

РОССИЙСКИЙ ВЕСТНИК ДЕНТАЛЬНОЙ ИМПЛАНТОЛОГИИ

АНОНС

Юбилейный X Международный симпозиум BEGO – МЕГАСТОМ
«IMPLANTOLOGY – 2014»

31 октября – 01 ноября 2014 года, Республика Башкортостан, г. Уфа

РЕПОРТАЖИ

XIV Всероссийский чемпионат стоматологического мастерства
по дентальной имплантологии, г. Сочи

Проект материалов
по дентальной имплантации для включения в клинические рекомендации –
протоколы лечения пациентов с частичным и полным отсутствием зубов

Немедленная нагрузка на беззубой нижней челюсти

Вопросы дентальной имплантации при проведении
судебно-медицинских экспертиз качества стоматологической помощи

ГЛАВНЫЙ
ИНФОРМАЦИОННЫЙ
ПАРТНЕР



РОССИЙСКОЙ АССОЦИАЦИИ
СТОМАТОЛОГИЧЕСКОЙ
ИМПЛАНТОЛОГИИ

© Коллектив авторов, 2014

ОСОБЕННОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СЕГМЕНТА ЗУБОЧЕЛЮСТНОЙ СИСТЕМЫ ПО ДАННЫМ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ

Полякова Т.В.^{1,2}, Чумаченко Е.Н.^{1,2}, Арутюнов С.Д.³

¹ Московский институт электроники и математики Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики»; ² ФГБУН Институт Космических Исследований РАН; ³ ГБОУ ВПО Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова МЗ РФ, 127473, Москва

В работе рассматривается компьютерное моделирование в системах Mimics, SolidWorks, Patran и Nastran для оценки результатов лечения концевых дефектов зубного ряда методом дентальной имплантации. Обсуждается влияние формы временных имплантатов на прочность временной конструкции при остеоинтеграции постоянных имплантатов и способов генерации сетки на точность выполняемых расчетов.

Ключевые слова: метод конечных элементов; дентальная имплантация; математическое моделирование; временные имплантаты.

Polyakova T.V.^{1,2}, Chumachenko E.N.^{1,2}, Arutyunov S.D.³

Peculiarities of mathematical modeling segment dentition MRI

¹ Moscow Institute of electronics and mathematics of the National research University «Higher school of economy»;

² Space research Institute of RAS; ³ A. I. Evdokimov Moscow state medical dental University Ministry of health of Russia, 127473, Moscow

In this paper computer modeling in Mimics, SolidWorks, Patran and Nastran systems for an assessment of results of dentition's end defect treatment by a method of dental implantation is considered. Influence of temporary implants' form on durability of a temporary construction is discussed at osteointegration of permanent implants and ways of mesh generation on the accuracy of carried-out calculations.

Key words: finite element method; dental implantation; mathematical modeling; temporary implants.

Сегодня современная стоматологическая наука, как и практика, широко используют компьютерное моделирование в лечебных технологиях для реабилитации больных с тяжелой патологией зубочелюстной системы. Достичь высокого уровня качества ортопедического стоматологического лечения и изготавливаемых конструкций зубных протезов позволяют индивидуальные протоколы, включающие использование временных протезов на этапах непосредственно после удаления зубов, периоды остеоинтеграции дентальных имплантатов и протезирования завершающими зубными протезами [1].

Несъемные конструкции зубных протезов, опирающиеся на дентальные имплантаты, являются более физиологичными при соответствующем числе опор, т.к. передают жевательную нагрузку непосредственно на костную ткань челюсти и позволяют избежать препарирования рядом стоящих зубов. Временные конструкции протезов позволяют уточнить окончательную форму планируемой реставрации, программирование окклюзионных взаимоотношений зубов, формировать геометрию межзубных сосочков [2].

