

1. ИМПЛАНТАЦИЯ И ИМПЛАНТАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ В ХИРУРГИЧЕСКОЙ СТОМАТОЛОГИИ И ЧЕЛЮСТНО- ЛИЦЕВОЙ ХИРУРГИИ

УДК 616.314-089.843:612.311

ЗОНЫ МАКСИМАЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ДЕНТАЛЬНОМ ИМПЛАНТАТЕ ПРИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ НАГРУЗКАХ

Берсанова М. Р., Олесова В. Н., Кашенко П. В.

*Медико-биологический университет инновационных технологий
и непрерывного образования Федерального государственного бюджетного
учреждения «Государственный научный центр Российской Федерации —
Федеральный медицинский биофизический центр имени А. И. Бурназяна»
Федерального медико-биологического агентства, кафедра стоматологии,
г. Москва, Российская Федерация*

Введение. В клинической практике выявляются факты поломки как протезов, так и имплантатов, несмотря на высокую прочность используемых конструкционных материалов — титана и керамики.

Цель работы — экспериментальное исследование напряженно-деформированного состояния (НДС) конструкции «имплантат-абатмент-керамическая коронка» в условиях трехмерной математической модели.

Объекты и методы. Для анализа НДС внутрикостного дентально-имплантата с покрывающей коронкой проведено трехмерное математическое моделирование его НДС с использованием программы SolidWorks при вертикальной и наклонной нагрузках коронки (величина нагрузки — 150 Н).

Результаты. Максимальные напряжения при вертикальной нагрузке керамической коронки на имплантате испытывает окклюзионная поверхность коронки (75,163 МПа). Наклонная нагрузка значительно увеличивает и смещает максимальные напряжения в зону контакта абатмента, коронки и имплантата — соответствующие напряжения 302,193 МПа, 145,974 МПа, 255,799 МПа.

Заключение. Вертикальная нагрузка вызывает максимальные напряжения по окклюзионной поверхности коронки на имплантате и невысокие напряжения в абатменте и имплантате. Наклонная нагрузка значительно увеличивает напряжения в имплантате, абатмен-

те и керамической коронке (соответственно в 13, 11 и 2 раз), смещая максимальные напряжения в область контакта имплантата, абатмента и края коронки. Величина функциональных напряжений в имплантате, абатменте и коронке не достигают пределов прочности титана и керамики.

Ключевые слова: имплантат; нагрузка; напряженно-деформированное состояние; трехмерное математическое моделирование.

ZONES OF MAXIMUM STRESS IN THE DENTAL IMPLANT UNDER FUNCTIONAL LOADS

Bersanova M. R., Olesova V. N., Kashchenko P. V.

*Medico-Biological University of Innovative Technologies
and Continuing Education of the Federal State Budgetary Institution "State
Scientific Center of the Russian Federation — Federal Medical Biophysical
Center named by A. I. Burnazyan"
of the Federal Medico-Biological Agency, Department of Dentistry, Moscow,
Russian Federation*

Introduction. In clinical practice, cases of breakage of both prostheses and implants are detected, despite the high strength of the structural materials used — titanium and ceramics.

The purpose of the study — experimental study of the stress-strain state (VAT) of the implant-abutment-ceramic crown structure in a three-dimensional mathematical model

Objects and methods. To analyze the VAT of an intraosseous dental implant with a covering crown, three-dimensional mathematical modeling of its VAT using the SolidWorks program under vertical and inclined crown loads (load value — 150 N) was carried out.

Results. The occlusal surface of the crown (75.163 MPa) experiences the maximum stresses during vertical loading of the ceramic crown on the implant. The inclined load significantly increases and shifts the maximum stresses into the contact zone of the abutment, crown and implant — the corresponding stresses are 302.193 MPa, 145.974 MPa, 255.799 MPa.

Conclusion. Vertical loading causes maximum stresses along the occlusal surface of the crown on the implant and low stresses in the abutment and implant. The inclined load significantly increases the stresses in the implant, abutment and ceramic crown (13, 11 and 2 times, respectively), shifting the maximum stresses to the contact area of the implant, abutment and the edge

of the crown. The magnitude of functional stresses in the implant, abutment and crown do not reach the strength limits of titanium and ceramics.

Keywords: implant; load; stress-strain state; three-dimensional mathematical modeling.

Введение Многолетний опыт использования дентальных имплантатов в качестве опор несъемных и съемных протетических конструкций выявил факты поломки как протезов, так и имплантатов, несмотря на высокую прочность используемых конструкционных материалов — титана и керамики [1, 2, 4] Это может быть связано: с перегрузкой конструкции на имплантатах вследствие неадекватного конструирования протезов с опорой на дентальные имплантаты; выбора конфигурации и числа опорных имплантатов; со сложными биомеханическими условиями функционирования имплантатов.

Цель работы — экспериментальное исследование напряженно-деформированного состояния конструкции «имплантат-абатмент-керамическая коронка» в условиях трехмерной математической модели.

Объекты и методы. В настоящее время наиболее информативным способом анализа напряженно-деформированного состояния объекта любого размера и конфигурации считается трехмерное математическое моделирование величины и распределения напряжений в каждой точке объекта, возникающих при приложении нагрузки [3, 5]. Как правило, моделируется вертикальное и наклонное направление нагрузки под разным углом к вертикальной оси объекта. Величина нагрузки соответствует естественному усилию при осуществлении функции.

