

МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКАЯ МЕДИЦИНСКАЯ АКАДЕМИЯ
ПОСЛЕДИПЛОМНОГО ОБРАЗОВАНИЯ»

Кафедра ортопедической стоматологии и ортодонтии
с курсом детской стоматологии

С. П. Рубникович, Ю. А. Костецкий, А. С. Грищенко

**3D-ПЕЧАТЬ В ОРТОПЕДИЧЕСКОЙ СТОМАТОЛОГИИ:
ОСОБЕННОСТИ, ПРИМЕНЕНИЕ, ТЕХНОЛОГИИ**

Учебно-методическое пособие

Рекомендовано учебно-методическим объединением
в сфере дополнительного образования взрослых
по профилю образования «Здравоохранение»

Минск, БелМАПО
2023

УДК 616.314-77:004.925.8:004.356.2(075.9)
ББК 56.69+32.972.131.2+32.971.32-046.22я78
Р 82

Рекомендовано в качестве учебно-методического пособия
НМС государственного учреждения образования
«Белорусская медицинская академия последипломного образования»
протокол № 8 от 30.09.2022

Авторы:

Рубникович С.П., заведующий кафедрой ортопедической стоматологии и ортодонтии с курсом детской стоматологии БелМАПО, д.м.н., профессор
Костецкий Ю.А., доцент кафедры ортопедической стоматологии и ортодонтии с курсом детской стоматологии БелМАПО, к.м.н., доцент
Грищенко А.С., ассистент кафедры ортопедической стоматологии и ортодонтии с курсом детской стоматологии БелМАПО, к.м.н.

Рецензенты:

Тимчук Я.И., заведующий кафедрой ортодонтической стоматологии УО «Белорусский государственный медицинский университет», кандидат медицинских наук, доцент
3-я кафедра терапевтической стоматологии УО «Белорусский государственный медицинский университет»

Рубникович С. П.

Р 82 **3D-печать** в ортопедической стоматологии: особенности, применение, технологии : учеб.-метод. пособие / С. П. Рубникович, Ю. А. Костецкий, А. С. Грищенко. – Минск : БелМАПО, 2023. – 53 с.
ISBN 978-985-584-814-2

В издании отражены наиболее важные аспекты изготовления конструкций зубных протезов и аппаратов при помощи метода 3D-печати, который может быть использован для восстановления целостности зубочелюстной системы в ортопедической стоматологии, хирургической стоматологии и ортодонтии. Рассмотрены основные материалы для изготовления зубных протезов, моделей, кап, и др., а также оборудование для 3D-печати. Отражены важные вопросы и клинические аспекты планирования хирургической и ортопедической подготовки полости рта к протезированию, а также ортодонтического лечения. Описаны особенности изготовления зубных протезов при помощи различных методов 3D-печати.

Учебно-методическое пособие предназначено для слушателей, осваивающих содержание образовательных программ переподготовки по специальности «Стоматология ортопедическая» (дисциплина «Ортопедическое лечение дефектов зубов и зубных рядов»); повышения квалификации врачей-стоматологов, врачей-стоматологов-ортопедов, врачей-стоматологов-ортодонтов, а также клинических ординаторов, врачей-интернов.

УДК 616.314-77:004.925.8:004.356.2(075.9)
ББК 56.69+32.972.131.2+32.971.32-046.22я78

ISBN 978-985-584-814-2

© Рубникович С.П., Костецкий Ю. А.,
Грищенко А. С., 2023
© Оформление БелМАПО, 2023

Оглавление

Введение	4
1. Преимущества внедрения 3D-печати, а также ее сравнение с традиционными методами изготовления зубных протезов	5
1.1. Преимущества цифровых технологий 3D-печати в стоматологической практике	5
1.2. Преимущества метода 3D-печати в сравнении с методом фрезерования	6
2. Психологические аспекты применения 3D-технологий	8
3. Технология 3D-печати: основные этапы	10
3.1. Технологии, используемые при работе стоматологического 3D-принтера	10
3.1.1. SLA-технология	12
3.1.2. Стереолитография (SLA или SL)	13
3.1.3. DLP-технология	14
3.1.4. Технология PolyJet	15
3.1.5. SLS-технология, метод селективного лазерного спекания SLS	15
3.1.6. Филаментная печать	19
4. Материалы для печати на 3D-принтере	21
4.1. NextDent Base	22
4.2. NextDent SG (Surgical Guide)	23
4.3. NextDent C&B	24
4.4. NextDent C&B MFH (микронаполненный гибридный материал)	25
4.5. NextDent Ortho Clear	26
4.6. NextDent Model	28
4.7. NextDent Model Ortho	34
4.8. NextDent Tray	35
4.9. NextDent Gingiva Mask	36
4.10. NextDent Cast	36
4.11. HARZ Labs Model Resin	37
5. Постобработка образцов 3D-печати	38
6. Выбор 3D-принтера	39
6.1. Стереолитография SLA, DLP и с низким усилием отрыва (LFS)	40
6.2. Оценка точности и детализации стоматологических 3D-принтеров	41
6.3. Простота использования оборудования для 3D-печати	42
6.4. Стоимость 3D-принтеров и окупаемость инвестиций	43
6.5. Скорость 3D-печати и пропускная способность 3D-принтера	44
Заключение	47
Вопросы для тестового контроля	48
Список литературы	52

Введение

В каждом большом научном открытии есть свои основоположники, так компания Align Technology Inc. в середине 90-х стала одним из мировых лидеров в разработке инновационных медицинских технологий в области развития и применения 3D-печати в стоматологии. Внедрение технологии 3D-печати в стоматологическую отрасль начиналось с применения 3D-принтера для изготовления ортопедических капп. Именно это позволило взглянуть на процесс изготовления ортопедических и ортодонтических конструкций с кардинально новой точки зрения, и в клинической практике было успешно реализовано уникальное устройство Invisalign, позволяющее применять ортодонтические техники просто и эстетично, без традиционных брекетов. 3D-печать, как самостоятельное направление в практическом здравоохранении, лишь через 20 лет вышла на уровень соответствующий высоким стандартам качества медицинских изделий. Так первый имплантат был напечатан фирмой Layer Wise® в 2012 году. В том же году впервые удалось имплантировать пациенту титановую нижнюю челюсть, которая была сделана с помощью 3D-принтера.

Технология 3D-печати продолжает развиваться, и сегодня можно с уверенностью сказать, что в практической стоматологии она помогает упростить сложные процессы производства зубных протезов не только при использовании традиционных методов лечения, но и в дополнении с CAD/CAM технологиям, повышая эффективность и качество реабилитации стоматологических пациентов.

Внедрение 3D-технологий в ортопедическую стоматологию открывает большие возможности, в частности, создание цифровых 3D-моделей с помощью внутриротового сканера (IOS), которые можно использовать для диагностики, планирования стоматологического лечения, компьютерного моделирования будущих ортопедических конструкций, динамического наблюдения за результатами лечения. Цифровые модели зубных рядов верхней и нижней челюстей в отличие от гипсовых, выигрывают не только в области систематизации медицинских данных и коммуникации между стоматологическим кабинетом и зуботехнической лабораторией, но и в удобстве хранения ввиду экономии пространства. Возможность хранения цифровой информации позволяет создавать «библиотеки зубов», которые также могут послужить не только практическому здравоохранению, но и научным изысканиям.

По-прежнему, на клиническом приёме большое число оттисков врачи-стоматологи получают с помощью альгинатных и силиконовых материалов, изготавливают гипсовые модели для моделирования различных ортодонтических и ортопедических конструкций, что бесспорно связано со сложностями внедрения цифровых технологий, ввиду стоимости или трудностях изучения рабочего процесса клиницистами. Несмотря на это, развитие цифровой стоматологии ведёт к модернизации стоматологической практики и постепенно учреждения

здравоохранения стараются перейти на 3D сканирование, отказываясь от аналоговых, некомфортных для пациента методов диагностики. Некоторые уже сегодня имеют полный цифровой диагностическо-лечебный цикл, включающий этапы моделировки и изготовление ортопедических конструкций зубных протезов без зуботехнической лаборатории.

Методы 3D-печати в полном или частичном цифровом диагностическо-лечебном цикле позволяют спланировать дентальную имплантацию, сделать ее «безопасной» с помощью хирургических шаблонов, изготовить ортопедические и ортодонтические конструкции, а также значительно облегчить функциональную диагностику и лечение с использованием миорелаксационных капп. Все это бесспорно влияет на успех и эффективность проводимых манипуляций, а также дает новые возможности для развития диагностического терапевтического ресурсов.

1. Преимущества внедрения 3D-печати, а также ее сравнение с традиционными методами изготовления зубных протезов

Сегодня благодаря возможностям 3D-принтера врач-стоматолог может изготовить как временные, так и постоянные конструкции искусственных коронок, зубных протезов, эстетических микропротезов и многое др. Это существенно ускоряет оказание специализированной медицинской помощи и проведение реабилитации стоматологических пациентов, в большей степени облегчает работу зуботехнической лаборатории, позволяет в более короткие сроки решать сложные задачи лечения. С помощью стоматологического 3D-принтера можно перейти от штучного производства зубного протеза к изготовлению любого количества его копий (необходимых экземпляров) с учётом нюансов клинической ситуации и вариабельности пожеланий пациента. При этом, вся важная информация сохраняется в файлах стоматологической клиники, что в будущем может помочь как в случае с повторным стоматологическим лечением, так и при разборе спорных вопросов по результатам оказания стоматологической помощи.

Кроме этого, снижаются затраты рабочего времени на изготовление гипсовых моделей, транспортировку, условия хранения во время транспортировки и т.д. Созданная цифровая 3D модель не может быть деформирована как гипсовая, цифровой оттиск в отличие от аналогового не нуждается в срочном изготовлении модели по нему. Явные преимущества – это скорость и максимальная точность без потери качества для повышения сроков лечения и экономии ресурсов и времени.

1.1. Преимущества цифровых технологий 3D-печати в стоматологической практике

- Хранение данных сканирования зубочелюстной системы пациентов в цифровом виде, с печатью по необходимости, проведение динамического наблюдения за результатами лечения без

организации производства и хранения избыточного количества слепков и моделей челюстей;

- Автоматизация и ускорение процессов производства зубных протезов а также этапов диагностики и лечения пациентов;
- Создание полностью автоматизированного процесса печати, который во многом исключает негативное влияние человеческого фактора;
- Увеличение объёмов производства без привлечения дополнительного персонала лечебного учреждения, учета чрезмерной занятости определённых сотрудников лаборатории или их временной нетрудоспособности;
- Достижение-высокой точности и детализации в изготовлении зубных протезов, что в свою очередь снижает вероятность возникновения ошибок и необходимость их устранения за счёт изготовления новых образцов;
- Создание имиджа высокотехнологичного инновационного лечебного учреждения за счет внедрения цифровых методов диагностики и лечения

С учётом развития материально-технической базы, можно определить самые распространённые направления использования 3D-печати в стоматологии:

- демонстрационные и разборные модели челюстей, секторальное воспроизведение верхней и нижней челюсти в прикусе;
- беззольно выгораемые конструкции, колпачки, каркасы мостовидных конструкций, бюгельные протезы;
- ортодонтические элайнеры;
- хирургические шаблоны для имплантации, индивидуальные каппы, направляющие для оперативных вмешательств в челюстно-лицевой области.

1.2. Преимущества метода 3D-печати в сравнении с методом фрезерования:

1. *Экономия материалов.* При фрезеровании потери массы и объёма дорогостоящих материалов могут составить 90%. При 3D-печати используется только то количество материала, которое необходимо для изготовления конструкции и небольшое количество для построения вспомогательных элементов "поддержки".
2. *Точность.* При фрезеровании область интереса ограничена возможностями фрезера, используемых стратегий фрезеровки, диаметром используемых фрез, углом фрезеровки, невозможностью фрезеровки больших поднутрений, либо элементов, которых фрезером невозможно обрабатывать физически из-за отсутствия доступа к ним. При 3D-печати можно создать любую форму, которая необходима в данной клинической ситуации, без вышеперечисленных ограничений в дизайне.

3. *Скорость.* При фрезеровании одновременно изготавливается (обрабатывается) одно изделие, при 3D-печати есть возможность одновременно изготовить несколько десятков или сотен коронок, или любых других конструкций зубных протезов.

Практическое здравоохранение тесно переплетено с новыми технологиями и 3D-печать отлично вписывается в инновационные методики, которые сейчас повсеместно внедряются в различные аспекты оказания профильной стоматологической помощи.

Активно развивается такое перспективное направление, как 3D печать постоянных и временных ортопедических конструкций, базисов съёмных протезов, капп, применяемых при лечении мышечно-суставных дисфункций.

Преимущества ортопедических конструкций изготовленных с использованием методов 3D-печати:

- соразмерная экономически альтернатива традиционным методам лечения;
- виртуальная визуализация будущей конструкции зубного протеза;
- конструкции более эстетичны
- минимальный период адаптации к конструкциям;
- простота в использовании и уходе;
- гипоаллергенность материалов.

На сегодняшний день CAD/CAM технологии занимают большой объем современной цифровой стоматологии, и вместе с ними, а в некоторых случаях и на смену им происходит внедрение методов 3D-печати, что определяет новую эпоху в развитии медицины. Вместе с развитием способов изготовления 3D конструкций (печати и фрезерования), также улучшаются и оптимизируются способы получения 3D моделей. В практике активно применяются два метода сканирования объектов:

- сканирование гипсовой модели с помощью специального лабораторного сканера (рисунок 1);
- сканирование интраоральным 3D-сканером зубных рядов пациента (рисунок 2).



