

Биомеханика зубочелюстной системы при эндодонто-эндооссальной имплантации

Д. Лазарева^{1,a}, Е. Семенов^{2,b}, О. Сенников^{2,c}, Н. Сурьянинов^{1,d*}, А. Райлян^{3,e}

¹Одесская государственная академия строительства и архитектуры, ул. Дидрихсона, 4, Одесса, Украина, 65029

²Институт стоматологии и челюстно-лицевой хирургии НАМН Украины, ул. Ришельевская, 11, Одесса, Украина, 65026

³Коммунальное некоммерческое предприятие «Стоматологическая поликлиника №4», ул. Прохоровская, 43, г. Одесса, Украина, 65005
Corresponding author: ^dsn@ogasa.org.ua

Paper received 12.11.20; Accepted for publication 22.11.20.

<https://doi.org/10.31174/SEND-NT2020-244VIII30-08>

Аннотация. Представлены результаты численного моделирования системы «зуб – эндодонто-эндооссальный имплантат – кость» при применении стандартных имплантатов разборного вида, малого диаметра и инструментальных хирургических наборов к ним. Проведено исследование напряженно-деформированного состояния всех компонентов системы методом конечных элементов в программе ANSYS. Исследовался зубочелюстной сегмент с параметрами: длина корня зуба – 14,25мм; резекция корня – на 1/3; длина имплантата – 13,0мм; глубина погружения в губчатую кость – 2мм; диаметр имплантата (изменяемая величина) – 2,9; 3,0; 3,2 мм. Внешняя нагрузка принята равной 200 Н, и приложена под углом 125°. Построенная модель существенно отличается от приведенной в литературе. При ее построении использовался «восходящий» метод твердотельного моделирования. Геометрия фрагмента кости и зубов задана набором поперечных сечений в виде неоднородных рациональных B-сплайнов со сменными по высоте размерами и расположением центров. Определены напряжения и перемещения во всех элементах системы. Расчеты показали, что напряжения в зубе, кортикальной и губчатой кости практически не зависят от диаметра имплантата, но уменьшаются с увеличением его диаметра.

Ключевые слова: резекция корня зуба, эндодонто-эндооссальный имплантат, моделирование, напряжения, перемещения, ANSYS.

Введение. Повышение эффективности лечения хронических периодонтитов, травматических повреждений зубов, постоперативное ведение зубов после операции цистэктомии привело к определенному выделению оперативных вмешательств по общим термином «зубосохраняющие операции». Один из способов, применяемый в комплексном лечении перечисленной патологии, является использование эндодонто-эндооссальной имплантации. Цель применяемого метода основана на увеличении стабилизации зубов с укороченными корнями вследствие резекции верхушки корня, ампутации корня, удаления части корня при его переломе и т.п., путем применения данного вида имплантатов, позволяющих восполнить утраченную часть корня за счет внутрикостной части имплантата.

В последнее время интерес практикующих стоматологов к этому направлению в стоматологии существенно возрос, так как эндодонто-эндооссальная имплантация (ЭЭИ) является эффективным методом, дополняющим лечение хронических периапикальных воспалительных процессов и позволяющих укрепить зубы, обеспечивая их стабильность, надежное и длительное функционирование. Имплантаты оказываются высокоэффективными при остеоинтеграции и создают возможность для функционирования зубов, находящихся в ортопедических конструкциях.

Однако до недавнего времени спрогнозировать эффективность их использования в долгосрочной перспективе можно было только на основании длительных клинических наблюдений. Современные успехи биомеханики позволяют это сделать быстрее и надежнее за счет компьютерного моделирования и последующих расчетов исследуемого зубочелюстного сегмента.

Анализ последних исследований и публикаций. Впервые эндодонто-эндооссальную имплантацию применил М. S. Strock [1] в 1943 г. Дальнейшее развитие ЭЭИ получила благодаря J. Bruno, предложившего цельнолитый имплантат, состоящий из культевой и

эндооссальной частей. В последующие годы метод ЭЭИ широко использовался за рубежом для стабилизации зубов при заболеваниях пародонта. В странах постсоветского пространства метод начали применять с 1980 г., но широкого распространения он не получил [2], что, на наш взгляд, объясняется отсутствием возможности достоверного моделирования биомеханики происходящих процессов. В настоящее время метод обрел «второе дыхание», о чем свидетельствует рост соответствующих публикаций во всем мире. Этому также способствовали достижения эндодонтического лечения апиальных периодонтитов и новые методы оперативного вмешательства, что значительно сократило показания к удалению зубов и выдвинуло зубосохраняющие технологии в разряд наиболее приоритетных направлений в стоматологии [4-6].

По статистике наиболее частой операцией при хирургическом лечении хронического периодонтита является резекция верхушки и ампутация корня зуба [7-10]. А у зубов с резецированными или ампутированными корнями значительно снижаются биомеханические показатели, возникает подвижность зуба и нередко его последующая потеря [11-13].

Использование зубов с резецированной верхушкой корня под опоры зубных протезов разных конструкций еще более ухудшает напряженно-деформированное состояние системы «культя зуба - костная ткань», ведет к локальному разрушению системы, возникновению тяжелой клинической картины и неизлечимым осложнениям [14-16].

