте после фиксации металлокерамической коронки при высоте абатмента 5 мм с углами наклона стенок 0°, 2°, 4°, 6°, 8° и 10°  
 Fig. 13. Graph of residual stresses in the abutment after fixation of a metal-ceramic crown at an abutment height of 5 mm with wall inclination angles of 0°, 2°, 4°, 6°, 8°, and 10°

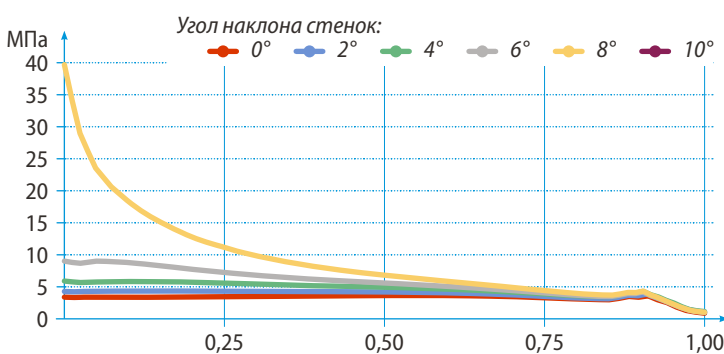


Рис. 14. График остаточных напряжений в абатменте после фиксации металлокерамической коронки при высоте абатмента 7 мм с углами наклона стенок 0°, 2°, 4°, 6° и 8°  
 Fig. 14. Graph of residual stresses in the abutment after fixation of a metal-ceramic crown at an abutment height of 7 mm with wall inclinations of 0°, 2°, 4°, 6°, and 8°

10°, и это статистически достоверно ( $p \leq 0,05$ ).

При анализе данных в графиках несъемных протезов на одиночной опоре, на двух и на трех опорах абатментов высотой 3, 5, 7 и 9 мм с углами наклона стенок от 0° до 10° с шагом в 2° отмечался всплеск напряженно-деформированного состояния в верхней части абатмента при высоте 7 мм и углом наклона стенок 8°, а также при высоте 9 мм и угле наклона стенок 6° с диаметром в пришеечной области 4,5 мм. Данный всплеск напряжения объясняется уменьшением толщины стенок абатментов в его верхней части при создании конусности. Различия значений остаточных напряжений в абатменте между несъемными протезами на одиночной опоре, на двух и на трех опорах абатментов равнозначной высотой 3, 5, 7

и 9 мм с углами наклона стенок от 0° до 10° с шагом в 2° статистически недостоверны. При увеличенном диаметре опоры абатмента 6 мм и высоты 7 и 9 мм значения напряженно-деформированного состояния ниже при всех углах наклона стенок абатментов, в отличие от значений напряженно-деформированного состояния при абатменте с диаметром в пришеечной области 4,5 мм, что статистически достоверно ( $p \leq 0,05$ ).

При анализе данных, полученных в цементном слое, остаточные напряжения возникают в верхней части конструкции с уменьшением угла наклона стенок абатмента и не превышают 5 МПа (рис. 15). Различия значений остаточных напряжений в цементном слое между несъемными протезами на одиночной опоре, на двух и на трех опорах абатментов равнозначной высотой 3, 5, 7 и 9 мм и углами наклона стенок от 0° до 10° с шагом в 2° с диаметром 4,5 и 6 мм статистически не достоверны ( $p \geq 0,05$ ).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ полученных результатов показал, что при цементировании в составляющих конструкции несъемного протеза (металлокерамической коронке) имеют место остаточные напряжения. Так, в керамической облицовке остаточные напряжения в основном возникают в пришеечной области, статистически достоверно ( $p \leq 0,05$ ) увеличиваются по мере уменьшения угла наклона стенок абатментов до 0° и достигают максимальных значений при несъемном протезе на одиночной опоре — 7,88 МПа; на двух опорах — 10,34 МПа; на трех опорах — 13,12 МПа. При увеличенном диаметре опоры абатмента 6 мм значения напряженно-деформированного состояния статистически достоверно ( $p \leq 0,05$ ) ниже на 14,3% при всех углах наклона стенок абатментов, в отличие от значений напряженно-деформированного состояния при абатменте с диаметром в пришеечной области 4,5 мм. Также по мере уменьшения угла наклона абатментов отмечается статистически достоверное ( $p \leq 0,05$ ) увеличение напряженно-деформированного состояния в металлическом каркасе в пришеечной области, достигая максимальных значений при несъемном протезе на одиночной опоре — 12,26 МПа; на двух опорах — 12,94 МПа; на трех опорах — 13,36 МПа. Исследование напряженно-деформированного состояния абатментов показало всплеск остаточных напряжений в их верхней части несъемного протеза на одиночной опоре, на двух и на трех опорах, достигающих наибольших значений при увеличении угла наклона его стенок и высоты абатмента, и это статистически достоверно ( $p \leq 0,05$ ). Так, уже при высоте 7 мм и 8° полученные



Рис. 15. Остаточные напряжения в цементном слое после фиксации металлокерамических несъемных протезов: а — на одиночной опоре при высоте абатмента 3 мм с углами наклона стенок 10°, 8°, 6°, 4°, 2° и 0°; б — на двух опорах при высоте абатмента 5 мм с углами наклона стенок 10°, 8°, 6°, 4°, 2° и 0°

Fig. 15. Residual stresses in the cement layer after fixation of ceramic-metal fixed prostheses: a — on a single support at an abutment height of 3 mm with wall inclination angles of 10°, 8°, 6°, 4°, 2° and 0°; b — on two supports with an abutment height of 5 mm with wall inclination angles of 10°, 8°, 6°, 4°, 2° and 0°

значения (39,25 МПа) в 2,7 раз выше, чем при абатменте высотой 3 мм с углом наклона стенок 10° (14,45 МПа).