Рисунок 1. Сканер гипсовых моделей Shining DS-EX Pro

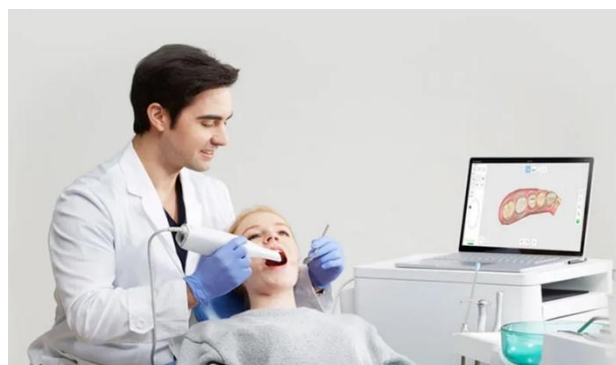


Рисунок 2. Внутриротовой сканер 3Shape Trios 4

В связи с актуальностью внедрения 3D-печати в стоматологическую практику, происходит выраженное снижение рыночной стоимости оборудования, необходимого для интеграции метода в лечебно-диагностический процесс, вместе с тем отмечается рост качественной составляющей продуктов печати, производительность 3D-принтеров. Освоение 3D-печати занимает определенное время и требует дополнительного обучения для получения хороших результатов. Тем не менее процесс внедрения идёт достаточно быстро, чему способствует большое количество вебинаров, семинаров и мастер-классов, проводимых в том числе и на кафедре ортопедической стоматологии и ортодонтии с курсом детской стоматологии БелМАПО в рамках образовательных программ, совместно с представителями компаний-производителей материалов и оборудования, дистрибьюторами 3D-принтеров и сканеров.

2. Психологические аспекты применения 3D-технологий

Рассматривая проблему внедрения инновационных методов в медицину и в стоматологию, в частности, необходимо отметить не только сложности на этапах обучения медицинского персонала и освоения им методологии, сложности организации рабочего процесса в новом режиме, или финансовые затраты, но и значимость психологических аспектов применения технологии, а также особенности оценки информационного поля пациентом. Последнее, наряду с косвенным обусловливанием, влияют на модель поведения пациента, формируясь на основании данных, которые пациент получает непосредственно от лечащего врача, а также из внешних источников.

Страх, недоверие, а в некоторых случаях и агрессия могут быть спровоцированы недостаточной осведомленностью пациентов о процессе диагностики и лечения, неправильной тактикой диалога врач-пациент, без учета личностных особенностей пациентов. Для снижения уровня недоверия и страха опытным клиницистам зачастую на практическом приеме приходится использовать различные виды убеждения (информирование, разъяснение, доказательство, опровержение), а также приемы (наставление, косвенное одобрение, метод Сократа и др.). Для повышения осведомленности пациентов и расширения информационного поля о новых технологиях актуальным является применение методов визуализации этапов и результатов 3D-печати, поэтому важным и правильным будет использование демонстрационных моделей для пациента (моделей будущих конструкций, диагностических моделей, хирургических шаблонов). Определение эффективной тактики диалога врач-пациент невозможно без учета ведущей репрезентативной системы пациента. В основе любой репрезентативной системы заложено понятие сенсорных и перцептивных процессов. Физиологическим механизмом сенсорных процессов является деятельность «анализаторов» (сенсорных систем), концептуальное развитие учения о которых началось с трудов

академика И.П. Павлова. В результате деятельности анализаторов формируются отдельные ощущения, которые складываются в целостный образ восприятия (перцептивные процессы). Понимание врачом-стоматологом физиологических и психологических основ функционирования репрезентативных систем позволяет правильно построить диалог, и мотивировать пациента выбрать тактику лечения с применением цифровых технологий, в частности 3D-печати.

Наши исследования, направленные на изучение личностных характеристик, в частности личностной и реактивной тревожности (ссылка), у пациентов с полной адентией, которые проходили комплексную реабилитацию с использованием съемных конструкций зубных протезов с опорой на дентальные имплантаты, установленные по хирургическим шаблонам, указывают на высокую эффективность применяемой терапии в сравнении с традиционными методами лечения. Отмеченная в исследованиях тенденция к снижению показателей реактивной тревожности обусловлена детальным планированием и визуализацией для пациента процесса лечения, интеграции его в этот процесс, а возможность использования систем дентальных имплантатов в запрограммированно не только клинически, но и математически приемлемых позициях формирует уверенность в успехе будущей операции. При изучении данных, полученных по результатам контент-анализа с использованием анкеты «эффективность реабилитации и удовлетворенность пациентов» наиболее значимо было замечено снижение страха возможных осложнений с 70% до 25% у пациентов, которым применялись цифровые технологии планирования и методы печати хирургических шаблонов (наиболее часто употреблялись категории: «отсутствие остеоинтеграции импланта», «непродолжительный срок службы импланта», «воспалительные заболевания верхнечелюстных пазух», «повреждение тройничного нерва»). Применение подобных категорий пациентами связано с достаточной информированностью о методах хирургического лечения, в том числе о возможностях использования цифровых технологий в стоматологии и их роли в конечном результате, уверенность в успехе которого формирует эмоциональную и поведенческую сферы личности, и косвенно влияет на эффективность терапии.

Внедрение цифровых технологий не только положительно сказывается на эффективности лечебно-диагностического ресурса, определяя медицинскую составляющую реабилитации, но и влияет на особенности внутренней картины болезни, обуславливая правильное отношение к процессу лечения, формирование веры в успех терапии, и снижая реактивную тревожность, вероятность нежелательных проявлений эмоциональной и поведенческой сфер личности, что представляет психологический компонент реабилитации, и вместе образует медико-психологический подход.

3. Технология 3D–печати: основные этапы

Основная задача оборудования для 3D-печати – это сокращение времени изготовления зубных протезов и снижение затрат на производство, без потери качества и точности изделий, 3D печать осуществляется различными методами, которые имеют свои особенности и этапы, приведенные ниже.

Этапы изготовления зубных протезов с использованием 3D-технологий:

- *1 этап – сканирование.* Для получения трехмерных цифровых моделей используют дентальный или интраоральный сканер, Дополнительно для реализации ряда лабораторных и врачебных этапов проводится конусно-лучевая компьютерная томография (КЛКТ), с последующим наложением результатов сканирования на рентгенологическое исследование.
- *2 этап – обработка при помощи программного обеспечения.* Для работы с цифровыми моделями используется специализированное программное обеспечение, которое позволяет создать будущие трехмерные реставрации зубов и зубных рядов, хирургические шаблоны и изделия медицинского назначения.
- *3 этап – 3D-печать.* Непосредственный перевод цифрового изделия в аналоговое, различными методами печати (стереолитографии, послойного отверждения и др.)

3.1. Технологии, используемые при работе стоматологического 3D–принтера:

- SLA – лазерная стереолитография, основанная на послойном отверждении жидкого материала под действием луча лазера;
- DLP – один из методов аддитивного производства, использующая в качестве рабочего материала жидкие фотополимерные смолы, затвердевающие в результате воздействия света, излучаемого цифровыми светодиодными проекторами;
- PolyJet – метод послойного отверждения жидкого фотополимерного материала под воздействием ультрафиолетового излучения;
- SLS – метод селективного лазерного спекания.

Указанные технологии 3D-печати, отличающиеся по способу формирования 3D-модели и материалу, из которого она изготавливается. Для стоматологии лучше всего подходят технологии печати жидкими фотополимерами - SLA/DLP/LCD. Эти способы позволяют создавать модели с высокой детализацией и точностью, при этом принтеры обладают высокой производительностью. Суть данных технологий заключается в том, что жидкая фотополимерная смола под воздействием источника света затвердевает и формирует модель. Разница в названии технологии отражает способ, которым этот процесс происходит, SLA – с помощью

лазера, DLP – с помощью лампы проектора, LCD – с помощью LCD-матрицы (рисунок 3).

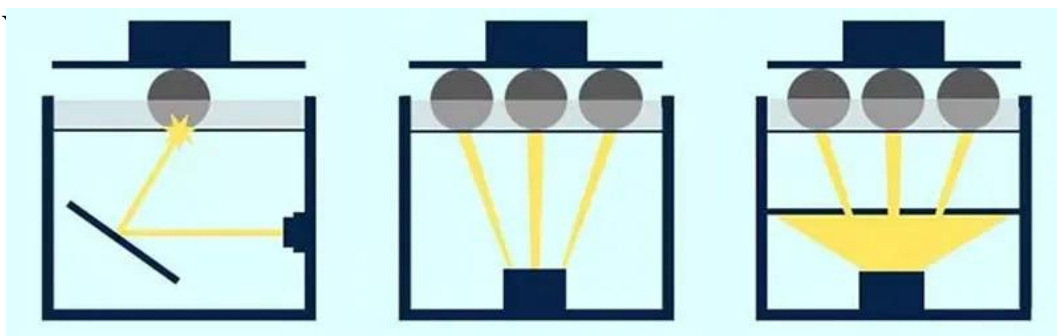


Рисунок 3. Расположение источника света и направление лучей генерируемой им энергии

У каждой технологии есть свои плюсы и минусы. Главной особенностью моделей 3D-принтеров с LCD-матрицей является система линз Paraled 2.0 Lite, которая обеспечивает равномерную засветку моделей (рисунок 4).

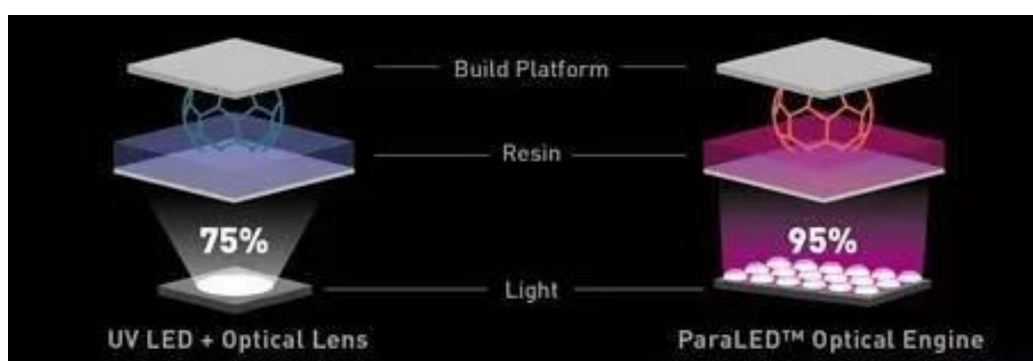


Рисунок 4. Отличие системы полимеризации DPL лампы проекторы от режима полимеризации LCD-матрицей

Подбирая 3D-принтер для лаборатории, стоит обратить внимание на некоторые важные аспекты, прежде всего: область построения, скорость печати, возможность использования различных смол, удобство слайсера. Слайсер – это программа, которая преобразует 3D-модель в файл печати. В этом файле содержится информация для принтера: как физически будет печататься модель, с какой толщиной слоя, сколько будет идти засветка каждого слоя и самое главное, как слайсер будет формировать структуру поддержек (рисунок 5, 6).

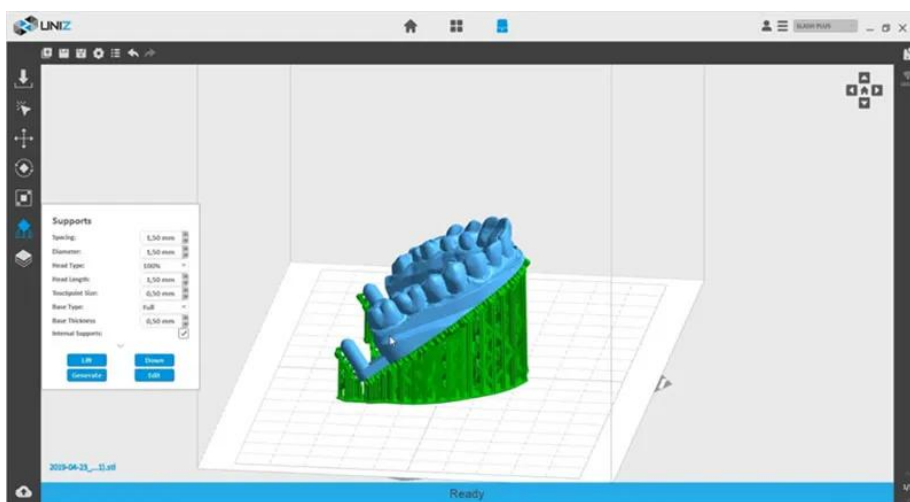


Рисунок 5. Виртуальное изображение модели нижней челюсти с системой поддержек



Рисунок 6. Внешний вид готовой напечатанной модели

Система поддержки – это дополнения к 3D-модели, которые обеспечивают ей устойчивость во время производства печати. От качества и количества поддержек будет во многом зависеть конечный результат печати. Система поддержки может располагаться по-разному, поэтому, ещё до покупки 3D принтера необходимо скачать различные слайсеры и посмотреть, какой из них будет более технологически прост и понятен рабочему персоналу лаборатории. Каждый производитель поставляет свой слайсер в комплекте, но не всегда этот продукт является оптимальным, можно также использовать любой другой бесплатный или платный слайсер, если производитель 3D принтера дает возможность использовать такую опцию.

3.1.1. SLA-технология

Стереолитография – метод печати, при котором лазер выборочно воздействует на ёмкость со смолой через участок печати. Происходит

послойная полимеризация смолы в определенных местах с постепенным образованием трехмерной модели.