В связи с этим представляется весьма актуальным на новой основе исследовать возможности ЭЭИ, что позволит улучшить биомеханические показатели зубов с резецированными и ампутированными корнями, расширит показания к их использованию под опоры различных конструкций зубных протезов [17-19].

Целью нашего исследования явилось повышение эффективности метода ЭЭИ при проведении зубосохра-

няющих операций на основе математического моделирования в системе «зуб – ЭЭИ – кость» при применении стандартных имплантатов разборного вида, малого диаметра и инструментальных хирургических наборов к ним, позволяющего применить любые угловые типоразмеры абатментов, либо использовать индивидуально изготовленные.

Материалы и методы. Используются методы компьютерного моделирования зубочелюстной системы с эндодонто-эндооссальными имплантатами и исследование методом конечных элементов напряженно-деформированного состояния всех ее компонентов в программе ANSYS [3].

Результаты исследования. Несмотря на пристальное внимание многих исследователей на протяжении значительного периода времени, многие вопросы о широком внедрении данного метода остаются открытыми. Так только за период с 1969 по 1986 годы в Международном реестре BDIZ были зарегистрированы следующие виды ЭЭИ-система Endofixa (код A0713), система Erlanger TDF (код A4201), система Saphilox, система ЭЭИ, Straumana (код A0712), система Tisadent/Tisa (код A3901), система Kantha (код A1910), система UTS (код 3711), система WSR (код A0711). Несмотря на такое количество предлагаемых систем основным их недостатком являлось то, что все они были разработаны на основе эмпирических данных, и, в основном, были оригинальными системами, в разработке которых в основу были положены два основных принципа: выбор наиболее биосовместимого материала для ЭЭИ и его дизайн.

На современном этапе изучения данного вопроса, на научной основе, следует выделить одно из наиболее приоритетных направлений, такого как изучения напряженно-деформированного состояния в системе «зуб – ЭЭИ – костная ткань», на данных результатов компьютерного моделирования и численного анализа биомеханических процессов, происходящих при ЭЭИ.

Значительный вклад в проведении такого рода исследований принадлежит, по оценкам литературных данных, таким коллективам авторов, как [20-28].

Однако основным недостатком этих научных исследований является то, что по этим результатам предлагается разработка и внедрение в практическую деятельность различных систем ЭЭИ, методов их установки и, самое главное, их производство, для каждой системы специфическое, и, в дальнейшем требующего адаптации для каждого врача-стоматолога для овладения для овладения ее теоретическими и практическими особенностями.

Но самое главное, все эти системы не имеют возможности при их использовании изменить угол наклона коронковой части без ее предварительного препарирования под реставрацию позволяющего достигнуть максимальный эстетический и функциональный результат при последующей протетической реабилитации пациентов.

В нашей работе исследовался зубочелюстной сегмент со следующими параметрами: длина корня зуба – 14,25мм; резекция корня – на 1/3 и 2/3 (здесь приведены результаты при резекции только на 1/3); длина имплантата – 13,0мм; глубина погружения в губчатую кость – 2мм; диаметр имплантата (изменяемая величина) – 2,9; 3,0; 3,2 мм.

Средства препроцессорного твердотельного моделирования программы ANSYS позволяют иметь дело непосредственно с геометрической моделью, не обращаясь к специфическим объектам (узлы и элементы) конечно-элементной модели. При твердотельном моделировании определяются геометрические границы модели, устанавливаются параметры управления размером и формой элементов, после чего программа автоматически создает узлы и элементы.

Построенная модель существенно отличается от приведенной в [19]. При построении фрагмента зубочелюстной системы в программе ANSYS нами использовался «восходящий» метод твердотельного моделирования. При этом создание модели начинается с объектов самого низкого порядка: ключевые точки, затем связанные с ними линии, поверхности и объемы [29, 30].

В процессе моделирования зубов и фрагмента кости допускались некоторые упрощения. Геометрия фрагмента кости и зубов задана набором поперечных сечений в виде неоднородных рациональных B-Сплайнов со сменными по высоте размерами и расположением центров. Изначально был создан каркас, состоящий из некоторого набора поперечных сечений, на основе которых, с помощью метода построения плоскостей известного как «обтягивание каркаса», созданы соответствующие указанных сечений поверхности. Впоследствии поверхности заполнялись объемом. Учитывая симметрию, построение выполняется для половины модели, затем полученный фрагмент симметрично отражается.

Построение сетки конечных элементов является одним из самых важных этапов конечно-элементного анализа. Точность расчетов с помощью МКЭ зависит от правильного выбора типов и размеров конечных элементов. В существующих программных комплексах, как правило, предусматриваются два основных метода: построение произвольной сетки и упорядоченной. Построение упорядоченной сетки в сложной трехмерной модели зубочелюстной системы, преимущественно состоящей из криволинейных поверхностей, не представляется возможным. Поэтому при разбивке на конечные элементы использованы автоматические программные средства для построения произвольной сетки.

