



ОБЗОР, ОТОБРАЖАЮЩИЙ РЕАЛЬНУЮ ИНФОРМАЦИЮ В 3D-ПЕЧАТИ В СТОМАТОЛОГИЧЕСКОЙ ИМПЛАНТОЛОГИИ

АБДУЛЛАЕВ Темурбек

АБРОРОВ Набихон

АБСАЛАМОВ Дилмурод

ХАСАНОВ Савлатшоҳ

Самаркандский государственный медицинский университет

Введение: В последние годы стоматология пережила великую цифровую революцию. Две основные технологии, субтрактивное и аддитивное производство (АМ), были разработаны для перехода от виртуального мира автоматизированного проектирования (CAD) наших устройств к автоматизированному производству (САМ).

Технологии вычитания или фрезерования обычно относятся к фрезерным станкам с числовым программным управлением (ЧПУ), которые сверлят и режут блок твердого материала (Revilla-León et al., 2020; Rutkūnas et al., 2022). АМ, также известная как трехмерная (3D) печать или быстрое прототипирование, представляет собой разновидность технологий, способных создавать физические объекты путем спекания порошковых или полимеризационных жидких материалов слой за слоем в поперечных сечениях по цифровым чертежам. 3D-печать была впервые запатентована в 1986 году Чарльзом Халлом (Hull & Gabriel, 1986) и используется в стоматологии с начала 2000-х годов (Elliott et al., 2022). АМ стала быстрорастущей альтернативой субтрактивным методам в стоматологии и обладает рядом преимуществ, таких как создание сложных геометрических форм и сокращение



отходов материала. Американское общество испытаний и материаловедения (ASTM) делит технологии АМ на семь категорий:

- 1) фотополимеризация в чане (SLA),
- 2) струйная обработка материала,
- 3) экструзия материала,
- 4) струйная обработка связующего,
- 5) сплавление в порошковом слое (PBF),
- 6) листовая ламинирование и
- 7) прямое энергетическое осаждение (ISO/ASTM 52900, 2021; Alexander et al., 2021).

Основными категориями 3D-печати, применяемыми в имплантологии, являются: технологии 3D-полимерной печати (фотополимеризация в чане, экструзия материала и струйная обработка материала) и технологии 3D-печати на металле (PBF). В настоящее время основным применением 3D-печати в имплантологии является изготовление хирургических направляющих из светоотверждаемых полимеров для управляемой имплантационной хирургии (Revilla-León et al., 2020). Существуют потенциальные области применения, такие как изготовление зубных имплантатов, полностью адаптированных к анатомическим особенностям пациента (Oliveira & Reis, 2019; Revilla-León et al., 2017). Однако преимущества и недостатки устройств еще не определены и в настоящее время находятся на экспериментальной стадии. В реабилитации протезов с опорой на имплантаты 3D-печать используется уже несколько лет. При изготовлении первичных металлических конструкций из титановых или кобальт–хромовых сплавов достигается точность, аналогичная точности обычных конструкций, хотя часто требуется последующая обработка на фрезерном станке (Revilla-León et al., 2019). Аддитивно изготовленные надстройки в основном изучались с использованием полимеров, однако быстрое развитие этой технологии и доступных материалов приводит к появлению новых применений,