Технология гарантирует получение изделий с высоким качеством поверхности и чаще всего используется в современных устройствах для 3D-печати. Оборудование для зуботехнической лаборатории, работающее по SLA-технологии, позволяет работать с большей областью построения, с большим набором материалов, что дает возможность решать самые разнообразные задачи в стоматологической практике.

Чтобы использовать новый материал нужно просто установить другой картридж и ёмкость со смолой. Основные преимущества SLA-технологии:

- широкая область печати;
- высокоточная печать;
- достаточный выбор материалов;
- простая эксплуатация.

В числе недостатков – низкая скорость печати.

3.1.2. Стереолитография (SLA или SL)

При использовании этой технологии лазерный луч избирательно воздействует на ёмкость с жидкой смолой через область печати. Таким образом, смола послойно затвердевает в конкретных местах и образует трёхмерную фигуру.

Стереолитография даёт наилучшее качество поверхности деталей и наиболее часто используется в современных моделях 3D-принтеров. SLA аппараты обеспечивают большую область построения стоматологических реставрации и работают с широким спектром материалов, предназначенных для разнообразных задач (рисунок 7).



Рисунок 7. Кювета с напечатанными зубными протезами различной конструкции

Чтобы переключиться с одного материала на другой, достаточно заменить картридж и ёмкость с полимерной смолой. Относительно компактные габариты, простота рабочего процесса и доступная цена делают SLA принтеры оптимальным выбором для зуботехнических

лабораторий. Пример моделей 3D-принтеров SLA – Form2 и Form3 от Formlabs, SLASH PLUS производства Uniz Technology, Basic Dental от Omaker.

3.1.3. DLP-технология

Оборудование для стоматологии, работающее по DLP-технологии, имеет следующие преимущества:

- высокая точность изделий;
- возможность использования широкого ассортимента материалов;
- простая эксплуатация.

Основной недостаток: небольшая область печати. Химический процесс идентичен SLA-технологии, но для инициации процесса полимеризации используется проектор. В сравнении со SLA-печатью данный метод печати позволяет работать с меньшей рабочей площадью. Из-за особенностей используемого источника света, при печати по данной технологии, возможно появление воксельных линий. Качество поверхности здесь ниже, чем у SLA-моделей, но зато скорость печати выше.

Цифровая светодиодная проекция (DLP)

Здесь химический процесс схож с SLA, однако в роли источника света для затвердевания смолы вместо лазера применяется цифровой проектор. У DLP принтеров простой процесс взаимодействия, довольно скромная рабочая площадь и неплохой выбор вариантов материала, но по более высокой цене в сравнении с SLA.

Из-за особенностей засветки светодиодным проектором, наблюдается тенденция появления воксельных линий-слоёв, образованных небольшими прямоугольными кирпичами материала. У моделей, изготовленных по DLP, качество поверхности уступает SLA моделям. Но стоит отметить, что DLP принтеры печатают намного быстрее, чем лазерные. В качестве примеров принтеров DLP можно привести VarseoS от Vego, AccuFab-D1 бренда Shining 3D, D2-150 производства Veltz 3D, Versus от Microlay (рисунок 8).



Рисунок 8. 3D-печать одиночных искусственных коронок

3.1.4. Технология PolyJet.

Процесс напоминает работу обычного струйного принтера, но вместо струйных чернильных капель на бумаге 3D-принтер выдувает слои жидкой смолы на область печати. Слои затвердевают под воздействием света. Когда-то технология PolyJet активно внедрялась в стоматологическую практику, её развитие затормозили два фактора: высокая стоимость оборудования и внушительные габариты оборудования (рисунок 9).



Рисунок 9. Процесс создания пластиковой заготовки по технологии PolyJet

Модели, изготовленные по технологии PolyJet, требуют длительной постобработки и в плане качества поверхностей опять же уступают принципам работы технологии SLA. Системы оборудования PolyJet изготавливают детали очень быстро, но применимы для ограниченного круга изделий из-за дорогих запатентованных расходников. Поэтому в контексте стоматологической отрасли лучше себя зарекомендовали 3D-принтеры с SLA технологией.

Основные преимущества PolyJet-технологии:

- создание высокоточных изделий;
- высокая скорость печати.

В числе недостатков: дорогостоящее оборудование, дорогие расходные материалы, небольшой ассортимент материалов.

3.1.5. SLS-технология, метод селективного лазерного спекания SLS

Благодаря данной технологии стало возможным на 3D принтере изготавливать каркасы несъемных конструкций зубных протезов. Для этого, технологией SLS используется принцип работы, позволяющий создавать готовые изделия из титана, работая по принципу лазерного спекания металлоглины – специального металлического порошка для стоматологии. Таким образом SLS позволяют работать с биосовместимым титановым сплавом. Так как чистый металлический порошок не требует связующего наполнителя, готовые модели не отличаются пористостью. Для

достижения необходимой механической прочности изделиям не требуется дополнительный обжиг. Пример принтера, способного печатать металлами – EP-M150T от Shining 3D (рисунок 10).



Рисунок 10. Каркасы зубных протезов после селективного лазерного спекания

Основные преимущества SLS технологии:

- высокая точность;
- работа с металлом.

В числе недостатков: дорогостоящее оборудование, материалы и обслуживание.

В этом секторе для нужд в современной стоматологии в области 3D печати часто применяются две лазерных технологии: селективное лазерное плавление (SLM) и селективное лазерное спекание (SLS). Обе технологии основаны на воздействии лазерного луча высокой мощности, направляемого на поверхность материала с помощью зеркал. Материал, как правило, представляет собой мелко дисперсный порошок металлического сплава. Лазерный луч, попадая на порошок, плавит его частички, соединяя их. Модель постоянно сканируется, в процессе которого на изделие наносится новый слой сплава пока не получится зубной протез нужной формы и объема.

Благодаря технологии селективного лазерного спекания можно распечатать прямо с компьютера довольно сложные по форме и строению зубные протезы и их составные части. Данный метод 3D-печати широко используется для получения прототипов изделий из металла в начальном цикле перед их массовым производством. В стоматологии методика 3D-печати не ограничивается производством зубных протезов, которые могут быть выполнены из различных сплавов, таких как титан и его сплавы, кобальт/хром. Часто технологии 3D-печати могут воспроизводить лицевые протезы, а также использоваться для тканевой инженерии.

Технологии 3D-печати используют самые разные процессы обработки материала: спекание, полное (жидкофазное) плавление, полное и частичное плавление материала. Это дает возможность получить монолитную конструкцию практически из любого материала. В последнее время активно разрабатывается технология инкрементного спекания

керамических частиц, что должно поднять производство конструкций из диоксида циркония на новый уровень. Технология 3D-печати позволяет производить зубные имплантаты, учитывая индивидуальные особенности клинической ситуации и анатомии пациента. Таким образом, метод SLM позволяет решать многие клинические задачи, связанные с протезированием, максимально индивидуализировать протезы, сделать их более удобными и комфортными (рисунок 11).



Рисунок 11. Индивидуальные абатменты, каркасы протезов после селективного лазерного спекания

Среди основоположников данной технологии можно выделить компанию TRUMPF, известную высокотехнологичными разработками оборудования на основе лазера, которая предлагает производительный металлический компактный 3D принтер TruPrint 1000, работающий сразу с двумя лазерами. Два лазерных луча печатают стоматологические коронки, мосты, импланты или бюгельные протезы в десять раз быстрее, чем обычные зубо-фрезерные станки. Сетевое подключение и работа в связке с фрезерными станками позволяет TruPrint 1000 печатать искусственные коронки, устанавливаемые на фрезерованные дентальные имплантаты. Программное обеспечение комбинирует работу фрезерных станков и принтера, используя достоинства каждого оборудования. Таким образом, получается своего рода комбайн в рамках одной компактной лаборатории (рисунок 12).



Рисунок 12. Комплект оборудования для зуботехнических работ по производству зубных протезов по технологии селективного лазерного спекания

Основным мотивирующим фактором для внедрения 3D-печати в практическую стоматологию является снижение производственных затрат

при изготовлении коронок и зубных протезов вручную, на которые тратятся очень много времени и сил. При цифровом методе производства зубных протезов создается 3D-модель на компьютере, лишь после чего фрезерный станок изготавливает искусственные коронки и протезы из пластины-заготовки. Однако, 3D-печать намного быстрее, чем оба описанных метода. Как только 3D-модель готова, её сразу можно загрузить в принтер, производительность которого в разы выше, чем у фрезерного станка. После 3D-печати, для нанесения последних штрихов, может использоваться фрезерный станок. К примеру, при печати протезов "all on 4/6" после печати можно отфрезеровать те места зубного протеза, которыми он будет соприкасаться с дентальными имплантатами, чтобы обеспечить идеальное прилегание и жесткое крепление элементов протеза (рисунок 13,14,15,16).



Рисунок 13. Каркас зубного протеза "all on 6" на верхнюю челюсть после печати методом селективного лазерного спекания



Рисунок 14. Каркас зубного протеза "all on 6" на нижнюю челюсть после печати методом селективного лазерного спекания



Рисунок 15. Примерка каркасов в полости рта



Рисунок 16. Вид готовых конструкций после фиксации в полости рта

При этом отладка фрезерного станка осуществляется максимально просто, после печати протез не снимается со стола принтера, а вместе с ним устанавливается в фрезер. Таким образом, имея заранее известное положение зубного протеза, станок осуществляет его фрезеровку без потери точности и качества обработки металла до зеркального блеска поверхности.

Мульти-лазерные возможности TruPrint 1000 позволяют изготовить 80 коронок за 3 часа. Если посчитать производительность, то получится около 3 минут на каждую коронку, при возможности печати 24 часа, 7 дней в неделю. Чтобы обеспечить максимальную загрузку, после 3D-печати одной рабочей области, одной "загрузки", 3D-принтер сдвигает готовые коронки из рабочей области и начинает печатать следующую партию. Рабочий процесс может быть организован таким образом, что, если требуется напечатать 240 штук искусственных коронок за ночь, но нет возможности снимать готовые изделия каждые три часа – принтер будет копить их, не останавливая работу. Со станком TruPrint 1000 можно получить производительность до 100 тысячи единиц в год при минимальных затратах рабочего времени. Стоит отметить, что качество 3D-печати выше, чем у классических технологий, поскольку система лучше повторяет сложные контуры зубов.

Модернизированный ИТ-интерфейс системы TruPrint 1000 оснащён цифровой связью для подключения к фрезерным станкам. Подключение к фрезерному станку является ключевым этапом на пути к автоматизированному массовому производству. После печати платформа с распечатанным протезом устанавливается в фрезерный станок, он распознает платформу, и фрезерует посадочные места протеза, или дорабатывает любые иные поверхности по желанию оператора. Есть мнение, что зубные протезы на имплантатах являются самым быстрорастущим сегментом в мировой стоматологической индустрии. И 3D-печать позволяет эффективно работать в этом сегменте стоматологии.

3.1.6. Филаментная печать

Технология не актуальна в стоматологии. Печать производится с помощью филамента – материала, похожего на тонкую проволоку для садового триммера. Смотанный филамент заряжают напрямую в головку 3D-принтера, которая движется на трёх осях. По сравнению с другими материалами для 3D-печати такая нить стоит совсем недорого, но даёт низкую точность в сравнении с порошками. Самые популярные виды филамента – ABS и PLA пластик (рисунок 17).



Рисунок 17. Бабины с пластиковыми струнами

Сравнение основных технологий 3D-печати, применяемых в стоматологии

Таблица № 1.

	Стереолито-графия (SLA)	Цифровая обработка света (DLP)	Технология PolyJet	Технологии SLS
Точность	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★★
Чистота поверхности	★★★★★	★★★★☆	★★★★☆	★★★★☆
Скорость печати	★★★★☆	★★★★★	★★★★★	★★★★☆
Доступность материалов	★★★★★	★★★★★	★★★★☆	★★★★☆
Печать металлом	-	-	-	+
Преимущества	<ul style="list-style-type: none"> • Большая область печати • Высокая точность • Большой выбор материалов • Простота использования 	<ul style="list-style-type: none"> • Высокая точность • Большой выбор материалов • Простота использования 	<ul style="list-style-type: none"> • Высокая точность • Высокая пропускная способность 	<ul style="list-style-type: none"> • Высокая точность • Работа с металлом
Недостатки	<ul style="list-style-type: none"> • Невысокая скорость печати одного изделия 	<ul style="list-style-type: none"> • Высокая стоимость • Малая область печати 	<ul style="list-style-type: none"> • Дорогая техника • Дорогие материалы • Ограниченные варианты материалов • Дорогостоящее обслуживание 	<ul style="list-style-type: none"> • Высокая стоимость • Дорогая техника • Дорогие материалы • Дорогостоящее обслуживание

Отметим, что в таблице №1 приведены выводы в формате общего обзора и параметры могут варьироваться в зависимости от конкретной модели 3D-принтера.

Технология PolyJet уходит в прошлое из-за дороговизны и несовершенных результатов печати. SLS и EBM скорее актуальны для больших лабораторий, нежели рядовых клиник. Поэтому стоит рассматривать SLA и DLP принтеры для решения повседневных задач. Например, присмотритесь к Bego Varseo S, Formlabs Form 2. Эти аппараты уже хорошо зарекомендовали себя на стоматологическом рынке и дают гарантированно качественный результат.

4. Материалы для печати на 3D-принтере

Профессиональный 3D-принтер — один из самых универсальных инструментов, применяемых в современной стоматологии, а ключ к этой универсальности — специальные материалы.

