Фрагмент конспекта

Ю.В. Лалов

Введение. Применение аддитивных технологий в медицине

# Слайд № 1

Введение. Применение аддитивных технологий в медицине.

# СЛАЙД № 2

Аддитивные технологии (англ. Additive Manufacturing) это технологии послойного наращивания и синтеза объектов. Широкое применение получили для так называемой фаббер-технологии (англ. fabber technology, также распространено наименование «3D-печать») — группы технологических методов производства изделий и прототипов, основанных на поэтапном формировании изделия путём добавления материала на основу (платформу или заготовку)

# СЛАЙД № 3

В начале восьмидесятых 20 века активно начали развиваться новые методы производства деталей, основанные не на удалении материала как традиционные технологии механической обработки, а на послойном изготовлении изделия по трехмерной модели, за счет добавления материала в виде пластиковых, керамических, металлических порошков и их связки термическим, диффузионным или клеевым методом. Группа этих технологий получила название «аддитивное производство».

За три десятилетия технология перешла от изготовления бумажных и пластиковых прототипов к непосредственному получению готовых функциональных изделий. К настоящему времени технология позволяет получать металлические и неметаллические прототипы и функциональные изделия, которые не требуют механической пост-обработки.

Технологии аддитивного производства совершили значительный рывок благодаря быстрому совершенствованию электронной вычислительной техники и программного обеспечения. Величина современного рынка аддитивного производства — около 1,3 млрд долларов, включая производство специального оборудования и оказание услуг в соотношении ориентировочно 1/1.

Доля России среди стран, активно развивающих и применяющих технологии аддитивного производства, составляет примерно 1,2 % (США — 39,1 %, Япония — 12,2 %, Германия — 8,0 %, Китай — 7,7 %) и показывает устойчивый рост.

# СЛАЙД № 4

В начале восьмидесятых 20 века активно начали развиваться новые методы производства деталей, основанные не на удалении материала как традиционные технологии механической обработки, а на послойном изготовлении изделия по трехмерной модели, за счет добавления материала в виде пластиковых, керамических, металлических порошков и их связки термическим, диффузионным или клеевым методом. Группа этих технологий получила название «аддитивное производство».

За три десятилетия технология перешла от изготовления бумажных и пластиковых прототипов к непосредственному получению готовых функциональных изделий. К настоящему времени технология позволяет получать металлические и неметаллические прототипы и функциональные изделия, которые не требуют механической пост-обработки.

Технологии аддитивного производства совершили значительный рывок благодаря быстрому совершенствованию электронной вычислительной техники и программного обеспечения. Величина современного рынка аддитивного производства — около 1,3 млрд долларов, включая производство специального оборудования и оказание услуг в соотношении ориентировочно 1/1.

Доля России среди стран, активно развивающих и применяющих технологии аддитивного производства, составляет примерно 1,2 % (США — 39,1 %, Япония — 12,2 %, Германия — 8,0 %, Китай — 7,7 %) и показывает устойчивый рост.

# СЛАЙД № 5

Вклад каждой отрасли, использующей аддитивные технологии различный. на рисунке представлены исследования использования аддитивного производства. Инженерия и материалы вносят значительный вклад в эту область, который составляет 56%. На медицину, стоматологию и биотехнологию приходится 17%, на фундаментальные науки и информатику - 21%, а на другие области приходится 6% в этой конкретной области.

# СЛАЙД № 6

Применение аддитивного производства в медицине и исследованиях постоянно расширяются. Мы взяли данные из Scopus, которые показывают, что использование этой технологии в медицине постоянно растет.

Всего с 2004 по 2016 год в этой полезной области было опубликовано 426 научных работ.

В 2004 году было опубликовано только три статьи в этой области, а к 2016 году их число увеличилось до 426. В 2016 году было опубликовано 133 статьи.

# СЛАЙД № 7

Шесть лидирующих журналов по созданию прототипов за 2016 год. Из них в Rapid Prototyping Journal – 12 работ и до 5 работ в Applied Mechanics And Materials.

# слайд № 8

ЗD – печать имеет много преимуществ и большой потенциал применения в медицине. С помощью этой технологии можно воспроизводить высокоточные трехмерные модели человеческих органов, моделировать имплантаты, выращивать необходимые ткани. Технология 3D моделирования нашла своё применение в хирургии, реабилитации, биомедицинской инженерии.