таких как новая керамика и гибридные материалы, которые необходимо будет оценить перед клиническим применением (Руткунас и др., 2022). Цели аналитического обзора состоят в том, чтобы определить типы имеющихся фактических данных и пробелы в знаниях в конкретной области исследований, а также прояснить существующие концепции, чтобы рассмотреть, как следует проводить исследования. Учитывая, что 3D-печать является относительно новой технологией производства в имплантологии, необходимо провести анализ имеющихся научных данных, чтобы наметить основные области применения и концепции в области дентальной имплантологии. По этой причине был проведен аналитический обзор, чтобы обеспечить объективную интерпретацию рассмотренной литературы и структуру, которая может быть воспроизведена в будущем для оценки эволюции оцениваемых технологий (Munn et al., 2018). Был сформулирован следующий исследовательский вопрос: “Каково основное применение и влияние технологии трехмерной печати в дентальной имплантологии?” Стратегия поиска была основана на системе РСС (популяция, концепция и контекст). Население было “люди всех возрастов”, концепция - “трехмерная печать”, а контекст - “зубные имплантаты”. После анализа имеющихся научных данных было решено сгруппировать исследования по областям знаний и применению различных технологий для лучшего анализа их воздействия. Были определены три области в соответствии с различными этапами реабилитации полости рта с помощью зубных имплантатов. Первая группа “Индивидуальные зубные имплантаты с 3D-печатью” относилась к этапу хирургического вмешательства, выбору типа зубного имплантата и оценке их характеристик в соответствии со способом изготовления. Вторая группа “Рабочий процесс изготовления направляющих для хирургических имплантатов с помощью 3D-печати” также касалась этапа операции и оценки производственного процесса и параметров последующей обработки устройств для управляемой хирургии. Третья группа “Факторы, связанные с 3D-печатью протезов на



имплантатах”, относилась к этапу восстановления и применению различных производственных технологий при изготовлении устройств на имплантатах, таких как первичные металлические каркасы, вторичные керамические или полимерные надстройки и аналоговые модели 3D-имплантатов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследовательские вопросы. В соответствии с протоколом, составленным исследовательской группой с использованием расширения PRISMA для обзорных обзоров (PRISMA-ScR), был сформулирован основной исследовательский вопрос (RQ): “Каково основное применение и влияние технологии трехмерной печати в дентальной имплантологии?” (Tricco et al., 2018). Протокол исследования можно получить по запросу у авторов. В связи с большим количеством доступных научных данных было решено разделить анализ статей на три области, основанные на различных этапах реабилитации имплантатами. Это позволило провести детальную оценку текущего состояния и клинических применений 3D-печати в имплантологии. Второстепенными вопросами исследования были: (1) Каково текущее состояние используемых технологий и материалов для печати индивидуальных зубных имплантатов в 3D-печати? (2) Что касается хирургического вмешательства со статическим наведением при имплантации зубов, каково влияние различных технологий 3D-печати, доступных материалов и последующей обработки на результат хирургического наведения имплантата? (3) Каков текущий статус используемой технологии в области 3D-печати, доступных материалов и связанных с ними факторов для изготовления протезов на имплантатах?

Стратегия электронного поиска. В качестве источников при поиске были использованы четыре электронные базы данных для выявления потенциально значимых исследований:

- 1) Medline – PubMed,
- 2) Cochrane,



3) CINAHL и

4) Embase. В этих базах данных был проведен поиск исследований, опубликованных до февраля 2023 года и опубликованных на английском языке. Информация о стратегиях поиска в базах данных доступна в приложении S1.

Методы отбора и выявление соответствующих доказательств. Два опытных рецензента независимо друг от друга провели отбор названий и тезисов (S.B. и B.MC.) с использованием веб-приложения Rayyan. Для отбора и классификации полных рукописных исследований были определены три основные области в соответствии с вопросами исследования: “Индивидуальные зубные имплантаты с 3D-печатью”, “Технологический процесс изготовления направляющих для хирургических имплантатов с 3D-печатью” и “Факторы, связанные с протезами с поддержкой имплантатов”. Те же рецензенты отбирали полнотекстовые исследования или те, в названии или аннотации которых недостаточно данных, чтобы принять четкое решение о включении. Статьи соответствовали критериям включения, если в их основных результатах оценивались технология АМ, материалы, параметры печати или протоколы постобработки, касающиеся дентальной имплантологии. Исследования исключались, если в них сообщались данные о челюстно-лицевой хирургии, ортодонтии, съемных протезах или протезах с опорой на зубы, эндодонтии, положении имплантата при управляемой хирургии или если основной результат не был связан с производственными параметрами 3D-печати. Также были исключены клинические случаи и статьи о стоматологических техниках, обычно используемых в области протезирования зубов. Любое несогласие обсуждалось с третьим рецензентом (G.P.), и принималось окончательное решение (рисунок

5) Была рассчитана надежность полнотекстового анализа между рецензентами (коэффициент корреляции каппа). Zotero bibliographic reference manager (версия

6) использовался для управления данными при оценке приемлемости полнотекстовых статей. Для выявления и классификации наиболее репрезентативных доказательств



была составлена электронная таблица Excel (Excel 16.64 для Mac; Microsoft) для каждого исследовательского вопроса с полнотекстовыми выбранными статьями, и был проведен описательный анализ.