Стоматологические 3D-принтеры обеспечивают экономически эффективное цифровое производство широкого спектра стоматологических изделий по индивидуальным параметрам. Выбор материала зависит от модели принтера. Продвинутое системы способны производить высокоточные модели коронок и мостов, хирургические шаблоны и формы для литых и штампованных протезов, биосовместимые стоматологические изделия для длительного применения, такие как шины и фиксаторы, ортодонтические аппараты — прозрачные элайнеры и фиксаторы Хоули, которые изготавливаются путем термоформования на 3D-печатных моделях.

Некоторые 3D-принтеры работают только с “родными” проприетарными материалами, что несколько сужает выбор. Другие могут использовать также материалы, изготовленные сторонними производителями. При использовании сторонних материалов важно убедиться, что они обеспечат клинически приемлемое качество и точность. Кроме того, использование биосовместимых материалов на не аттестованных для этого 3D-принтерах нарушает требования по применению. Такие нюансы лучше выяснить заранее, чтобы знать, какие риски могут возникать при использовании непроверенных 3D-принтеров и материалов.

Производители регулярно выпускают новые материалы с новыми свойствами, поэтому весьма вероятно, что 3D-принтер, который лечебное учреждение покупает сегодня, сможет в ближайшем будущем создавать все больше и больше видов стоматологических изделий.

При выборе принтера также стоит обратить внимание на то, будет ли он печатать тем материалом, который вам нужен для работы. Не все принтеры совместимы со всеми видами смол, и наоборот. Среди множества производителей на стоматологическом рынке выделяются следующие: NextDent (Голландия), Detax (Германия), HARZ Labs (Россия),

отдельно можно говорить о смолах Formlabs, которые можно использовать только в принтерах этого производителя. Существует большой выбор материалов для печати на 3D принтере. Это фотополимеры (жидкие, резиноподобные, жёсткие) в виде пластика; которые бывают различных цветов; керамических паст (3D ceram); композитов, а также металлы и сплавы металлов для прямого производства (КХС, титан). Для различных клинических случаев используют разные материалы (рисунок 18).



Рисунок 18. Палитра материалов для 3D-печати в стоматологии на примере NextDent

Именно в стоматологии наиболее критичны не только скорость и точность производимой 3D-печати, но и особые свойства материалов, наиболее важными из которых, являются безопасность, биосовместимость, гипоаллергенность, гидрофильность и другие соответствующие строгим медицинским параметрам.

4.1. NextDent Base

Материал, созданный для 3D-печати временных оснований (базисов) съёмных зубных протезов (рисунок 19).



Рисунок 19. Материал для 3D-печати базисов съёмных зубных протезов

NextDent Base является биосовместимым материалом класса Па, предназначенным для 3D-печати всех видов оснований (базисов) съёмных зубных протезов. Этот материал обладает низкой усадкой, по сравнению

со стандартными материалами для зубных протезов, что приводит к отличной подгонке протезных оснований. Небольшое количество остаточного мономера, остающегося после последующей обработки, делает этот материал более биосовместимым, биоинертным к тканям полости рта.

Основные характеристики:

- Цвет: оттенки розового
- Вязкость по Брукфильду при 23°C: 1,0 — 1,5 Па·с
- Предел прочности при изгибе: ≥ 85 МПа
- Модуль упругости при изгибе: $\geq 2,100$ МПа
- Водопоглощение: ≤ 32 мкг / мм³
- Растворимость водой: $\leq 1,6$ мкг / мм³
- Количество остаточного мономера: $\leq 1\%$
- Твердость по Шору: D 80 — 90

Для изготовления базисов съёмных протезов также предлагается материал NextDent Denture 3D+, биосовместимый материал IIa класса. Данный материал имеет значительно меньшую усадку, чем уже используемые, стандартные материалы ПММА. Полимеризационной усадки можно избежать, используя программное обеспечение, и в итоге получить превосходно подходящий для съёмного протеза базис. Прекрасные механические свойства позволяют материалу NextDent Denture 3D+ превзойти по качеству традиционные методы изготовления съёмных протезов. Доступен в следующих оттенках: темно-розовый, светло-розовый, опаловый, красновато-розовый и прозрачно-розовый. Биосовместим, не цитотоксичен, не вызывает покраснений и отеков, не обладает сенсibiliзирующими свойствами, не вызывает системную токсичность.

4.2. NextDent SG (Surgical Guide)

Материал, созданный для дизайна и 3D-печати высокоточных прозрачных хирургических шаблонов (рисунок 20).



Рисунок 20. Материал для 3D-печати высокоточных прозрачных хирургических шаблонов

NextDent SG является биосовместимым сертифицированным материалом класса I, разработанным для печати хирургических шаблонов (направляющих для более точного сверления и быстрого проведения операции по дентальной имплантации). Высокая точность материала — постоянство сохранения точных размеров и прозрачность — позволяет прецизионно позиционировать бур и другие хирургические инструменты при работе стоматолога. NextDent SG устойчив к дезинфицирующим средствам. Кроме того, этот материал можно стерилизовать с использованием гамма-лучей и автоклава. Использование автоклава не влияет на стабильность размеров, поэтому NextDent SG может быть использован в любом стоматологическом кабинете.

Основные характеристики:

- Цвет: полупрозрачный оранжевый
- Вязкость по Брукфильду при 23°C: 1,1 — 1,6 Па·с
- Предел прочности при изгибе: ≥ 80 МПа
- Модуль упругости при изгибе: $\geq 2,000$ МПа
- Стерилизация при температуре 134°C: Максимум — 5 мин.
- Твердость по Шору: D 80 — 90

4.3. NextDent C&B - биосовместимый композиционный материал для изготовления несъёмных конструкций зубных протезов и одиночных коронок (рисунок 21).



Рисунок 21. Материал для 3D-печати несъёмных конструкций зубных протезов и одиночных коронок

NextDent C&B является биологически совместимым композиционным материалом класса IIa для 3D-печати коронок и мостовидных протезов с опорой на 1-3 зуба. Свойства материала, в сочетании с его стойкостью к истиранию, делают NextDent C&B максимально подходящим для длительного этапа реабилитации пациентов с незначительными дефектами и деформациями зубных рядов. Изделия из NextDent C&B можно закреплять стоматологическим цементом для длительной фиксации.

Спецификации:

- Цвет: различные оттенки согласно принятой классификации Vita
- Вязкость по Брукфильду при 23°C: 0,9 — 1,4 Па·с
- Предел прочности при изгибе: ≥ 85 МПа
- Модуль упругости при изгибе: $\geq 2,100$ МПа
- Водопоглощение: ≤ 30 мкг / мм³
- Растворимость водой: ≤ 5 мкг / мм³
- Твердость по Шору: D 80 — 90

4.4. NextDent C&B MFH (микронаполненный гибридный материал) для изготовления несъёмных конструкций зубных протезов, имеющий широкую вариативность цветовой палитры и полупрозрачности структуры (рисунок 22).



Рисунок 22. NextDent C&B MFH (микронаполненный гибридный материал)

NextDent C&B MFH - биосовместимый материал класса Па, разработанный для печати временных коронок и имедиат протезов. Сбалансированное сочетание неорганических наполнителей и смол дает материалу высокую прочность и износостойкость. Материал легко обрабатывать и полировать, изделия могут быть окрашены всеми типами применяемых составных комплектов окрашивания. Благодаря идеальному балансу между непрозрачностью и полупрозрачностью, напечатанная коронка в точности повторяет цвет и анатомическую форму естественных зубов человека. Доступен в следующих оттенках: VL, N1, N1.5, N2, N2.5, N3 и T1. Биосовместим, не цитотоксичен, не мутагенен, не вызывает аллергических проявлений в полости рта в виде покраснений и отеков, не обладает сенсибилизирующими свойствами, не вызывает системную токсичность.

Спецификации:

- Цвет: различные оттенки согласно принятой классификации Vita
- Вязкость по Брукфильду при 23°C: 0,8 — 1,3 Па·с
- Предел прочности при изгибе: ≥ 100 МПа

- Модуль упругости при изгибе: $\geq 2,400$ МПа
- Водопоглощение: ≤ 30 мкг / мм³
- Растворимость водой: ≤ 5 мкг / мм³
- Коэффициент интенсивности нагрузки: $\geq 1,5$ МПа 1/2
- Прочность: $\geq 7,000$ Дж / м²

4.5. NextDent Ortho Clear - эстетичный 3D-материал для печати ортодонтических аппаратов, используемых врачами стоматологами-ортодонтами для лечения различной патологии прикуса (рисунок 23).



Рисунок 23. Материал для 3D-печати элайнеров

NextDent Ortho Clear – биологически совместимый материал класса Па для изготовления элайнеров. Структура материала прозрачна и практически незаметна при ежедневном использовании пациентом. Данный материал для 3D-печати, имеет высокую прочностью на изгиб и на ударную нагрузку, а также отличается высокой износостойкостью от аналогов. Подходит для принтеров с длиной волны 365 – 385 нм.

В отличие от брекет-систем, при использовании элайнеров в значительной степени снижается вероятность повреждений твёрдых тканей зубов кариозным процессом, а также происходит направленное передвижение зубов в костной ткани. 3D-печать моделей под элайнеры индивидуальна, время печати и количество капп зависит от клинического случая.

Первый плюс использования прозрачных элайнеров заключается в отсутствие отрицательного воздействия на эмаль зубов. Не требуется фиксировать элементы брекет-системы на поверхности зубов. Как следствие, после курса лечения, не требуется их демонтаж. Никакого патологически физического и химического воздействия на эмаль зубов не происходит, она просто отсутствует.

Во-вторых, и самое главное – это принцип передвижение зубов, который позволяет распределять и направлять вектор перемещения вдоль оси зубов, двигая их внутри челюсти и формируя вокруг них новую костную ткань. В случае с брекет системами, пациенты с большей долей вероятности испытывают дискомфорт от воздействия резинок на зубы, на

жевательные мышцы и элементы височно-нижнечелюстных суставов, а также на каждом этапе активации всей брекет системы, возможны постоянные щелчки и дискомфорт от болей в шейном отделе позвоночника вплоть до головных болей на разных этапах исправления прикуса брекет системами.

Прозрачные элайнеры – это технология, позволяющая передвигать зубы во всех направлениях, используя съёмные ортодонтические аппараты, т.е. и вперед, и назад, и вверх, и вниз – все зависит от того, что необходимо в конкретной клинической ситуации.

Спецификации:

- Цвет: прозрачный
- Вязкость по Брукфильду при 23°C: 0,8 — 1,3 Па·с
- Предел прочности при изгибе: не ограничен
- Модуль упругости при изгибе: $\geq 1,300$ МПа
- Водопоглощение: ≤ 65 мкг / мм³
- Растворимость водой: ≤ 5 мкг / мм³
- Коэффициент интенсивности нагрузки: $\geq 1,1$ МПа 1/2
- Прочность: $\geq 6,000$ Дж / м²
- Твердость по Шору: D 80 — 90

Процесс производства начинается со сканирования зубов пациента врачом стоматологом-ортодонтом, который потом использует специализированное программное обеспечение для создания 3D модели полости рта пациента. При производстве элайнеров, модель зубного ряда челюсти корректируется с учётом того, как зубные ряды должны будут выглядеть в будущем, то есть готовые элайнеры – это серия капп для зубных рядов, передающих давление на зубы, способствуя их перемещению; каждая последующая серия капп отличается от предшествующей небольшими изменениями формы в сторону желаемого местоположения зубов; серии сменяют друг друга, пока позиция зубов не будет идеальной с точки зрения физиологии зубочелюстной системы; как правило для лечения необходимо порядка 5-10 комплектов элайнеров.

Преимущество в использовании 3D технологий для печати элайнеров заключается в точности и скорости их производства, с учётом индивидуальных особенностей прикуса, поскольку весь курс лечения ортодонтическими каппами проводится, опираясь именно на сканирование зубных рядов пациента.

В дополнении к бесцветному материалу для 3D-печати элайнеров можно использовать аналог с голубым оттенком: *NextDent Ortho IBT* - гибкий материал для печати ортодонтических аппаратов, используемых врачами стоматологами-ортодонтами для лечения различной патологии прикуса (рисунок 24).



Рисунок 24. Материал для 3D-печати элайнеров с голубым оттенком

NextDent Ortho Rigid является биологически совместимым материалом класса Па, который разработан для цифрового изготовления кап и протезов. В сочетании с соответствующим программным обеспечением, он позволяет легко проектировать и печатать изделия для решения задач ортодонтического лечения, минуя дополнительные постпечатные процессы.

Спецификации:

- Цвет: прозрачный синий
- Вязкость по Брукфильду при 23 °С: 0,8 — 1,3 Па·с
- Предел прочности при изгибе: ≥ 75 МПа
- Модуль упругости при изгибе: $\geq 1,800$ МПа
- Коэффициент интенсивности нагрузки: $\geq 0,9$ МПа / 2
- Водопоглощение: ≤ 32 мкг / мм³
- Растворимость водой: ≤ 5 мкг / мм³
- Прочность: $\geq 3,000$ Дж / м²
- Твердость по Шору: D 80 — 90

4.6. NextDent Model - гибкий материал для 3D-печати высокоточных стоматологических моделей в области цифрового проектирования зубных рядов верхней и нижней челюсти (рисунок 25).



Рисунок 25. Гибкий материал для 3D-печати мастер-моделей

Материал NextDent Model создан для печати детальных мастер-моделей, где требуется высокая точность и детализация объекта. 3D модели челюстей точно передают все нюансы расположения и формы элементов отсканированного зубного ряда и слизистой оболочки, благодаря цвету и непрозрачности хорошо детализируют поверхность для получения врачом стоматологом-ортопедом точного представления об объекте лечения. Точные 3D-печатные модели являются идеальной базой для более эффективной работы по созданию полноценных зубных рядов при помощи технологии Wax-Up.