Проведенное исследование показало, что высота и угол наклона стенок абатмента влияют на неравномерность распределений напряжений в керамической облицовке, каркасе и абатменте, что в свою очередь оказывает влияние на напряжение в цементном слое несъемных протезов, сконцентрированное в верхней части конструкции и увеличивающееся по мере уменьшения угла наклона. Данные неравномерные распределения напряжений способствуют появлению концентраций напряжений, которые не являются критическими, но при увеличении нагрузки могут стать начальными разрушающими механизмами расцементирования несъемных протезов. В связи с этим при изготовлении несъемных металлокерамических протезов на имплантатах для уменьшения концентрации напряжений в конструкции стоит учитывать рекомендуемый угол наклона стенок абатментов.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов.

**Поступила:** 10.08.2022      **Принята в печать:** 10.11.2022

**Conflict of interests.** The authors declare no conflict of interests.

**Received:** 10.08.2022      **Accepted:** 10.11.2022

### ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES:

1. Proos K.A., Swain M.V., Ironside J., Steven G.P. Influence of margin design and taper abutment angle on a restored crown of a first

premolar using finite element analysis. — *Int J Prosthodont.* — 2003; 16 (4): 442—9. [PMID: 12956502](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12956502/)



2. Bernal G., Okamura M., Muñoz C.A. The effects of abutment taper, length and cement type on resistance to dislodgement of cement-retained, implant-supported restorations. — *J Prosthodont.* — 2003; 12 (2): 111—5. [PMID: 12964683](#)
3. Ayad M.F., Maghrabi A.A., Rosenstiel S.F. Assessment of convergence angles of tooth preparations for complete crowns among dental students. — *J Dent.* — 2005; 33 (8): 633—8. [PMID: 16139694](#)
4. Karl M., Taylor T.D., Wichmann M.G., Heckmann S.M. In vivo stress behavior in cemented and screw-retained five-unit implant FPDs. — *J Prosthodont.* — 2006; 15 (1): 20—4. [PMID: 16433647](#)
5. Lee M.Y., Heo S.J., Park E.J., Park J.M. Comparative study on stress distribution around internal tapered connection implants according to fit of cement- and screw-retained prostheses. — *J Adv Prosthodont.* — 2013; 5 (3): 312—8. [PMID: 24049573](#)
6. Covey D.A., Kent D.K., et al. Effects of abutment size and luting cement type on the uniaxial retention force of implant-supported crowns. — *J Prosthet Dent.* — 2000; 83 (3): 344—8. [PMID: 10709044](#)
7. Bresciano M., Schierano G., et al. Retention of luting agents on implant abutments of different height and taper. — *Clin Oral Implants Res.* — 2005; 16 (5): 594—8. [PMID: 16164467](#)
8. Abbo B., Razzoog M.E., et al. Resistance to dislodgement of zirconia copings cemented onto titanium abutments of different heights. — *J Prosthet Dent.* — 2008; 99 (1): 25—9. [PMID: 18182182](#)
9. Iwai T., Komine F., Kobayashi K., Saito A., Matsumura H. Influence of convergence angle and cement space on adaptation of zirconium dioxide ceramic copings. — *Acta Odontol Scand.* — 2008; 66 (4): 214—8. [PMID: 18607834](#)
10. Chaar M.S., Att W., Strub J.R. Prosthetic outcome of cement-retained implant-supported fixed dental restorations: a systematic review. — *J Oral Rehabil.* — 2011; 38 (9): 697—711. [PMID: 21395638](#)
11. Ali A.O., Kelly J.R., Zandparsa R. The influence of different convergence angles and resin cements on the retention of zirconia copings. — *J Prosthodont.* — 2012; 21 (8): 614—21. [PMID: 22823334](#)
12. Rödiger M., Rinke S., et al. Evaluation of removal forces of implant-supported zirconia copings depending on abutment geometry, luting agent and cleaning method during re-cementation. — *J Adv Prosthodont.* — 2014; 6 (3): 233—40. [PMID: 25006388](#)
13. Yoon S.S., Cheong C., Preisser J. Jr, Jun S., Chang B.M., Wright R.F. Measurement of total occlusal convergence of 3 different tooth preparations in 4 different planes by dental students. — *J Prosthet Dent.* — 2014; 112 (2): 285—92. [PMID: 24726595](#)
14. Rodriguez L.C., Saba J.N., Meyer C.A., Chung K.H., Wadhvani C., Rodrigues D.C. A finite element analysis of novel vented dental abutment geometries for cement-retained crown restorations. — *Clin Exp Dent Res.* — 2016; 2 (2): 136—145. [PMID: 29744160](#)
