

УДК 616.314-77
DOI 10.52575/2687-0940-2021-44-2-226-236

Методология использования реалистичных денто-моделей челюстей для моделирования стоматологического лечения методом дентальной имплантации, подготовки к его этапам и развития методик контроля стабильности имплантатов и их супраструктур

Гуськов А.В., Кузнецов А.В., Олейников А.А., Мазлум М., Осман А.

Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова,
Россия, 390026, г. Рязань, ул. Высоковольтная, д. 9
E-mail: bandera4994@gmail.com

Аннотация. Целью исследования является разработка методологии использования реалистичных денто-моделей челюстей для воспроизведения конкретных клинических ситуаций, обучения и моделирования этапов лечения методом дентальной имплантации, а также для подготовки к имплантологическому лечению. Был разработан образец реалистичной денто-модели челюсти, изготовленный методом 3D-печати на основе предварительного сканирования диагностических моделей челюстей реальных пациентов. Денто-модель содержит фрагмент костной ткани, полученный из челюсти свиньи методом фрезерования. Фрагмент расположен в области дефекта зубного ряда в альвеолярном отростке и имитирует тем самым костную ткань альвеолярного отростка челюсти человека. С применением денто-моделей было проведено исследование с участием 3 пациентов на базе стоматологической поликлиники РязГМУ. На денто-моделях были реализованы все этапы дентальной имплантации и дальнейшего протезирования с клиническим и частотно-резонансным контролем стабильности имплантатов. Исследование позволило установить, что костная ткань челюсти свиньи демонстрирует высокое сходство с человеческой костью челюсти по составу и минеральной плотности, что создает реалистичность использования разработанных денто-моделей при обучении. Представленные денто-модели могут обеспечивать наглядность различных методов определения стабильности дентальных имплантатов и их супраструктур, что может являться полигоном для развития данных технологий.

Ключевые слова: дентальная имплантация, модель челюсти, 3D-печать, первичная стабильность дентальных имплантатов, протезирование с опорой на дентальные имплантаты.

Для цитирования: Гуськов А.В., Кузнецов А.В., Олейников А.А., Мазлум М., Осман А. 2021. Методология использования реалистичных денто-моделей челюстей для моделирования стоматологического лечения методом дентальной имплантации, подготовки к его этапам и развития методик контроля стабильности имплантатов и их супраструктур. Актуальные проблемы медицины. 44 (2): 226–236. DOI: 10.52575/2687-0940-2021-44-2-226-236.

Methodology for the use of realistic dento-models of the jaws for modeling dental treatment by the method of dental implantation, preparation for its stages and the development of methods for monitoring the stability of implants and their suprastructures

**Aleksandr V. Gus'kov, Aleksandr V. Kuznetsov, Aleksandr A. Oleynikov,
Makhmud Mazlum, Abbass Osman**
Ryazan State Medical University,
9 Vysokovoltlnaya St., Ryazan, 390026, Russia
E-mail: bandera4994@gmail.com

Abstract. The aim of the study is to develop a methodology for using realistic dento-models of the jaws, on which it is possible to reproduce specific clinical situations for teaching and modeling the stages of treatment by the method of dental implantation, as well as for preparing for implant treatment. A sample of a realistic dental model of the jaw was developed, made by 3D printing on the basis of a preliminary scan of diagnostic models of the jaws of real patients. The dento-model contains a bone fragment obtained from a pig's jaw by milling. The fragment is located in the area of the defect in the dentition in the alveolar process and thus imitates the bone tissue of the alveolar process of the human jaw. A study was carried out with the use of dento-models with the participation of 3 patients at the dental clinic of Ryazan State Medical University. To fully recreate clinical situations, the density of the bone tissue of the jaws of patients in the areas of dentition defects was determined in order to select the desired type of bone tissue from the pig's jaw for fixing its fragment in the models. All stages of dental implantation and further prosthetics with clinical and frequency-resonance control of the stability of the implants were implemented on the denture models. The study made it possible to establish that the bone tissue of the pig's jaw demonstrates a high similarity with the human jaw bone in composition and mineral density, which makes the use of the developed dento-models in training realistic. The presented denture models open up opportunities for testing various other innovative materials that simulate human bone and soft tissues, as well as provide clarity of physical, mathematical and mechanical methods for determining the stability of dental implants and their suprastructures, which can be a testing ground for the development of these technologies.

Keywords: dental implantation, model of jaw, 3D printing, primary stability of dental implants, dental implant-supported prosthetics.

For citation: Gus'kov A.V., Kuznetsov A.V., Oleynikov A.A., Mazlum M., Osman A. 2021. Methodology for the use of realistic dento-models of the jaws for modeling dental treatment by the method of dental implantation, preparation for its stages and the development of methods for monitoring the stability of implants and their suprastructures. Challenges in Modern Medicine. 44 (2): 226–236 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0940-2021-44-2-226-236.

