

# **I Всероссийская научно-практическая конференция «3D инновации в медицине и фармакологии»**

**Материалы конференции**

Нижний Новгород - 2016

I Всероссийская научно-практическая конференция «3D инновации в медицине и фармакологии» (8 апреля 2016 г., г.Нижний Новгород). Материалы конференции: ФГБУ «ПФМИЦ» Минздрава России, 2016, 24 с.

Материалы отражают основные научные направления работы конференции:

Применение аддитивных технологий 3D печати в медицине.

Трехмерная биопечать и биофабрикация – настоящее и будущее.

Современные материалы для 3D печати.

Техническое и программное обеспечение 3D печати в медицине.

3D технологии в создании макетов для обучения и предоперационного планирования.

3D инновации в фармакологии.

Лекарственные препараты – как обязательный компонент в лечении пациентов с использованием технологий 3D печати.

## Содержание

3D КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ПРЕДОПЕРАЦИОННОМ ПЛАНИРОВАНИИ У ПАЦИЕНТОВ С КОРАЛЛОВИДНЫМ НЕФРОЛИТИАЗОМ (Аляев Ю.Г., Газимиев М.С.-А., Песегов С.В., Фиев Д.Н., Саенко В.С.) .....	5
3D КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ПЛАНИРОВАНИИ И ИНТРАОПЕРАЦИОННОЙ НАВИГАЦИИ У ПАЦИЕНТОВ С НОВООБРАЗОВАНИЯМИ ПОЧЕК (Аляев Ю.Г., Газимиев М.С.-А., Песегов С.В., Петровский Н.В., Фиев Д.Н.) .....	6
ПРИМЕНЕНИЕ СОЗДАВАЕМЫХ НА 3D ПРИНТЕРЕ ОРТЕЗОВ В ЛЕЧЕНИИ ПАЦИЕНТОВ ТРАВМАТОЛОГО-ОРТОПЕДИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ (Горбатов Р.О., Казаков А.А.) .....	7
3D ТЕХНОЛОГИИ В СОЗДАНИИ МАКЕТА ПОЧКИ ДЛЯ ПРЕДОПЕРАЦИОННОЙ И ИНТРАОПЕРАЦИОННОЙ НАВИГАЦИИ. НАШ ПЕРВЫЙ ОПЫТ (Глыбочко П.В., Аляев Ю.Г., Газимиев М.С.-А., Песегов С.В.) .....	9
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ МАРКЕРОВ И МЕТОДОВ ОПТИЧЕСКОГО БИОИМИДЖИНГА ДЛЯ ЗАДАЧ ТКАНЕВОЙ ИНЖЕНЕРИИ (Кузнецова Д.С., Мелешина А.В., Тимашев П.С., Воротеляк Е.А., Загайнова Е.В.) .....	10
РАЗРАБОТКА НОВОЙ МЕТОДИКИ РЕКОНСТРУКЦИИ ЧЕЛЮСТНО-ЛИЦЕВОЙ ОБЛАСТИ ПРИ ПОМОЩИ ИМПЛАНТАТОВ ИЗ БИОАКТИВНОЙ КЕРАМИКИ И 3-D ТЕХНОЛОГИЙ (Кульков С.Н., Кульбакин Д.Е., Буякова С.П., Чойнзонов Е.Л., Чернов В.И., Буяков А.С., Мухамедов М.Р., Новиков А.Е.) .....	12
ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ 3D ПЕЧАТИ ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ СЛУЧАЕВ ПЕРВИЧНОГО И РЕВИЗИОННОГО ЭНДОПРОТЕЗИРОВАНИЯ ТАЗОБЕДРЕННОГО СУСТАВА (Мурылев В.Ю., Рукин Я.А., Музыченков А.В.) .....	13
ГЕЛИ – ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ БИОПРИНТИНГА (Покусаев Б.Г., Карлов С.П., Вязьмин А.В., Некрасов Д.А., Резник В.В.) .....	15
ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИКИ ФОРМИРОВАНИЯ АГАРОЗНОГО ГЕЛЯ (Покусаев Б.Г., Складнев Д.А., Карлов С.П., Вязьмин А. В., Некрасов Д.А., Храмов Д.П.) .....	16
МЕТОД ОЦЕНКИ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ БИООБЪЕКТОВ В ГЕЛЯХ, ОСНОВАННЫЙ НА ИССЛЕДОВАНИИ НАНОЧАСТИЦ МЕТАЛЛОВ (Складнев Д.А., Сорокин В.В., Тюпа Д.В., Некрасов Д.А., Храмов Д.П.) .....	17
АППАРАТ ВНЕШНЕЙ ФИКСАЦИИ ДЛЯ КИСТИ И ПРЕДПЛЕЧЬЯ НА ОСНОВЕ КОМПОНЕНТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ТРЕХМЕРНОЙ ПЕЧАТИ (Столяров И.И., Королёв С.Б.) .....	18
СТЕРЕОЛИТОГРАФИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ПОРИСТЫХ 3-D МОДЕЛЕЙ (Чесноков С.А., Конев А.Н., Ковылин Р.С., Юдин В.В.) .....	19

3D НАВИГАЦИЯ В ПРАКТИКЕ ХИРУРГА ИМПЛАНТОЛОГА (Шаленкова И.В.) .....	20
3D СЕЛЕКТИВНОЕ ЛАЗЕРНОЕ СПЛАВЛЕНИЕ НИЗКОМОДУЛЬНОГО БИОИНЕРТНОГО СПЛАВА ТИТАН-НИОБИЙ ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ ПРИЛОЖЕНИЙ (Шаркеев Ю.П.) .....	22
ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ТРЕХМЕРНОЙ ПЕЧАТИ В ТРАВМАТОЛОГИИ И ОРТОПЕДИИ (Шишкин В.Б., Голубев В.Г.) .....	23

# **3D КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ПРЕДОПЕРАЦИОННОМ ПЛАНИРОВАНИИ У ПАЦИЕНТОВ С КОРАЛЛОВИДНЫМ НЕФРОЛИТИАЗОМ**

**Аляев Ю.Г., Газимиев М.С.-А., Песегов С.В., Фиев Д.Н., Саенко В.С.**

**ГБОУ ВПО Первый МГМУ имени И.М.Сеченова, Москва,**

**Введение.** Мочекаменная болезнь до настоящего времени продолжает оставаться одним из самых распространенных урологических заболеваний. Наиболее тяжелой формой мочекаменной болезни является коралловидный нефролитиаз (КН), составление алгоритма лечения и профилактики которого самый дискуссионный и противоречивый вопрос. Залогом эффективности лечения этой категории пациентов служит необходимость тщательного планирования и прогнозирования результатов с учетом таких факторов, как стадия КН, внутреннее строение почки, опыт хирурга и т.д. В связи с этим ведущую роль в анализе прогностических критериев занимают диагностические мероприятия. Широкое применение в этом направлении в настоящее время приобретают компьютерные технологии, одной из таких методик является 3d компьютерное моделирование (КМ) патологического процесса. Эта методика основана на обработке и анализе результатов компьютерной томографии с помощью программной платформы для визуализации трехмерных образов. Отличительной особенностью компьютерного моделирования служит возможность анализа индивидуальных топографо-анатомических особенностей строения органа в совокупности с патологическим процессом. Созданная компьютерная модель почки помогает хирургу в виртуальном режиме оценить все технические аспекты предстоящего пособия.