Перед созданием конечно-элементной модели были выделены предполагаемые области концентрации напряжений, в которых сетка была сгущена. В зонах с мало изменяющимися относительными деформациями или напряжениями, а также в областях, которые не представляют особого интереса для исследователя сетку наоборот можно укрупнить. При этом форма и размеры соседних элементов вблизи концентратора напряжений не должны существенно отличаться, потому, что это влияет на точность полученных результатов. Проведен анализ конечно-элементной модели, в результате которого исключены слишком вытянутые элементы; элементы с примерно одинаковыми размерами сторон дают меньшую ошибку.

Построенная модель аппроксимирована объемным шестигранным 8-ми узловым конечным элементом SOLID185 который имеет три степени свободы в каждом узле – перемещения в направлениях осей X, Y, Z узловой системы координат. Элемент может принимать вырожденную форму, что особенно удобно при рассмотрении конструкций сложной конфигурации.

Конечно-элементная модель фрагмента кости с искусственным включением преимущественно состоит из элементов имеющих пирамидальную форму, включает в себя объемы анкерного винта, компактного и губчатого веществ. Анкерный винт диаметром 3 мм имеет конусовидную форму: длина винта – 13 мм. Толщина компактного вещества (кортикальная кость) принята равной 0,5 мм.

В результате аппроксимации сгенерировано 147109 элементов и 27421 узлов (рис. 1). Часть конечных элементов имеет размер 1 мм, еще часть – 0.6 мм, а размер остальных определяется свободным построением сетки.

Задача решалась в упругой постановке. Механические характеристики материалов приведены в табл. 1. Внешняя нагрузка принята равной 200 Н, и приложена под углом 125°.

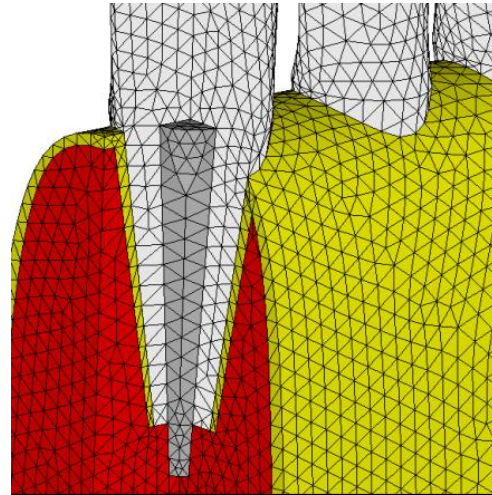
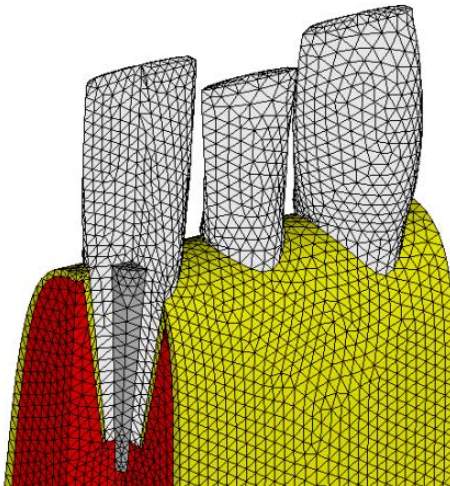


Рис. 1. Конечно-элементная модель фрагмента кости с искусственным включением

Таблица 1. Механические характеристики

Элемент сегмента модели	Модуль упругости, МПа	Коэффициент Пуассона
Дентин	15000	0,32
Кортикальная кость	20000	0,3
Губчатая кость	5000	0,35
Имплантат	110000	0,3

Конечно-элементный анализ в программном комплексе ANSYS позволяет в результате расчетов получить целый ряд параметров напряженно-деформированного состояния (НДС) системы: напряжения и деформации в направлениях координатных осей, главные напряжения и соответствующие деформации, эквивалентные напряжения и перемещения любой точки системы и целый ряд других величин. А процедура визуализации позволяет осмотреть поля напряжений и

деформаций, установить наиболее напряженные участки объекта изучения.

Некоторые полученные нами результаты при резекции корня на 1/3 приведены в табл. 2.

Таблица 2. Максимальные напряжения и перемещения

Диаметр имплантата, мм	Максимальные напряжения, МПа			Максимальные перемещения, мм	
	Кортик. кость	Губч. кость	Имплантат	Гориз.	Верт.
2,9	54,016	14,656	77,145	0,079	-0,022
3,0	54,312	14,715	70,373	0,079	-0,022
3,2	53,909	14,734	59,583	0,078	-0,021

Визуализация выполненных расчетов приведена на рис. 2-10.

