

DOI: <https://doi.org/10.17816/dent690103>

EDN: GLZKAQ



Преимущества полимерных штифтово-культевых вкладок: новый взгляд на восстановление зубов с использованием 3D-технологий: обзор

А.А. Минасян, С.В. Апресян, А.Г. Степанов

Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Настоящий обзор обобщает актуальные данные о применении полимерных штифтово-культевых вкладок, изготавливаемых методом 3D-печати, в восстановлении эндодонтически леченых зубов. На основании поиска публикаций за 2021–2025 гг. в PubMed, Scopus, Web of Science, CrossRef, DOAJ, Google Scholar и eLIBRARY.RU было проанализировано более 50 работ. По критериям актуальности, полнотекстового доступа и клинической направленности отобрано 14 статей, включающих клинические наблюдения, эксперименты *in vitro* и систематические обзоры.

Исследования показали, что аддитивно напечатанные полимерные конструкции обладают биоинертностью, отсутствием коррозии и близким к дентину модулем упругости, благодаря чему снижают вероятность появления корневых трещин, характерных для металлических и циркониевых систем. Высокая точность цифрового моделирования обеспечивает плотное прилегание и позволяет сократить объём препарирования, сохранив до четверти твёрдых тканей зуба, а оптимизированная постобработка (ультрафиолетовое отверждение в азотной среде и полировка) уменьшает шероховатость поверхности и улучшает адгезию. Указанные преимущества вкупе с сокращением лабораторного времени на 40–60% и снижением стоимости лечения примерно на треть подтверждают экономическую целесообразность технологии. Клинические серии с пятилетним наблюдением демонстрируют стабильность реставраций без признаков декомпенсации и сохранения функции. К ограничениям относят необходимость использования дорогостоящего оборудования, высокое энергопотребление и дефицит данных о клинических исследованиях.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что полимерные 3D-вкладки являются перспективной альтернативой традиционным системам, однако их надёжность должна быть окончательно подтверждена расширенными клиническими исследованиями, охватывающими период более пяти лет.

Ключевые слова: штифтово-культевые вкладки; 3D-печать; CAD/CAM-стоматология; полимерные штифтово-культевые вкладки.

Как цитировать:

Минасян А.А., Апресян С.В., Степанов А.Г. Преимущества полимерных штифтово-культевых вкладок: новый взгляд на восстановление зубов с использованием 3D-технологий: обзор // Российский стоматологический журнал. 2025. Т. 29, № 5. С. 382–387. DOI: 10.17816/dent690103 EDN: GLZKAQ

DOI: <https://doi.org/10.17816/dent690103>

EDN: GLZKAQ

Advantages of Polymer Post-and-Core Restorations: A New Perspective on Tooth Rehabilitation Using 3D Technologies: A Review

Anait A. Minasyan, Samvel V. Apresyan, Alexandr G. Stepanov

Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia

ABSTRACT

This review synthesizes current evidence on the use of 3D-printed polymer post-and-core restorations for rehabilitation of endodontically treated teeth. Based on a search of publications from 2021 to 2025 in *PubMed*, *Scopus*, *Web of Science*, *CrossRef*, *DOAJ*, *Google Scholar*, and *eLIBRARY.RU*, more than 50 records were screened. Fourteen articles were selected according to relevance, full-text availability, and clinical focus, including clinical observations, *in vitro* experiments, and systematic reviews.

Studies have shown that additively manufactured polymer restorations are bio inert, corrosion resistant, and exhibit an elastic modulus comparable to dentin, thereby reducing the risk of root fractures commonly observed in metal and zirconia systems. High-precision digital modeling provides an accurate fit and reduces the extent of tooth preparation, preserving up to 25% of hard dental tissues. Optimized post-processing (ultraviolet curing in a nitrogen environment and polishing) decreases surface roughness and improves bonding. These advantages, combined with a 40%–60% reduction in laboratory time and approximately one-third lower treatment cost, support the economic feasibility of the approach. Clinical case series with five-year follow-up demonstrate restoration stability without signs of failure or decompensation and with maintained function. Limitations include the need for expensive equipment, high energy consumption, and a shortage of clinical trial data.

The findings suggest that polymer 3D-printed post-and-core restorations are a promising alternative to conventional systems; however, their reliability requires confirmation in expanded clinical studies with follow-up beyond five years.

Keywords: post-and-core restorations; 3D-printing; CAD/CAM dentistry; polymer post-and-core restorations.