**Материалы, методы.** С целью оценки роли 3d моделирования в предоперационном планировании пациентов с КН нами проведен анализ обследования и лечения 143 пациентов с различными формами коралловидных камней (КК). Группа пациентов с 3d КМ составила 71 пациент (49,6%), в контрольную группу вошли 72 пациента (50,4%) со стандартным перечнем обследования. Деление в подгруппах производилось на основании стадии КН, видов выполненного оперативного вмешательства и различных особенностей внутреннего строения почки – формы строения чашечно-лоханочной системы, типа ротации чашечек. Также для оценки роли КМ в предоперационном планировании проводился ретроспективный анализ частоты интраоперационных осложнений (кровотечение и наличие резидуальных камней).

**Результаты.** Общая эффективность лечения КН составила 96,5% (n=143). Частота встречаемости осложнений при хирургическом лечении составила 27,3%, в том числе

наличие резидуальных камней 17,48%, интраоперационных кровотечений 8,39%. Применение 3d компьютерного моделирования при предоперационном планировании позволило сократить частоту встречаемости интраоперационных кровотечений на 5,48% и встречаемость резидуальных камней на 12,34%.

**Выводы.** Внедрение в клиническую практику таких современных технологий, как 3d компьютерное моделирование позволяет получить более четкое представление об индивидуальной анатомии почки, локализации и форме коралловидного камня, что является основополагающими факторами в выборе характера оперативного лечения, а также позволяет повысить эффективность и безопасность предстоящего пособия.

## **3D КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ПЛАНИРОВАНИИ И ИНТРАОПЕРАЦИОННОЙ НАВИГАЦИИ У ПАЦИЕНТОВ С НОВООБРАЗОВАНИЯМИ ПОЧЕК**

**Аляев Ю.Г., Газимиев М.С.-А., , Песегов С.В., Петровский Н.В., Фиев Д.Н.**

**ГБОУ ВПО Первый МГМУ имени И.М.Сеченова, Москва**

**Введение.** Опухоли почки представляют собой многочисленную группу новообразований различной морфологической структуры и составляют около 3% в структуре всех онкологических заболеваний. Следует отметить, что в последние годы отмечается устойчивая тенденция к увеличению абсолютного числа больных раком почки (РП). Радикальная нефрэктомия является наиболее распространенным методом лечения РП, однако со временем все большее применение находят органосохраняющие операции (ОСО). Техническое осуществление такого вмешательства должно быть максимально продумано и запланировано на основании тщательного предоперационного обследования. Особого внимания требуют пациенты с полностью внутривнепочечным расположением опухоли, что делает данный вид пособия наиболее трудным в техническом исполнении. Внедрение в современную медицинскую практику компьютерных технологий, основанных на принципе трехмерного моделирования, позволяет получать комплексные изображения, с которыми можно выполнять различные диагностические манипуляции и виртуальные операции, планировать в деталях предполагаемое вмешательство.

**Материалы, методы.** С целью изучения роли 3d моделирования в предоперационном планировании пациентов с РП нами проведен анализ результатов 216 оперативных вмешательств, в том числе 119 органосохраняющих. В исследовании участвовали 112 мужчин, 104 женщины, средний возраст – 59,2 года и 56,2 года соответственно. В зависимости от локализации опухолевого процесса пациенты были распределены следующим

образом – 94 пациента (43,5%) смешанная локализация, экстраренальная у 68 (31,5%), а интраренальная локализация опухоли имела место у 54 пациентов (25%). Компьютерное 3d моделирование было выполнено у 109 пациентов, стандартный перечень обследования – у 107.

**Результаты.** Предоперационное 3d моделирование у пациентов, которым планировалась ОСО по поводу опухоли почки, позволило выполнить оперативное вмешательство за меньший промежуток времени и с меньшей кровопотерей по сравнению с группой контроля.

**Выводы.** Все этапы хирургического вмешательства разрабатываются заранее на модели виртуальной операции, а во время ее реального выполнения хирург имеет возможность уточнить и выполнить наиболее технически сложные и важные моменты оперативного пособия с ориентировкой на единую картину патологического процесса. Особенно велико значение применения данного метода у больных двусторонним раком почек, при поражении единственной почки, а также во всех случаях, когда операция представляется технически трудновыполнимой, и возникают сомнения в ее осуществимости.

## **ПРИМЕНЕНИЕ СОЗДАВАЕМЫХ НА 3D ПРИНТЕРЕ ОРТЕЗОВ В ЛЕЧЕНИИ ПАЦИЕНТОВ ТРАВМАТОЛОГО-ОРТОПЕДИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ**

**Горбатов Р.О., Казаков А.А.**

**ФГБУ «ПФМИЦ» Минздрава России, Нижний Новгород**

Переломы верхней конечности являются одним из самых распространенных видов травм опорно-двигательного аппарата и достигают 43% случаев [Цито им. Н.Н.Приорова, 2015г.]. Наиболее часто повреждается дистальный метаэпифиз лучевой кости, и более чем у 80% пациентов возможно его консервативное лечение [Измалков С.Н., Семенкин О.М., 2005г., Ortner F., Krammer G., 2002г.]. Однако число неудовлетворительных результатов достигает 53% и обусловлено вторичным смещением в гипсовой повязке, что связано с ее ослаблением после спадения отека [Тарасевич Т.Ю., Трубников В.И., 2010г., Афаунов А.И. и соавт., 2001]. Кроме того, данный вид иммобилизации при отсутствии постоянного наблюдения врача за пациентом в большинстве случаев приводит к развитию синдрома Зудека, проявляющегося спонтанными болями в кисти, нарушением кровообращения и терморегуляции [Кузнецова Н.Л., 2004]. Отрицательными свойствами гипсовой повязки также являются: большой вес, ломкость при эксплуатации, особенно при функциональных нагрузках, загрязнение как снаружи, так и изнутри кожными выделениями, размыкание и

потеря необходимых свойств при попадании воды. Это требует неоднократных ее замен особенно при длительных сроках лечения [С.Е. Никитин, М.В. Паршиков 2011 г.]. Одной из актуальных проблем в травматологии и ортопедии является также и лечение косолапости. Более 100 тысяч детей во всем мире ежегодно рождаются с данной патологией, лечение которой в большинстве случаев консервативное и связано с этапным наложением гипсовых повязок [Ponseti, I.V., 2005].