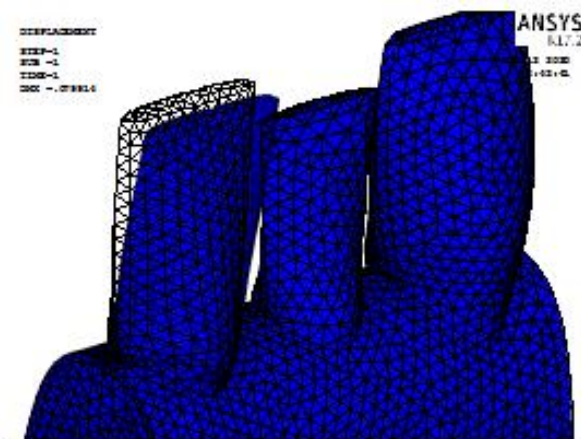


Рис. 2. Деформированная схема

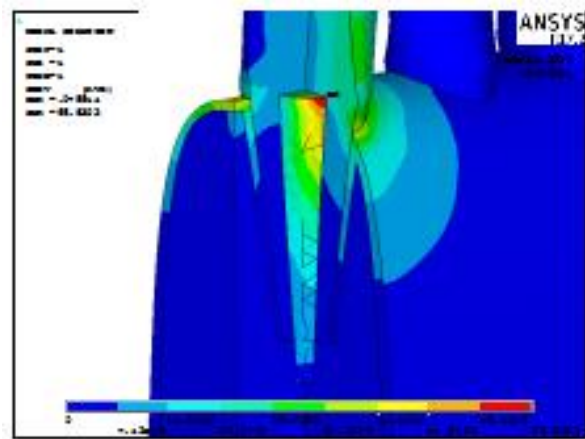


Рис. 3. Картина напряжений

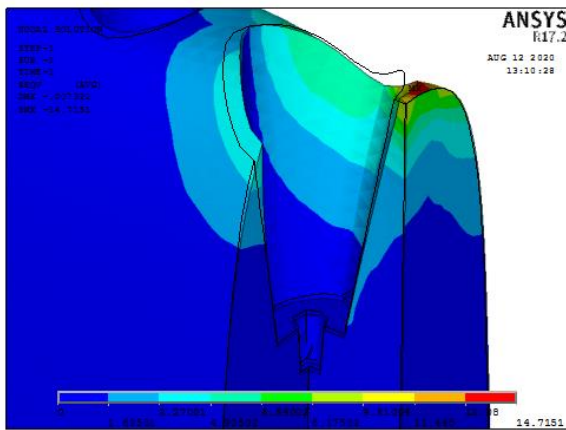


Рис. 4. Напряжения в губчатой кости

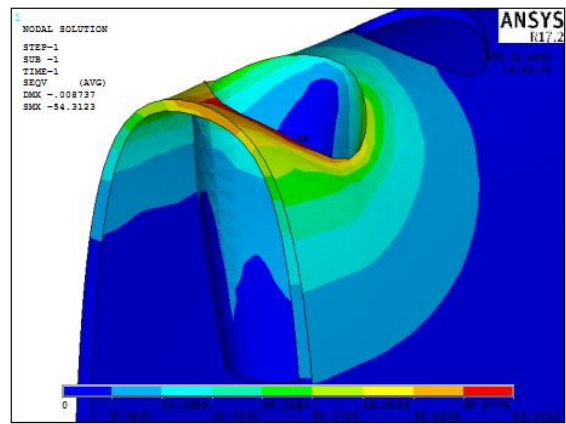


Рис. 5. Напряжения в кортикальном слое

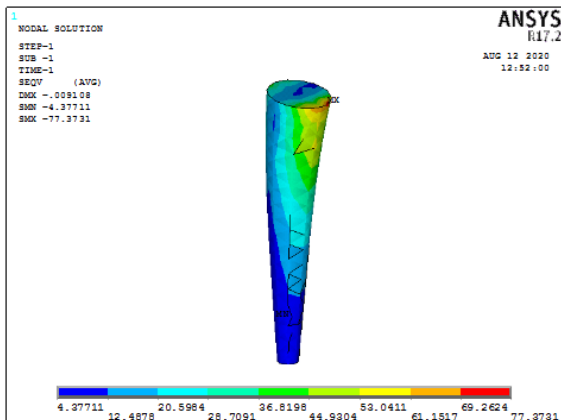


Рис. 6. Напряжения в имплантате

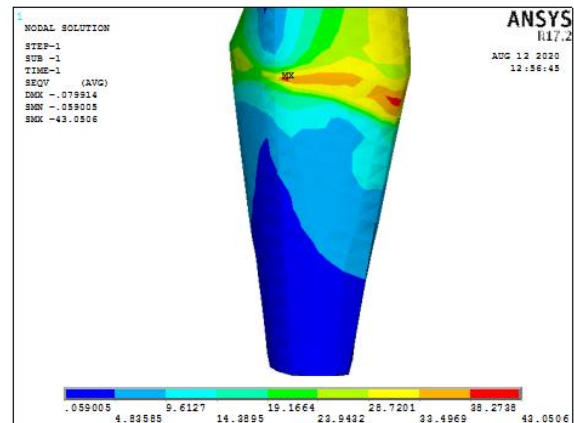


Рис. 7. Напряжения в зубе, $d = 3,2$ мм

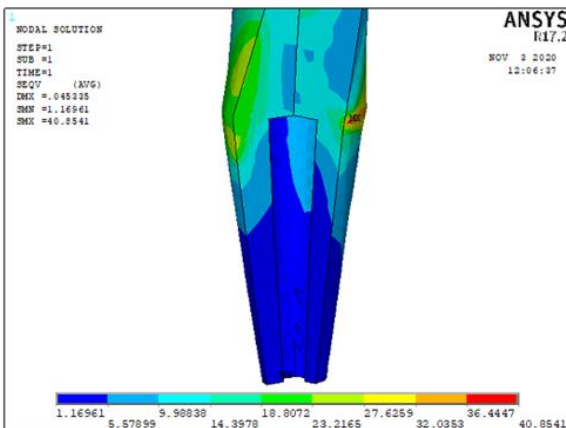


Рис. 8. Напряжения в зубе, $d = 2,9$ мм

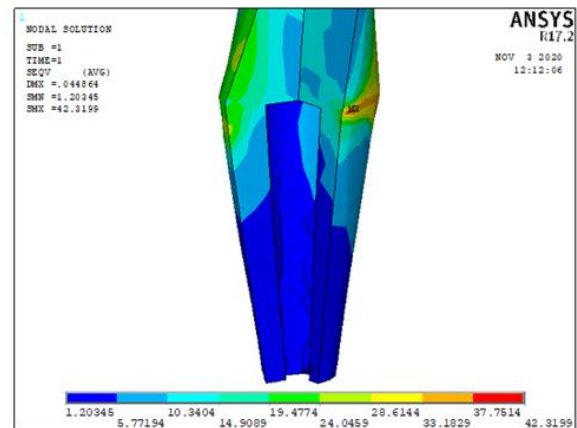


Рис. 9. Напряжения в зубе, $d = 3,0$ мм

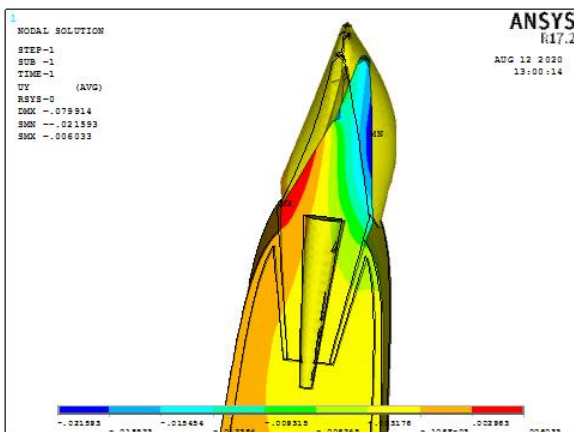
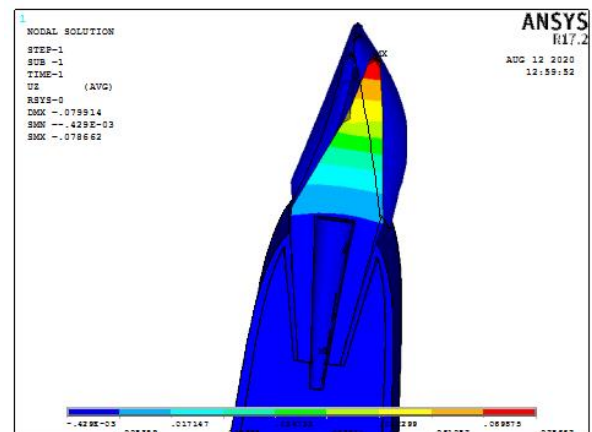


Рис. 10. Перемещения вдоль осей



Числовые значения максимальных напряжений в зубе при разных диаметрах имплантата приведены в табл. 3.

Таблица 3. Максимальные напряжения в зубе

Диаметр имплантата, мм	Максимальные напряжения, МПа
2,9	40,8641
3,0	42,3199
3,2	43,0506

Выводы. Таким образом, выполнено исследование напряженно-деформированного состояния всех компонентов системы «зуб – эндодонто-эндооссальный имплантат – кость» методом конечных элементов в про-

грамме ANSYS. Для этого построена уточненная модель с использованием «восходящего» метода твердотельного моделирования. Геометрия фрагмента кости и зубов задавалась набором поперечных сечений в виде неоднородных рациональных В-сплайнов со сменными по высоте размерами и расположением центров. Рассмотрены три варианта модели, где изменяемой величиной являлся диаметр имплантата. Расчеты показали, что напряжения в зубе, кортикальной и губчатой кости практически не зависят от диаметра имплантата, но уменьшаются с увеличением его диаметра.