В мае 2018 года появилось устройство для формирования и расположения распечатанного образца ткани непосредственно на месте ожога.

# Слайд № 9

Современные технологии позволяют персонализировать 3D модели, сокращать время операции. Данная технология может применяться практически во всех медицинских специальностях, а использования в образовательном процессе позволяет более качественно и безопасно готовить медицинский персонал.

# слайд № 10

Быстрое распространение COVID-19 привело к острой нехватке подходящих мазков из носоглотки или назальных мазков, медицинского устройства длиной примерно 15 см и диаметром от 2 до 3 мм, предназначенного для сбора секрета из задней части носоглотки для диагностической выборки. Серьезный дефицит был вызван как сокращением предложения из-за остановок производства, так и беспрецедентным спросом. Новые возможности позволили компаниям выпускающим медицинские расходники, быстро начать производство носовых пробников.

# слайд № 11

Кратко рассмотрим стандартные стадии проектирования и создания 3D объектов:

1. Проектирование

2. Преобразование в полигональную

3. Передача файлов на машину

4. Настройка машины

5. Сборка

6. Удаление лишнего

7. Постобработка

8. Применение

# слайд № 12

Врачебные ошибки представляют собой серьезную проблему в клинической практике, что свидетельствует о необходимости использования современных хирургических средств для предоперационного планирования и репетиций. Обычно КТ и МРТ, а также методы трехмерной визуализации используются в качестве основных инструментов для хирургического планирования. Несмотря на эффективность, было бы полезно, если бы можно было разработать дополнительные вспомогательные средства и использовать их в особенно сложных процедурах, связанных с необычными анатомическими аномалиями, которые могли бы выиграть от материальных объектов, обеспечивающих пространственное восприятие, анатомическую точность и тактильную обратную связь. Последние достижения в области технологий 3D-печати облегчили создание моделей органов для конкретных пациентов с целью обеспечения эффективного решения для предоперационного планирования, репетиций и пространственно-временного картирования. Здесь мы рассматриваем современные технологии 3D-печати моделей органов для конкретных пациентов с акцентом на системы материалов для 3D-печати, интегрированные функции и их соответствующие хирургические приложения и последствия. Также широко обсуждаются предыдущие ограничения, текущий прогресс и будущие перспективы в этой важной области.

# слайд № 13

Рассмотрим относительные (коррегируемые) недостатки технологии в настоящее время

• Дополнительные расходы

• Дополнительное время

• Малая доступность в настоящее время

• Незначительный опыт применения в России

# слайд № 14

Какие технологии используются в медицине?

## Струйная биопечать

В этом типе метода биопечати смесь живых клеток и биочернила хранится в камере, соединенной с печатающей головкой. При этом пьезоэлектрический преобразователь деформирует печатающую головку. Пространственно определенные капли создают тканевые конструкции. Основное преимущество метода - низкая стоимость и высокая жизнеспособность клеток. Тем не менее, этот метод ограничен многочисленными проблемами, такими как засорение печатающей головки, неравномерное распределение ячеек и невозможность печати на вязких материалах. Из-за этих проблем струйная биопечать в последние годы получила меньшее внимание исследователей.

## Лазерная биопечать

Типичная лазерная биопечать (LAB) включает специализированные слои, такие как слой биочернилы, энергопоглощающий слой, донор (кварц / стекло) и собирающий слой, чтобы сформировать структуры [48]. Во время процесса лазерный луч фокусируется на энергопоглощающем слое. Затем этот слой испаряется и создает воздушный пузырь между слоями биочернилы и донора. Образование пузыря выбрасывает желаемое количество биочернилы на собирающий слой. Структура ткани создается капля за каплей. LAB можно использовать для вязких материалов с высокой плотностью ячеек. Кроме того, сообщалось, что этот метод характеризуется высокой жизнеспособностью клеток (95%) и решает проблемы засорения. Тем не менее, лабораторная лабораторная работа - дорогостоящий процесс, который требует очень высоких затрат в крупномасштабных проектах. Поэтому было создано всего несколько прототипов принтеров.

## Экструзия Биопечать

Техника экструзионной биопечати основана на экструзии жидкости (пасты, раствора) из шприца под давлением через иглу в раствор с контролируемой плотностью. Материалы экструдируются в виде длинных прядей или точек для создания сложных структур. Процесс печати можно проводить при комнатной температуре и использовать для печати природных биоматериалов, особенно гидрогелей.