**Цель исследования** – оценить эффективность разработанных ортезов в консервативном лечении пациентов с патологиями верхней и нижней конечности.

**Материалы и методы.** Работа основана на проведении клинического и рентгенологического обследования 23 пациентов, которым с 2015 по 2016гг в ФГБУ «ПФМИЦ» Минздрава России проведено лечение патологий верхней и нижней конечности с помощью разработанных ортезов, которые изготавливались на 3D принтере. Двое больных были с установленным диагнозом врожденной двусторонней косолапости, 15 – с закрытым посттравматическим повреждением капсульно-связочного аппарата межфаланговых суставов пальцев кисти, двое – с переломом дистального метаэпифиза проксимальной фаланги второго пальца кисти, двое – с переломом дистального метаэпифиза средней фаланги третьего пальца кисти, один – с резанной раной в проекции средней фаланги 4 пальца кисти; один – с закрытым переломом дистального метаэпифиза лучевой кости (вторая неделя после закрытой репозиции). Всем пациентам проведено клиническое обследование, которое включало оценку состояния кожных покровов, обследование по опроснику SF-36, оценивающее состояние больных в процессе иммобилизации разработанными ортезами. При рентгенологическом обследовании пациентов с переломами оценивали выраженность консолидации, наличие или отсутствие признаков вторичного смещения отломков. Методика создания ортезов включала в себя измерение биометрических параметров области, необходимой для иммобилизации, создание по этим данным триангулярной модели ортеза и последующую ее печать на FDM 3D принтере. После этого проводилась термоформовка ортеза, в результате которой он приобретал форму, соответствующую всем анатомическим особенностям области для иммобилизации конкретного пациента (изгибы, костные выступы и т.д.).

**Результаты и обсуждение.** У всех пациентов с переломами имелась полная их консолидация, вторичное смещение отломков отсутствовало. По данным опросника SF-36, достигнуты отличные результаты лечения по всем показателям: боль – 11 баллов, общее здоровье – 23 балла, жизнеспособность – 22 балла, социальное функционирование – 8 баллов, эмоциональное функционирование – 5 баллов, психологическое здоровье – 27 баллов. Кроме того, у всех пациентов отсутствовал зуд, ксероз кожных покровов. У больных с косолапостью разработанные ортезы обеспечили сохранение достигнутого положения стопы на весь период лечения.

**Заключение.** Разработанные ортезы являются эффективным средством иммобилизации при различных патологиях верхних и нижних конечностей, обеспечивающим отличные, как



рентгенологические, так и клинические, результаты лечения. Их преимуществами являются: малый вес, быстрая процедура наложения, влагостойкость, «дышащая структура», персонифицированность, эстетический вид. Пациенты, лечившиеся ранее с помощью гипсовых повязок, отмечали значительное улучшение качества жизни в процессе иммобилизации при использовании ортезов, создаваемых на 3D принтере.

## **3D ТЕХНОЛОГИИ В СОЗДАНИИ МАКЕТА ПОЧКИ ДЛЯ ПРЕДОПЕРАЦИОННОЙ И ИНТРАОПЕРАЦИОННОЙ НАВИГАЦИИ. НАШ ПЕРВЫЙ ОПЫТ.**

**Глыбочко П.В., Аляев Ю.Г., Газимиев М.С.-А., Песегов С.В.**

**ГБОУ ВПО Первый МГМУ имени И.М.Сеченова, Москва**

**Введение.** Технология 3D-печати появилась в 80-х годах, но только в последние годы стала активно внедряться в различные сферы деятельности человека: создание деталей для самолетов и автомобилей, макетов будущих построек, игрушек, элементов одежды, оружия, медицинских изделий, фрагментов человеческого тела и др. 3D-печать позволяет упростить многие процессы производства в той или иной сфере деятельности. Существенным преимуществом 3D-печати является то, что «из ничего» мы можем получить все, что нам нужно. Для построения 3D-модели применяются разнообразные материалы и методики: фотополимеры в технологии стереолитографии, воск для многоструйной печати, термопластики для послойного наплавления, гипсовый композит для струйной трехмерной печати, металл, керамика, пластик для лазерного спекания, бумага для послойного склеивания пленок и др. Основными и наиболее часто применяемыми методиками являются: послойное наплавление (FDM) и стереолитография (SLA).

Активное развитие 3D-печати открывает новые возможности и в медицине. 3D-модели имплантатов позволяют заменить различные части тела. Макеты для предоперационного планирования позволяют снизить риск медицинских ошибок. 3D-модели почек при злокачественной опухоли или коралловидном нефролитиазе являются лучшим помощником в планировании операции. Они улучшают методику обучения студентов, освоение практических навыков и технику операции. 3D-модели помогают грамотно предоставлять информацию о патологическом процессе и планировать предстоящую операцию.

**Материалы, методы.** С целью оценки роли 3D-модели почек в предоперационной и интраоперационной навигации у пациентов с опухолью почки (ОП) и коралловидным нефролитиазом (КН) нами проанализирован мировой и собственный опыт 3D-печати почек при ОП и КН.

**Результаты.** Анализ существующих методик 3D-печати почек и собственного опыта показал, что существенными недостатками получаемых 3D-моделей являются плохая прозрачность, монохромность и ригидность получаемых 3D-моделей почек. Разработанная нами двух-трех этапная печать моделей почек позволяет получить полихромные, прозрачные и эластичные модели почек при ОП и КН.

**Выводы.** Внедрение в урологическую практику современных, усовершенствованных 3D-моделей почек при ОП и КН позволяет существенно улучшить представление об индивидуальной анатомии почки, локализации и форме опухоли почки, коралловидного камня. Знание особенностей анатомии магистральных и сегментарных сосудов почки, их взаимоотношение с патологическим процессом позволяет улучшить предоперационную и интраоперационную навигацию, повысить эффективность и безопасность предстоящего оперативного пособия.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ МАРКЕРОВ И МЕТОДОВ ОПТИЧЕСКОГО БИОИМИДЖИНГА ДЛЯ ЗАДАЧ ТКАНЕВОЙ ИНЖЕНЕРИИ**

**Кузнецова Д.С.<sup>1,2</sup>, Мелешина А.В.<sup>1,2</sup>, Тимашев П.С.<sup>3</sup>, Воротеляк Е.А.<sup>4</sup>,  
Загайнова Е.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>НИИ БМТ НижГМА, Нижний Новгород;

<sup>2</sup>ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород;

<sup>3</sup>ИПЛИТ РАН, Троицк; 4ИБР РАН, Москва

В настоящее время особую нишу в биомедицине занимает тканевая инженерия. Данная область представляет собой объединение большого числа междисциплинарных исследований, но ряд задач по-прежнему остается нерешенными. Одной из таких актуальных задач является доклиническое тестирование биоинженерных конструктов. Мы предлагаем использовать для этих целей методы оптического биоимиджинга и генетические маркеры. Эти уникальные технологии позволяют визуализировать отдельные подсаженные в конструкты клетки, их миграцию, пролиферацию, а также изучать процессы клеточной дифференцировки.