РЕЗУЛЬТАТЫ

На рисунке 5 показана блок-схема, обобщающая результат процесса отбора. Поиск в Medline, Cochrane, CINAHL и Embase дал результаты 1937 статей, из которых 1737 остались после удаления дубликатов. Полный текст 132 статей после названия и аннотации был подробно проанализирован. После этого анализа только 65 исследований были включены для извлечения данных в этот обзорный обзор. Согласно вопросам исследования: в RQ1 было включено 13 исследований о “зубных имплантатах с 3D-печатью по индивидуальному заказу”, 22 исследования в RQ2 о “Технологическом процессе производства 3D-печати для направляющих хирургических имплантатов” и 30 исследований в RQ3 о “Факторах, связанных с 3D-печатью протезов с поддержкой имплантатов”. Коэффициент корреляции каппа для полнотекстового анализа составил 0,71.

ОБСУЖДЕНИЕ

В этом обзорном обзоре были выявлены исследования, в которых изучались основные области применения и влияние технологии 3D-печати в дентальной имплантологии. Чтобы сделать наш обзор более выполнимым, исследования, анализирующие различные параметры и области применения 3D-печати, были разделены на три области знаний: (1) “индивидуальные зубные имплантаты”, (2) “технологический процесс изготовления направляющих для хирургических имплантатов” и (3) “факторы, связанные с протезированием на имплантатах”.

RQ1: Технологии 3D-печати, материалы и характеристики зубных имплантатов, изготовленных по индивидуальному заказу с помощью 3D-печати. Изготовление зубных имплантатов по индивидуальному заказу с особыми геометрическими характеристиками является показанием для использования технологии АМ,



позволяющей экономить время, затраты и материалы (Oliveira & Reis, 2019). Металлические имплантаты, полученные из АМ, имеют пористую структуру и обладают превосходными механическими свойствами, включая высокую стойкость к разрушению. Эта пористость положительно влияет на передачу усилий в кости из-за ее меньшей жесткости, а также на уровне остеоинтеграции (Chang Tu et al., 2020; Рен и др., 2021; Тунчел и др., 2016). Металлические имплантаты изготавливаются с использованием технологии SLA или EBM, и в литературе не сообщалось о существенных различиях между этими двумя методами на уровне сформированной поверхности и способности кости к росту вокруг имплантата (Oliveira & Reis, 2019). Тедеско и соавт. (2017) продемонстрировали, что имплантаты, изготовленные с помощью 3D-печати, интегрируются лучше и быстрее, чем обычные имплантаты, в течение первых 12 недель. Традиционные имплантаты имели лучшую механическую интеграцию, но имплантаты, напечатанные на 3D-принтере, способствовали росту трабекулярной кости вокруг них (Tedesco et al., 2017). Те же результаты были получены Чанг Ту и соавторами (2020), изучающими новую конструкцию имплантата (зубной имплантат Bio-ActiveTRI). Существует несколько исследований *in vivo* на людях, в которых изучается выживаемость этого типа имплантатов. Tunchel et al. (2016) наблюдали в течение 3 лет за 110 имплантатами у 82 пациентов. Выживаемость составила 94,5% через 3 года. Учитывая эти результаты, они пришли к выводу, что имплантаты АМ являются успешным вариантом реабилитации одиночных имплантатов. Следовательно, необходимы дополнительные исследования для оценки этого варианта, особенно в долгосрочной перспективе (Tunchel et al., 2016). Одним из лучших применений этой технологии является создание индивидуальных зубных имплантатов для каждого пациента на основе 3D-рентгенологического исследования. Начиная с томографического исследования, имплантаты могут быть созданы с той же анатомией, что и корни, которые будут удалены у пациентов, имплантируя титановую копию зуба ТАБЛ. 4 в ходе того же