ЛИТЕРАТУРА

1. Strock A.E., Strock M.S. Method of reinforcing pulpless anterior teeth // J. Oral Surg. – 1943. – Vol.1 – P.252–255.
2. Митрохин А.В. Эндодонто-эндоссальная имплантация // Клини. стоматол. – 1998. – № 2. – С.20–24.
3. Лазарева Д.В. Прийоми роботи з ПК ANSYS при розв'язанні задач механіки. Під редакцією М.Г. Сур'янінова: монографія / Д.В. Лазарева, М.М. Сорока, О.С. Шиляев. – Одеса: ОДАБА, 2020. – 432 с.
4. Буланов В.И. Протезирование больных после резекции многокорневых зубов. // Стоматология. М., 1989. № 2. – С. 80–82.
5. Кодукова А., Величкова П., Дачев Б. Периодонтиты // Пер. с болгарского. М.: «Медицина», 1989. – 256 с.
6. Параскевич В.Л. Реакция костной ткани на препарирование ложа под цилиндрические имплантаты в стоматологии: Автореф. дисс. канд. мед. наук. Минск, 1991. – 23 с.
7. Бризено Б. Препарирование корневого канала // Клиническая стоматология. М., №4. 1998. С.4-10.
8. Грудянов А.И., Матвеева А.И. Гигиена полости рта при проведении имплантологических исследований. // Новое в техническом обеспечении в стоматологии: Материалы конференции стоматологов. Екатеринбург, 1992. – С. 16-19.
9. Заварзин С.В., Путинцева И.Н., Меленберг Т.В. Восстановление зубных рядов с помощью имплантатов различной конструкции. // Актуальные проблемы стоматологии: Всероссийская научная конф. студентов и молодых ученых. СПб.: Изд-во СПбГМУ, 1996. – С. 24-25.
10. Параскевич В.Л. Применение пористых дентальных имплантатов из титана (отдаленные результаты клинических наблюдений). // Новости стоматологии. 1996. №2-3. С. 54–58.
11. Базилян Э.А. Принципы прогнозирования и профилактики осложнений при дентальной имплантации (клинико-лабораторные исследования). Автореферат. М., 2001. 37с.
12. Олесова В.Н. Экспериментально-клиническое и биохимическое обоснование выбора имплантата в клинике ортопедической стоматологии: Дисс. канд. мед. наук. Новосибирск, 1986. – 158 с.
13. Berry C.W., Moore T.J., Safar J.A., Henry C.A., Wagner M.J. Antibacterial activity of dental implant metals. // Implant. – Dent. 1992. – V. I – 4. - P. 59-65.
14. Арутюнов С.Д., Григорьянц Л.А., Мовсесян Г.В., Мохов А.В. Новый эндодонто-эндооссальный имплантат в хирургической практике лечения больных хроническим периодонтитом. // Институт стоматологии. СПб., – 2003. – №1. – С. 48-51.
15. Albrechtsson J. In vivo performance of metallic dentals // Proceedings of Conf. on Corrosion between In-vitro and in vivo Performance of dental materials, Yrreti Coltege, DuHm, Wand, 2(2)1989. P. 143-147.
16. Block M.S., Kent J.N. Prospective review of integral implants. // Deat.-Clin.- North.- Am. 1992. Jan. V. 36. 11. P. 27-37.
17. Линков Л.И. Без зубных протезов. Чудо зубных имплантатов. СПб., 1993. –288 с.
18. Соловьев М.М., Омелянович Ю.П., Демидова И.И. Моделирование системы имплантат кость челюсти. // Бюлл. Вост.-Сиб. науч. Центра Сибирского отделения РАН: Мат. конф. «Биомеханика в морфологии и медицине». - Иркутск, 1993. Вып. 3-4. – С. 34-40.
19. Джалалова М.В., Степанов А.Г. Влияние уровня резекции корня зуба на напряженно-деформированное состояние эндодонто-эндооссального имплантата в зубочелюстном сегменте / Российский журнал биомеханики, издательство Перм. нац. исслед. политехн. ун-т (Пермь), том 21, № 1, С. 51-63.
20. Арутюнов С. Д., Степанов А. Г., Тарнуева Н.Б., Зязиков М. Д. Способ тангентальной имплантации. Патент РФ на изобретение № 2512944 от 10.04.2014. Заявка: 2013111895/14 Бюл. №10.
21. Степанов А. Г., Зязиков М. Д. Экспериментальное определение физикомеханических параметров, повышающих внутрикорневую фиксацию индивидуальных трансдентальных имплантатов, изготовленных CAD/CAM фрезерованием // Стоматология. – 2015. – Т. 94, № 2. – С. 100–101.
22. Арутюнов С.Д., Джалалова М.В., Степанов А.Г., Зязиков М.Д. Влияние уровня резекции корня зуба на величины перемещений напряжений трансдентального имплантата в структуре костной ткани // Российский вестник дентальной имплантологии. – 2015. – Т. 31, № 1. – С. 31–35.
23. Зязиков М.Д., Степанов А.Г., Джалалова М.В., Арутюнов С.Д. Влияние действующей под углом функциональной нагрузки на костную ткань челюсти и зуб, армированный трансдентальным имплантатом // Российский стоматологический журнал. – 2015. – Т. 19, № 6. – С. 7–9.
24. Арутюнов С.Д., Джалалова М.В., Унанян В.Е., Буктаева М.Л., Лебеденко И.Ю. Обоснование выбора эндодонто-эндооссального имплантата оптимальных параметров для ортопедического лечения больных с подвижными зубами. // Российский стоматологический журнал. – 2009. - №3. – С. 5-7.
25. Зубосохраняющие операции, имплантация и непосредственное протезирование в системе комплексной профилактики дефектов и деформаций зубных рядов / Абалмасов Н. Н., Шалимурина В. Р., Бычков В. А. Ковтун К. В., Рябцев А. В. «Актуальные проблемы стоматологии. Межвузовский сборник научных трудов. Рязань, 1998. – С. 215-218.
26. Робустова Т. Г., Митронин А. В. Эндодонто-эндоссальная имплантация // Клиническая стоматология. – М., 1998. - №2. – С. 20-24.
27. Галушкина О. А., Ломакин М. В., Митронин А. В., Базилян Э. А. Экспериментальное исследование новой конструкции трансдентального стабилизатора // Сборник тезисов Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные вопросы стоматологии». М., 2003. С. 27-28.
28. Ломакин М. В., Иванов С.Ю., Базилян Э. А., Галушкина О. А., Митронин А. В. Эндодонто-эндоссальный имплантат. Патент РФ на изобретение ЛЬ 22228727. Опубликовано в БИ. – 2004. – Х14.
29. Семенов Е.И. Математическое моделирование биомеханического взаимодействия костной ткани челюстей и внутрикостных цилиндрических имплантатов с помощью созданной математической модели / Е.И. Семенов, Н.Г. Сурьяни-