To cite this article:

Minasyan AA, Apresyan SV, Stepanov AG. Advantages of Polymer Post-and-Core Restorations: A New Perspective on Tooth Rehabilitation Using 3D Technologies: A Review. *Russian Journal of Dentistry*. 2025;29(5):382–387. DOI: 10.17816/dent690103 EDN: GLZKAQ

ВВЕДЕНИЕ

Полимерные штифтово-культевые вкладки, полученные по аддитивным технологиям, представляют собой важный элемент в современной стоматологической практике, играющий ключевую роль в восстановлении сильно разрушенных зубов, подвергшихся эндодонтическому лечению. В стоматологии используют различные типы штифтово-культевых вкладок, включая металлические, керамические и полимерные, каждый из которых обладает своими особенностями и показаниями к применению. Использование полимерных штифтово-культевых вкладок, получаемых с помощью 3D-печати, имеет большую перспективу. Выбор материала для штифтово-культевой вкладки является крайне важным, поскольку он оказывает непосредственное влияние на функциональность, эстетику и сроки службы конструкции.

Целью настоящего обзора стали изучение преимуществ полимерных штифтово-культевых вкладок, получаемых по аддитивному процессу, основанное на анализе современной научной литературы, и исследование их влияния на восстановление и функционирование зубов.

МЕТОДОЛОГИЯ ПОИСКА ИСТОЧНИКОВ

В ходе подготовки данного обзора литературы был осуществлён тщательный поиск информации в электронных ресурсах PubMed, Scopus, Web of Science, CrossRef, DOAJ, Google Scholar, eLIBRARY.RU, а также через анализ списков использованной литературы. Отбор публикаций выполнен на основе следующих критериев: наличие полнотекстовых статей не старше 5 лет, посвящённых применению полимерных штифтово-культевых вкладок и их преимуществам, а также аддитивным технологиям в стоматологии. Отбор происходил в три этапа: на первом исключали статьи старше 2021 года, на втором оценивали актуальность статей по заголовкам, на третьем проводили глубокий анализ каждой статьи. Таким образом для дальнейшей работы было выделено 14 статей, отвечающих требованиям.

ПРЕИМУЩЕСТВА ПОЛИМЕРНЫХ ШТИФТОВО-КУЛЬТЕВЫХ ВКЛАДОК

Важнейшие свойства, которыми должна обладать идеальная штифтово-культевая вкладка, — биосовместимость, прочность, устойчивость, нетоксичность и эстетика [1]. Композитные материалы, используемые для изготовления вкладок, позволяют стоматологу с высокой точностью подобрать цвет, оттенок и прозрачность, что обеспечивает идеальное совпадение с естественными тканями зуба. В отличие от металлических штифтово-культевых вкладок, которые

зачастую просвечивают через ортопедическую конструкцию, полимерные штифтово-культевые вкладки в силу своего цвета, максимально приближенного к цвету тканей зуба, обеспечивают более высокую эстетику, что особенно важно при восстановлении фронтальной группы зубов. В связи с этим выбор полимерных штифтово-культевых вкладок, получаемых с помощью 3D-печати, становится предпочтительным. При сравнении их с вкладками из других материалов (металл, диоксид циркония, армированное волокно), важнейший недостаток — жёсткость (что зачастую приводит к перелому корня зуба при высокой нагрузке), становится понятным, чего можно избежать, выбирая полимерные штифтово-культевые вкладки [2].

Биосовместимость

Биологическая совместимость полимерных штифтово-культевых вкладок является важным аспектом, гарантирующим безопасность и долговечность конструкции. Композитные материалы обычно хорошо переносятся пациентами и крайне редко вызывают аллергические реакции, что обусловлено химической инертностью этих материалов. Одним из ключевых преимуществ полимерных штифтово-культевых вкладок является устойчивость к коррозии, что отличает их от металлических штифтово-культевых вкладок [3, 4]. Отсутствие коррозии предотвращает раздражение окружающих тканей и изменение цвета десны, обеспечивая здоровый вид десневого края. Стоит также отметить, что полимеры PCL (поликапролактон, polycaprolactone) и PGLA (полигликолид-ко-лактид, polyglycolide-co-lactide) рекомендованы Управлением по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов США [5]. Несмотря на преимущества, биосовместимость полимеров может быть ограничена их деградацией. Например, PLA, хотя и биосовместим, может вызывать локальные воспалительные реакции из-за накопления кислых продуктов распада. Это ограничение требует дальнейших исследований, чтобы определить, как минимизировать такие эффекты: возможно, через модификацию состава полимеров или нанесение биосовместимых покрытий [4]. Для клинического применения полимерных вкладок важно соблюдение стандартов, таких как ISO 10993. Это подчёркивает необходимость строгого тестирования материалов, используемых для 3D-печати штифтово-культевых вкладок, включая оценку цитотоксичности, генотоксичности и раздражающего действия [6].