Применение компьютерной томографии (КТ) и ис-

Для корреспонденции: Арутюнов Сергей Дарчоевич, e-mail: sd.arutyunov@mail.ru

For correspondence: Arutyunov Sergey Darchoevich, e-mail: sd.arutyunov@mail.ru

пользование компьютерных вычислительных комплексов для анализа задач дентальной имплантологии значительно возросло за последние несколько лет. Ведение пациентов с имплантированными искусственными опорами предполагают использование временных протезов практически на всех клинических этапах, начиная с момента удаления зубов, периода остеоинтеграции вплоть до изготовления завершающих конструкций протезов. Методом конечных элементов (МКЭ) можно определить проблемные зоны участков челюсти с дентальными имплантатами, характеризующиеся высокой концентрацией напряжений, которые нецелесообразно использовать при временном и постоянном протезировании. Очень важно определение критических (допустимых) нагрузок на вновь создаваемую конструкцию. На рынке появилась первая российская система *Oryx Dent* для трехмерной реконструкции поверхностей зубов путем сканирования объекта специальной бесконтактной внутриворотной камерой [3]. В работах по оценке напряжений в кости при установке имплантата встречаются как наиболее простые модели, упрощающие кость до некоторого цилиндрического кармана, обрамляющего зуб [4], сечения кости и коронки в виде куба [5], так и модели, учитывающие реальную геометрию челюсти [6]. В том числе проводился анализ напряженно-деформированного состояния челюсти человека в программе *Mimics* [7]. Эта система широко применяется за рубежом для оцифровки изображений по томограмме при реконструкции модели черепа в задачах имплантации, восстановлении геометрии костей скелета человека и животных. Несомненным преимуществом в ней является возможность дискретного задания модуля упругости тканей в зависимости от характеристик изображений компьютерной томографии, что позволяет учесть пористую структуру губчатой кости

и варьирование модуля Юнга в зависимости от плотности [8, 9].

В практике ортопедической стоматологии широкое применение получила методика двухэтапной имплантации. Период между первым и вторым этапами составляет от 3 до 6 мес, в течение которого пациенту необходимо изготовление временного протеза с опорой на мини-имплантаты для восстановления на время лечения эстетики, речи и частично жевательной функции. В работе рассматривается способ протезирования с использованием временных протезов с опорой на имплантаты, а именно варианты расстановки постоянных и временных дентальных имплантатов в челюсти с учетом индивидуальных особенностей строения костных тканей. Рассматривается пример частичного отсутствия зубов в области 8, 7, 6, 5, 4 нижней челюсти, дефект зубного ряда справа является концевым.

Установим последовательность формирования модели:

1) Компоновка модели челюсти, зубов и конструкции протеза по томограмме в пакете *Mimics* (нарисовать маски объектов в определенном диапазоне плотности, построить поверхностные сетки модели, оптимизировать сетку). В результате получаем поверхностную сетку модели, состоящую из треугольников (рис. 1).

2) Конструирование имплантатов в системе *SolidWorks* (рис. 2).

3) Экспорт моделей имплантатов в *Mimics* и точное позиционирование их в челюсти на томограмме согласно выбранной схеме расстановки имплантатов, построение модели протеза для выбранной схемы (маска протеза, полученная на этапе 1, корректируется таким образом, чтобы протез опирался на дентальные имплантаты, генерация модели протеза по маске, оптимизация сетки для модели протеза).

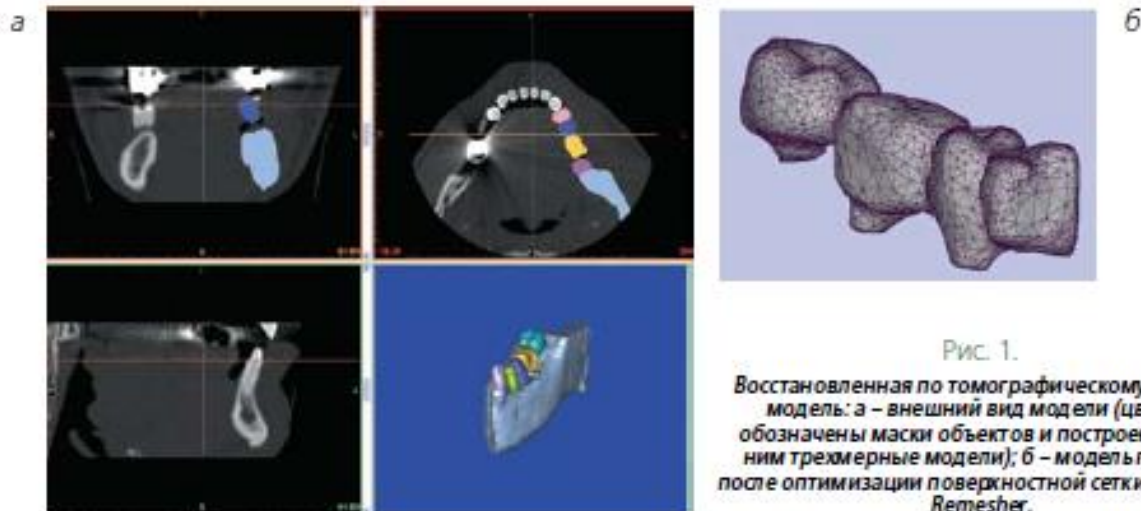


Рис. 1.