Изучение эпигенетических механизмов дифференцировки стволовых клеток и поиск методов неповреждающей оценки степени дифференцировки представляют собой передовое направление. Мы предложили использовать для этих целей многофотонную флуоресцентную микроскопию и FLIM-имиджинг. С помощью этих методов по изменению времени жизни флуоресценции свободной и связанной форм восстановленного никотинамиддинуклеотида

фосфата НАД(Ф)Н и окислительно-восстановительного коэффициента ФАД/НАД(Ф)Н было показано переключение метаболизма мезенхимных стромальных клеток (МСК) с гликолиза на окислительное фосфорилирование в процессе дифференцировки.

Ключевой стратегией устранения костных дефектов является использование скаффолдов с подсаженными стволовыми клетками. Одними из наиболее перспективных до сих пор остаются МСК. Существует много исследований, показывающих улучшение костной регенерации при участии МСК, однако до сих пор остается открытым вопрос о том, насколько подсаженные МСК вовлечены в восстановление собственной ткани. С помощью методов флуоресцентной стереомикроскопии и генетического мечения МСК флуоресцентным белком GFP было показано, что МСК в течение длительного времени способны сохранять свою активность на скаффолдах. Также они непосредственно участвуют в образовании костной ткани и, предположительно, сосудов в месте дефекта.

В качестве ещё одной актуальной задачи можно представить оценку структуры и качества дермальных эквивалентов (ДЭ), используемых для заживления кожных ран. С помощью оптической когерентной томографии (ОКТ) и мультифотонной томографии были проведены исследования изменений в структуре коллагенового геля в модели ДЭ. Качество клеточных компонентов по автофлуоресценции клеток и времени жизни НАД(Ф)Н в составе ДЭ оценивали с помощью многофотонного томографа с FLIM-системой. Формирование коллагеновых волокон визуализировали посредством генерации второй гармоники с помощью мультифотонного томографа. Показано, что клетки дермальной папиллы контрактируют (сжимают) коллагеновый гель на 3-й день после создания ДЭ, что свидетельствует о формировании упорядоченных волокон коллагена.

Таким образом, методы оптического биоимиджинга и генетического мечения представляют собой мощный инструмент для решения огромного количества задач как в тканевой инженерии, так и в биомедицине в целом.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект №14-15-00536).

# РАЗРАБОТКА НОВОЙ МЕТОДИКИ РЕКОНСТРУКЦИИ ЧЕЛЮСТНО-ЛИЦЕВОЙ ОБЛАСТИ ПРИ ПОМОЩИ ИМПЛАНТАТОВ ИЗ БИОАКТИВНОЙ КЕРАМИКИ И 3-D ТЕХНОЛОГИЙ

Кульков С.Н.<sup>1</sup>, Кульбакин Д.Е.<sup>1,2</sup>, Буякова С.П.<sup>1</sup>, Чойнзонов Е.Л.<sup>2</sup>,  
Чернов В.И.<sup>2</sup>, Буяков А.С.<sup>1</sup>, Мухамедов М.Р.<sup>2</sup>, Новиков А.Е.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Национальный исследовательский Томский Государственный Университет

<sup>2</sup> ФГБНУ «Томский НИИ онкологии»

<sup>3</sup> ФГБУ «Приволжский федеральный медицинский исследовательский центр»  
Минздрава России

**Введение.** Основным методом лечения опухолей челюстно-лицевой области остается хирургический. Обширное местное распространение опухолей данной локализации требует выполнения широких резекций, приводящих к образованию обширных и сложных послеоперационных дефектов, которые без последующей реконструкции приводят к грубым косметическим и функциональным нарушениям. Ввиду чего в последнее время наметилась отчетливая тенденция по поиску новых, безопасных, эффективных методик реконструкции челюстно-лицевой области у данной категории больных. Следует отметить, что кости лицевого отдела черепа имеют самую сложную геометрию среди всех костей скелета, что существенно затрудняет его протезирование. Для решения этой проблемы в современной реконструктивной хирургии исследования направлены на разработку индивидуальной технологии эндопротезирования лицевого отдела черепа с использованием 3D технологий и 3D принтинга.

**Материалы и методы.** Проведено доклиническое исследование пористой керамики на основе  $Al_2O_3$  и  $ZrO_2(Y_2O_3)+Al_2O_3$ . Экспериментальные исследования проводились на базе аккредитованных испытательных лабораторных центров: ФБНУ «Новосибирский НИИ гигиены», испытательная лаборатория доклинических исследований «БИОМИР» Института медико-биологических исследований и технологий, г. Москва (ИЛДИ «БИОМИР» АНО «ИМБИИТ»), ФГБУ «ПФМИЦ» Минздрава России. Экспериментальное исследование проводилось на половозрелых беспородных белых крысах, а также на кроликах породы Шиншилла. После получения результатов по доклиническому исследованию проведена разработка методики изготовления индивидуальных имплантатов из керамики с использованием 3D печати. Для этого использовались данные спиральной компьютерной томографии черепно-лицевой области (выполненной по стандартным методикам). С учетом предполагаемого объема хирургической резекции лицевого скелета создавалась трехмерная модель области реконструкции. По полученной 3D модели дефекта челюстно-лицевой

области, с учетом всех антропометрических особенностей черепа, создавался индивидуальный имплантат из биоактивной керамики с использованием методики 3D печати.

**Результаты.** Проведенное доклиническое исследование на экспериментальных животных позволило сделать вывод о том, что материал безопасен, имеет замечательные остеоинтегративные свойства и пригоден для изделий медицинского назначения длительной имплантации. Результаты исследования позволяют рекомендовать изделие медицинского назначения костнозамещающего препарата из пористой керамики на основе  $Al_2O_3$  и  $ZrO_2(Y_2O_3)+Al_2O_3$  для клинического изучения. В ходе разработки методики изготовления индивидуальных имплантатов из керамики с использованием 3D печати получены экспериментальные образцы индивидуальных (на основе данных спиральной компьютерной томографии) имплантатов для реконструкции наиболее сложных и часто возникающих областей – скуло-орбитального комплекса и нижней челюсти. Созданные имплантаты точно повторяют форму и контуры резецированных участков лицевого отдела черепа, обладают всеми прочностными характеристиками (соответствующими костной ткани).