хирургического вмешательства. Точность этого процесса была изучена Liu и соавт. (2021), воспроизводящий форму резца верхней челюсти обезьяны из титанового сплава с помощью технологии SLA и показавший относительно высокий уровень точности $90,59 \pm 4,75$ мкм (Liu et al., 2022). На высокую точность размеров при изготовлении по сравнению с контролем ссылаются в нескольких исследованиях, не обнаруживая существенных различий между различными технологиями 3D-печати, такими как технологии SLM или EBM (Oliveira & Reis, 2019). В дополнение к передним имплантатам также изучались новые конструкции для замены задних зубов. Lee et al. (2022) предложили использовать многокорневые имплантаты, созданные методом 3D-печати, с двумя конструкциями: сплошные имплантаты и трабекулярные имплантаты. Они пришли к выводу, что при использовании многокорневых имплантатов была достигнута лучшая первичная стабильность, а также лучшие результаты при использовании трабекулярных имплантатов, поскольку они благоприятствовали росту кости (Lee et al., 2022).

Пористая поверхность, несомненно, является важным фактором для остеоинтеграции. Несмотря на то, что с помощью технологий АМ это достигается естественным путем, в некоторых исследованиях предпринимались попытки улучшить эту поверхность. Ren et al. (2021) попытались улучшить поверхность титановых имплантатов, напечатанных на 3D-принтере, с использованием технологии EBM путем кислотного травления и анодирования. Полученная иерархическая микро- или наноструктура улучшила гидрофильность и биологическую активность материала. Эксперименты с культивированием клеток *In vitro* и *in vivo* показали, что активность клеток и формирование костной ткани вокруг модифицированных имплантатов были статистически значимо выше по сравнению с теми же необработанными имплантатами (Ren et al., 2021). В дополнение к титановым сплавам для изготовления имплантатов используются другие материалы. Диоксид циркония, напечатанный с использованием технологии DLP, является материалом, который становится очень



важным в современной восстановительной стоматологии. В имплантологии было предпринято много усилий для внедрения керамических имплантатов в повседневную практику, но они не так распространены, как титановые. Осман и др. (2017) провели исследование имплантатов, напечатанных из диоксида циркония, изучив точность размеров, топографию поверхности, а также ее механические свойства в зависимости от угла изготовления. Что касается точности изготовления по отношению к конструкции, то было обнаружено, что среднее отклонение составило $0,089 \pm 0,068$ мкм, однородно распределенное по длине напечатанного имплантата (Osman et al., 2017). Эти различия в размерах считаются приемлемыми и были описаны в других исследованиях, таких как исследование Ансари Мойн и др. (2017). Поверхность циркониевых имплантатов также была изучена с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ). СЭМ-анализ выявил трещины, микропористости и взаимосвязанные поры размером от 196 нм до 3,3 мкм (Osman et al., 2017). Об этой пористой поверхности также сообщалось в других исследованиях, что указывает на ее биологическую важность (Anssari Moin et al., 2017; Zhang et al., 2022). Чжан и др. (2022) пришли к выводу, что пористость имплантатов из диоксида циркония способствует морфогенезу остеобластов, способствуя метаболической активности и пролиферации клеток вокруг имплантатов из диоксида циркония, напечатанных на 3D-принтере. В дополнение к биологическим свойствам, это исследование пришло к выводу, что пористая поверхность повышает устойчивость печатных имплантатов к разрушению по сравнению с обычными керамическими имплантатами (Zhang et al., 2022). Аналогичные данные были представлены Osman et al. (2017), которые обнаружили прочность на изгиб, аналогичную прочности керамических имплантатов, изготовленных традиционными методами. Однако это исследование выявило различия в стойкости в зависимости от способа печати образцов при 0° по сравнению с группами при 45° (892,2 МПа) и 90° (866,7 МПа). Необходимы дальнейшие исследования для стандартизации процесса печати для



достижения наилучших результатов в микроструктуре печатных объектов. Это важно, поскольку накопление ошибок в процессе 3D-печати приводит к разрушению структуры (Oliveira & Reis, 2019).