Для анализа напряженно-деформированного состояния внутрикостного дентального имплантата (в сборке с абатментом и покрывающей коронкой или отдельно в упомянутых компонентах) проведено трехмерное математическое моделирование напряженно-деформированного состояния титанового имплантата с использованием программы SolidWorks при вертикальной и наклонной нагрузкой (под углом 45°) коронки на имплантате. Титановый имплантат с титановым абатментом и керамической коронкой размещался в сегменте нижней челюсти; длина и диаметр имплантата были 11 мм и 3 мм, толщина кортикальной кости 1,1 мм. Нагрузка соответствовала 150 Н. Размерные и физико-механические свойства модели соответствовали стандартным значениям: модуль упругости титана, керамики, кортикальной и пористой кости — 116000 МПа, 200000 МПа, 20500 МПа, 3500 МПа; коэффициент Пуассона — 0,32; 0,22; 0,32; 0,34 [1, 2].

Результаты. Вертикально направленная нагрузка 150 Н вызывала интегральные напряжения в сборной конструкции «имплантат-абатмент-керамическая коронка» с максимальной величиной 75,163 МПа (таблица 1). Эти напряжения локализовались по окклюзионной поверхности коронки. В керамической коронке указанные напряжения (75,163 МПа) с окклюзионной поверхности снижались до 39,944 МПа в верхней половине коронки; остальной объем коронки испытывал напряжения 4,728 МПа. В абатменте максимальные напряжения локализовались в шахте имплантата (26,826 МПа), а также по нижнему краю уступа абатмента (23,678 МПа). В самом имплантате максимальные напряжения величиной 19,975 МПа испытывает снаружи прищечная часть, а также дно шахты имплантата (17,529 МПа).

Таблица 1 — Величина максимальных напряжений в титановом дентальном имплантате и покрывающей конструкции (МПа).

Область анализа	Вертикальная нагрузка	Наклонная нагрузка
Конструкция в сборке	75,163	302,193
Керамическая коронка	75,163	145,974
Абатмент	26,826	302,193
Имплантат	19,975	255,799

Наклонная нагрузка при той же величине значительно увеличивала напряжения в компонентах имплантата и изменяла картину распределения напряжений. Максимальные напряжения локализовались с щечной и язычной сторон конструкции на имплантате (соответственно вектору нагрузки). В сборной конструкции напряжения увеличивались в 4 раза (до 302,193 МПа), смещаясь к нижнему краю уступа абатмента; контакт абатмента и имплантата подвержен напряжениям 201,499 МПа. В искусственной коронке максимальные напряжения увеличивались в 2 раза (до 145,974 МПа), смещаясь в зону края коронки; выше края коронки и по окклюзионной поверхности напряжения составляли 98,898 МПа. В абатменте степень напряжений увеличивалась в 11 раз (302,193 МПа), причем они сохраняли локализацию — нижний край уступа абатмента. Другие зоны абатмента — уступ и в шахта имплантата испытывали напряжения 203,906 МПа. В самом имплантате под действием наклонной нагрузки напряжения увеличивались в 13 раз (255,799 МПа) и локализовались по краю платформы

Анализ напряженно-деформированного состояния внутрикостного дентального имплантата показал, что при вертикальной нагрузке максимальные напряжения в сборной конструкции регистрируются по окклюзионной поверхности керамической коронки и снижаются по величине в направлении абатмента и имплантата. Наклонная нагрузка значительно увеличивает напряжения в имплантате, абатменте и коронке. При этом максимальные напряжения смещаются в зоны: уступ абатмента; край коронки; платформа имплантата. Однако зарегистрированные напряжения далеки от пределов прочности конструкционных материалов — титана и керамики.

Заключение. Вертикальная нагрузка внутрикостного дентального имплантата вызывает максимальные напряжения по окклюзионной поверхности коронки на имплантате и невысокие напряжения в абатменте и имплантате (наиболее выраженные в шахте имплантата и снаружи шейки имплантата).

Наклонная нагрузка имплантата значительно увеличивает напряжения в имплантате, абатменте и керамической коронке (соответственно в 13, 11 и 2 раз), смещая максимальные напряжения в область контакта имплантата, абатмента и края коронки.

Величина функциональных напряжений в имплантате, абатменте и коронке не достигает пределов прочности титана и керамики.

Литература.

1. Новый подход к объемной реконструкции сложных дефектов альвеолярной кости / А. А. Мураев [и др.] // Современные технологии в медицине. — 2017 — Т. 9, № 2 — С. 37–45. doi: 10.17691/stm2017.9.2.04
2. Сравнительное исследование современных дентальных имплантатов: экспериментально-клинические и технологические аспекты: учеб. пособие / Е. Е. Олесов [и др.]. — М.: ИПК ФМБА России, 2018. — 24 с.
3. Экспериментальное моделирование функциональной нагрузки нижней челюсти при протезировании с опорой на имплантаты в неблагоприятных клинических условиях / Р. А. Розов [и др.] // Стоматология. — 2022. — Т. 101, N 6. — С. 28–34. doi: 10.17116/stomat202210106128
4. Design of dental implants at materials level: An overview. Part A / X. Jiang [et al.] // J. of Biomedical Materials Res. — 2020. — Vol. 108, N 8. — P. 1634–1661. doi: 10.1002/jbm.a.36931
5. Influence of implant length and associated parameters upon biomechanical forces in finite element analyses: A systematic review / L. Hingsammer [et al.] // Implant Dentistry. — 2019. — Vol. 28, N 3. — P. 296–305. doi: 10.1097/ID.0000000000000879