**Заключение.** Таким образом, по результатам проведенного исследования была доказана безопасность и дальнейшая перспективность использования пористой керамики в реконструктивной хирургии. Также разработана оригинальная технология персонализированного подхода к замещению послеоперационных дефектов челюстно-лицевой области имплантатами из биоактивной керамики с использованием 3-D технологий. Получены прототипы остеоимплантатов из биоактивной керамики челюстно-лицевой области для возмещения пострезекционных дефектов челюстно-лицевой области.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ 3D ПЕЧАТИ ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ СЛУЧАЕВ ПЕРВИЧНОГО И РЕВИЗИОННОГО ЭНДОПРОТЕЗИРОВАНИЯ ТАЗОБЕДРЕННОГО СУСТАВА**

**Мурылев В.Ю., Рукин Я.А., Музыченков А.В.**

**ГБОУ ВПО Первый Московский Государственный Университет им. И. М. Сеченова,  
Москва**

**Введение.** В последнее время в различных отраслях науки и техники все большее и большее развитие получают технологии 3D печати. Медицина не остается в стороне, 3D печать активно применяется в стоматологии, ортопедии и других специальностях. Довольно сложной представляется проблема планирования трудных случаев первичного и ревизионного эндопротезирования тазобедренного сустава, особенно при наличии крупных дефектов вертлужной впадины. Данная область имеет очень сложные анатомические

взаимоотношения и зачастую даже изображение компьютерной томографии не позволяет понять локализацию и протяженность костного дефицита и соответственно подобрать правильный имплант для операции эндопротезирования.

**Материалы и методы.** Технологии 3D печати для планирования первичного и ревизионного эндопротезирования тазобедренного сустава на клинической базе кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф ПМГМУ им. И. М. Сеченова в ГКБ им. С. П. Боткина применяются с октября 2015 года. Суть методики заключается в следующем. Пациенту со значительным дефицитом вертлужной впадины перед операцией выполняется компьютерная томография пораженного тазобедренного сустава. Далее инженер обрабатывает КТ изображения, выделяя костную ткань и удаляя мягкие ткани и все имеющиеся импланты. Из полученных изображений создается компьютерная 3D модель вертлужной впадины. Далее на основании компьютерной модели на 3D принтере распечатывается гипсовая модель вертлужной впадины в натуральную величину. Она представляет собой точную копию кости пациента, и на ней возможно планирование реконструкции вертлужной впадины и подбор имплантов необходимого дизайна и размера. С применением данной методики мы выполнили планирование 7 операций первичного и 16 операций ревизионного эндопротезирования тазобедренного сустава. Все эти пациенты имели тяжелые дефекты вертлужной впадины Paprosky IIC, IIIA и IIIB.

**Результаты.** Тип планируемых имплантов на гипсовой модели и примененных во время операции совпал во всех случаях. Диаметр вертлужного компонента в точности соответствовал планируемому у 14 пациентов (60,9 %), у оставшихся 9 пациентов (39,1 %) отклонение не превышало 1 размер (2 мм). Количество планируемых и реально имплантированных дополнительных аугментов (применены у 17 пациентов (73,9 %)) совпало во всех случаях. У 1 пациента с тяжелым разрушением вертлужной впадины и множественными ревизионными операциями в анамнезе с применением подобной технологии распечатан индивидуальный имплант вертлужной впадины из титана с пористостью и резекционные направители к нему. С применением данного импланта выполнена ревизионная операция.

**Выводы.** 1. Печать точной 3D модели вертлужной впадины со всеми костными дефектами позволяет эффективно и точно спланировать реконструкцию и избежать потери интраоперационного времени. 2. Необходимы дальнейшие разработки в отношении печати индивидуальных имплантов.

## ГЕЛИ – ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ БИОПРИНТИНГА

Покусаев Б.Г., Карлов С.П., Вязьмин А.В., Некрасов Д.А., Резник В.В.

Университет машиностроения, Москва

Гели – дисперсные системы, имеющие жидкую дисперсионную и микроструктурированную за счет сил межмолекулярного взаимодействия дисперсную фазу. Гели способны проявлять свойства упругости и пластичности, а при больших сдвиговых напряжениях – текучести. Для них характерно свойство тиксотропии, т.е. восстановления формы при механическом разрушении. При этом содержание структурообразующей дисперсной фазы может составлять всего от нескольких процентов до десятых долей процента. Гели подвержены старению с течением времени, т. е. изменению своих физико-химических свойств, в том числе с выделением жидкой фазы (синерезис).

Капиллярная сеть гелей способна обеспечить подвод к живым клеткам питательных веществ и кислорода и в то же время удаление продуктов их метаболизма. Практическая реализация такого подхода требует постановки и решения новых фундаментальных задач изучения физико-химических и реологических свойств гелей, а также основополагающих закономерностей процессов массо- теплопереноса в них.

Известно, что свойства гелей зависят от состава гелеобразующей среды и метода приготовления. Опубликовано большое число исследований, посвященных методам синтеза гелей различной химической природы. Так, некоторые гели образуются за счет химической реакции, типа полимеризации (например, гидрогель кремниевой кислоты, гель гиалуроновой кислоты с кросслинкером). Другие гели образуются при охлаждении в процессе поликонденсации (агарозные и желатиновые гели). Однако в технологии применения многие свойства гелей являются общими. Например, важнейшими особенностями, проявляющимися в процессах массопереноса в гелях, является их нестационарность и анизотропия, обусловленные структурой и поведением среды переноса.

Исследована кинетика формирования и некоторые свойства гелей кремниевой кислоты разной плотности. Такие гели стабильны, просты в применении, не токсичны и пригодны для формирования опорных матриц для выращивания тканей. Серьезный недостаток – этот гель не является биорезорбируемым и может применяться только вне организма. Получены спектры проходящего через гель света в диапазоне длин волн от 300 до 1100 нм с разрешением 1 нм. Используемая методика и оборудование позволили получить временное разрешение измерений менее 1 с и пространственное разрешение менее 1 мм, что обеспечивает возможность исследовать временную динамику изменения оптической плотности среды в процессе реакции образования кремниевой кислоты и гелеобразования.