Спецификации:

- Цвет: песочный или бежевый
- Вязкость по Брукфильду при 23 °С: 0,7 — 1,2 Па·с
- Предел прочности при изгибе: ≥ 40 МПа
- Модуль упругости при изгибе: $\geq 1,000$ МПа
- Твердость по Шору: D 80 — 90

Ортопедическая стоматология решает не только функциональные задачи, но и эстетические. До недавнего времени в арсенале зубных техников использовалась технология Wax-Up для решения задач предварительного моделирования, коррекции и визуализации результатов лечения, которая подразумевает внесение корректировок на гипсовой модели челюсти посредством специальных цветных восков. Специализированные зуботехнические лаборатории осуществляют моделирование всех видов зубных протезов с использованием цифровых технологий, например – Digital Wax-Up. Программа цифрового моделирования Avantis 3D позволяет с помощью технологии Wax-Up и Mock-Up менять исходную форму зубов в зависимости от предполагаемого результата лечения. Цифровое проектирование и использование цветового эквивалента помогает получить виртуальную модель, объединяющую элементы зубов до и после протезирования. Наличие специализированного оборудования позволяет использовать метод 3D-печати для изготовления моделей, которые ранее отливались из воска.

Преимущества цифрового эквивалента WAX-UP:

- Цифровой эквивалент Wax-Up технологии позволяет сократить время изготовления модели, вносить коррективы намного быстрее и точнее. Распечатанные на 3D принтере Wax-Up модели максимально точно иллюстрируют работу техника и прекрасно визуализируют итог лечения для пациента;

- Модели можно использовать для последующего изготовления Mock-Up. Предварительное моделирование при помощи Mock-Up позволяет не только гарантировать качественную визуализацию, но и минимизировать ошибки, ведь при изготовлении готовых протезов используются дорогостоящие материалы;

- Оснащение зуботехнические лаборатории, а также профессионализм её сотрудников, позволяют в кратчайшие сроки изготавливать Wax-Up модели в любом количестве.

Главное преимущество технологии – значительное увеличение скорости получения цифровой модели по сравнению с восковым моделированием, которое является долгим и весьма трудоёмким процессом. Применяемый метод позволяет учитывать все индивидуальные особенности пациента и достичь наиболее точной формы зубного протеза. Для 3D-моделирования используется специальное программное обеспечение, а сам зубной протез изготавливается из особого фотополимера высокого качества. Использование Digital Wax Up делает моделирование наглядным для пациента. Становится возможным согласование формы зубов непосредственно в процессе изготовления постоянной конструкции.

Клиническая ситуация на сканах моделей.

С первого взгляд видно, что пациенту требуется коррекция формы зубных рядов посредством ортодонтического лечения (рисунок 26). Однако, пациенты нередко бывают против предлагаемых методов лечения из-за их высокой стоимости и длительных сроков реабилитации. При помощи специального программного обеспечения пациенту можно визуализировать конечный вариант лечения по средством виртуального моделирования цифрового прогноза или диагностического Wax Up (рисунок 27).

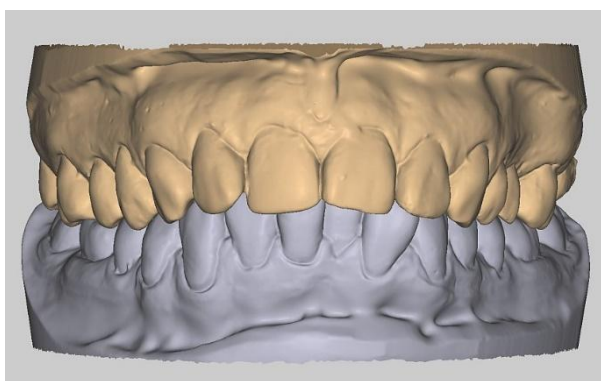


Рисунок 26. Внешний вид зубных рядов

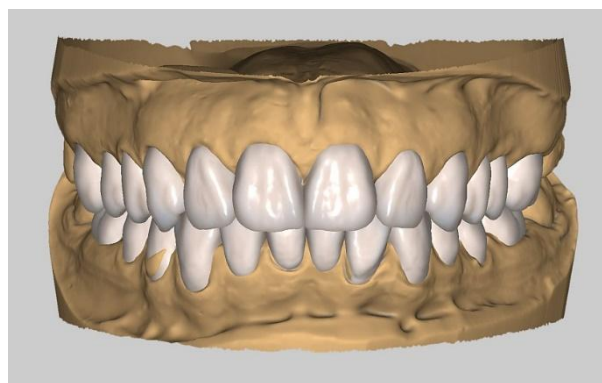


Рисунок 27. Коррекция формы зубных рядов при помощи виртуального моделирования

В дальнейшем создаются базисы и получают диагностические Wax-Up модели, которые затем отправляются на 3D-печать. Практически всегда при диагностическом моделировании (wax-up) приходится модифицировать исходные модели. Как правило, моделирование происходит не только по причине несостоятельности в эстетике, но и при нарушении окклюзии зубных рядов. В этом случае, продемонстрировать пациенту предлагаемый результат коррекции зубных рядов можно только на рабочих моделях. Особенность этого этапа заключается в том, что

препарирование определённого количества твёрдых тканей зубов происходит на рабочих моделях (сканах).

Вот наложение wax-up/mock-up. На картинке в сравнении видно начальную клиническую ситуацию (зеленый цвет) и результат нашего планирования (рисунок 28). Снятый по напечатанной вакс-ап модели мантель просто нельзя надеть на зубной ряд без препаровки зубов. Да и на препарированном бывает сложно добиться точной посадки (рисунок 29).

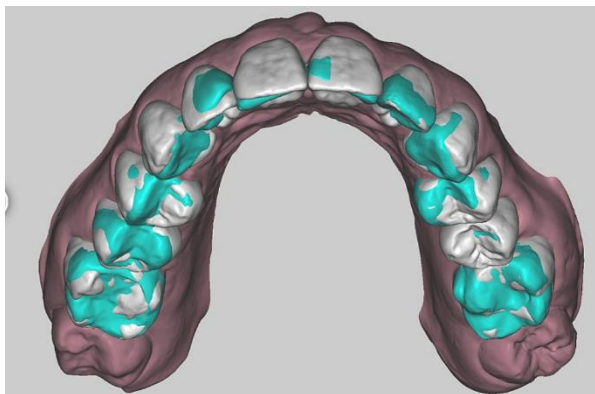


Рисунок 28. Визуализация наложения wax-up/mock-up на виртуальной модели

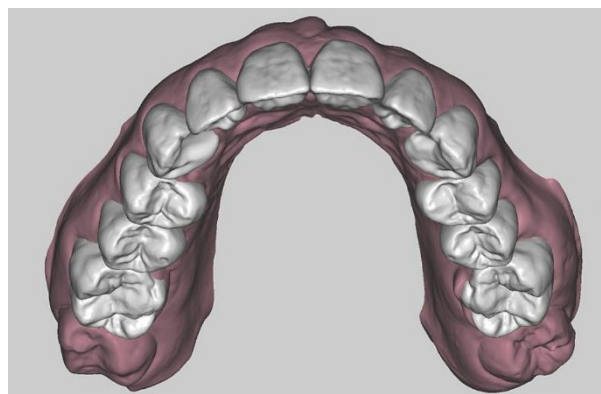


Рисунок 29. Wax-up виртуальная модель верхней челюсти

Это является основной проблемой обычного воскового моделирования. Модели приходится подшлифовать, смоделировать красиво возможно практически всегда, а вот перенести в точности в полость рта – нельзя. С эстетической точки зрения, воск не может полностью воспроизвести оттенок зубов, а помогает лишь с визуализацией формы и будущего положения зубов. Что касается исследование функции зубочелюстной системы пациента, то спрогнозировать в артикуляторе диапазон всех жевательных движений с учётом смоделированных в wax-up репродукции зубных рядов довольно сложно. Поэтому, неотъемлемой частью реабилитации остаётся использование композитной репродукции, или так именуемого mock-up.

Mock-up позволяет полностью имитировать эстетический вид будущих реставраций и имеет исключительное значение на этапах планирования лечения. Mock-up изготавливают сразу же после подтверждения правильности выполненной восковой модели (рисунок 30).

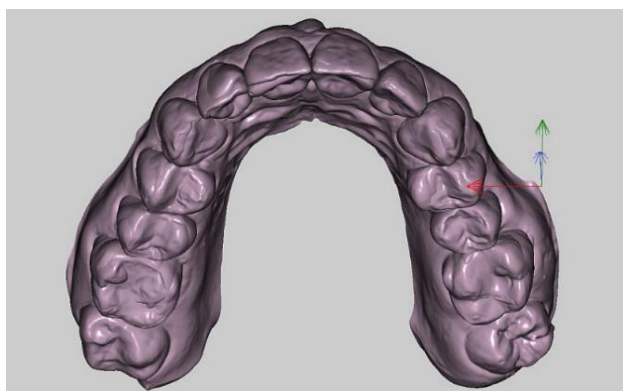


Рисунок 30. Виртуальное изображение мастер модели для Mock-up

Mock-up примеряют сначала на модели, а после и в полости рта пациента. Таким образом удается полностью перенести геометрию восковой моделировки в ротовую полость. Примерка композитной репродукции во рту позволяет оценить эстетику, функцию и характер взаимодействия будущих реставраций. Таким образом врачу также удается вовлечь пациента в процесс своего лечения: пациент самостоятельно может ознакомиться с композитным макетом до изготовления окончательных реставраций, совместно с врачом стоматологов внести коррективы, обсудить объём препарирования зубов. С другой стороны, mock-up — это ещё один инструмент работы с зубным техником, который только улучшает коммуникацию. Врач стоматолог может вносить любые изменения на композитной репродукции, по которым зубной техник в дальнейшем может изготовить новый зубной протез. Mock-up позволяет также проверить окклюзию будущих реставраций, являясь критерием проверки адекватности моделировки wax-up.

Mock-up можно модифицировать с помощью композитов, достигая необходимой длины и формы будущих реставраций. Использование композитного макета особенно важно при лечении зубов фронтальной области из-за потери твердых тканей, частичной адентии, диастемы, врожденных дефектов развития или просто из-за имеющихся эстетических проблем. После постановки диагноза и выбора метода лечения, стоматолог заказывает шаблон, который изготавливают по гипсовой модели. Предварительно врач, конечно-же, должен сообщить зубному технику о всех необходимых коррекциях и пожеланиях (рисунок 31, 32).



Рисунок 31. Гипсовые модели зубных рядов до лечения.



Рисунок 32. Напечатанные мастер-модели зубных рядов после Mock-up моделирования в лаборатории

После получения Mock-up врач стоматолог-ортопед должен продемонстрировать пациенту напечатанные 3D-модели челюстей, объяснив трехмерную концепцию будущих реставраций. Врач стоматолог-ортопед также может при пациенте сравнить гипсовую модель и 3D макет челюстей, указывая на то, какая ситуация сейчас, и какова она будет после лечения. После того, как пациент согласился со всеми коррекциями, который были сделаны воском, Mock-up переноситься в ротовую полость

пациента при помощи силиконовых ключей или методом 3D печати окончательных реставраций (рисунок 33, 34).



Рисунок 33. Состояние твёрдых тканей зубов на момент первичного осмотра



Рисунок 34. Ремоделировка зубов в полости рта методом дублирования мастер-модели

Для изготовления моск-уп могут использовать различные материалы и техники, например самоотверждающийся композит, который обычно используется для изготовления временных коронок, мостов и вкладок/накладок. В отличие от лабораторной восковой репродукции, свойства композита позволяют воспроизвести естественный оттенок зуба в пределах достаточно большого диапазона оттенков от А1 до А3.5, включая оттенки В, С и Bleach Light. Механическая стойкость материала позволяет моделировать окклюзионные соотношения в области моск-уп непосредственно во рту пациента. Самоотверждающиеся композиты практически ничем не отличаются от традиционных светоотверждающихся аналогов. Ретенция композитной репродукции к твёрдым тканям зубов формируется без необходимости использования какого-либо фиксирующего материала.

Композитные макеты представляют собой простой и неинвазивный метод, который легко может быть имплементирован в клиническую практику врача-стоматолога. В качестве предварительной конструкции моск-уп позволяет оценить эстетические, функциональные и психологические аспекты будущего лечения. Кроме того, пациент таким образом имеет возможность непосредственно «апробировать» новый профиль своей улыбки, лучше представляя для себя, каким будет конечный результат. С точки зрения зубного техника, моск-уп позволяет получить ему дополнительную информацию, и лучше настроить связь как с врачом, так и с самим пациентом. Улучшенная коммуникация усиливает сотрудничество между врачом стоматологом, пациентом и зубным техником, которые в одинаковой мере принимают участие в процессе окончательной реабилитации зубочелюстной функции у пациента (рисунок 35, 36).



Рисунок 35. Процесс обработки твёрдых тканей зубов и определение их цвета



Рисунок 36. Вид готовой конструкции после фиксации в полости рта

Использование mock-up предоставляет целый ряд преимуществ. Во-первых, есть возможность визуализировать пациенту будущий результат лечения, таким образом используя его непосредственно в процессе реабилитации. Подобный подход помогает снизить риск развития возможных потенциальных конфликтов между врачом и недовольным пациентом. Кроме того, mock-up макет позволяет пациенту привыкнуть к измененным параметрам эстетики, функции, фонетики и окклюзии. Таким образом, сам процесс лечения становится более прогнозируемым для пациента. Кроме улучшения коммуникации с пациентом, врачу стоматологу благодаря композитному макету удастся улучшить взаимодействие с зубным техником. Имея в своем распоряжении mock-up и клинические фотографии техник оперирует всеми необходимыми инструментами для воссоздания индивидуализированного профиля улыбки. Объективно wax-up/mock-up репродукция позволяет оценить функциональную сторону будущей реставрации (структурная и динамическая окклюзию, положение свободного края для артикуляции, поддержка губ), а композитная – и эстетический аспект (оттенок, форму, объем, симметрию улыбки, ее гармонию с эстетикой лица).