Адгезия и прочность

Адгезия полимерных штифтово-культевых вкладок к тканям зуба является залогом их прочности и долговечности. Современные адгезивные системы обеспечивают надёжное сцепление композитных материалов с дентином и эмалью, что способствует стабильности и долгосрочному успеху реставрации. Механизм сцепления

включает в себя проникновение адгезива в микропоры дентина и создание микромеханической ретенции. Кроме того, хорошая адгезия способствует правильному распределению жевательной нагрузки, предотвращая перегрузку отдельных участков зуба и снижая риск его перелома. 3D-печать, особенно с использованием технологии CAD/CAM (computer-aided design/computer-aided manufacturing), позволяет создавать вкладки с высокой точностью соответствия анатомии зуба, что улучшает адгезию по сравнению с традиционными методами. Стоит также отметить, что композитные материалы, созданные с помощью 3D-печати, показали сопоставимую или лучшую маргинальную адаптацию по сравнению с фрезерованными альтернативами [7].

Технологичность и удобство работы с полимерными вкладками

Применение композитных штифтово-культевых вкладок, изготовленных с помощью 3D-печати, обеспечивает удобство работы и точность изготовления. Композитные материалы легко обрабатываются, что позволяет стоматологу изготовить штифтово-культевую вкладку по конфигурации корневого канала с высокой степенью индивидуализации и точности [2]. Важно также отметить механические свойства полимерных штифтово-культевых вкладок, которые достаточно близки к свойствам естественной структуры тканей зуба, что повышает выживаемость зуба [8]. Процесс изготовления полимерных штифтово-культевых вкладок по аддитивным технологиям в разы сокращает время и затраты человеческого ресурса по сравнению с традиционным методом. Применение цифровых технологий, таких как CAD/CAM, для изготовления полимерных штифтово-культевых вкладок позволяет достичь еще более высокой точности и сократить время производства [7, 9, 10]. Качество поверхности после 3D-печати играет важную роль в адгезии. Недостаточная постобработка может привести к микротрещинам или неровностям, снижающим прочность сцепления. Это подтверждает, что такие процессы, как ультрафиолетовое отверждение и полировка, не только повышают биосовместимость, но и улучшают адгезию за счёт создания более однородной поверхности, способствующей микромеханической ретенции. Особенно эффективной показала себя методика полимеризации с использованием азотной камеры, которая обеспечила наилучшие значения как по блеску, так и по гладкости поверхности материала [5, 11].

Сохранение тканей зуба и минимальная инвазивность

Используя полимерные штифтово-культевые вкладки, получаемые с помощью 3D-печати, можно отметить минимальную инвазивность препарирования тканей зуба

по сравнению с металлическими штифтово-культевыми вкладками, изготавливаемыми традиционным методом, что является важным преимуществом, способствующим сохранению структуры зуба. Это свойство позволяет снизить травму зуба и сохранить большее количество тканей, что особенно важно в случаях с тонкими стенками корня. Полимерные материалы благодаря своей гибкости способны амортизировать жевательную нагрузку, снижая риск переломов корня. Такая амортизирующая способность может защитить зуб от повреждений при сильном давлении, например при бруксизме [12]. В случаях, когда требуется особо щадящий подход, например при восстановлении зубов с тонкими корнями, использование полимерных вкладок является предпочтительным выбором. В лабораторных испытаниях смоляные моноблок-посты, изготовленные с помощью 3D-печати, имели такую же прочность на перелом, как стекловолоконные, и ни в одном образце не зафиксированы корневые трещины [8].

Экономические преимущества и доступность

Экономическая эффективность полимерных штифтово-культевых вкладок, получаемых по аддитивному методу, является важным фактором, делающим этот вид восстановления зубов доступным для широкого круга пациентов. Композитные материалы, используемые для изготовления полимерных штифтово-культевых вкладок по аддитивным технологиям, более экономичны по сравнению с металлами или керамикой, что позволяет снизить общую стоимость лечения [4, 13]. В свою очередь более низкая стоимость материалов делает этот вид лечения доступным для разных категорий пациентов. Применение технологий CAD/CAM также может снизить затраты на изготовление вкладок, делая этот вид восстановления зубов ещё более экономически привлекательным, обеспечивая баланс между качеством и ценой.