Восстановленная по томографическому снимку модель: а – внешний вид модели (цветом обозначены маски объектов и построенные по ним трехмерные модели); б – модель протеза после оптимизации поверхностной сетки в модуле *Remesher*.

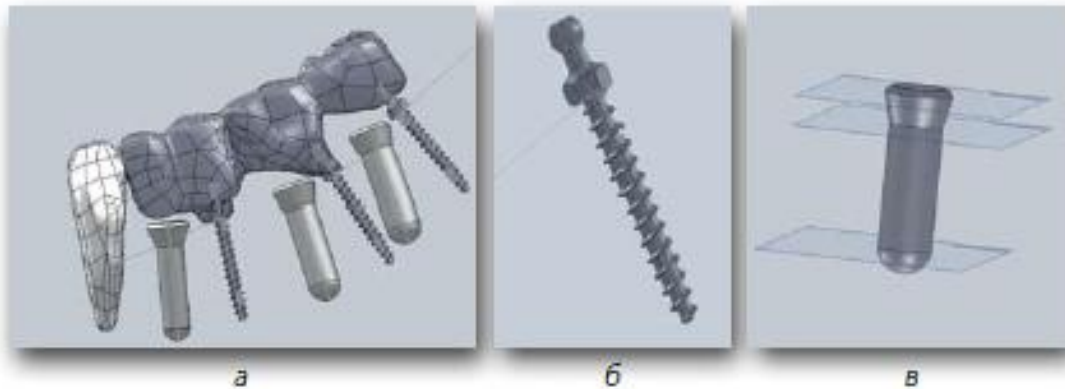


Рис. 2.

Модели мини-имплантов: а – расположение имплантов относительно протеза; б – мини-имплант «ЛИКО»; в – поджостная часть постоянного составного имплантата.

4) Преобразование сетки в формате STL на поверхности и создание твердотельной модели в SolidWorks с помощью функции ScanTo3D для моделей челюсти, клыка, протеза.

5) Сборка полученных моделей челюсти, клыка, протеза и имплантов в SolidWorks (рис. 3) была осуществлена в соответствии с рекомендациями разработанной С.Д. Арутюновым и соавт. [10] комбинированной методики двухэтапной и временной дентальной имплантации.

6) Подготовка расчетной модели в модуле COSMOSWorks Designer или Patran (задаются свойства материалов и граничные условия объектов, генерация конечно-элементной сетки с заданным качеством и сгущениями – (рис. 4–6).

7) Расчет полей напряжений, деформаций и перемещений.

8) Оценка вероятности разрушения рассматриваемой биомеханической конструкции.

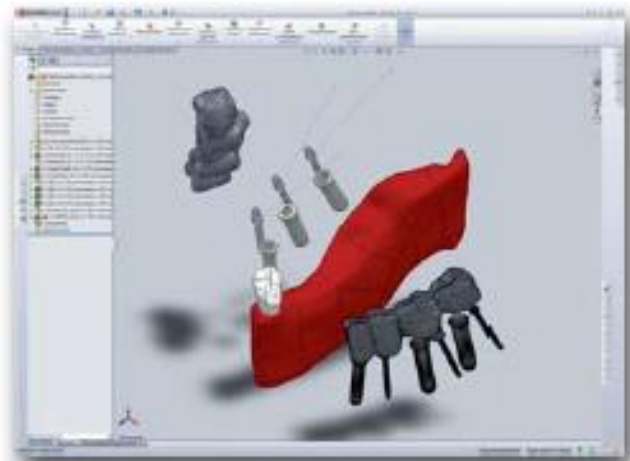


Рис. 3.

Сборка модели в SolidWorks.