ВЫВОДЫ

В этом обзоре определены и сопоставлены научные данные по трем важным аспектам технологии 3D-печати в имплантологии: 1. Что касается изготовления индивидуальных титановых и циркониевых имплантатов с использованием технологий EBM и стереолитографии (SLA), то они демонстрируют сходное поведение с точки зрения остеоинтеграции, выживаемости и механических свойств. Однако публикаций в этой области по-прежнему мало, а производственные протоколы не стандартизированы. 2. Очевидно, что строгое следование инструкциям, предоставляемым каждым принтером и производителем материалов, имеет решающее значение в процессе печати руководств по хирургии имплантатов. Рекомендуется использовать промышленные принтеры MJP по сравнению с принтерами SLA и DLP, хотя последние достаточно надежны, особенно при печати на 50 микронах и с их главной осью, параллельной платформе сборки. Наконец, среди различных авторов, с которыми проводились консультации, нет единого мнения относительно изменения размеров напечатанных хирургических стентов при стерилизации в автоклаве. 3. Качество первичных каркасов и вторичных надстроек, напечатанных на 3D-принтере, заметно улучшается, особенно для металлических сплавов, изготовленных методами SLM и EBM. Однако технология фрезерования CAD/CAM как для металлов, так и для керамики, такой как диоксид циркония, по-прежнему позволяет достичь лучших результатов с точки зрения предельной подгонки и механических свойств. Аналоговые модели имплантатов, напечатанные на 3D-принтере, столь же надежны, как и гипсовые.

**ЛИТЕРАТУРА:**

1. Давуд, А., Марти Марти, Б., Сауре-Джексон, В., & Дарвуд, А. (2015). 3D-печать в стоматологии. Британский стоматологический журнал, 219 (11), 521-529.
2. Де Мораес, Д. М., Гомес, Э. А., Барселлос, Д. С., Розетти, Э. П., и Маргонар, Р. (2022). Точность линейных размеров стереолитографического хирургического руководства после химической и физической стерилизации. Журнал стоматологии, челюстно-лицевой хирургии, 123(5), 510– 513.
3. Донмез, М. Б., & Окутан, Ю. (2022). Краевой зазор и устойчивость к разрушению опорных композитных коронок с 3D-печатью на имплантатах: исследование *in vitro*. Журнал стоматологии, 124, 104216.
4. Elliott, T., Hamilton, A., Griseto, N., & Gallucci, G. O. (2022). Руководства по хирургическим имплантатам, изготовленные с использованием добавок: обзор. Журнал ортопедической стоматологии, 31 (S1), 38-46.
5. Фуркатов, Ш., Хайдаркулов, И., Нарзиев, И., & Аъзамкулов, А. (2024). ВЛИЯНИЕ КУРЕНИЯ НА ЗДОРОВЬЕ ПАРОДОНТА: ОСВЕДОМЛЕННОСТЬ ПАЦИЕНТОВ МЕДИЦИНСКОГО КОЛЛЕДЖА АБУ АЛИ ИБН СИНО. *SAMARALI TA'LIM VA BARQAROR INNOVATSIYALAR JURNALI*, 1(6), 574-581.
6. Akmal o'g'li J. E., Umar o'g'li B. X. The Use of a Composite Synthetic Osteoplastic Substitute to Increase the Volume of the Alveolar Bone of the Jaws Before Dental Implantation //Research Journal of Trauma and Disability Studies. – 2024. – Т. 3. – №. 2. – С. 358-362.
7. Furkatov S. F., Khazratov A. I. THE CONSEQUENCES OF THE DILIGENCE OF THE SLAVIC EMOLLIENT FOR REPARATION PROSTHESES ASEPT PARODONTAL //Молодежный инновационный вестник. – 2023. – Т. 12. – №. S2. – С. 467-470.