Показано, что при гелеобразовании происходит сдвиг максимальной частоты проходящего света по спектру в красную область, что позволяет установить кинетические закономерности образования микроструктурированной среды. Установлено, что времена гелеобразования практически не зависят от плотности геля. Определена динамика изменения плотности силикатных гелей при старении, что позволит моделировать изменения формы и размеров гелевых матриц во времени. Показано, что гели пространственно неоднородны и анизотропны, а их плотность значительно уменьшается вблизи свободной границы. Для гелей различной плотности методом движущейся границы измерены коэффициенты диффузии в них истинных растворов. Определены некоторые свойства многослойных гелевых структур различной плотности, которые важны при развитии технологии послойного нанесения гелей для создания опорных матриц для выращивания тканей.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 15-19-00177.

## **ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИКИ ФОРМИРОВАНИЯ АГАРОЗНОГО ГЕЛЯ**

**Покусаев Б.Г.<sup>1</sup>, Складнев Д.А.<sup>2</sup>, Карлов С.П.<sup>1</sup>, Вязьмин А. В.<sup>1</sup>,  
Некрасов Д.А.<sup>1</sup>, Храмцов Д.П.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Университет машиностроения, Москва,

<sup>2</sup> Институт микробиологии им. С.Н. Виноградского РАН, Москва

Агарозные гели широко применяются в пищевой промышленности, медицине, косметологии, микробиологии и т.д. В результате охлаждения в процессе поликонденсации водного раствора агарозы получают сформировавшуюся структуру геля. В последнее время особый интерес представляет применение агарозных гелей при создании медико-биологических объектов, основанных на технологии 3D печати. В отличие от многих гелей, агарозный гель обладает свойствами биорезорбируемости, при этом являясь питательной средой для многих видов микробиологических объектов.

Известно, что скорость охлаждения существенно может влиять на структуру формирующегося геля. В настоящей работе экспериментально исследована кинетика формирования агарозного геля разной плотности в интервале температур от 86 до 20°C, с использованием спектрографических методов в диапазоне длин волн от 300 до 1100 нм с разрешением 1 нм и получены температурные зависимости изменения максимумов интенсивности прохождения света. Кроме этого, установлено, что помимо изменения значения интенсивности происходит смещение длины волны по максимуму интенсивности в инфракрасную область, что косвенно позволяет оценить структурные изменения в геле. Для



гелей разной плотности определены температурные диапазоны фазового перехода из жидкого состояния в структурированный гель.

С целью изучения теплофизических свойств геля и определения коэффициента температуропроводности для различных концентраций проведены эксперименты по динамике формирования геля в условиях естественного охлаждения. Получены временные распределения полей температур в геле, и проведено численное решение задачи нестационарной теплопроводности с целью определения зависимости коэффициента температуропроводности от концентрации.

Выполнены исследования по изменению структуры агарозного геля в зависимости от времени. Получены временные характеристики изменения зависимостей значений интенсивности проходящего света. Показано, что на временах, характерных для процесса формирования геля, а также временах иммобилизации различных биообъектов спектральной картины “старения” геля не наблюдалось.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 15-19-00177.

## **МЕТОД ОЦЕНКИ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ БИООБЪЕКТОВ В ГЕЛЯХ, ОСНОВАННЫЙ НА ИССЛЕДОВАНИИ НАНОЧАСТИЦ МЕТАЛЛОВ**

**Складнев Д.А.<sup>1</sup>, Сорокин В.В.<sup>1</sup>, Тюпа Д.В.<sup>1</sup>, Некрасов Д.А.<sup>2</sup>, Храмцов Д.П.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> **Институт микробиологии им. С.Н. Виноградского РАН, Москва**

<sup>2</sup> **Университет машиностроения, Москва**

Интерес к иммобилизации живых клеток обусловлен рядом преимуществ таких систем. В проекте авторы использовали подход, основанный на иммобилизации живых клеток микроорганизмов, для оценки перспектив иммобилизации живых клеток человека при использовании гелей в 3D биопринтинге.

В качестве носителей, применяемых для иммобилизации клеток, использовались гели на основе кремниевой кислоты и полисахарида агарозы, приготовление которых имеет свои особенности, в частности, контролируется показатель преломления света при прохождении через раствор. Установлено, что агарозный гель имеет размер пор, обеспечивающий удовлетворительную доставку к клеткам всех ростовых факторов, включая кислород. На данном этапе работы был использован один из наиболее простых и точных традиционных методов, основанный на прямом контроле увеличения оптической плотности культур, иммобилизованных в гелях, при краткосрочном подрачивании.

Из новейших методов использовался разработанный авторами проекта метод, позволяющий оценивать физиологическое состояние клеток микроорганизмов по их способности формировать наночастицы металлов *in situ*, названный авторами проекта методом OBNG (Observation of Biogenic Nanoparticles Growth). Метод позволяет быстро оценивать динамику формирования наночастиц *in situ* и выявляет значимые характеристики микроорганизмов. Биогенные наночастицы металлов формируются *in situ* при восстановлении в реакционном растворе соответствующих катионов в присутствии тех или иных клеток. Таким образом, метод OBNG основан на регистрации формирующихся наночастиц металлов, приобретающих – в отличие от исходных для них растворов катионов – уникальные свойства кристаллических структур. Регистрация наноразмерных кристаллов металлов, соответственно, может быть проведена с высокой точностью различными физическими методами.

В качестве бактериального модельного объекта для иммобилизации использовали культуру актинобактерий *Dietzia sp.*, а в качестве эукариотического модельного микроорганизма использовали специально сконструированную культуру непатогенных генетически маркированных аскомицетных дрожжей *Yarrowia lipolytica* Y-3603.

Приготовление гелей и подготовка микробиологических объектов в экспериментах по иммобилизации клеток модельных биообъектов осуществлялись по специально разработанной методике.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 15-19-00177.

## **АППАРАТ ВНЕШНЕЙ ФИКСАЦИИ ДЛЯ КИСТИ И ПРЕДПЛЕЧЬЯ НА ОСНОВЕ КОМПОНЕНТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ТРЕХМЕРНОЙ ПЕЧАТИ**

**Столяров И.И.<sup>1</sup>, Королёв С.Б.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ГБУЗ НО «Больница скорой медицинской помощи г. Дзержинск»,

<sup>2</sup>ГБОУ ВПО «Нижегородская государственная медицинская академия»

Задачи: 1) использование 3D-печати как метода, повышающего доступность и позволяющего индивидуализировать АВФ, быстро внедрить конструктивные изменения 2) облегчение distraction по оси конечности в АВФ 3) упрощение натяжения и фиксации спиц к опорам аппарата внешней фиксации, перемещения вдоль своей оси спиц с упорной площадкой с целью репозиции. Материалы и методы. В проектировании использовалось свободное программное обеспечение: редактор трехмерной графики Blender 2.76, для