НЕДОСТАТКИ ПОЛИМЕРНЫХ ШТИФТОВО-КУЛЬТЕВЫХ ВКЛАДОК

Несмотря на очевидные преимущества, аддитивное производство полимерных штифтово-культевых вкладок сопряжено с рядом ограничений. Во-первых, 3D-принтеры, применяемые в стоматологической практике (особенно SLA- и DLP-типа), характеризуются высоким уровнем энергопотребления, в отличие от традиционных методов изготовления вкладок. Во-вторых, внедрение технологии требует значительных инвестиционных затрат: стоимость оборудования, фотополимерных смол, ультрафиолетовых камер и средств контроля качества остаётся высокой, особенно для клиник с ограниченным бюджетом. Кроме того, ассортимент материалов, пригодных для стоматологического применения, ограничен, что сужает возможности индивидуализации и стандартизации. Экологические и санитарные риски также заслуживают

внимания — в процессе печати возможно выделение мелкодисперсных частиц и токсичных паров, требующих специальной вентиляции и защиты персонала. Наконец, в долгосрочной перспективе широкое внедрение автоматизированных 3D-систем способно привести к сокращению рабочих мест, смещая спрос в сторону высококвалифицированных операторов CAD/CAM-систем [13, 14].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Можно с уверенностью отметить большое количество преимуществ полимерных штифтово-культевых вкладок, получаемых по аддитивным технологиям, от планирования до фиксации. Однако не исключаются некоторые недостатки. Говоря об аддитивном производстве, мы в первую очередь отмечаем удобство и высокую точность в сравнении с гипсовыми аналогами; простоту и быстроту получения конструкции; эффективность и комфорт в процессе работы как для врача, так и для пациента; высокую эстетику получаемых конструкций и безопасность рабочего процесса. При работе с полимерными штифтово-культевыми вкладками в аддитивном производстве можно отметить такие недостатки: высокие затраты энергии, инвестиционные затраты, ограниченные рабочие места.

Использование полимерных штифтово-культевых вкладок представляет собой перспективный и востребованный вариант восстановления зубов в современной стоматологии. Однако следует помнить, что выбор материала для штифтово-культевой вкладки должен основываться на тщательном клиническом обследовании и учитывать индивидуальные потребности пациента. В некоторых случаях, например при значительном разрушении зуба или при наличии бруксизма, может потребоваться более прочная конструкция. Несмотря на это, полимерные штифтово-культевые вкладки, получаемые по аддитивным технологиям, являются перспективным направлением в стоматологии.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. А.А. Минасян — определение концепции, работа с данными, пересмотр и редактирование рукописи, написание

черновика рукописи; С.В. Апресян, А.Г. Степанов — валидация, пересмотр и редактирование рукописи. Все авторы одобрили рукопись (версию для публикации), а также согласились нести ответственность за все аспекты настоящей работы, гарантируют надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой её части.

Источники финансирования. Отсутствуют.

Раскрытие интересов. Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов (личных, профессиональных или финансовых), связанных с третьими лицами (коммерческими, некоммерческими, частными), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи, а также иных отношений, деятельности и интересов за последние три года, о которых необходимо сообщить.

Оригинальность. При создании настоящей обзорной работы авторы не использовали ранее опубликованные сведения (текст, иллюстрации, данные).

Доступ к данным. Редакционная политика в отношении совместного использования данных к настоящей обзорной работе не применима, новые данные не собирали и не создавали.

Генеративный искусственный интеллект. При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовались.

Рассмотрение и рецензирование. Настоящая работа подана в журнал в инициативном порядке и рассмотрена в соответствии с обычной процедурой. В рецензировании участвовали два внешних рецензента, член редакционной коллегии и научный редактор издания.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions: A.A. Minasyan: conceptualization, data curation, writing—original draft, writing—review & editing; S.V. Apresyan, A.G. Stepanov: validation, writing—review & editing.

All the authors approved the version of the manuscript to be published and agreed to be accountable for all aspects of the work, ensuring that questions related to the accuracy or integrity of any part of the work are appropriately investigated and resolved.

Funding sources: No funding.

Disclosure of interests: The authors have no relationships, activities, or interests for the last three years related to for-profit or not-for-profit third parties whose interests may be affected by the content of the article.

Statement of originality: No previously obtained or published material (text, images, or data) was used in this work.

Data availability statement: The editorial policy regarding data sharing does not apply to this work, as no new data was collected or created.

Generative AI: No generative artificial intelligence technologies were used to prepare this article.