Введение

Развитие современных и доступных аппаратных методик контроля стабильности дентальных имплантатов имеет большое значение для своевременной диагностики осложнений после имплантации как в послеоперационном периоде, так и на этапе протезирования. Современные тенденции, связанные с уменьшением длительности общего периода реабилитации, благодаря оптимизации протокола дентальной имплантации, немедленному функциональному протезированию, обосновывают широкое внедрение в клиническую практику доступных методик контроля стабильности имплантатов. Однако не исключаются и такие ситуации, при которых контроль стабильности имплантатов не всегда осуществляется в достаточном объеме в повседневной клинической практике врачей-стоматологов [Ромодановский, Баринов, 2020], что может приводить к непрогнозируемым осложнениям после имплантации. Это подчеркивает важность контроля стабильности имплантатов и их остеоинтеграции как при отсутствии нагрузки на имплантаты, так и для выявления возможных изменений этих параметров при дальнейшей функциональной нагрузке. Одним из доступных к аппаратному исследованию параметров является состояние костной ткани вокруг имплантата, в частности ее плотность, которая характеризуется количеством содержания кальция на единицу площади кости [Лесняк, 2020] непосредственно в зоне контакта с имплантатом. Так, возможен контроль стабильности имплантата с помощью лучевых и физических методов исследования, при этом данные виды исследования возможно осуществлять в любые сроки после проведения имплантации. Немаловажно, что данные методы диагностики могут активно внедряться на этапах различных экспериментальных исследований, в том числе тех, которые проводятся на костном материале, наглядных моделях или материалах, имитирующих костную ткань. Различные экс-

периментальные физические методы исследований, использующие в своей основе звук, ультразвук, лазерное излучение, нацелены на оценку первичной стабильности имплантата и состояния костной ткани вокруг имплантата и позволяют объективно оценить возможность микроэкскурсий имплантата. Можно выделить два наиболее распространенных метода оценки – частотно-резонансный анализ (RFA – resonance frequency analysis) [Винниченко, 2016], в основе которого лежит определение зависимости между вынужденной частотой колебаний имплантата и жесткостью окружающей его костной ткани [Rittel et al., 2019], а также периотестометрию, которая реализуется устройством Периотест («Periotest»), и основа его действия заключается в механическом воздействии на исследуемый объект, в частности на дентальный имплантат [Тимофеев и др., 2016]. Перечисленные выше методы могут быть использованы для различных клинических исследований, связанных с оценкой состояния стабильности имплантатов и их супраструктур при различных сроках и условиях их эксплуатации. Однако, в частности, ультразвуковые методы исследования стабильности имплантатов пока не используются в клинической практике, несмотря на то, что имеют активное экспериментально-практическое распространение в научных исследованиях за последние 10 лет [Vayron et al., 2014; Vayron et al., 2016; Vayron et al., 2018a, b; Emmanuel, et al., 2020; Fraulob et al., 2020; Heriveaux et al., 2020]. Перспективность данного метода заключается в том, что показатели стабильности, получаемые при использовании ультразвука, измеряются в объективных физических величинах – мегагерцах. Таким образом, данный показатель возможно интерпретировать в виде прямой физической величины и коррелировать с результатами других объективных исследований, например, с BIC (bone-implant contact) [Vayron et al., 2014], представляющим собой метод морфологического изучения особенностей контакта имплантата с интерфейсом костной ткани [Волков и др., 2018]. Кроме оценки первичной стабильности имплантатов количественные ультразвуковые методы диагностики могут активно применяться для оценки качества соединительного узла «имплантат – абатмент», что является не менее важным критерием успешности функционирования дентальных имплантатов. Здесь особенно важно отметить, что механические характеристики соединения системы имплантат – абатмент также напрямую влияют на уровень плотности перимплантатной кости [Карбах, Аль-Навас, 2014].

Экспериментальные методы оценки биомеханической стабильности имплантатов и состояния тканей на границе имплантат – кость в настоящее время проводятся на различных международно принятых экспериментальных моделях, например, на костных тканях кроликов, собак, свиней, овец, коз [Должиков, Должикова, 2018; Leocadio et al., 2020], также используются различные синтетические и полиуретановые материалы, имитирующие костную ткань. Данные материалы могут с большой степенью достоверности имитировать костную ткань челюсти человека, кроме того, могут быть использованы костные ткани свиней, которые демонстрируют сходство с человеческой костью по составу и минеральной плотности [Ананьева и др., 2021]. Преимуществом данных материалов, в частности животной костной ткани, может являться то, что кроме экспериментальных исследований они могут полноценно применяться при обучении операциям дентальной имплантации, так как обеспечивают реалистичность мануальных ощущений, схожих с таковыми при работе с костными тканями человека. Таким образом, животные костные ткани широко применяются для отработки практических навыков, экспериментального моделирования различных ситуаций и проведения клинических наблюдений при различных вариантах протоколов дентальной имплантации. Однако такие ткани используются преимущественно в виде костных фрагментов, сегментов умершвленного животного, что не всегда позволяет полноценно получить реалистичность клинической ситуации, кроме как достичь имитации тактильных ощущений работы с костной тканью человека. Технологии 3D-печати и цифрового моделирования, аппараты для программного фрезерования позволяют получать различные полные модели челюстей пациентов, которым планируется или