## Стереолитография

Стереолитография (SLA) - это первый разработанный метод быстрого прототипирования, получивший распространение в конце 1980-х годов. Стереолитографические растры используют лазерный луч для управления процессом полимеризации биочувствительных элементов в 2D-слое. После нанесения каждого слоя материала следует отверждение. В процессе отверждения светочувствительный гидрогель подвергается воздействию УФ или видимого света. Когда данный слой полимеризуется, процесс повторяется, перекрывая предыдущий слой, до того момента, когда будет завершен весь каркас. Этот метод позволяет использовать следующие гидрогелевые материалы: диакрилат полиэтиленгликоля (PEGDA) и метакрилоил желатина (GelMA); также могут быть добавлены фотоинициаторы. Регулировка различных параметров процесса полимеризации, включая световую энергию и интенсивность, скорость печати, толщину слоя и время экспозиции, позволяет получить продукт высокого качества (включая разрешение). Тем не менее, по сравнению с другими методами, процесс SLA занимает относительно много времени, что делает его применимым для небольших детализированных объектов.

# слайд № 15

Медицинские модели органов и тканей создаются на основании данных об анатомии пациента, и их можно использовать для до- и послеоперационного планирования операций и обучения; обучение студентов-медиков; и информирование пациентов и их семей. Геометрию можно преобразовать, например, взяв только интересные участки или увеличив, или уменьшив масштаб.

# слайд № 16

Медицинские модели могут быть использованы для тренировки медицинских манипуляций у студентов медицинских образовательных учреждений, а также для повышения квалификации действующих врачей. На слайде мы видим модели для приобретения навыка выполнения поясничного прокола, анестезиологических процедур в педиатрической практике. на втором рисунке – стоматологический симулятор.

# слайд № 17

Если модели используются для тренировки, например, сверления кости, желательно, чтобы тактильный отклик был близок к кости. Медицинские модели широко используются в черепно-челюстно-лицевой области, но есть также случаи, например, из разных конечностей и других костных структур, таких как позвоночник и таз. Если они используются в операционной, можно порекомендовать стерилизовать модели, но обычно выбор материала может быть довольно свободным, что также подчеркивает, что это одно из наиболее распространенных применений. На рисунке типичный этап тренировки трепанации черепа на 3D модели, полученной с помощью медицинских изображений, таких как компьютерная томография (КТ), магнитно-резонансная томография (МРТ) с последующим построением геометрии трехмерной модели.

# слайд № 18

Производство имплантов для пациентов:

Имплантаты производятся прямо или косвенно аддитивно для замены дефектной или отсутствующей ткани. Материал должен быть совместимым с тканями, требования строгие, а процесс утверждения занимает много времени. В персонализированных имплантатах AM является благоприятным решением, и типичный процесс требует захвата анатомии пациента, аналогичной медицинским моделям. Затем эта цифровая трехмерная модель анатомии пациента используется в качестве эталона для проектирования, чтобы обеспечить возможность подгонки под конкретного пациента. Большинство типичных имплантатов изготавливаются из металлов с использованием процесса плавления в порошковой подложке, и для этого требуются различные этапы постобработки, такие как механическая обработка опор, полировка и термообработка. Перед клинической операцией имплантаты необходимо стерилизовать.

# слайд № 19

Этот класс также включает стоматологическое оборудование, такое как импланты, коронки и мосты. Цифровая трехмерная модель анатомии пациента используется в качестве эталона для проектирования, чтобы обеспечить возможность подгонки под конкретного пациента.

# слайд № 20

Изготовление инструментов и деталей для медицинских устройств.