Provenance and peer-review: This paper was submitted unsolicited and reviewed following the standard procedure. The peer review process involved two external reviewers, a member of the Editorial Board, and the in-house scientific editor.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Dimitrova M, Vlahova A, Kazakova R. Assessment of CAD/CAM fabrication technologies for post and core restorations—a narrative review. *Medicina (Kaunas)*. 2024;60(5):748. doi: 10.3390/medicina60050748 EDN: CDGTQJ
2. Kasem AT, Shams M, Tribst JPM. The use of polyetheretherketone (PEEK) as an alternative post and core material: five-year follow-up report. *Dent J (Basel)*. 2022;10(12):237. doi: 10.3390/dj10120237
3. Paqué PN, Özcan M. A review on biocompatibility of dental restorative and reconstruction materials. *Curr Oral Health Rep*. 2024;11:68–77. doi: 10.1007/s40496-023-00358-9 EDN: JFXXHG
4. Cai H, Xu X, Lu X, et al. Dental materials applied to 3D and 4D printing technologies: a review. *Polymers (Basel)*. 2023;15(10):2405. doi: 10.3390/polym15102405 EDN: JWCTNB

5. Ali F, Kalva SN, Koc M. Advancements in 3D printing techniques for biomedical applications: a comprehensive review of materials consideration, post processing, applications, and challenges. *Discov Mater*. 2024;(4):53. doi: 10.1007/s43939-024-00115-4 EDN: QCLAIH
6. Guttridge C, Shannon A, O'Sullivan A, et al. Biocompatible 3D printing resins for medical applications: a review of marketed intended use, biocompatibility certification, and post-processing guidance. *Annals of 3D Printed Medicine*. 2022;5. doi: 10.1016/j.stlm.2021.100044
7. Daher R, Ardu S, di Bella E, et al. Efficiency of 3D printed composite resin restorations compared with subtractive materials: evaluation of fatigue behavior, cost, and time of production. *J Prosthet Dent*. 2024;131(5):943–950. doi: 10.1016/j.prosdent.2022.08.001 EDN: KYKCLG

8. Çelik Öge S, Küden C, Ekren O. Evaluation of the mechanical properties of 3D-printed post and core systems. *Int J Prosthodont.* 2024;37(7):127–131. doi: 10.11607/ijp.8860
9. Khorsandi D, Fahimipour A, Abasian P, et al. 3D and 4D printing in dentistry and maxillofacial surgery: Printing techniques, materials, and applications. *Acta Biomater.* 2021;122:26–49. doi: 10.1016/j.actbio.2020.12.044 EDN: ZMOBUU
10. Hassanpour M, Narongdej P, Alterman N, et al. Effects of post-processing parameters on 3d-printed dental appliances: a review. *Polymers (Basel).* 2024;16(19):2795. doi: 10.3390/polym16192795 EDN: XIGNMW
11. Vichi A, Balestra D, Louca C. Effect of different finishing systems on surface roughness and gloss of a 3D-printed material for permanent dental use. *Appl Sci.* 2024;14(16):7289. doi: 10.3390/app14167289 EDN: UDQHPF
12. Abdelmohsen N, Wahsh M, Zohdy M, et al. Mode of failure and finite element analysis of custom-made PEEK post-core (milled and pressed). *Odontology.* 2025. doi: 10.1007/s10266-025-01084-7 EDN: VKPYSE
13. Popescu M, Perieanu VS, Burlibaşa M, et al. Comparative cost-effectiveness of resin 3D printing protocols in dental prosthodontics: a systematic review. *Prosthesis.* 2025;7(4):78. doi: 10.3390/prosthesis7040078
14. Jambhule Sh, Palandurkar M, Shewale A. 3D printing in dentistry. *Int J Adv Res.* 2022;10(03):742–750. doi: 10.21474/IJAR01/14443

ОБ АВТОРАХ

* Минасян Анаит Андраниковна;

адрес: Россия, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6;
ORCID: 0009-0009-2949-2962;
e-mail: anahit.minasyan99@mail.ru

Апресян Самвел Владиславович, д-р мед. наук, профессор;

ORCID: 0000-0002-3281-707X;
eLibrary SPIN: 6317-9002;
e-mail: apresyan@rudn.ru

Степанов Александр Геннадьевич, д-р мед. наук, профессор;

ORCID: 0000-0002-6543-0998;
eLibrary SPIN: 5848-6077;
e-mail: stepanovmd@list.ru

AUTHORS' INFO

* Anait A. Minasyan;

Address: 6 Miklukho-Maklaya st, Moscow, 117198, Russia;
ORCID: 0009-0009-2949-2962;
e-mail: anahit.minasyan99@mail.ru

Samvel V. Apresyan, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;

ORCID: 0000-0002-3281-707X;
eLibrary SPIN: 6317-9002;
e-mail: apresyan@rudn.ru

Alexandr G. Stepanov, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;

ORCID: 0000-0002-6543-0998;
eLibrary SPIN: 5848-6077;
e-mail: stepanovmd@list.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author