8. Исмаев Ф. А., Мустафоев А. А., Фуркатов Ш. Ф. АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ НЕСТЕРОИДНЫХ АНТИВОСПОЛИТЕЛЬНЫХ ПРЕПАРАТОВ ПРИ ИЗЛЕЧЕНИЕ ВЕРХНЕЧЕЛЮСТНОГО АЛЬВЕОЛИТА //THEORY AND ANALYTICAL ASPECTS OF RECENT RESEARCH. – 2023. – Т. 1. – №. 12. – С. 49-57.
9. Rizaev, J. A., Khazratov, A. I., Furkatov Sh, F., Muxtorov, A. A., & Ziyadullaeva, M. S. (2023). Clinical and radiological characteristics of periodontic interweaves in patients with chew recession. *European Journal of Interdisciplinary Research and Development*, 11, 36-41.
10. Фуркатов Ш. Ф., Хатамова М. А. ПРИМЕНЕНИЯ ВРЕМЕННЫХ НЕСЪЕМНЫХ ЗУБНЫХ ПРОТЕЗОВ ПРИ ДЕНТАЛЬНОЙ ИМПЛАНТАЦИИ //АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ СТОМАТОЛОГИИ. – 2023. – С. 814-820.
11. Rizaev, J. A., Rustamova, D. A., Khazratov, A. I., & Furkatov, S. F. (2022). The need of patients with systemic vasculitis and coronavirus infection in the treatment of periodontal diseases. *Applied Information Aspects of Medicine (Prikladnye informacionnye aspekty mediciny)*, 25(4), 40-45.
12. Bekmuratov L. R. et al. Cardiovascular diseases in patients with diabetes mellitus //Ta'lim va rivojlanish tahlili onlayn ilmiy jurnali. – 2023. – Т. 3. – №. 1. – С. 193-198.
13. Akmal o'g'li J. E., Umar o'g'li B. X. Radiation Research Methods as a Criterion For Assessing the Quality of Osteoregenerative After Sinus Lift //Best Journal of Innovation in Science, Research and Development. – 2024. – Т. 3. – №. 2. – С. 920-923.
14. Исхакова, З. Ш., Исхакова, Ф. Ш., Нарзиева, Д. Б., Абдуллаев, Т. З., & Фуркатов, Ш. Ф. (2023). Использование остеогенного материала для замещения полостных дефектов челюстей. *Formation of psychology and pedagogy as interdisciplinary sciences*, 2(15), 43-48.



15. Ризаев Э. А., Даврон Б. Ж. DENTAL IMPLANTATSIYADAGI MORFOLOGIK TASVIRNI O'RGANISH //ЖУРНАЛ СТОМАТОЛОГИИ И КРАНИОФАЦИАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ. – 2023. – Т. 4. – №. 2.
16. Даврон, Б. Ж., & Ризаев, Э. А. (2023). JAG 'LAR SUYAK TO 'QIMASINING ATROFIYASI SHAROITIDA SUYAKNING YO 'NALTIRILGAN REGENERATSIYASINI OPTIMALLASHTIRISH. *ЖУРНАЛ СТОМАТОЛОГИИ И КРАНИОФАЦИАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ*, 4(4).
17. Бузрукзода, Ж. Д., Кубаев, А. С., Абдуллаев, А. С., & Шавкатов, П. Х. (2021). Устранение перфорации дна верхнечелюстного синуса с применением остеопластического материала. *Интернаука*, (7-1), 25-27.
18. Baxtiyarovna N. D., Komiljonovich K. X. Improving One-Stage Dental Implantation in Patients with Diabetes Mellitus //Best Journal of Innovation in Science, Research and Development. – 2024. – Т. 3. – №. 2. – С. 941-946.
19. Baxtiyarovna N. D., Komiljonovich K. X. Lymphotropic Antibiotic Therapy in the Complex Treatment of Inflammatory Diseases of the Maxillofacial Area //Best Journal of Innovation in Science, Research and Development. – 2024. – Т. 3. – №. 2. – С. 930-935.