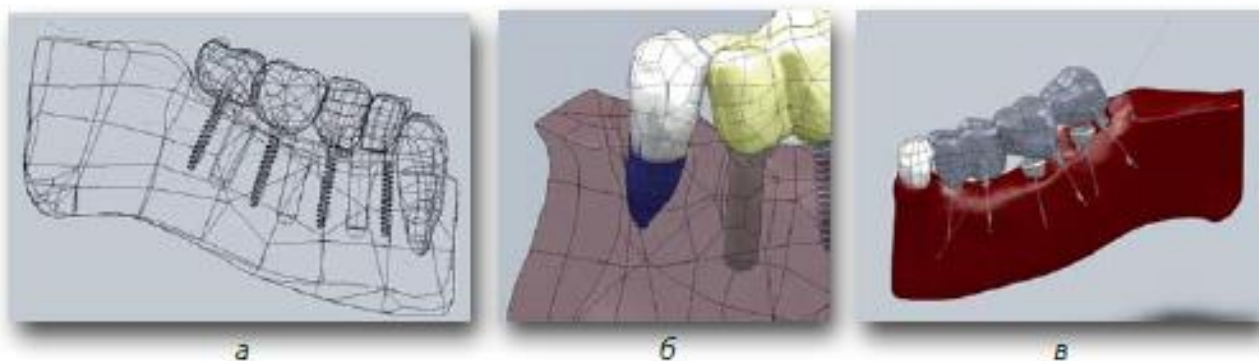


Рис. 4.

Твердотельная модель после установки временных протезов и имплантов.

а – схема установки; б – фрагмент протеза с естественным зубом; в – общий вид сегмента челюсти с установленным временным протезом.

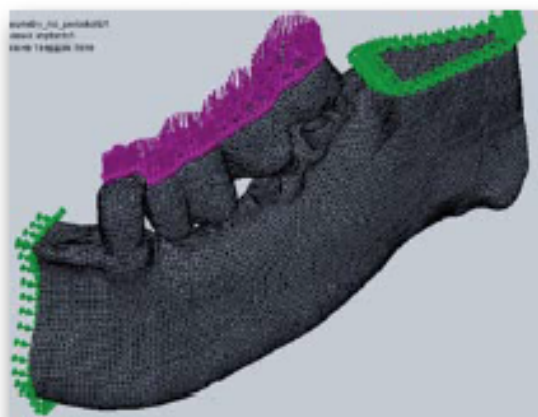


Рис. 5.

Задание граничных условий и генерация сетки модели в COSMOSWorks Designer.

В качестве исходных данных для формирования модели использовались 54 послойных снимка в формате BMP с шагом сканирования 1 мм. Выполнялись кадрирование и сегментация модели по профильной линии, проходящей через нижнюю челюсть (диапазон сегментации 226-3077 HU). При получении трех мерного изображения в программном комплексе Mimics выполнялись следующие этапы: 1) кадрирование изображений; 2) создание маски сегментации: выбор диапазона сегментации (Thesholding), выделение области (Region Growing); 3) редактирование маски; 4) реконструкция модели по маске; 5) преобразование сетки в модуле Remesher; 6) экспорт полученной модели в формате STL в SolidWorks.

Маски строились для модели челюсти с отдельно стоящими зубами, т.е. формировалось несколько масок для возможности разделения коронок протеза и их последующего редактирования. Потом из них, объединением масок, формировался протез. Mimics позволяет учесть разную плотность материала губчатой кости и присвоить определенным значениям плотности свой модуль Юнга. В первом приближении можно считать, что костные ткани челюсти гомогенны.

В качестве временных имплантатов рассматривались применяемые в клинике КДЦ МГМСУ им. А.И. Евдокимова мини-имплантаты «ЛИКО». Диаметр мини-имплантата 2,0 мм, длина внутрикостной части 13,0 мм. Для составных имплантатов под моляр брали диаметр 4,0, 4,8 мм, длину 12 мм, под премоляр – диаметр 3,3 мм, длину 12 мм. При анализе биомеханической системы с протезом на временных имплантатах для соответствующей модели в SolidWorks рассматривалась только нижняя часть составного постоянного имплантата, фиксируемая в челюсти. Для упрощения генерации объемной сетки предполагалось, что у постоянного имплантата резьба

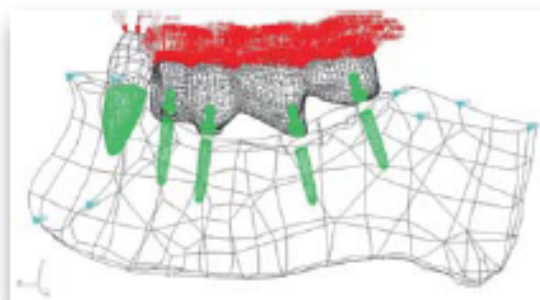


Рис. 6.

Задание поверхностной сетки в Patran вручную.

не оказывает существенного влияния на распределение напряжений в системе и ею можно пренебречь. Резьба у мини-имплантата рассматривается только в геометрической модели. Габаритные размеры имплантатов задаются в виде параметризованной модели с определенными типоразмерами.