4.7. NextDent Model Ortho - для печати заготовок под вакуумное литье (рисунок 37).



Рисунок 37. Материал для печати заготовок под вакуумное литье

NextDent Model Ortho— материал для печати моделей, используемых в вакуумном литье. Этот материал позволяет печатать быстрее и легче, по сравнению с другими модельными материалами, но обеспечивает чуть меньшую точность.

Спецификации:

- Цвет: бежевый непрозрачный
- Вязкость по Брукфильду при 23 °С: 1,0 – 1,5 Па · с
- Предел прочности при изгибе: ≥ 40 МПа
- Модуль упругости при изгибе: $\geq 1,000$ МПа
- Твердость по Шору: D 80 – 90

4.8. NextDent Tray - высококачественный материал для 3D-печати индивидуальных оттисковых ложек (рисунок 38).



Рисунок 38. Материал для 3D-печати индивидуальных оттисковых ложек

NextDent Tray является биосовместимым сертифицированным материалом первого класса, предназначенным для 3D-печати индивидуальных ложек для изготовления съёмных зубных протезов. Материал позволяет производить объёмную цифровую печать высокой точности на большой скорости. NextDent Tray даёт возможность создавать даже самые сложные формы в течение нескольких минут. Отпечатанные формы обладают достаточной жесткостью для дальнейшей работы с любым типом слепочного материала, что делает возможным создание высококачественных и высокоточных изделий.

Спецификации:

- Цвета: синий, розовый
- Вязкость по Брукфильду при 23 °С: 0,9 – 1,4 Па · с
- Предел прочности при изгибе: ≥ 80 МПа
- Модуль упругости при изгибе: $\geq 2,000$ МПа
- Твердость по Шору: D80 – 90

4.9. NextDent Gingiva Mask - гибкость 3D-печатных моделей (рисунок 39).



Рисунок 39. Материал для печати репродукций искусственной десны

NextDent Gingiva Mask представляет собой гибкий материал, который может быть использован в сочетании с модельным материалом, например – для частичного или масштабного протезирования десен (имитации слизистой оболочки при атрофии альвеолярного отростка челюсти). Имеет специфическое преимущество в случаях, когда требуется большая гибкость.

Спецификации:

- Цвет: розовый
- Вязкость по Брукфильду при 23 °С: 1,1 — 1,6 Па·с
- Упругость на растяжение: 15 — 25%

4.10. NextDent Cast - выжигаемый материал для 3D-печати литьевых моделей (рисунок 40).



Рисунок 40. Материал для печати репродукций каркасов зубных протезов

NextDent Cast — полностью выжигаемый материал для литья из металла. NextDent Cast подходит для производства всех видов стоматологических изделий из металлических сплавов. Просто спроектируйте, распечатайте и используйте его с другими рекомендуемыми материалами, предназначенными для создания формы и

заливки металлом. Выгорая без остатка в процессе литья, NextDent Cast позволяет создавать максимально точные металлические ортопедические изделия и протезы.

Спецификации:

- Цвет: Пурпурный
- Вязкость по Брукфильду при 23 °С: 1,1 – 1,6 Па·с
- Твердость по Шору: D 80 – 90

4.11. HARZ Labs Model Resin – модели с повышенными требованиями к физико-механическим свойствам.

Стоматологические модели зубных рядов, для которых важны повышенная жёсткость, прочность и термостойкость, можно изготавливать из специальных усиленных фотополимеров. Этому материалу свойственна долговременная стабильность при 100°C, что позволяет использовать его для силиконов холодной и горячей вулканизации, а также для отливок в 2-х компонентные системы. А кратковременную стабильность при 180°C можно использовать для термоформовки пластин при изготовлении окклюзионных капп и шин (рисунок 41).



Рисунок 41. Жидкий полимер для печати зубных протезов с повышенными прочностными характеристиками

Это далеко не полный перечень материалов, используемых в стоматологии для 3D-печати, постоянно ведется разработка более нового и ещё более впечатляющего, а перечисленное в обзоре – лишь то, что уже массово используется и доступно в ортопедической стоматологии. Все материалы поставляются в ёмкостях объемом 1000 мл, а печать ими достаточно проста и удобна.

Любая новая технология вдвойне хороша, если еще и несет в себе дополнительную экономическую эффективность для пользователей. Зная вес материала, необходимого для создания той или иной модели челюстей или конструкции зубного протеза, можно рассчитать себестоимость печати. Например, для создания одной демо-модели, потребуется около 25 гр. смолы, хирургического шаблона и модели элайнеров – около 15 гр.

Следовательно, себестоимость печати одной модели будет следующая:

- 25 гр. смолы (для демо-модели) Dental Peach обойдется вам в 6 рублей
- 15 гр. (модели для элайнеров) – 4 рубля
- 15 гр. Dental Yellow Clear для шаблонов будет стоить 4 рубля

Опираясь на несложные расчеты, можно произвести сравнение с затратами на традиционные способы изготовления зуботехнических изделий и понять, как быстро можно возратить инвестиции, затраченные на покупку необходимого 3D оборудования.

5. Постобработка образцов 3D-печати

Кроме приобретения 3D-принтера, стоит также учитывать необходимость наличия двух дополнительных устройств: ультразвукового очистителя и УФ-камеры засветки.

После 3D-печати стоматологическим изделиям нужна постобработка, первым делом их нужно промыть в техническом спирте для удаления остатков смолы. Это можно делать вручную в ванночке со спиртом, но лучше всего использовать специальный ультразвуковой очиститель, который справляется с этой задачей максимально быстро и качественно (рисунок 42).



Рисунок 42. УЗ-ванна UNIZ UC-4120

УФ-камера нужна для последующей засветки стоматологических изделий после 3D-печати, это также придаёт модели дополнительную прочность. Допускается постановка модели на солнце или в бытовую камеру для сушки ногтей, но тогда процесс полной полимеризации займет от 12 до 24 часов, в УФ-камере это занимает 10-15 минут (рисунок 43).



Рисунок 43. УФ-камера Wanhao Voxman-1

6. Выбор 3D-принтера

Выбор самого 3D-принтера представляется самой сложной задачей для пользователя, который до этого не сталкивался с технологией его работы. В этом случае необходимо исходить, прежде всего, из бюджета на первоначальную покупку, а также рассчитать себестоимость расходных материалов, которая включает в себя стоимости смол, ванночек для печати, сменных пленок и LCD-матриц, которые имеют определенный ресурс использования.

Основные параметры, которые следует учитывать при выборе 3D принтера для стоматологии:

- *Компания производитель:* выбирая 3D принтер для небольшого стоматологического кабинета, обязательно важно принять к сведению наличие у представителя производителя оборудования гарантийного обслуживания и ремонта узлов и деталей. Причина проста – в будущем в случае ремонта оборудования может потребоваться определенная деталь, которую чрезвычайно сложно будет заказать если её нет у официальных представителей.

- *Стоимость:* ценовой диапазон профессиональных 3D-принтеров (SLA) для стоматологии начинается от 4000 рублей.

- *Типы используемых пластиков:* нежелательно иметь привязку к одному расходному материалу.

- *Размер печатающего сопла:* важным параметром при выборе устройства для 3D печати является максимальное разрешение. Это позволяет печатать изделия идеальной гладкости. Для элайнеров достаточная способность наносить материал толщиной 50 микрон.

- *Производительность:* должна быть высокая производительность для быстрой окупаемости проекта по производству элайнеров, коронок, мостов, шаблонов и т.д.

6.1. Стереолитография SLA, DLP и с низким усилием отрыва (LFS):

Из-за того, что сейчас в стоматологических клиниках и в лабораториях широко распространены две технологии 3D-печати: лазерная стереолитография (SLA) и цифровая светодиодная проекция (DLP), другие методы 3D-печати редко применяются в стоматологии. В процессе стереолитографии, под воздействием лазерного луча, происходит послойное отверждение определенных участков жидкой фотополимерной смолы, налитой в ванну принтера (рисунок 44).

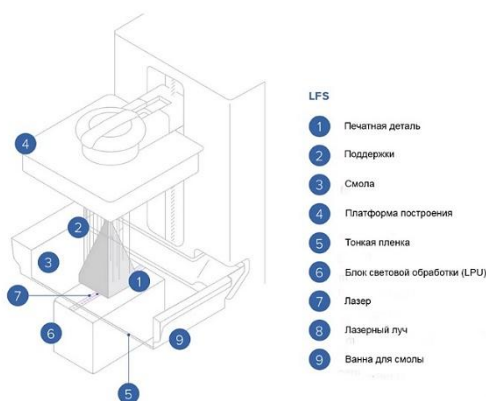


Рисунок 44. Технология 3D-печати методом лазерной стереолитографии

В стоматологическом 3D-принтере «Formlabs Form 3B» применяется современная модификация SLA – технология стереолитографии с низким усилием отрыва (LFS). Благодаря тому, что слой при подъеме печатной платформы легко отделяется от дна ванны, снижается напряжение между слоями, в результате принт получается четким и точным, с повышенным качеством поверхности и краев.

Технология DLP использует те же химические процессы, что и SLA, и LFS, но смолу отверждает не лазер, а проектор или УФ-светодиоды, излучение которых проходит сквозь LCD-матрицу (рисунок 45).

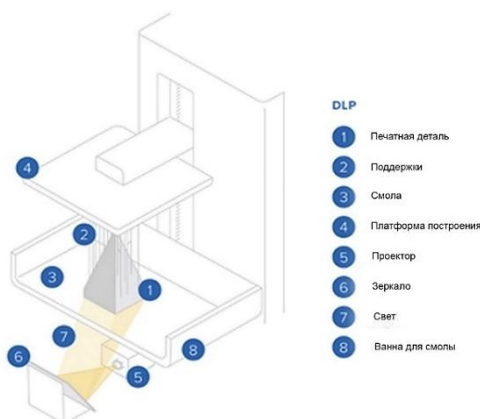


Рисунок 45. Технология 3D-печати методом цифровой светодиодной проекции (DLP)

Принцип работы SLA, LFS и DLP 3D-принтеров довольно похож. Процессы различаются между собой по качеству принтов и устройству принтеров, доступным материалам, затратам и другим факторам, зависящим не столько от технологии, сколько от конкретной модели принтера.

6.2. Оценка точности и детализации стоматологических 3D-принтеров

Изготовление высококачественных, точных конечных изделий — самая важная задача для любой стоматологической клиники и зуботехнической лаборатории. К сожалению, не все 3D-принтеры могут обеспечить требуемый уровень качества, точности и аккуратности. К тому же надо учесть, что при сравнении различных стоматологических 3D-принтеров не стоит ограничиваться изучением их технических спецификаций.

Некоторые производители вводят в заблуждение потенциальных покупателей с помощью не соответствующих действительности технических характеристик. Чаще всего они называют высоту слоя, размер лазерного пятна или размер пикселя «точностью», даже если эти данные не оказывают прямого влияния на точность конечных деталей. К тому же, когда большинство компаний указывает единственное число для точности (скажем, 50 или 75 микрон), они чаще всего имеют в виду верхний предел разрешения принтера (рисунок 46).

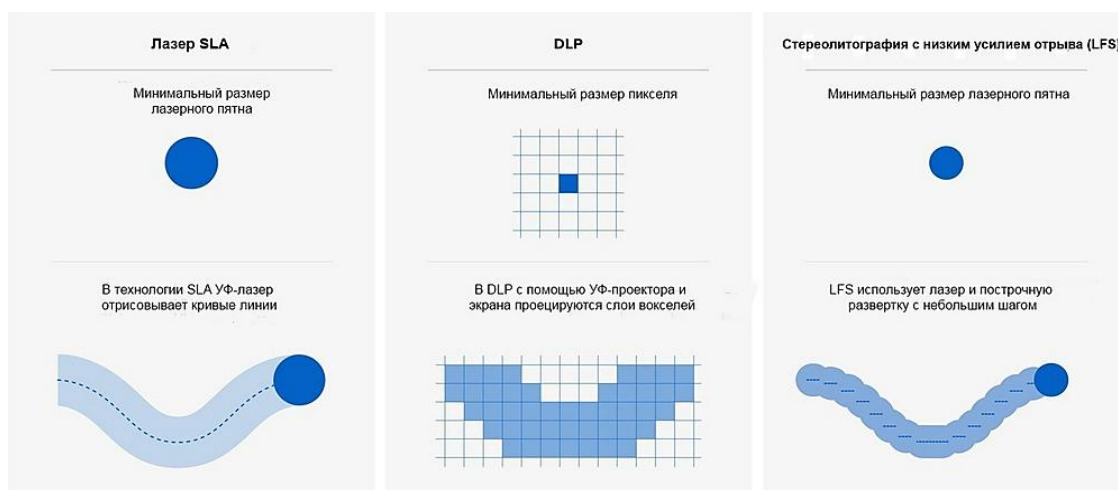


Рисунок 46. Сравнение точности основных методов 3D-печати

Основные единицы, описывающие SLA и DLP принтеры, представлены в разном формате, что затрудняет сравнение различных типов машин по числовым спецификациям. По сути, детализация и точность зависят от множества различных факторов: качества 3D-принтера, технологии 3D-печати, печатных материалов, программного обеспечения, постпечатной обработки и от того, насколько хорошо откалиброваны все эти системы. Надежнее всего оценивать

стоматологический 3D-принтер по конечным печатным изделиям (рисунок 47).