проводится стоматологическое лечение методом дентальной имплантации. Это позволяет имитировать различные клинические ситуации, но более привлекательным с точки зрения научно-клинических исследований является совмещение методов использования костных тканей животных, имитирующих костные ткани челюсти человека, с методами 3D-моделирования и печати, с возможностью получения реалистичных фантомов и моделей для разработки и проведения экспериментальных и клинических методов контроля стабильности дентальных имплантатов и прочих исследований такого рода.

Целью исследования является разработка методологии использования реалистичных денто-моделей челюстей, на которых возможно воспроизводить конкретные клинические ситуации для обучения и моделирования этапов лечения методом дентальной имплантации, а также для подготовки к имплантологическому лечению.

Материалы и методы

На базе кафедр хирургической и ортопедической стоматологии Рязанского государственного медицинского университета была разработана реалистичная денто-модель челюсти, изготовленная методом 3D-печати. Модель отличается тем, что содержит фрагмент костной ткани, полученный из челюсти свиньи методом фрезерования. Фрагмент может быть расположен в месте дефекта зубного ряда в альвеолярном отростке на модели и имитирует тем самым костную ткань альвеолярного отростка челюсти человека (рис. 1). Модель имеет возможность установки фрагментов костных тканей различных плотностей, размеров и форм, что позволяет достичь реалистичности манипуляций при работе с ней. При этом фрезерованный фрагмент костной ткани полностью соответствует по своей форме к размерам полости в месте дефекта зубного ряда, а также дополнительно закреплен в денто-модели с помощью винтов, что создает высокую стабильность фрагмента в модели. Кроме этого, для достижения большей стабильности микропространство между фрагментом кости и непосредственно материалом модели может быть заполнено жидким полимерным материалом световой или химической полимеризации.



Рис. 1. Полимерная денто-модель челюсти с фрагментом костной ткани свиньи в месте дефекта зубного ряда

Fig. 1. Polymeric dento-model of the jaw with a fragment of pig bone tissue at the site of the dentition defect

С применением денто-моделей было проведено исследование с участием 3 пациентов на базе стоматологической поликлиники РязГМУ. Пациентам планировалось замещение дефектов зубных рядов ортопедическими конструкциями с опорой на дентальные имплантаты. У всех пациентов был собран анамнез, проведен осмотр полости рта, компьютерная томография челюстей. Пациентам был поставлен клинический диагноз по классификации МКБ-10 – К08.1; по классификации Кеннеди дефекты зубных рядов у всех паци-

ентов соответствовали III классу, который был поставлен на нижних челюстях во всех случаях.

Для подготовки к лечению и составлению его плана на денто-моделях были смоделированы клинические ситуации пациентов и проработаны протоколы предстоящего лечения, исследование проводилось в несколько этапов.

На первом этапе пациентам была проведена компьютерная томография (КТ) на аппарате «Planmeca». Была определена плотность костной ткани челюстей пациентов в областях дефектов зубных рядов. Расчет плотности костной ткани производился посредством установления соответствия значений серого цвета на полученной томограмме линейно со значениями серого цвета, показывающимися на мониторе (рис. 2). Исходя из данной методики расчета, значения интенсивности отображения серого цвета на компьютерной томограмме выражаются в соответствии со шкалой Хаунсфилда. Так, результат сканирования выводился на монитор, каждому пикселю был присвоен свой оттенок серой шкалы, который варьировался в зависимости от величины коэффициента ослабления [Ивашенко и др., 2008]. Данные коэффициенты ослабления рентгеновского излучения выражаются в единицах Хаунсфилда (HU). Во всех клинических случаях трабекулярная кость челюстей всех пациентов имела тип D3, кортикальная пластинка кости имела тип D2, соотношение плотности костной ткани по шкале Хаунсфилда с ее типом оценивалось по общепринятым методам и данным [Долгалев и др., 2018]. Таким образом, были получены данные, по которым возможно было провести подбор костной ткани челюсти свиньи с таким же типом плотности костной ткани, как и у пациентов. Для подбора соответствующего типа костной ткани также было проведено КТ-исследование нескольких челюстей свиней. Подходящая для исследования трабекулярная костная ткань челюсти свиньи в среднем должна была показывать интенсивность около 500–600 HU, а кортикальная пластина – около 1000 HU.