подготовки 3d- модели к печати — Slic3R 1.2.9. Опорные кольца аппарата изготовлены методом FDM 3d-печати (послойное наплавление филамента) на 3D-принтере RepRap Prusa i3 из пластика PLA, ABS и NIPS. Остальные компоненты образца общедоступны в розничной и оптовой продаже (шпильки, гайки, калиброванные гладкие стержни, подшипники скольжения). Результаты. Получен работоспособный образец АВФ. Опорные кольца собраны из полуколец с помощью болтов и гаек, имеют тороидальную форму с отверстиями и прорезями. Оси отверстий не перпендикулярны плоскости кольца, как у аппарата Илизарова, а лежат в плоскости опорного кольца соосно спицам. Кольца, спроектированные с помощью 3d- моделирования, изготовленные методом 3d-печати, как следствие метода проектирования и изготовления, имеют большие возможности быстрой индивидуализации устройства. Такая конструкция колец позволяет использовать предлагаемые спицефиксаторы с функцией натяжения спиц. Спицефиксатор состоит из резьбовой шпильки с прорезью по её диаметру и с каналом по оси. Он надевается на спицу, одновременно проходя через отверстие опорного кольца так, чтобы прорезь была на периферическом его конце. На спицефиксатор накручивается гайка. Спица в пазу загибается и фиксируется второй гайкой. После этого с помощью гайки осуществляется тракция спицы. Такая конструкция спицефиксатора для тракции и фиксации спицы к кольцу требует простых действий – ослабления и затягивания двух гаек, а в случае спицы с упорной площадкой или напайкой есть возможность для репозиции. За счет измененной конструкции опорных колец и использования в качестве штанг аппарата одной резьбовой шпильки и двух гладких стержней-направляющих в сочетании с подшипниками скольжения облегчена простая дистракция по оси конечности, которая осуществляется за счет передвижения всего двух гаек на одной резьбовой шпильке. Выводы: Созданный образец, по нашему мнению, имеет характеристики, подходящие для использования его как АВФ в лечении переломов и некоторых заболеваний предплечья, кисти, но для внедрения в практику необходимо проведение дальнейших исследований, проектных работ и усовершенствований.

## **СТЕРЕОЛИТОГРАФИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ПОРИСТЫХ 3-D МОДЕЛЕЙ**

**Чесноков С.А., Конев А.Н., Ковылин Р.С., Юдин В.В.**

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт  
металлоорганической химии им. Г.А. Разуваева Российской академии наук, ИМХ РАН,  
Нижний Новгород**

Одним из направлений научных и практических исследований по созданию персонафицированных костных имплантатов является синтез полимерных имплантатов или

их матриц необходимой пористой структуры с использованием аддитивных технологий. Проведённые нами исследования показали, что для решения этих задач можно использовать методы оптической литографии и стереолитографии. Отличительной особенностью предложенного подхода является то, что при оптическом синтезе 3D изделия реализуются процессы самоформирования в объёме полимера пористых структур, размер которых можно задавать, управляя процессами микрофазового расслоения созданной нами фотополимеризующейся системы. Реализованы процессы формирования под действием однородного излучения видимого диапазона из фотополимеризующихся композиций (ФПК) на основе диметакрилатов ТГМ-3, МДФ-2 и ОКМ-2 слоёв пористых поли-диметакрилатных матриц с плоской и сферической поверхностью толщиной до 10 мм. Возможность формирования слоёв такой толщины определяется спектральными характеристиками фотоиницирующей системы на основе о-хинонов, которая чувствительна к видимому свету до 650 нм. Остальные компоненты ФПК поглощают в УФ- и синей областях спектра. Соответственно, актиничное излучение проходит в объём ФПК на большую глубину, и полимеризуются «толстые» слои композиции с образованием однородных полимерных монолитов. Экспериментально реализован стереолитографический процесс аддитивного формирования 3-х мерного пористого изделия. Получены зависимости точности формирования слоёв от состава ФПК и условий экспонирования. Точность воспроизведения геометрии границы пористой матрицей зависит от состава композиций, толщины слоя ФПК, условий экспонирования и достигает 0.05 мм при толщине слоя 1 мм. Установлено, что в многослойных образцах образуется единая система взаимосвязанных открытых пор. Это делает возможным использование данного подхода к синтезу пористых 3D полимерных матриц для создания персонализированных костных имплантатов.

## **3D НАВИГАЦИЯ В ПРАКТИКЕ ХИРУРГА ИМПЛАНТОЛОГА**

**Шаленкова И.В.**

На современном этапе развития стоматологии остается актуальной проблема лечения больных с частичным и полным отсутствием зубов и дефектами челюстей. Внутрикостные имплантаты стали неотъемлемой частью стоматологии и значительно расширили спектр ортопедических возможностей. Предсказуемость результата имплантологического лечения во многом зависит от этапа планирования. В вопросе планирования дентальной имплантации наиболее важно перенести виртуальные данные о позиционировании имплантатов в полость рта пациента. Успешно решить эту задачу позволяет применение 3D-

стереолитографического шаблона, изготовленного по данным КТ. Основной составляющей всего процесса является протетический аспект – выбор ортопедической конструкции на начальных этапах планирования. Технология применения навигационных хирургических шаблонов заключается в предварительном планировании параметров и локализации имплантатов, определении их количества и осевого расположения. Затем в лаборатории тем или иным способом проводится изготовление хирургического шаблона. Одной из современных и ведущих программ для планирования и дальнейшего изготовления такого шаблона является программа DDS-Pro.

Алгоритм обследования и планирования имплантологического лечения пациентов с применением индивидуального навигационного хирургического шаблона, изготовленного по программе DDS-Pro, следующий: во время консультации пациента и составления плана лечения необходимо провести компьютерную томографию полости рта. Затем стоматолог ортопед снимает двойной силиконовый оттиск полости рта пациента и отправляет в лабораторию для изготовления гипсовой модели. В лаборатории проводится сканирование рельефа мягких тканей по гипсовой модели при помощи оптического сканера для получения максимально точной виртуальной модели челюсти. Полученная виртуальная модель совмещается с результатом компьютерной томографии, и проект отправляется доктору. Далее лечащий врач проводит виртуальное планирование дентальной имплантации и отправляет проект в лабораторию для изготовления хирургического стереолитографического шаблона. На основе полученного виртуального плана программно создается хирургический шаблон, который затем вытачивается в CAD-CAM машине или печатается на 3D принтере. Изготовленные таким образом 3D навигационные хирургические шаблоны являются прецизионными, позволяют с высокой степенью точности установить имплантат с учетом последующей ортопедической конструкции и анатомических особенностей челюстей.