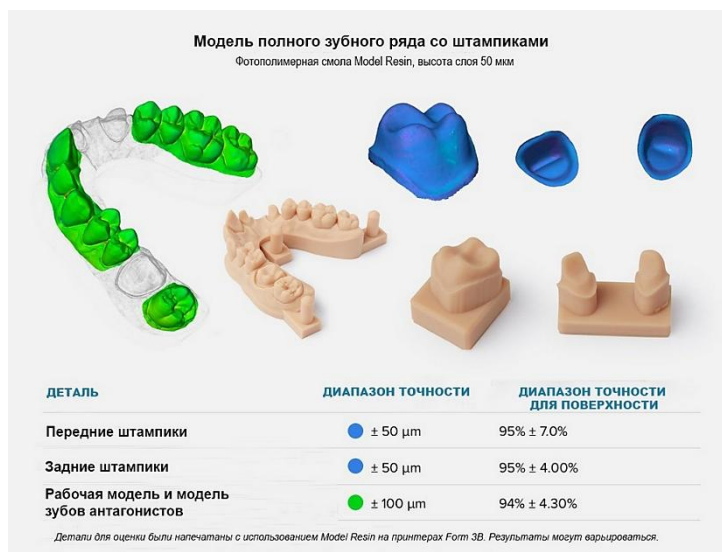


Рисунок 47. Исследование точности модели полного зубного ряда со штампами, напечатанными на LFS 3D-принтере Form 3B

Всегда необходимо сравнивать заявленные данные о точности печати с данными сканирования реальных напечатанных образцов. Более того, попросите напечатать бесплатный образец или закажите деталь по вашему собственному дизайну, чтобы проверить, насколько качество печати соответствует заявленному.

На сегодняшний день стоматологические 3D-принтеры в состоянии печатать высококачественные изделия с превосходной посадкой и воспроизводимыми результатами по индивидуальному заказу.

6.3. Простота использования оборудования для 3D-печати

Удобство использования 3D-принтера — еще один фактор, заслуживающий внимания при выборе, ведь врачу стоматологу и зубному технику придется научиться пользоваться оборудованием и ежедневно его обслуживать. Персоналу стоматологической поликлиники всегда предлагают дополнительную информацию насколько легко освоить новый 3D-принтер: это и видео материалы, конференции онлайн, медицинские выставки, мнения практикующих специалистов.

К счастью, большинство современных настольных SLA и DLP 3D-принтеров спроектированы интуитивно понятно, так что сотрудники стоматологических клиник и лабораторий могут легко разобраться с процессом печати.

Необходимо также понимать, какое обслуживание понадобится 3D-принтеру и как с ним придётся взаимодействовать. Например, благодаря автоматическому дозированию смолы в SLA и LFS 3D-принтерах

Formlabs, врачу стоматологу или зубному технику не придется гадать, хватит ли материала для печати зуботехнического изделия.

Некоторые принтеры поставляются с проприетарным программным обеспечением для подготовки 3D-моделей к печати. Например, для 3D-принтеров Formlabs предусмотрена программа PreForm. Некоторые производители предлагают использовать уже готовые решения. Набор функций зависит от программного инструмента, например — PreForm предлагает настройку печати в один клик и большой набор ручных настроек для управления оптимизацией плотности, размером поддержек, толщиной адаптивного слоя и функциями экономии материала и времени. PreForm можно скачать бесплатно для тестирования функций.

После изготовления изделия, напечатанному по технологиям SLA, LFS и DLP 3D-модели потребуется постобработка. Сначала детали необходимо промыть в растворителе, для удаления избытка смолы. Биосовместимые детали зубов, как и другие фотополимерные принты, для обретения полной прочности требуют также и последующего отверждения, “запекания” — дозасветки ультрафиолетом. Formlabs предлагает решения Form Wash для промывки и Form Cure для “запекания”, которые автоматизируют эти этапы, позволяют экономить время, а также без существенных усилий поддерживать производственную среду в чистоте.

Наконец, в зависимости от дизайна, некоторые принты необходимо очистить от опорных конструкций. Formlabs Form 3В печатает поддержки с уменьшенным размером контакта с деталью, которые почти не оставляют следов после удаления. Это значительно облегчает постобработку и снижает расходы на нее.

В самом начале эпохи 3D-печати принтеры делали много неудачных принтов, и чуть ли не половина срока эксплуатации оборудования приходилась на обслуживание машин. Принтеры последнего поколения гораздо надежнее. По отзывам пользователей 3D-принтеров Formlabs, из миллионов отпечатков, сделанных на десятках тысяч машин, количество успешных принтов выше 95 %.

6.4. Стоимость 3D-принтеров и окупаемость инвестиций

Когда в лечебном учреждении внедряется новая технология изготовления зубных протезов, необходимо, чтобы она была финансово оправданной и приносила прибыль. Например, если поликлиника сама печатает хирургические шаблоны или стоматологические модели для изготовления термоформованных элайнеров, то затраты могут снизиться на 75-95 %, по сравнению с аутсорсингом – изготовлением этих изделий сторонними лабораториями. Этого достаточно, чтобы окупить 3D-принтер за несколько недель, а потом многократно вернуть его стоимость за последующие годы эксплуатации. Более конкретные сроки окупаемости

будут зависеть от объёмов 3D печати и конечной стоимости услуг в стоматологической поликлинике.

При сравнении различных решений для стоматологической 3D-печати нужно учесть:

- первоначальные затраты, включая стоимость принтера, расходы на обучение, настройку и, возможно, программное обеспечение;
- эксплуатационные расходы — расходные материалы, электричество, рабочее время сотрудников;
- расходы на обслуживание и ремонт.

Кроме этого, можно попробовать интерактивный инструмент Formlabs для расчета затрат на деталь и времени выполнения заказа при помощи 3D-печати, а также для сравнения экономии времени и затрат с другими методами производства.

6.5. Скорость 3D-печати и пропускная способность 3D-принтера

Важно учитывать не только скорость печати 3D-принтера, но и его производительность. Скорость печати для SLA, LFS и DLP 3D-принтеров в целом сопоставима.

Поскольку проектор экспонирует слой целиком, скорость печати каждого слоя по технологии DLP постоянна, то есть общее время печати зависит от высоты принта.

SLA и LFS 3D-принтеры создают каждую деталь с помощью лазера, то есть — скорость печати будет варьироваться, от слоя к слою.

Обычно SLA и LFS 3D-принтеры быстрее печатают один принт или мелкие детали, а DLP 3D-принтеры быстрее печатают несколько изделий, заполняющих большую часть печатной платформы.

При выборе принтера DLP, возможно, придется выбирать между разрешением и объёмом рабочей области. Маленький DLP 3D-принтер быстро печатает, но на печатной платформе размещается небольшое количество деталей. Принтер с большим объёмом сборки печатает больше деталей одновременно, но зачастую с более низким разрешением, так что может не подходить для печати моделей ортопедической стоматологии или хирургических шаблонов, которым требуется повышенная точность.

SLA и LFS 3D-принтеры совмещают все эти опции в одной машине, предлагая врачам стоматологам решать, будут ли они оптимизировать разрешение, скорость или пропускную способность — в зависимости от конкретного случая.

Использовать ли один 3D-принтер с большим объёмом печати, или группу небольших аппаратов, — также важно определиться заранее.

Пропускная способность и стоимость 3D-печатных изделий на стоматологическом 3D-принтере Form 3B (рисунок 48):



МОДЕЛИ ДЛЯ НЕСЪЕМНОГО ПРОТЕЗИРОВАНИЯ ПРИ ЧАСТИЧНОМ ОТСУТСТВИИ ЗУБОВ

Model Resin, высота слоя 50 мкм

До 8 наборов (нижние и верхние челюсти, штампики) печатаются примерно 9,5 часов, стоимость печати набора от 2 до 4 долл. США



МОДЕЛИ ПОЛНОГО ЗУБНОГО РЯДА ДЛЯ НЕСЪЕМНОГО ПРОТЕЗИРОВАНИЯ

Model Resin, высота слоя 50 мкм

До 2 наборов моделей полного зубного ряда (нижние и верхние челюсти, штампики) печатаются примерно 9,5 часов, стоимость печати набора от 6 до 8 долл. США



БОЛЬШИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

Белая смола, высота слоя 100 мкм

До 2 комплектов моделей (нижние и верхние челюсти) печатаются примерно 5 часов по цене от 6 до 9 долларов за комплект



ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

Model Resin, высота слоя 100 мкм

До 2 комплектов моделей (нижние и верхние челюсти) печатаются примерно 5 часов по цене от 6 до 9 долларов за комплект



ХИРУРГИЧЕСКИЕ ШАБЛОНЫ

Dental SG Resin, высота слоя 100 мкм

До 29 частичных хирургических шаблонов печатаются примерно 5 часов по цене от 2 до 4 доллара за деталь
До 8 хирургических шаблонов для полного зубного ряда печатаются примерно за 4 часа по цене от 3 до 6 долларов за деталь



ОККЛЮЗИОННЫЕ ШИНЫ

Dental LT Clear Resin, высота слоя 100 мкм

8 шин печатаются примерно 2,5 часа, стоимость от 3 до 6 долларов за деталь



ЗУБЫ ДЛЯ СЪЕМНЫХ ПРОТЕЗОВ

Denture Teeth Resin, высота слоя 50 мкм

До 8 комплектов зубов для протезов печатаются примерно 5,5 часов по цене 3-5 долларов за комплект



БАЗИСЫ ЗУБНЫХ ПРОТЕЗОВ

Denture Base Resin, высота слоя 50 мкм

До 8 базисов протезов печатаются примерно 9 часов по цене 5-7 долларов за базис



ПЛОСКИЕ ОРТОДОНТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

Grey Resin, высота слоя 160 мкм

До 9 моделей печатаются примерно 3,5 часа или 1 модель за 45 минут. Стоимость 2-3 доллара за модель

Рисунок 48. Скорость 3D-печати и пропускная способность 3D-принтера для различных изделий стоматологического профиля

Второй вариант снижает первоначальные затраты. Купив один комплект недорогую 3D-оборудования, лаборатория может протестировать методы работы с ним, прежде чем расширить производство с учётом спроса. Это позволяет платить за оборудование тогда, когда это необходимо, вместо того чтобы делать медленно окупающиеся крупные инвестиции в условиях стремительно меняющегося рынка. Кроме того — когда 3D-принтеров несколько, снижается риск простоев, — если одна единица оборудования нуждается в обслуживании или занята, можно запустить печать для следующего заказа на другой.

Несколько лет назад стоматологические 3D-принтеры были доступны только самым крупным зуботехническим лабораториям, теперь они широко распространены во многих лабораториях и стоматологических поликлиниках. Для выбора оборудования с учётом факторов, изложенных выше, и потребностей каждого медицинского центра, необходимо проводить исследования разных предложений, оценивать качество различных принтов, напечатанных на разных стоматологических 3D-принтерах и выбирать оптимальный вариант (рисунок 49).



Рисунок 49. Комплект 3D-оборудования компании Phrozen для зуботехнической лаборатории

Из бюджетных моделей, с которых можно начинать себя пробовать в области 3D-печати, обращает на себя внимание Phrozen Sonic Mini и Elegoo Mars. Sonic Mini – это новейший 3D-принтер от лидера рынка – тайваньской компании Phrozen, который сертифицирован в Республике Беларусь (рисунок 50).



Рисунок 50. 3D-принтер Phrozen Sonic Mini

Заключение

3D-принтеры занимают все более важное место в работе любой стоматологической поликлиники, зуботехнической лаборатории, исследовательских центров. С их помощью врачи стоматологи не только повышают качество своей работы и услуг, но и экономят значительные средства. Кроме того, 3D-принтеры в стоматологии гарантируют увеличение объёмов производства и невероятную точность готовых изделий медицинского назначения.

3D-принтеры в значительной степени снижают загруженность специалистов стоматологии от очень сложного и трудоемкого процесса в каждодневной работе — ручного моделирования и обработки зубных протезов, искусственных коронок и других изделий. Важным аргументом можно считать снижение временных затрат на изготовление готовой конструкции и более быструю реабилитацию пациентов, которым не нужно подолгу ждать и проходить весь сложный процесс от первого визита до установки окончательной конструкции, проходя через череду примерок и доработок.

Большим плюсом можно считать снижение доли используемых оттискных материалов, имеющих ряд негативных свойств, влияющих и на точность передачи информации о состоянии зубочелюстной системы, а также подверженных различной полимеризационной деформации и с течением времени негативно влияющими на здоровье врача стоматолога.

Трёхмерная печать выводит качество оказания стоматологической помощи на новый уровень, значительно увеличивая производственные мощности лечебного учреждения. Теперь становится возможным использовать рентгенологические снимки и сканирование полости рта для быстрого моделирования CAD/CAM и 3D-печати мастер-моделей, искусственных коронок, мостовидных протезов, хирургических шаблонов и ортодонтических аппаратов.

Вопросы для тестового контроля

1. На основе технологии стереолитографии (SLA):

- а) выдувание слоёв жидкой смолы на область печати, затвердевающих под воздействием света,
- б) лазерное спекание металлоглины,
- в) послойное затвердевание смолы за счёт избирательного действия лазерного луча, +
- г) послойное затвердевание смолы за счёт избирательного действия луча УФ-света,
- д) послойное затвердевание смолы за счёт избирательного действия луча света цифрового проектора.