15. Safari S., Hosseini Ghavam F., Amini P., Yaghmaei K. Effects of abutment diameter, luting agent type, and re-cementation on the retention of implant-supported CAD/CAM metal copings over short abutments. — *J Adv Prosthodont.* — 2018; 10 (1): 1—7. [PMID: 29503708](#)
16. Beuer F., Edelhoff D., Gernet W., Naumann M. Effect of preparation angles on the precision of zirconia crown copings fabricated by CAD/CAM system. — *Dent Mater J.* — 2008; 27 (6): 814—20. [PMID: 19241690](#)
17. Tiu J., Al-Amleh B., Waddell J.N., Duncan W.J. Clinical tooth preparations and associated measuring methods: a systematic review. — *J Prosthet Dent.* — 2015; 113 (3): 175—84. [PMID: 25449611](#)
18. Choi K.H., Son K., Lee D.H., Lee K.B. Influence of abutment height and convergence angle on the retrievability of cement-retained implant prostheses with a lingual slot. — *J Adv Prosthodont.* — 2018; 10 (5): 381—387. [PMID: 30370030](#)
19. Zhao L., Weigl P., Wu Y., Xu Y. In vitro study of bond strength between abutments with different degrees of convergence and crowns by pre-bonding method. — *Int J Oral Maxillofac Implants.* — 2019; 34 (1): 25—30. [PMID: 30695084](#)
20. Schriwer C., Gjerdet N.R., Arola D., Øilo M. The effect of preparation taper on the resistance to fracture of monolithic zirconia crowns. — *Dent Mater.* — 2021; 37 (8): e427—e434. [PMID: 33910755](#)
21. Lin S., Shi S., LeGeros R.Z., LeGeros J.P. Three-dimensional finite element analyses of four designs of a high-strength silicon nitride implant. — *Implant Dent.* — 2000; 9 (1): 53—60. [PMID: 11307234](#)
22. Stegaroiu R., Khraisat A., Nomura S., Miyakawa O. Influence of superstructure materials on strain around an implant under 2 loading conditions: a technical investigation. — *Int J Oral Maxillofac Implants.* — 2004; 19 (5): 735—42. [PMID: 15508991](#)
23. Ciccio M., Bramanti E., Maticena G., Guglielmino E., Risitano G. FEM evaluation of cemented-retained versus screw-retained dental implant single-tooth crown prosthesis. — *Int J Clin Exp Med.* — 2014; 7 (4): 817—25. [PMID: 24955150](#)
24. Sim B.K., Kim B., Kim M.J., Jeong G.H., Ju K.W., Shin Y.J., Kim M.Y., Lee J.H. Hollow abutment screw design for easy retrieval in case of screw fracture in dental implant system. — *J Healthc Eng.* — 2017; 2017: 4842072. [PMID: 29065610](#)
25. Олесова В.Н., Узунян Н.А., Шматов К.В., Заславский Р.С. Математическое прогнозирование прочности корня зуба с литой штифтовой вкладкой. — *Кремлевская медицина. Клинический вестник.* — 2018; 2: 104—106.  
[Olesova V., Uzunyan N.A., Shmatov K.V., Zaslavskij R.S. Mathematical prediction of the strength of the root of a tooth with a cast pin insert. — *Kremlin Medicine Journal.* — 2018; 2: 104—106 (In Russ.).]. [eLibrary ID: 35077040](#)
26. Singh N.K., Chalapathy S.B., Thota R.P., Chakravarthula K., Tirnati R., Yenugupalli K. Evaluation of stress distribution among two different pre-angled abutments of implants in two different densities of bone at different levels along the implant — In vitro Study. — *J Contemp Dent Pract.* — 2018; 19 (11): 1370—1375. [PMID: 30602643](#)
27. Macedo J.P., Pereira J., Faria J., Souza J.C.M., Alves J.L., López-López J., Henriques B. Finite element analysis of peri-implant bone volume affected by stresses around Morse taper implants: effects of implant positioning to the bone crest. — *Comput Methods Biomech Biomed Engin.* — 2018; 21 (12): 655—662. [PMID: 30693810](#)
28. Li Z., Gao S., Chen H., Ma R., Wu T., Yu H. Micromotion of implant-abutment interfaces (IAI) after loading: correlation of finite element analysis with in vitro performances. — *Med Biol Eng Comput.* — 2019; 57 (5): 1133—1144. [PMID: 30656596](#)
29. Cervino G., Romeo U., et al. Fem and von Mises analysis of OSS-TEM® dental implant structural components: Evaluation of different direction dynamic loads. — *Open Dent J.* — 2018; 12: 219—229. [PMID: 29682092](#)
30. Поюрговская И.Я. Стоматологическое материаловедение: учебное пособие. — М.: ГЭОТАР-Медиа, 2008. — 192 с.  
[Poyurovskaya I.Ya. Dental materials science: textbook. — Moscow: GEOTAR-Media, 2008. — 192 p. (In Russ.).]