Для примера приведем параметры оптимизации сетки одной из моделей челюсти. При оптимизации поверхностной сетки выполнялись следующие этапы:

Этап 1. Сглаживание (Smooth). Сглаживание глобально; сглаживающий коэффициент: 0,7; число итераций: 3; пропускать плохие ребра; коэффициент сжатия: 0,5. Число треугольников до сглаживания 40788, после 40788.

Этап 2. Редуцирование (Reduce). Метод: ребра; «флип» порогового угла: 15; точность: 0,2; число итераций: 5. Число треугольников до редуцирования 40788, после 13868.

Этап 3. Автоматическая перестройка сетки (Auto Remesh). Порог качества поверхности: 0,4; максимальная геометрическая ошибка: 0,3; сохранять первоначальное качество сетки; число итераций: 4; число итераций перемещения: 1; максимальная длина ребра: 5. Число треугольников до перестройки сетки 13868, после 13960.

Этап 4. Удаление треугольников с сохранением качества (Quality Preserving Reduce Triangles). Метод: ребра; порог качества поверхности: 0,4; максимальная геометрическая ошибка: 0,3; максимальная длина ребра: 5; число итераций: 3; пропускать плохие ребра, удаление треугольников глобально. Число треугольников до удаления сетки 13960, после 10126.

Далее для поверхностной сетки, построенной в Mimics, нужно построить аппроксимирующую поверхность тела. Для этой цели удобно использовать функцию ScanTo3D, которая позволяет получать объемные CAD-модели, используя данные 3D-сканирования реального физического прототипа путем преобразования данных в сеточном формате типа STL в гладкую поверхностную или твердотельную модель.



Рис. 7.
Напечатанные на 3D-принтере модели фрагмента челюсти. а – в сборке; б – со снятым протезом.

Отметим, что при расчете напряженно-деформированного состояния для модели с тремя имплантатами и с установленными внутрикостными частями постоянных имплантатов, который проводился в COSMOSWorks Designer, получено, что наибольшая нагрузка действует на третий имплантат. При этом абсолютные значения максимальных напряжений оказались близки к ранее полученным по более приближенной схеме.

Для изучения зависимости напряжений от длины имплантатов были выбраны длины 13 и 16 мм, как наиболее часто встречающиеся на практике. Минимальные напряжения по фон Мизесу достигаются для модели с имплантатами длиной 16 мм, при этом длина цилиндра – 10,5 мм, конуса – 5,5 мм. Максимальные напряжения сосредоточены в четвертом от клика имплантате.

На полученной геометрической модели рассматривалось предварительно несколько вариантов расстановки имплантатов в челюсти с учетом, что минимальное расстояние между имплантатами – не менее 2,0 мм. При этом считали, что если временный имплантат нельзя позиционировать в один ряд с постоянными имплантатами, то возможно расположение по диагонали между ними. В результате получили, что на данном фрагменте челюсти можно установить не более трех постоянных и четырех временных имплантатов либо четырех постоянных и трех временных. На практике может быть установлено меньшее число имплантатов, например, для беззубых челюстей достаточно 6-8 мини-имплантатов в челюсти.

Для модели из трех постоянных и трех временных имплантатов изготовили физический прототип при помощи 3D-принтера ZPrinter® 650 фирмы 3DSYSTEMS, (рис. 7). Таким образом, непосредственно на физической модели можно проверять характеристики спроектированной геометрической модели.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сочетание физического (натурного) и численного моделирования действия нагрузок на челюсть человека с искусственными включениями позволяет получить факты, отражающие особенности деформирования и разрушения

