

К РАСЧЕТУ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ «КОСТЬ – ИМПЛАНТАТ»

В.В. КИМ, И.Ю. СМОЛИН, А. С. БУЯКОВ

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

E-mail: valeriakim@ispms.ru

Имплантация является эффективным методом восстановления функциональности и эстетики челюстно-лицевой области. При этом важную роль в успехе процедуры играет соответствие формы имплантата антропометрическим особенностям пациента. Выбор имплантата должен осуществляться с учетом биомеханических свойств материала [1, 2], индивидуальных особенностей и требований к эстетическому восстановлению. Важным этапом в разработке индивидуальных биокерамических эндопротезов для челюстно-лицевой хирургии является расчет напряженно-деформированного состояния самих протезов и окружающих костных тканей.

Таким образом целью данной работы является трехмерное моделирование [3] напряженно-деформированного состояния системы «кость-имплантат» в челюстно-лицевой области на основе антропометрических данных пациента.

Важным этапом моделирования является подготовка 3D моделей кости и имплантата к проведению расчета. Для учета индивидуальных особенностей пациента 3D моделирование производилось в соответствии с данными КТ пациента, вследствие чего полученные модели имеют сложную конфигурацию и могут содержать дефекты. Главной сложностью процесса был перевод моделей из формата STL в твердотельный формат STEP, дальнейшее разбиение моделей на конечные элементы и создание расчетной сетки. По причине сложной геометрии моделей в качестве формы конечного элемента был выбран тетраэдр.

На первом этапе моделирования был использован фрагмент кости, примыкающий к латеральной части имплантата. Количество элементов было подобрано на основании анализа сеточной сходимости, для кости расчетная сетка содержала 91855 элементов, для имплантата – 145413 элементов.

На втором этапе была выбрана половина лицевой кости, количество элементов в кости составило 565729, в имплантате – 145413 элементов.

Имплантат и кость были расположены так, как они были бы расположены при эндопротезировании и показаны на рисунке 1.

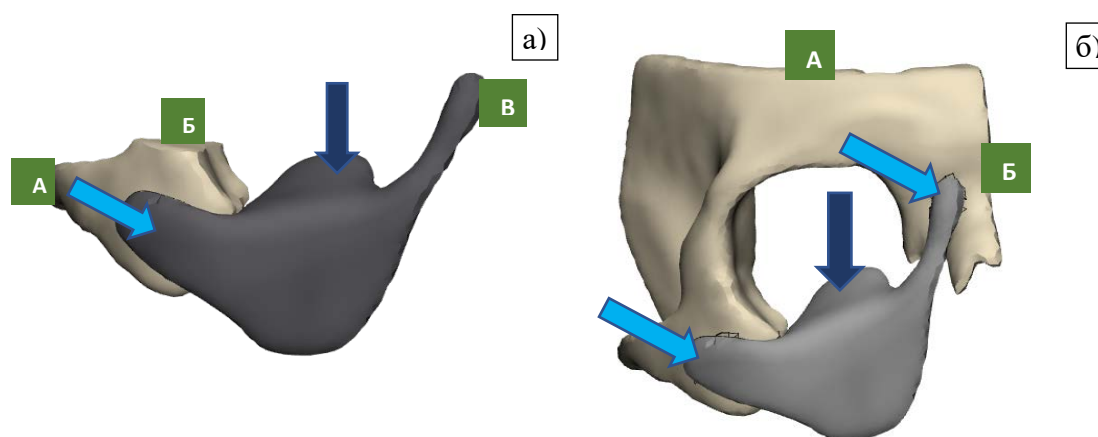


Рисунок 1 – Закрепления и нагрузки в системе «кость – имплантат»:

а) первый этап моделирования, б) второй этап моделирования

Имплантат изображен на рисунке 1 темно-серым цветом, кость – светло-серым цветом. Система была закреплена в местах соединения с другими костями и на рисунке 1 места закрепления указаны буквами в зеленых квадратах. Также к имплантату была приложена

нагрузка, которая на рисунке обозначена стрелками голубого и синего цвета. Нагрузка, приложенная к имплантату, указанная стрелкой голубого цвета, соответствует давлению на имплантат винта в месте крепления и принята равной 5 кПа. Нагрузка, указанная синим цветом, соответствует давлению глаза на орбитальный участок скуловой кости, и была принята равной 80 Па.

Моделирование было выполнено с помощью метода конечных элементов в программном комплексе ABAQUS.

Задача была решена в рамках линейной теории упругости, поэтому для проведения расчетов были необходимы только модуль Юнга и коэффициент Пуассона костной ткани и материала имплантата. Значения этих характеристик были взяты из литературных источников [4, 5] и приведены в таблице 1. При задании механических свойств участка кости учитывались характеристики компактной ткани.