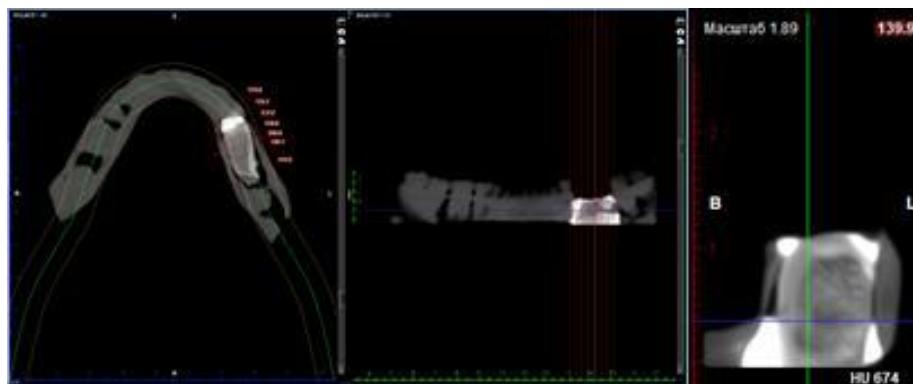


Рис. 2. Расчет плотности костной ткани в соответствии со шкалой Хаунсфилда
Fig. 2. Calculation of bone density in accordance with the Hounsfield scale

На втором этапе исследования были получены отиски верхних и нижних челюстей всех пациентов с применением А-силиконовых отисковых масс, были изготовлены гипсовые модели челюстей. Гипсовые модели были отсканированы на 3D-сканере и оцифрованы. Исходя из плана дентальной имплантации, составленного на основании КТ-исследования, на оцифрованных моделях челюстей пациентов в программе «Exocad» в альвеолярных отростках были смоделированы полости в местах дефектов зубных рядов для дальнейшей установки фрагментов костных тканей челюсти свиньи (рис. 3). После подготовки виртуальных моделей они были отправлены на 3D-печать, после чего были получены полимерные модели челюстей исследуемых пациентов, имеющие полости для установки костных фрагментов из челюсти свиньи. Также на этапе 3D-моделирования были получены и сохранены размеры смоделированных полостей в местах дефектов зубных

рядов. Исходя из этих данных, путем фрезерования были получены фрагменты костной ткани из челюсти свиньи из тех ее участков, в которых они точно соответствовали параметрам плотности костной ткани челюстей пациентов. При этом отфрезерованные фрагменты также соответствовали по размеру и форме полостям в местах дефектов зубных рядов на моделях. Фрагменты костной ткани были припосованы и зафиксированы в полостях, дополнительно были закреплены винтами.

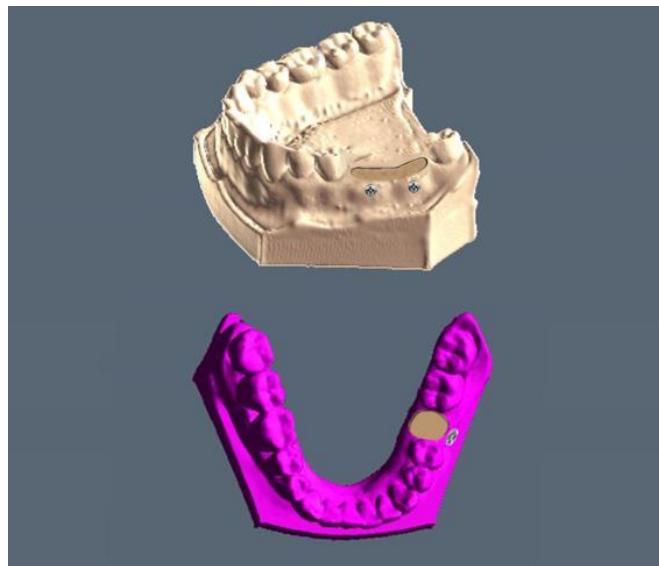


Рис. 3. Трехмерные денто-модели со смоделированными полостями в местах дефектов зубных рядов для дальнейшей установки фрагментов костных тканей челюсти свиньи

Fig. 3. Three-dimensional dento-models with modernized postures in places of dentition defectives for further installations of fragments of bone tissue of pig