нов // Вісник стоматології. – 2011. - № 3. – С. 66-69.
30. Семенов Е.И. Моделирование фронтального участка верхней челюсти с зубами и искусственными включениями (внут-

рикозный цилиндрический имплантат) в программе ANSYS / Е.И. Семенов, Н.Г. Сурьянинов // Вісник стоматології. – 2011. - № 1. – С. 74-79.

REFERENCES

- Mitrohin, A.V. Endodonto-endossalnaya implantatsiya// Klin. stomatol. 1998, 2, 20–24.
- Lazareva, D.V., Soroka, M.M., ShilyaEv, O.S. Priyomi roboti z PK ANSYS pri rozv'yazanni zadach mehaniki// Pid redaktsiEyu M.G. Sur'yanInova: monografiya, Odesa: ODABA, 2020. – 432 p.
- Bulanov, V.I. Protezirovaniye bolnykh posle rezektsii mnogokornevnykh zubov // Stomatologiya. M., 1989, 2, 80-82.
- Kodukova, A., Velichkova, P., Dachev, B. Periodontity // Per. s bolgarskogo. M.: «Meditsina», 1989. – 256 s.
- Paraskevich, B. JI. Reaktsiya kostnoy tkani na preparirovaniye lozha pod tsilindricheskie implantaty v stomatologii// Avtoref. diss. kand. med. nauk. Minsk, 1991, 23 p.
- Brizeno, B. Preparirovaniye kornevogo kanala // Klinicheskaya stomatologiya. 1998, M., 4, 4-10.
- Grudyanov, A.I., Matveeva, A.I. Gigiena polosti rta pri provedenii implantologicheskikh issledovaniy. // Novoe v tehniicheskoy obespechenii v stomatologii: Materialy konferentsii stomatologov. Ekaterinburg, 1992, 16-19.
- Zavarzin, S.V., Putintseva, I.N., Melenberg, T.V. Vosstanovleniye zubnykh ryadov s pomoschyu implantatov razlichnoy konstruksii. // Aktualnyye problemy stomatologii: Vserossiyskaya nauchnaya konf. studentov i molodykh uchenykh. SPb.: Izd-vo SPbGMU, 1996, 24-25.
- Paraskevich, B. JI. Primeneniye poristykh dentalnykh implantatov iz titana (otdalennyye rezultaty klinicheskikh nablyudeniy). // Novosti stomatologii. 1996, 2-3, 54-58.
- Bazikyan, E.A. Printsipy prognozirovaniya i profilaktiki oslozhneniy pri dentalnoy implantatsii (kliniko-laboratornyye issledovaniya)// Avtoreferat. M., 2001, 37p.
- Olesova, V.N. Eksperimentalno-klinicheskoye i biohimicheskoye obosnovaniye vyibora implantata v klinike ortopedicheskoy stomatologii// Diss. kand. med. nauk. Novosibirsk, 1986, 158 p.
- Arutyunov, S.D., Grigoryants, L.A., Movsesyan, G.V., Mohov, A.V. Novyy endodonto-endoossalnyy implantat v hirurgicheskoy praktike lecheniya bolnykh hronicheskim periodontitom. // Institut stomatologii. SPb., 2003, 1, 48-51.
- Linkov, L.I. Bez zubnykh protezov. Chudo zubnykh implantatov. SPb., 1993, 288 p.
- Solovev, M.M., Omelyanovich, Yu.P., Demidova, I.I. Modelirovaniye sistemy implantat kost chelyusti. // Byull. Vost.-Sib. nauch. Tsentra Sibirskogo otdeleniya RAMN: Mat. konf. «Biomehanika v morfologii i meditsine». - Irkutsk, 1993, Vyip. 3-4, 34-40.
- Dzhalalova, M.V., Stepanov, A.G. Vliyaniye urovnya rezektsii kornya zuba na napryazhenno-deformirovannoye sostoyaniye endodonto-endoossalnogo implantata v zubocheyustnom segmente // Rossiyskiy zhurnal biomehaniki, izdatelstvo Perm. nats. issled. politehn. un-t (Perm), tom 21, 1, 51-63.
- Arutyunov, S. D., Stepanov, A. G., Tarnueva, N.B., Zyazikov, M. D. Sposob tansdentalnoy implantatsii //Patent RF na izobretenie # 2512944 ot 10.04.2014. Zayavka: 2013111895/14 Byul. #10.
- Stepanov, A. G., Zyazikov, M. D. Eksperimentalnoye opredeleniye fizikomehanicheskikh parametrov, povyshayuschikh vnutrikornevuyu fiksatsiyu individualnykh tsidentalnykh implantatov, izgotovlennykh CAD/CAM frezerovaniem // Stomatologiya, 2015, 94, 2, 100–101.
- Arutyunov, S.D., Dzhalalova, M.V., Stepanov, A.G., Zyazikov, M.D. Vliyaniye urovnya rezektsii kornya zuba na velichiny peremescheniy napryazheniy tsidentalnogo implantata v strukture kostnoy tkani // Rossiyskiy vestnik dentalnoy implantologii, 2015. – T. 31, 1, 31–35.