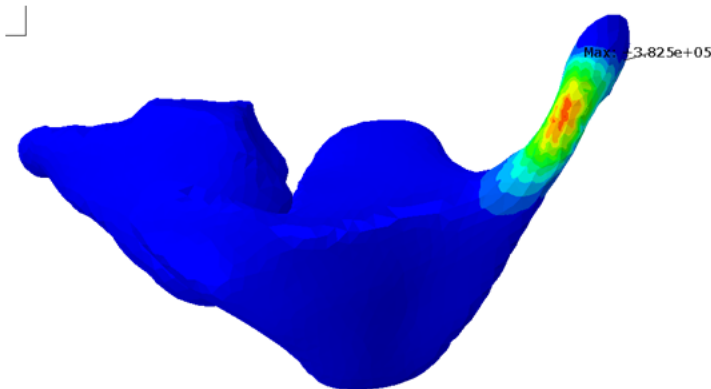
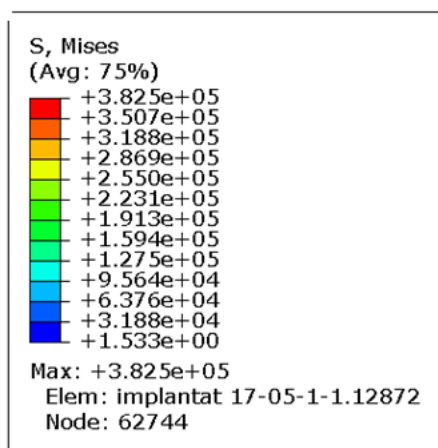
Таблица 1 – Механические свойства кости и керамического имплантата

Название	Модуль Юнга, ГПа	Коэффициент Пуассона
Костная ткань	7	0,28
Керамика (ZrO ₂ --Al ₂ O ₃)	674	0,25

На рисунке 2 приведены результаты расчета напряженно-деформированного состояния системы «кость – имплантат» в случае статического нагружения. Анализ распределения интенсивности напряжений показывает, что увеличение напряжений отмечается в месте крепления.

На рисунке 2а точка максимума лежит на периферии области закрепления, на рисунке 2б точка максимума соответствует точке приложения нагрузки, что говорит об адекватности полученных результатов.

а)



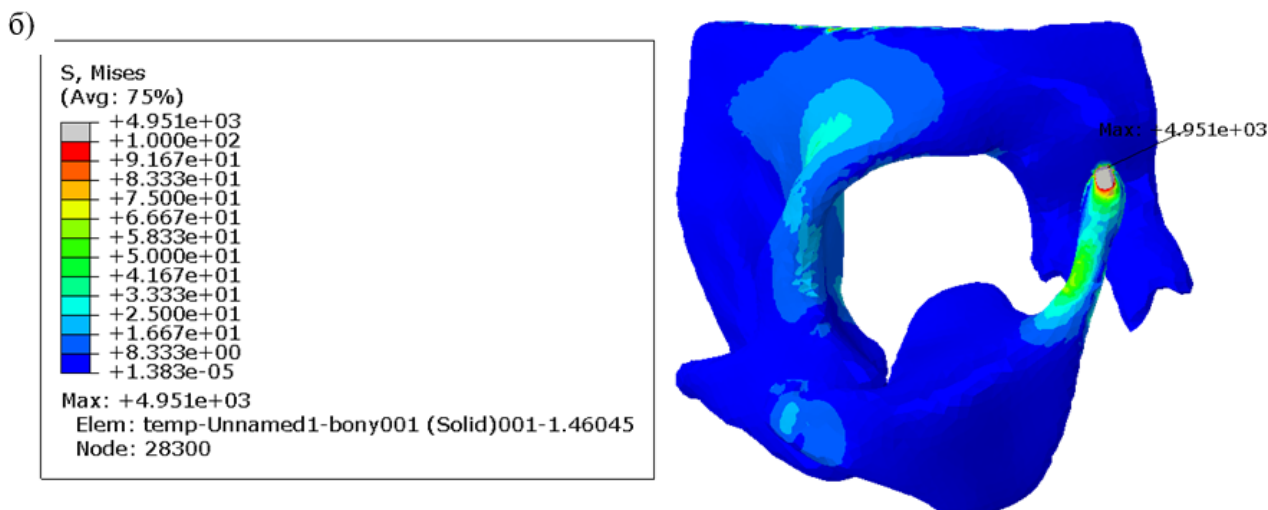


Рисунок 2 – Распределение интенсивности напряжения (Па)
в системе «кость – имплантат»:

а) на первом этапе моделирования, б) на втором этапе моделирования

Полученные в результате исследования напряженно-деформированного состояния системы «кость-имплантат» данные расчетов могут быть использованы при проектировании подобных имплантатов.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, тема номер FWRW-2022-0003.

Список литературы

1. Kolmakova T.V., Buyakova S.P., Kulkov S.N. Researches of mechanical behavior of bone tissues for development and selection of individual ceramic implants // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol. 123. – P. 012005. – DOI 10.1088/1757-899X/123/1/012005.
2. Механические свойства керамического композита с бинепрерывной структурой / М.Д. Кормашова, А.С. Буяков, В.Ф. Войцик [и др.] // Международная научно-техническая молодежная конференция «Перспективные материалы конструкционного и функционального назначения»: Сборник научных трудов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2020. – С. 133–134.
3. Трехмерное моделирование с использованием 3D-печати при реконструктивных операциях на нижней челюсти / Ю.Ю. Диков, В. Соболевский, М. Кропотов, В.Ю. Ивашков // Саркомы костей, мягких тканей и опухоли кожи. – 2015. – № 1. – С. 50– 54.
4. Колмакова Т.В. Исследование деформационного поведения фрагмента кости при осевом сжатии, содержащего компактный и губчатый слои разной плотности // Компьютерные исследования и моделирование. – 2013. – Т. 5, № 3. – С. 433–441.
5. Чайковская Т.В., Марченко Е.С. Исследование напряженно-деформированного состояния кости средней фаланги указательного пальца руки человека при изменении плотности губчатой костной ткани // Фундаментальные основы механики. – 2022. – № 10. – С. 119–122. – DOI 10.26160/2542-0127-2022-10-119-122.