На третьем этапе исследования была составлена методология применения моделей челюстей при подготовке пациентов к дентальной имплантации. Предварительно для операции имплантации были подготовлены навигационные хирургические акриловые шаблоны, которые также использовались на денто-моделях челюстей пациентов. По навигационным шаблонам во фрагментах костной ткани свиньи были сформированы ложа имплантатов путем препарирования остеотомических отверстий для имплантатов системы «MIS» (Израиль). После чего в сформированные ложа во фрагментах костных тканей были установлены дентальные имплантаты с усилием фиксации, не превышающим 35 Нсм, ниже уровня кости, соответствующего уровню маргинальной кости челюстей пациентов, отображенном на денто-моделях. В каждую из моделей нижней челюсти пациентов были интегрированы по 2 имплантата «MIS». После установки имплантатов была определена их первичная стабильность клиническим методом с применением динамометрического ключа, также был проведен частотно-резонансный анализ с применением устройства «Penguin RFA» (Швеция). Данный метод реализовывался укреплением к имплантатам специализированного стержня «SmartPeg» с помощью винтового соединения. При этом «SmartPeg» активируется электромагнитным импульсом, и устройство определяет зависимость между вынужденной частотой колебаний имплантата и жесткостью окружающей его костной ткани [Nakashima, 2018]. После интеграции имплантатов и оценки качества проведенного этапа были установлены абатменты. На денто-моделях челюстей пациентов было проведено восковое моделирование прототипов будущих ортопедических коронок с опорой на установленные имплантаты непосредственно на их абатментах. После завершения хирургического и ортопедического протоколов было проведено КТ-исследование денто-моделей для оценки качества подготовительного этапа работы. Таким образом, на данном

этапе был просчитан пошаговый план имплантации и дальнейшего протезирования, определены оптимальные пространственные положения и взаимоотношения ортопедических конструкций и выявлены возможные погрешности, которые могут возникнуть при установке имплантатов и их супраструктур.

После моделирования клинических ситуаций пациентов и составления окончательных хирургических и ортопедических протоколов всем пациентам в клинике была проведена дентальная имплантация с немедленной нагрузкой имплантатов временными ортопедическими конструкциями, изготовленными по заранее созданным на денто-моделях прототипам.

Результаты исследования

По результатам исследования были смоделированы три клинические ситуации пациентов на реалистичных денто-моделях челюстей. Во всех случаях полностью был реализован хирургический этап дентальной имплантации с контролем качества имплантации, полностью составлен, но частично реализован протокол ортопедической реабилитации пациентов, что обусловлено только восковым моделированием прототипов будущих коронок без создания временных ортопедических конструкций непосредственно на денто-моделях.

Так, у двоих пациентов предварительное проведение протокола лечения не выявило определенных затруднений для предстоящей имплантации. Определенная на моделях первичная стабильность имплантатов была достаточно высокой и составляла 35 Нсм при динамометрическом teste и от 71 до 78 единиц ISQ (коэффициент стабильности имплантата) по показаниям частотно-резонансного анализа. Реальная имплантация была проведена с заранее оптимально подобранным комплектом имплантологических направляющих, винтовых и пилотных сверл благодаря предварительному проведению имплантации на моделях, что позволило добиться более предсказуемого исхода операции.

При предварительном создании клинической ситуации на моделях у одного из трех пациентов была выявлена погрешность при расчете угла установки одного из имплантатов. Проблема возникла вследствие того, что оператор ориентировал положение имплантата исходя из положения прилегающих к зоне имплантации зубов, ограничивающих дефект зубного ряда с медиальной стороны. Вследствие долговременного наличия дефекта зубного ряда прилегающие зубы приняли избыточный мезиодистальный наклон (феномен Попова – Годона), что не было учтено при первичном планировании лечения исходя из данных КТ-исследования. Таким образом, навигационный шаблон, созданный по данным расчетам и направляющий пилотное сверло, создавал нежелательный угол дивергенции между двумя планируемыми к установке имплантатами, что затруднило бы протокол ортопедического лечения. Было проведено повторное планирование установки имплантатов с иной, более оптимальной схемой расположения. После чего проводилось повторное моделирование ситуации на моделях с дополнительным контролем компьютерной томографии. После проведения имплантации на моделях были достигнуты высокие коэффициенты стабильности имплантатов с регистрацией показателей ISQ более 68 единиц.

Этапы имплантации, реализованные на денто-моделях, позволили установить, что свиная кость демонстрирует высокое сходство с человеческой костью по составу и минеральной плотности, что дополнительно создает реалистичность использования денто-моделей. При создании (сверлении) отверстий в костной ткани свиньи оператор ощущает сопротивление кости, а именно ее компактного и губчатого слоев, приближенных по строению к кости альвеолярного отростка челюсти человека. Данное свойство полезно для

обучающихся, так как позволяет освоить мануальные навыки и более полноценно воссоздавать тактильные ощущения, как при работе с реальным пациентом.

Был проработан этап анализа стабильности имплантатов с помощью общепринятого аппаратного метода, установлено, что денто-модель пригодна для подобных типов исследований с учетом того, что фрагмент костной ткани свиньи прочно закреплен в модели. Таким образом, денто-модели могут быть пригодны не только для работы с частотно-резонансными методами оценки стабильности имплантатов, но также и для проведения экспериментальных исследований с ультразвуковыми методами оценки, на развитие которых в том числе нацелена дальнейшая работа с использованием таких моделей. Эта перспектива подкрепляется тем, что фиксация фрагмента костной ткани в денто-модели потенциально высока для того, чтобы использовать различные физические методы оценки первичной стабильности имплантатов.