2. В процессе печати по технологии DLP послойное затвердевание смолы происходит за счёт избирательного воздействия:

- а) лазерного луча,
- б) луча инфро-красного света,
- в) луча света цифрового проектора, +
- г) луча ультрафиолетового света.

3. В процессе печати на фотополимерном принтере:

- а) лапка-перемешиватель, +
- б) миксер,
- в) спица,
- г) щётка.

4. Виды 3D сканеров:

- а) интраоральный сканер, +
- б) конусно-лучевой компьютерный томограф, +
- в) лабораторный сканер, +
- г) лабораторный томограф.

5. Высота слоя, которая устанавливается производителем SLS принтера, но по умолчанию составляет:

- а) 10-15 мкм,
- б) 100-120 мкм, +
- в) 130-150 мкм,
- г) 50-100 мкм.

6. Главные преимущества цифровой лаборатории:

- а) экономия рабочего места, +
- б) экономия рабочего времени, +
- в) экономия гипса,
- г) экономия фонда заработной платы стоматологической пол-ки.

7. Горячее изотоническое прессование, применяемое при технологии лазерного спекания, способствует устранению остаточной:

- а) влажности изделия,
- б) гибкости изделия,
- в) пористости изделия, +
- г) растяжения изделия,
- д) хрупкости изделия.

8. Для модели, напечатанной по технологии струйной печати PolyJet необходима пост-обработка в виде удаления вспомогательного материала путём

- а) механического очищения щёткой,
- б) обработка тёплым воздухом,
- в) обтирания специальной тканью,
- г) растворения в ванне со специальным раствором, +
- д) ручного вымывания водой. +

9. Для полного затвердевания жидкой смолы, из которой напечатана модель на фотополимерном принтере необходима дополнительная

- а) обработка красителем,
- б) обработка лаком,
- в) полировка,
- г) фотополимеризация. +

10. Для полной герметизации модели в не спечённом порошке после печати на принтере SLS и перед тем, как достать модель, камера и порошок должны

- а) кристаллизоваться
- б) нагреться,
- в) остыть, +
- г) расплавиться.

11. Для спекания металлического порошка применяется оптоволоконные лазеры мощностью

- а) от 10 до 50 Вт,
- б) от 5 до 10 Вт,
- в) от 50 до 500 Вт, +
- г) от 500 до 1000 Вт.

12. К чему приводит чрезмерное спекание порошка при печати на SLS-принтере?

- а) избыточной пористости модели,
- б) избыточной хрупкости модели,
- в) потери детализации модели, +

г) потере прочности модели.

13. Какие виды ориентации печати различают на фотополимерном принтере?

- а) по диагонали,
- б) сверху вниз,
- в) слева направо,
- г) снизу вверх, +
- д) справа налево.

14. Какие требования предъявляются к поддержкам фотополимерного принтера типа «сверху вниз»?

- а) точная печать мостов, +
- б) точная печать отверстий,
- в) точная печать свесов,
- г) точная печать штампиков.

15. Какой 3D сканер используется для сканирования гипсовой модели?

- а) интраоральный сканер,
- б) конусно-лучевой компьютерный томограф,
- в) лабораторный сканер, +
- г) промышленный сканер.

16. Какой этап процесса сканирования выполняется автоматически?

- а) сканирование в прикусе, +
- б) сканирование верхней челюсти,
- в) сканирование дефекта зубного ряда,
- г) сканирование нижней челюсти,
- д) сканирование штампиков.

17. Критический угол свеса в принтере типа «сверху вниз» обычно составляет

- а) 20 градусов,
- б) 30 градусов, +
- в) 40 градусов,
- г) 50 градусов.

18. Лазерный луч в процессе печати на фотополимерном принтере фокусируется с помощью набора

- а) зеркал, +
- б) пластинок фольги,
- в) прозрачных стёкол,
- г) чёрных экранов.

19. Метод пост-обработки моделей, напечатанных на SLS-принтере

- а) дополнительная фотополимеризация,
- б) классическая окраска, +
- в) лакировка, +
- г) окраска распылением, +
- д) полировка. +

20. Оксельные линии придают модели, напечатанной по технологии DLP

- а) вязкость,
- б) прозрачность, +
- в) упругость,
- г) хрупкость.

21. Основные виды 3D печати, в основе которых процесс плавления (спекания)

- а) DLP,
- б) EBM, +
- в) PolyJet,
- г) SLA,
- д) SLS.

22. Основные виды 3D печати, в основе которых процесс фотополимеризации

- а) лазерное спекание,
- б) послойная печать, +
- в) струйная печать, +
- г) точно послойная печать, +
- д) электронно-лучевая плавка.

23. Основные преимущества 3Shape Dental System

- а) визуализация модели, +
- б) возможность цифрового сканирования,
- в) высокая скорость сканирования, +
- г) простой интерфейс, +
- д) сокращение этапов технологического процесса.

24. Пористость типичной модели, отпечатанной на SLS-принтере, составляет

- а) 10%,
- б) 30%, +
- в) 50%,
- г) 70%,
- д) 80%.

Список литературы

1. Горьков, Д. 3-D печать в малом бизнесе / Д. Горьков. – Москва : ЛитРес, 2015. – 174 с.
2. Горьков, Д. 3-D печать с нуля / Д. Горьков, В. Холмогоров. – Москва : ЛитРес, 2020. – 253 с.
3. Канесса, Э. Доступная 3D печать для науки, образования и устойчивого развития / Э. Канесса, К. Фонда, М. Зеннаро. – МЦТФ, 2013. – 192 с.
4. Пухова, О. Всё о 3D-принтере в стоматологии: особенности, применение, технологии [Электронный ресурс] / О. Пухова // Стомшоп.Блог. – Режим доступа: <https://stomshop.pro/blog/vse-o-3d-printere-v-stomatologii/>. – Дата доступа: 25.11.2019.
5. 3D-печать в стоматологии на примере NextDent. [Электронный ресурс] // Блог компании Top 3D Shop. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/top3dshop/blog/399271>. – Дата доступа: 16.11.2016.
6. Корнвейц А. И. Применение 3D-принтера в стоматологии [Электронный ресурс] /А.И. Корнвейц. – Режим доступа: https://cvetmir3d.ru/blog/primenenie/primenenie_3d_printera_v_stomatologii. – Дата доступа: 12.03.2020.
7. Принтер для стоматологии TRUMPF для печати КХС и титаном [Электронный ресурс] // Блог компании ИнтерТехноМаркет. – Режим доступа: <https://itmstanki.by/article/printer-dlya-stomatologii-trumpf-dlya-pechati-khs-i-titanom>. – Дата доступа: 04.05.2020.
8. Вивхарук, В. Wax-up и Mock-up модели [Электронный ресурс] /В. Вивхарук// – Режим доступа: <https://dentcad.pro/blog/mock-up-modeli>. – Дата доступа: 19.04.2019.
9. Nulty, A. Использование 3D печати мокапа для создания дизайна улыбки в одно посещение [Электронный ресурс] / А. Nulty, Ch. Lefkaditis, P. Zachrisson, Q.Van Tonder// Блог компании Belodent.org. – Режим доступа: <https://belodent.org/article/ispolzovanie-3d-pechati-mokapa-dlya-sozdaniya-dizayna-ulybki-v-odno-poseshchenie>. – Дата доступа: 19.06.2022.
10. Как выбрать 3D-принтер для стоматологической клиники или лаборатории [Электронный ресурс] // Блог компании Top 3D Group & Top 3D Shop. – Режим доступа: <https://top3dshop.ru/blog/dental-3d-printer-choice.html>. – Дата доступа: 22.04.2021.
11. Вебинар «Фотополимерные смолы HAZZ Labs. Решение основных проблем с 3D-печатью в стоматологии» [Электронный ресурс] // Блог компании Top 3D Group & Top 3D Shop. – Режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=IpyCNH4Q82g&t=488s>. – Дата доступа: 18.08.2020.
12. Балашов, А.С. Применение 3D сканера в медицинской практике: от сканирования зубов до моделирования протезов [Электронный ресурс] / А.С. Балашов // Блог компании Цветной мир. – Режим доступа:

<https://cvetmir3d.ru/blog/primenenie/primenenie-3d-skanera-v-meditsinskoy-praktike-ot-skanirovaniya-zubov-do-modelirovaniya-protezoov>. – Дата доступа: 16.04.2021.

13. Абакарова, А.С. Оптимизация производственной и финансовой деятельности предприятия на примере нового направления 3D-прототипирования в стоматологии [Электронный ресурс] / А.С. Абакарова, О.Ю. Корнева// Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Режим доступа: <http://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/54557/1/TPU729090.pdf>. – Дата доступа: 2019.

Учебное издание

Рубникович Сергей Петрович
Костецкий Юрий Аурелович
Грищенко Арсений Сергеевич

**3D-ПЕЧАТЬ В ОРТОПЕДИЧЕСКОЙ СТОМАТОЛОГИИ:
ОСОБЕННОСТИ, ПРИМЕНЕНИЕ, ТЕХНОЛОГИИ**

Учебно-методическое пособие

В авторской редакции

Подписано в печать 14.11.2022. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».

Печать ризография. Гарнитура «Times New Roman».

Печ. л. 3,31. Уч.- изд. л. 3,39. Тираж 120 экз. Заказ 38.

Издатель и полиграфическое исполнение –
государственное учреждение образования «Белорусская медицинская
академия последипломного образования».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/136 от 08.01.2014.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 3/1275 от 23.05.2016.

220013 г. Минск, ул. П. Бровки, 3, корп. 3.

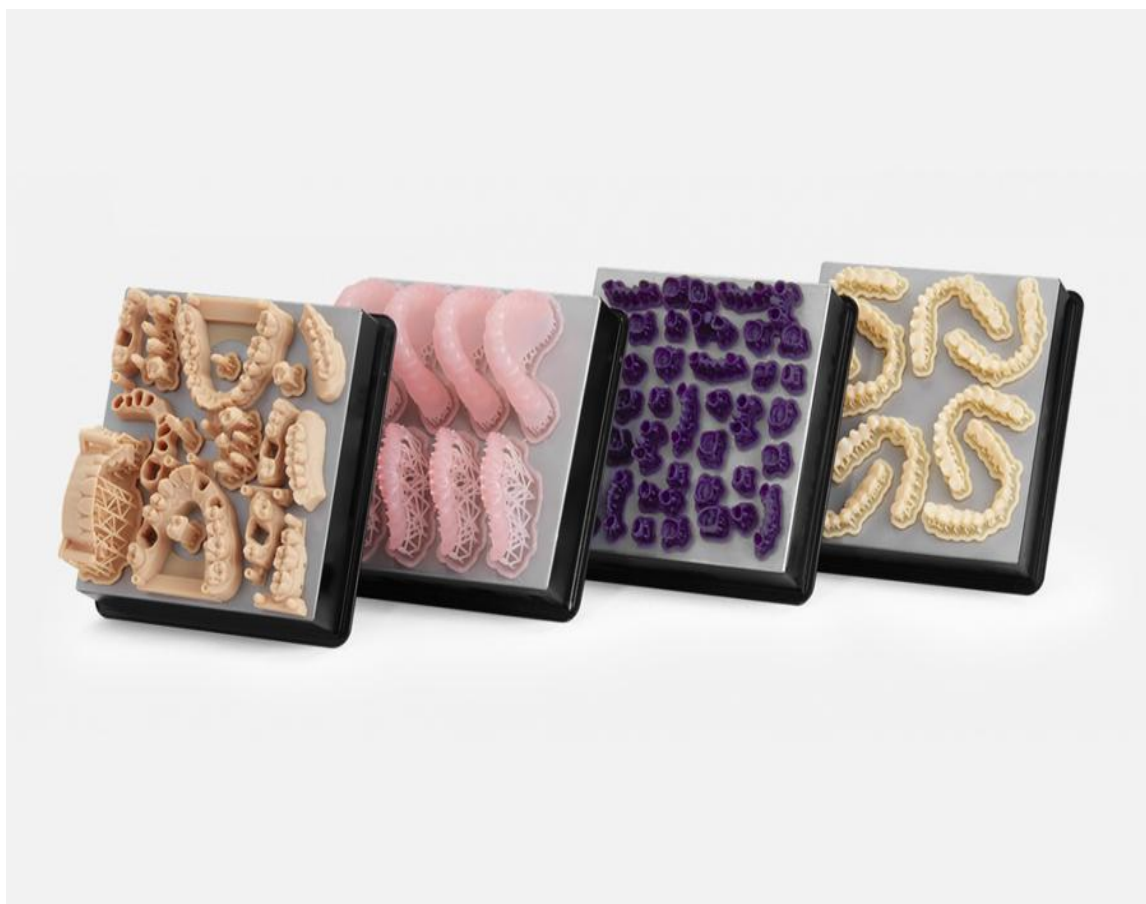
МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКАЯ МЕДИЦИНСКАЯ АКАДЕМИЯ
ПОСЛЕДИПЛОМНОГО ОБРАЗОВАНИЯ»

Кафедра ортопедической стоматологии и ортодонтии
с курсом детской стоматологии

С. П. Рубникович, Ю. А. Костецкий, А. С. Грищенко

3D-ПЕЧАТЬ В ОРТОПЕДИЧЕСКОЙ СТОМАТОЛОГИИ: ОСОБЕННОСТИ, ПРИМЕНЕНИЕ, ТЕХНОЛОГИИ



Минск, БелМАПО
2023

ISBN 978-985-584-814-2



9 789855 848142