- Zyazikov, M.D., Stepanov, A.G., Dzhalalova, M.V., Arutyunov S.D. Vliyaniye deystvuyushey pod uglom funktsionalnoy nagruzki na kostnyuyu tkan chelyusti i zub, armirovannyiy tsidentalnyim implantatom // Rossiyskiy stomatologicheskii zhurnal. – 2015. – T. 19, 6, 7–9.
- Arutyunov, S.D., Dzhalalova, M.V., Unanyan, V.E., Buktaeva, M.L., Lebedenko, I.Yu. Obosnovaniye vyibora endodonto-endoossalnogo implantata optimalnykh parametrov dlya ortopedicheskogo lecheniya bolnykh s podvizhnymi zubami. // Rossiyskiy stomatologicheskii zhurnal. – 2009, 3, 5-7.
- Abalmasov, N. N., Shalimurina, V. R., Byichkov, V. A. Kovtun, K. V., Ryabtsev, A. V. Zubosohranyayuschie operatsii, implantatsiya i neposredstvennoye protezirovaniye v sisteme kompleksnoy profilaktiki defektov i deformatsiy zubnykh ryadov / «Aktualnyye problemy stmoatologii. Mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov. Ryazan, 1998, 215-218.
- Robustova, T. G., Mitronin, A. V. Endodonto-endossalnaya implantatsiya // Klinicheskaya stomatologiya. – M., 1998, 2, 20-24.
- Galushkina, O. A., Lomakin, M. V., Mitronin, A. V., Bazikyan, E. A. Eksperimentalnoye issledovaniye novoy konstruksii tsidentalnogo stabilizatora // Sbornik tezisov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Aktualnyye voprosy stomatologii». M., 2003, 27-28.
- Lomakin, M. V., Ivanov, S.Yu., Bazikyan, E. A., Galushkina, O. A., Mitronin, A. V. Endodonto-endossalnyy implantat. Patent RF na izobretenie Lb 22228727. Opublikovano v BI. – 2004. – H14.
- Semenov, E.I., Surianinov, M.G. Matematicheskoye modelirovaniye biomehanicheskogo vzaimodeystviya kostnoy tkani chelyustey i vnutrikostnykh tsilindricheskikh implantatov s pomoschyu sozdannoy matematicheskoy modeli / E.I. Semenov// VIsnik stomatologiyi. – 2011, 3, 66-69.
- Semenov, E.I. Surianinov, M.G., Modelirovaniye frontalnogo uchastka verhney chelyusti s zubami i iskusstvennyimi vkluycheniem (vnutrikostnyy tsilindricheskii implantat) v programme ANSYS / E.I. Semenov// VIsnik stomatologiyi. – 2011, 1, 74-79.

Biomechanics of the dentition in endodonto-endosseous implantation

D. Lazarieva, E. Semenov, O. Sennikov, M. Surianinov, A. Railian

Abstract. The results of numerical modeling of the "tooth - endodonto-endosseous implant - bone" system using standard collapsible implants, small diameter, and surgical instrumental kits are presented. The study of the stress-strain state of all components of the system by the finite element method in the ANSYS program has been carried out. The dentoalveolar segment was investigated with the following parameters: length of the tooth root - 14.25 mm; root resection - by 1/3; implant length - 13.0 mm; the depth of immersion in the spongy bone - 2mm; implant diameter (variable value) - 2.9; 3.0; 3.2 mm. The external load was taken equal to 200 N, and applied at an angle of 125°. The constructed model differs significantly from that given in the literature. In its construction, the "bottom-up" method of solid modeling was used. The geometry of a bone fragment and teeth is given by a set of cross-sections in the form of inhomogeneous rational B-splines with variable height dimensions and location of centers. Stresses and displacements in all elements of the system are determined. Calculations have shown that stresses in the tooth, cortical and cancellous bone are practically independent of the implant diameter, but decrease with an increase in its diameter.

Keywords: tooth root resection, endodonto-endosseous implant, modeling, stress, displacement, ANSYS.