Выводы

Проведенное исследование подтвердило ожидаемую эффективность метода моделирования клинических ситуаций с использованием разработанных реалистичных денто-моделей челюстей. В описанных случаях использование денто-моделей упростило подготовку к операции дентальной имплантации у трех пациентов стоматологической поликлиники РязГМУ, а также оптимизировало хирургические и ортопедические протоколы ведения данных пациентов. При этом разработанные модели и методология их использования были внедрены в учебный процесс на кафедрах ортопедической и хирургической стоматологии РязГМУ. Таким образом, денто-модели могут быть полноценно применены при обучении студентов, ординаторов, врачей для развития их практических навыков, а также для моделирования реальных клинических условий, приближенных к реальности. После проведения этапов обучения возможна наглядная оценка ошибок симуляционной операции дентальной имплантации и их разбор. Эффективность и результативность использования реалистичных денто-моделей в клинических и учебных условиях обеспечивается их высокой точностью благодаря современным 3D-технологиям их изготовления. Совмещение технологий 3D-моделирования, печати, фрезерования, результатов компьютерной томографии, реализованное в разработанных моделях, создает практически неограниченные возможности моделирования всевозможных вариантов реальных клинических ситуаций, экспериментальных исследований, практических наблюдений. Кроме этого, представленные модели могут служить полигоном для испытаний различных инновационных материалов для имитации костных и мягких тканей человека, обеспечивать наглядность физических, математических и механических методов определения стабильности дентальных имплантатов и их супраструктур. Планируется проведение предварительной оценки качества этапов имплантации и протезирования, выполненных на денто-моделях, на постоянной основе в клинической практике, а также оценка погрешностей и просчет возможных сложностей лечения, что потенциально повышает качество стоматологического лечения при дефектах зубных рядов и полном отсутствии зубов.

Список литературы

1. Ананьева А.Ш., Бараева Л.М., Быков И.М., Веревкина Ю.В., Курзанов А.Н. 2021. Моделирование повреждений костных структур в экспериментах на животных. Инновационная медицина Кубани, (1): 47–55.
2. Долгалев А.А., Нечаева Н.К., Аракелян Н.Г., Дмитриенко А.В., Кадурина В.С. 2018. Оценка плотности костной ткани с использованием программного обеспечения компании Vatech. Медицинский Алфавит, 1 (2): 59–62.

3. Должиков А.А., Должикова И.Н. 2018. Выбор экспериментальной модели в биомедицинских исследованиях имплантатов (обзор). Научные результаты биомедицинских исследований, (4) 3: 49–62.
4. Винниченко О.Ю. 2016. Методы оценки плотности костной ткани альвеолярного отростка челюстей и ее значение для увеличения срока функционирования протезной конструкции. Стоматология, 95 (4): 83–86.
5. Волков А.В., Смбатян Б.С., Назарян Д.Н., Мураев А.А. 2018. Новая морфометрическая номенклатура для оценки остеоинтеграции внутрикостных имплантатов. Современные технологии в медицине, 10 (3): 7–13.
6. Иващенко С.В., Ваганов Ю.В., Томашёва А.Ю. 2008. Денситометрическая оценка состояния костной ткани после воздействия низкочастотным ультразвуком в эксперименте с помощью компьютерной томографии. Медицинский журнал, (3): 90–92.
7. Карбах Д., Аль-Навас Б. 2014. Сравнение соединений имплантат – абатмент. Российский вестник дентальной имплантологии, (2): 87–90.
8. Лесняк О.М. 2020. Новый метод оценки прочности костной ткани: радиочастотная эхографическая мультиспектрометрия. Эффективная фармакотерапия, 16 (19): 38–44.
9. Ромодановский П.О., Баринов Е.Х. 2020. Судебная стоматология: учебное пособие для вузов. М., Юрайт, 598.
10. Тимофеев А.А., Ушко Н.А., Тимофеев А.А., Ярифа М.А., Фесенко Е.И. 2016. Показатели периодонтометрии зубов у здоровых людей. Современная стоматология, 82 (3): 71–73.
11. Emmanuel G., Vayron R. and Haiat G. 2020. Estimation of dental implant stability using quantitative ultrasound measurements. Clin. Oral. Impl. Res., 31 (20): 12–12.
12. Fraulob M., Vayron R., Le Cann S., Lecuelle B., Hériteaux Y., Lomami H., Lachanielle C.H., Haiat G. 2020. Quantitative ultrasound assessment of the influence of roughness and healing time on osseointegration phenomena. Sci. Rep., (10): 2–12.
13. Heriveaux Y., Vayron R., Fraulob M., Lomami H., Lenormand C., Haiat G. 2021. Assessment of dental implant stability using resonance frequency analysis and quantitative ultrasound methods. Journal of Prosthodontic Research, (65): 1–7.
14. Leocadio A., Junior M., Oliveira G., Pinto G., Faeda R., Padovan L., Junior E. 2020. Evaluation of Implants with Different Macrostructures in Type I Bone-Pre-Clinical Study in Rabbits. Materials (Basel), 13 (7): 1521–1533.
15. Nakashima D., Ishii K., Matsumoto M., Nakamura M., Nagura T. 2018. A study on the use of the Osstell apparatus to evaluate pedicle screw stability: An in-vitro study using micro-CT. PLoS One, 13 (6): 1–16.
16. Rittel D., Dorogoy A., Haiat G., Shemtov-Yona K. 2019. Resonant frequency analysis of dental implants. Med. Eng. Phys., 66: 65–74.
17. Vayron R., Nguyen V.-H., Bosc R., Naili S., Haiat G. 2016. Assessment of the biomechanical stability of a dental implant with quantitative ultrasound: A three-dimensional finite element study. The Journal of the Acoustical Society of America, (139): 773–780.
18. Vayron R., Nguyen V.-H., Lecuelle B., Haiat G. 2018. Evaluation of dental implant stability in bone phantoms: Comparison between a quantitative ultrasound technique and resonance frequency analysis. Clin. Implant. Dent. Relat. Res., 20 (4): 470–478.
19. Vayron R., Nguyen V.-H., Lecuelle B., Lomami A., Meningaud J.-P., Bosc R., Haiat G. 2018. Comparison of Resonance Frequency Analysis and of Quantitative Ultrasound to Assess Dental Implant Osseointegration. Sensors, (18): 1397–1413.
20. Vayron R., Soffer E., Anagnostou F., Haiat G. 2014. Ultrasonic evaluation of dental implant osseointegration. Journal of Biomechanics, 47 (14): 3562–3568.