биомеханической конструкции и дать им соответствующую теоретическую интерпретацию. Программный комплекс Mimics создает анатомически точные модели внутренних органов по томографическим данным для различного рода моделей в численных экспериментах. Комплексная диагностика – клиническая, антропометрическая и рентгенологическая КТ позволяет объективно судить о параметрах челюсти с учетом индивидуальных особенностей строения кости пациента, а также учитывать прочностные характеристики костных тканей и прогнозировать долговечность функционирования временных зубных протезов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Овсюга В.Н., Нобиков А.Ю., Дмитриенко Л.Н., Гогабутидзе Д.М., Мушнев И.У., Дажно Л.А., Золотова А.С. Компьютеризованное планирование детальной имплантации. *Российский вестник детальной имплантологии*. 2004; 2 (6): 54-7.
2. Арутюнов С.Д., Ерошкин В.А., Перевезенцева А.А., Бойко А.В., Широкое И.Ю. Критерии прочности и долговечности временных несъемных зубных протезов. *Институт стоматологии*. СПб. 2010; 4: 84-5.
3. Ибрагимов Т.И., Цоликова Н.А. Разработка первой российской САД/САМ – системы Орик Дент. *Стоматология*. 2011; 2: 62-4.
4. Чуйко А.Н., Воек В.Е. Некоторые особенности биомеханики цилиндрических и конических имплантатов. *Стоматолог*. 2004; 10: 34-8.
5. Нилин Ю.И., Рогожников Г.И., Рогожников А.Г., Никитин В.Н., Асташина Н.Б. Биомеханический анализ зубных имплантатов из сплава титана и диоксида циркония // *Российский журнал биомеханики*. 2012; 16, №1 (55): 102-9.
6. Чуйко А.Н., Воек В.Е. Орлы и возможности биомеханического анализа в имплантологии. *Стоматолог*. 2004; 6: 32-37; 7: 32-4.
7. Чуйко А.Н., Калининский Д.К., Леонидовский Р.А., Грибов Д.А. Биомеханическое сопровождение операций в челюстно-лицевой хирургии с использованием программ MIMICS и ANSYS // *Ортодонт, травматология и протезирование*. 2012; 2: 57-63.
8. Чумаченко Е.Н., Воложин А.И., Моркин В.А. Биомеханическая модель и методика расчета напряженно-деформированного состо-

ллия пародонтального комплекса нижней челюсти *Наукоёмкие технологии*. 2001; 2(1): 49-60.

9. Чумаченко Е.Н., Арutyunov С.Д., Леbedenko И.Ю. Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния зубных протезов. М.: Молодая Гвардия. 2003.

10. Арutyunov С.Д., Янушевич О.О., Леbedenko А.И., Арutyunov Д.С., Арutyunov А.С., Трезубов В.В., Широков И.Ю. Способ временного протезирования несъемными мостовидными зубными протезами на дентальных имплантатах. Патент РФ на изобретение №2432924. Опубли. в БИПМ. 2011; 1(3): 698.

LITERATURE

1. Olesova V.N., Nabokov A.Yu., Dmitrienko I.N., Garafutdinov D.M., Musher I.Yu., Dakhno L.A., Zolotaryov A.S. Computerized planning of dental implantation. *Rossiyskiy vestnik dental'noy implantologii*. 2004; 2(6): 54 - 7.

2. Arutyunov S.D., Eroshin V.A., Perevalentseva A.A., Boyko A.V., Shirokov I.Yu. Criteria of strength and sustainability of temporary non-removable dentures. *Institut stomatologii*. 2010; 4: 845.

3. Ibragimov T. I., Tsalikova N. A. Development first Russian CAD/CAM system Optik Dent. *Stomatologiya*. 2011; 2: 62-4.

4. Chuyko A.N., Vook V.E. Some features of biomechanics and cylindrical screw implants. *Stomatolog*. 2004; 10: 34-8.

5. Nyashin Yu.I., Rogozhnikov G.J., Rogozhnikov A.G., Nikitin V.N., Astashina N.B. Biomechanical analysis of dental implants made of an alloy of titanium and zirconium dioxide. *Rossiyskiy Zhurnal biomekhaniki*. 2012; 16, №1 (55): 102-9.

6. Chuyko A.N., Vook V.E. ON the role and opportunities of biomechanical analysis in implantology. *Stomatolog*. 2004; 6: 32-7; №7: 32-4.

7. Chuyko A.N., Kalinovskiy D.K., Levandovskiy F.A., Gribiv D.A. Biomechanical support operations in the maxillofacial surgery using programs MIMICS and ANSYS. *Ortopediya, traumatologiya i protezirovaniye*. 2012; 2: 57-63.

8. Chumachenko E.N., Voloshin A.I., Markin V.A. Biomechanical model and the method of calculation of the intense-deformed condition of periodontal complex of the lower jaw. *Naukoemkiye tehnologii*. 200; 1(2): 49-60.

9. Chumachenko E.N., Arutyunov S.D., Lebedenko I.Yu. Mathematical modeling of the stress - strain state of dentures. [Matematicheskoye modelirovaniye napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya zubnykh protezov]. Moscow: Molodaya gvardiya; 2003.

10. Arutyunov S.D., Yanushevich O.O., Lebedenko A.I., Arutyunov D.S., Arutyunov A.S., Trezubov V.V., Shirokov I.Yu. Way of temporary denture fixed bridge dental prosthesis for dental implants. RF patent for the invention №2432924. Published. in BIPM; 31(3): 698.