Таким образом, использование 3D навигационных хирургических шаблонов позволяет провести операцию установки имплантатов с максимальной точностью, минимальной инвазивностью и минимальными временными затратами, позволяет облегчить пациенту послеоперационный период и свести к минимуму риск осложнений. Кроме того, быстро и эффективно изготовить любую временную конструкцию с опорой на имплантаты и еще до начала хирургического этапа реабилитации получить наглядное представление о конечной протезной конструкции и предсказуемо воплотить это в реальность.

# **3D СЕЛЕКТИВНОЕ ЛАЗЕРНОЕ СПЛАВЛЕНИЕ НИЗКОМОДУЛЬНОГО БИОИНЕРТНОГО СПЛАВА ТИТАН-НИОБИЙ ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ ПРИЛОЖЕНИЙ**

**Шаркеев Ю.П.**

**ИФПМ СО РАН, НИ ТПУ, Томск**

Среди сплавов медицинского применения особое место занимают биоинертные низкомолекулярные сплавы на основе системы Ti-Nb. Комплекс их физико-механических характеристик, прежде всего низкий модуль упругости, и биоинертные свойства определяют их применение в качестве материала для медицинских имплантатов. Сплав состава Ti-40 мас. % Nb (Ti40Nb) имеет наименьший модуль упругости [1] для системы Ti-Nb. Использование аддитивных технологий 3D-печати, например методов селективного лазерного сплавления (СЛС) и селективного электронно-лучевого сплавления, является во многих случаях единственной альтернативой изготовления деталей особо сложной формы на станках с ЧПУ или с помощью традиционного литейного метода. В связи с этим развитие метода СЛС является перспективным в производстве имплантатов и эндопротезов. Кроме того, данный метод позволяет получать изделия с заданной пористостью, что является достаточно важным для обеспечения лучшей остеоинтеграции материала имплантата с костью. Поэтому в настоящее время развитие метода СЛС и изучение процессов формирования структуры и фазообразования является актуальной задачей.

В работе изучены особенности строения низкомолекулярного биоинертного сплава Ti-40 мас.%Nb (Ti40Nb), полученного методом СЛС композитного порошка титана и ниобия. Исходный композитный порошок требуемого состава получен механической активацией порошков чистых компонентов в шаровой мельнице АГО-2С в течение 15-20 мин. Частицы композитного порошка имели овальную форму с размерами 5-60 мкм. Селективное лазерное сплавление выполнялось на установке ВАРИСКАФ 100МВ. С помощью рентгеноструктурного анализа, растровой и просвечивающей электронной микроскопии исследованы особенности строения сплава. Определено, что в процессе сканирования лазерного луча по поверхности композитного порошка образуются зоны плавления и кристаллизации сплава с зеренно-дендритной структурой. Трансляция зон плавления и кристаллизации формирует конечный объем сплава, а тем самым и задаваемое изделие. В сплаве образуется сегрегация компонентов. На участках сплава, обедненных ниобием, формируется неравновесная  $\alpha'$ -фаза с орторомбической кристаллической решеткой. На участках, обогащенных ниобием, образуется  $\beta$ -фаза с ОЦК решеткой. Зерна  $\alpha'$ -фазы размером 0.1-0.7 мкм имеют пластинчатое строение и локализованы по границам зерен  $\beta$ -фазы, имеющих размеры 5-7 мкм. Средняя микротвердость сплава равна 4800 МПа. Для

получения в сплаве равновесной и однородной структуры предложена дополнительная термообработка.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 15-19- 00191. Автор признателен сотрудникам ИФПМ СО РАН и НИ ТПУ, принявшим участие в выполнении работы.

## **ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ТРЕХМЕРНОЙ ПЕЧАТИ В ТРАВМАТОЛОГИИ И ОРТОПЕДИИ**

**Шишкин В.Б., Голубев В.Г.**

**ФГБУЗ «Центральная Клиническая Больница Российской Академии Наук», Москва**

Планирование оперативного вмешательства является крайне важным этапом в травматологии и ортопедии, он позволяет обратить внимание на особенности клинического случая, выявить возможные проблемы во время проведения операции. На данном этапе возможно проведение оценки имеющихся костно-травматических изменений костно-мышечной системы, определение этапов вмешательства, выбор необходимого по размеру и параметрам импланта и определение его корректного расположения. Имеющиеся методы предоперационного планирования зачастую обособлены от непосредственного хирургического вмешательства и служат лишь ориентиром для хирурга, не позволяя воплотить проведенные расчеты в хирургической манипуляции.

**Целью** данного исследования явилась разработка методологии проведения предоперационного планирования у пациентов с переломами костей конечностей и посттравматическими деформациями костной системы с учетом индивидуальных особенностей изменений опорно-двигательного аппарата, расположения отломков, выбора подходящего импланта и корректного его расположения и переноса данной информации непосредственно в операционную рану для повышения точности и сокращения времени проведения оперативного вмешательства.

**Материалы и методы.** Для проведения работы были использованы данные мультиспиральной компьютерной томографии пациентов с переломами костей конечностей и посттравматическими деформациями костной системы. На основе входящих данных формировалась трехмерная модель сегмента, которая в дальнейшем подвергалась обработке в авторской компьютерной программе «МАРШ» (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ номер 2015661269 от 22.10.2015). Определялась необходимая коррекция положения отломков, плоскость остеотомии, необходимое расположение имплантата, после чего на трехмерном принтере формировался

индивидуальный хирургический шаблон- направитель, который полностью соответствовал анатомии пациента. По данному направителю выполнялась корригирующая остеотомия, а также формировались отверстия для проведения винтов, направление которых были рассчитаны заранее. В ряде случаев шаблон-направитель использовался в качестве навигационного устройства для доступа к определенному участку кости. В случае наличия дефекта кости выполнялось моделирование недостающего элемента с формированием обратной формы для литья, по которой изготавливался спейсер из костного цемента, либо из костно-пластического материала. Получаемая таким образом модель кости имела анатомию утраченного отдела и после имплантации выступала в качестве протеза или субстрата.

**Результаты и их обсуждение.** С применением вышеописанной методики в ЦКБ РАН прооперировано 107 пациентов, которые имели переломы и посттравматические деформации плечевой, бедренной, большеберцовой, пяточной костей, костей предплечья и кисти. Технология применялась у пациентов с костными опухолями лучевой и бедренной костей, а также при выполнении транспедикулярной фиксации позвонков в качестве навигационного дополнения. На контрольных рентгенограммах у всех пациентов положение костных отломков и металлофиксаторов было удовлетворительным и соответствовало рассчитанному.

**Выводы.** Использование технологий трехмерной компьютерной реконструкции и моделирования в сочетании с трехмерной печатью индивидуальных шаблонов-направителей уменьшает время проведения и повышает точность выполнения оперативных вмешательств у пациентов с переломами костей конечностей и посттравматическими деформациями костной системы с учетом индивидуальных особенностей каждого клинического случая.