References

1. Anan`eva A.Sh., Baraeva L.M., By`kov I.M., Verevkina Yu.V., Kurzanov A.N. 2021. Modelirovanie povrezhdenij kostnyx struktur v eksperimentax na zhivotnyx [Modeling of bone injuries in animal experiments]. Innovacionnaya medicina Kubani, (1): 47–55.
2. Dolgalev A.A., Nechaeva N.K., Arakelyan N.G., Dmitrienko A.V., Kadurina V.S. 2018. Ocenka plotnosti kostnoj tkani s ispol`zovaniem programmnogo obespecheniya kompanii Vatech [Assessment of bone density using Vatech software]. Medicinskij Alfavit, 1 (2): 59–62.

3. Dolzhikov A.A., Dolzhikova I.N. 2018. Vy'bor e`ksperimental`noj modeli v biomedicinskix issledovaniyax implantatov (obzor) [The problem of experimental model choice in biomedical researches of implants (review)]. Nauchnye rezul`taty` biomedicinskix issledovanij, (4) 3: 49–62.
4. Vinnichenko O.Yu. 2016. Metody` ocenki plotnosti kostnoj tkani al`veolyarnogo otrostka chelyustej i ee znachenie dlya uvelicheniya sroka funkcionirovaniya proteznoj konstrukcii [Methods of alveolar bone density assessment and its value for long-term prosthetic functioning]. Stomatologiya, 95 (4): 83–86.
5. Volkov A.V., Smbatyan B.S., Nazaryan D.N., Muraev A.A. 2018. Novaya morfometricheskaya nomenklatura dlya ocenki osteointegracii vnutrikostnyx implantatov [A novel morphometric nomenclature to evaluate osseointegration of intraosseous implants]. Sovremennye texnologii v medicine, 10 (3): 7–13.
6. Ivashenko S.V., Vaganov Yu.V., Tomasheva A.Yu. 2008. Densitometricheskaya otsenka sostoyaniya kostnoj tkani posle vozdeystviya nizkochastotnym ul'trazvukom v eksperimente s pomoshch'yu kompyuternoy tomografii [Densitometric assessment of the state of bone tissue after exposure to low-frequency ultrasound in an experiment using computed tomography]. Meditsinskiy zhurnal, (3): 90–92.
7. Karbax D., Al`-Navas B. 2014. Sravnenie soedinenij implantat – abatment [Comparison of the implant-abutment]. Rossijskij vestnik dental`noj implantologii, (2): 87–90.
8. Lesnyak O.M. 2020. Novyj metod ocenki prochnosti kostnoj tkani: radiochastotnaya e`xograficheskaya mul'tispektrometriya [The New Method of Bone Strength Assessment: the Echographic Radio Frequency Multispectrometry]. Efektivnaya farmakoterapiya, 16 (19): 38–44.
9. Romodanovskii P.O., Barinov E.Kh. 2020. Sudebnaya stomatologiya: uchebnoe posobie dlya vuzov [Forensic Dentistry: A Study Guide for Universities]. Moscow, Yurait, 598.
10. Timofeev A.A., Ushko N.A., Timofeev A.A., Yarifa M.A., Fesenko E.I. 2016. Pokazateli periotestometrii zubov u zdorovyx lyudej [Indicators of teeth in periotestometrii healthy people]. Sovremennaya stomatologiya, 82 (3): 71–73.
11. Emmanuel G., Vayron R. and Haiat G. 2020. Estimation of dental implant stability using quantitative ultrasound measurements. Clin. Oral. Impl. Res., 31 (20): 12–12.
12. Fraulob M., Vayron R., Le Cann S., Lecuelle B., Hériteaux Y., Lomami H., Lachaniette C.H., Haiat G. 2020. Quantitative ultrasound assessment of the influence of roughness and healing time on osseointegration phenomena. Sci. Rep., (10): 2–12.
13. Heriveaux Y., Vayron R., Fraulob M., Lomami H., Lenormand C., Haiat G. 2021. Assessment of dental implant stability using resonance frequency analysis and quantitative ultrasound methods. Journal of Prosthodontic Research, (65): 1–7.
14. Leocadio A., Junior M., Oliveira G., Pinto G., Faeda R., Padovan L., Junior E. 2020. Evaluation of Implants with Different Macrostructures in Type I Bone-Pre-Clinical Study in Rabbits. Materials (Basel), 13 (7): 1521–1533.