Инструменты, инструменты и детали для медицинских устройств позволяют или улучшают клиническую операцию. Они могут использовать индивидуальные для пациента размеры и формы, например, в направляющих для сверления, и могут быть инвазивными и требовать процесса стерилизации, так как они могут контактировать с биологическими жидкостями, мембранами, тканями и органами в течение ограниченного времени. К этому классу относятся хирургические инструменты и ортодонтические приспособления. Один из крупнейших и наиболее успешных предприятий в этом классе использует процесс фотополимеризации НДС для создания форм для вакуумного формования прозрачных ортодонтических выравнивателей. Когда используются индивидуальные размеры пациента, процесс аналогичен процессу создания имплантатов и предоперационных моделей из медицинских изображений или 3D-сканирования. Трехмерное моделирование может проводиться путем обращения к трехмерной модели анатомии пациента или с нуля, если геометрия или приспособление для конкретного пациента не требуется. Постобработка может включать удаление опоры, термообработку, механическую обработку и стерилизацию. Инструменты, инструменты и детали для медицинских устройств обычно производятся в соответствии с технологической схемой, показанной на рисунке. Например, процесс начинается со снятия слепка зубов пациента, его трехмерного сканирования, за которым следует трехмерное моделирование, фотополимеризация НДС AM, постобработка и используя деталь, сделанную как слепок для мягких ортодонтических капп.

# слайд № 21

Ремонт - ремонт медицинских деталей, особенно инструментов, инструментов и деталей для медицинских устройств.

Ламинирование листов - многометаллические детали в медицине, особенно в инструментах, инструментах и деталях для медицинских устройств.

Экструзия протезов- композитные детали и различные материалы, особенно в медицинских вспомогательных средствах, поддерживающих шаблонах, шинах и протезах.

Экструзия материалов - металлические детали, особенно имплантаты и инструменты, инструменты и детали для медицинских устройств.

Распыление связующего вещества - металлические детали, особенно в имплантатах и инструментах, инструментах и деталях для медицинских устройств.

Струйная обработка материалов - детали из нескольких материалов, особенно в медицинских моделях и биопроизводстве.

# слайд № 22

Медицинские приспособления, поддерживающие направляющие, шины и протезы.

В этом классе детали, изготовленные с помощью аддитивного производства, находятся вне корпуса, и их можно комбинировать со стандартными приборами, чтобы обеспечить индивидуальную настройку. Долговременные и послеоперационные опоры, направляющие движения, фиксаторы, внешние протезы, гнезда для протезов, персонализированные шины и ортопедические приспособления являются примерами применения в этом классе. Процесс может начинаться с медицинской визуализации, за которой следует сегментация, 3D-сканирование или 3D-измерения, которые могут предоставить ужасные данные.

Альтернативными методами производства для аддитивного производства довольно часто являются технологии числового программного управления (ЧПУ). Детали могут потребовать различных видов постобработки в зависимости от области применения, такой как удаление опоры, термообработка, окраска или покрытие. Типичный технологический процесс для медицинских вспомогательных средств, поддерживающих направляющих, шин и протезов с использованием AM представлен на рисунке. Примерный случай представляет собой персонализированную и мобилизующую внешнюю поддержку для перелома пилона, где 3D-моделирование основано на измерении движения лодыжки пациента и регулировке. детали аддитивного производства для размещения петли таким образом, чтобы она контролировала движение под действием силы, близкой к свободному движению лодыжки.

# слайд № 23

Биопроизводство - это сочетание аддитивного производства и тканевой инженерии. Материалы должны быть биологически совместимыми и часто активными для организма, поэтому используется много различных полимеров, керамики и композитных материалов. Пористые структуры с культивированием и трехмерной матрицей могут влиять на специализацию клеток. Материалы могут быть остеоиндуктивными, остеокондуктивными или рассасывающимися. Формы могут быть персонализированы, чтобы соответствовать дефектам. Для персонализированных форм необходимо зафиксировать геометрию пациента с помощью медицинских изображений или 3D-сканирования. На этапе 3D-моделирования моделируются микро- и макроструктуры, а пористые структуры часто используются для привлечения клеток и роста клеток. Часто процесс должен быть стерильным или детали должны быть стерилизованы после печати. Перед окончательным применением может также возникнуть необходимость в росте клеток in vitro или in vivo.

На рисунке представлены гибридные каркасы, состоящие из двух фаз:

(a) слой поликапролактона (PCL) для хрящевой ткани и нижний слой PCL / TCP (трикальцийфосфат) для кости.

(b – f) Имплантация у кролика в течение 6 месяцев выявлено образование субхондральной кости в фазе и хрящевидная ткань.

# слайд № 24

На рисунке показан пример рассасывающегося имплантата орбитального дна с указанием геометрии пациента с помощью компьютерной томографии и сегментации с последующим 3D-моделированием и AM имплантата. После изготовления имплант стерилизуется.