15. Nakashima D., Ishii K., Matsumoto M., Nakamura M., Nagura T. 2018. A study on the use of the Osstell apparatus to evaluate pedicle screw stability: An in-vitro study using micro-CT. PLoS One, 13 (6): 1–16.
16. Rittel D., Dorogoy A., Haiat G., Shemtov-Yona K. 2019. Resonant frequency analysis of dental implants. Med. Eng. Phys., 66: 65–74.
17. Vayron R., Nguyen V.-H., Bosc R., Naili S., Haiat G. 2016. Assessment of the biomechanical stability of a dental implant with quantitative ultrasound: A three-dimensional finite element study. The Journal of the Acoustical Society of America, (139): 773–780.
18. Vayron R., Nguyen V.-H., Lecuelle B., Haiat G. 2018. Evaluation of dental implant stability in bone phantoms: Comparison between a quantitative ultrasound technique and resonance frequency analysis. Clin. Implant. Dent. Relat. Res., 20 (4): 470–478.
19. Vayron R., Nguyen V.-H., Lecuelle B., Lomami A., Meningaud J.-P., Bosc R., Haiat G. 2018. Comparison of Resonance Frequency Analysis and of Quantitative Ultrasound to Assess Dental Implant Osseointegration. Sensors, (18): 1397–1413.
20. Vayron R., Soffer E., Anagnostou F., Haiat G. 2014. Ultrasonic evaluation of dental implant osseointegration. Journal of Biomechanics, 47 (14): 3562–3568.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Гуськов Александр Викторович, доцент, заведующий кафедрой ортопедической стоматологии и ортодонтии с курсом пропедевтики стоматологических заболеваний Рязанского государственного медицинского университета имени академика И.П. Павлова, г. Рязань, Россия

Кузнецов Александр Вячеславович, доцент, профессор кафедры хирургической стоматологии и челюстно-лицевой хирургии с курсом ЛОР-болезней Рязанского государственного медицинского университета имени академика И.П. Павлова, г. Рязань, Россия

Олейников Александр Александрович, ассистент кафедры ортопедической стоматологии и ортодонтии с курсом пропедевтики стоматологических заболеваний Рязанского государственного медицинского университета имени академика И.П. Павлова, г. Рязань, Россия

Мазлум Махмуд, ассистент кафедры хирургической стоматологии и челюстно-лицевой хирургии с курсом ЛОР-болезней Рязанского государственного медицинского университета имени академика И.П. Павлова, г. Рязань, Россия

Осман Аббас, клинический ординатор кафедры ортопедической стоматологии и ортодонтии с курсом пропедевтики стоматологических заболеваний Рязанского государственного медицинского университета имени академика И.П. Павлова, г. Рязань, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Aleksandr V. Gus'kov, associate professor, Head of the Department of Orthopedic Dentistry and Orthodontics with a course of propaedeutics of dental diseases, Ryazan State Medical University, Ryazan, Russia

Aleksandr V. Kuznetsov, associate professor, Professor of the Department of Surgical stomatology and Maxillofacial surgery with a course of ENT-diseases, Ryazan State Medical University, Ryazan, Russia

Aleksandr A. Oleynikov, Assistant Professor of the Department of Orthopedic Dentistry and Orthodontics with a course of propaedeutics of dental diseases, Ryazan State Medical University, Ryazan, Russia

Makhmud Mazlum, Assistant Professor of the Department of Surgical stomatology and Maxillofacial surgery with a course of ENT-diseases, Ryazan State Medical University, Ryazan, Russia

Abbass Osman, Clinical Resident of the Department of orthopedic dentistry and orthodontics with the course of propaedeutics of dental diseases, Ryazan State Medical University, Ryazan, Russia