

DOI: <https://doi.org/10.17816/dent368253>

Обзор результатов клинико-лабораторной оценки эффективности цифровых методов интеллектуального изготовления полных съёмных акриловых протезов

А.Е. Верховский¹, С.В. Апресян², А.Г. Степанов²¹ Смоленский государственный медицинский университет, Смоленск, Россия;² Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Представлен обзор концептуальных исследований современных цифровых технологий изготовления полных съёмных акриловых протезов. Анализ данных субтрактивных и аддитивных методов компьютерного производства свидетельствует о неоспоримых преимуществах цифровых CAD/CAM-методов изготовления по сравнению с традиционными способами. Использование заведомо преполимеризованных акриловых блоков в субтрактивном методе фрезерования позволило добиться высоких физико-механических показателей, оптимальной пространственной точности и минимальной толщины изготавливаемых протезов. Кроме того, снижение количества остаточного мономера в цельных полимерных блоках позволило достичь высокой биологической инертности и безопасности изготавливаемых конструкций для тканей протезного ложа и организма пациента в целом. Метод послойной печати съёмных протезов с использованием технологий моделирования плавленного осаждения полимеров характеризуется высокой пространственной точностью изготовления конструкций любой степени сложности и уменьшением общего времени производства съёмных протезов.

Несмотря на интенсивность внедрения цифровых CAD/CAM-технологий в практику изготовления полных съёмных протезов, по-прежнему не прекращается поиск альтернативных методов модернизации известных традиционных средств и способов. Однако, по нашему мнению, процесс автоматизации и цифровизации клинико-лабораторного производства полных съёмных акриловых протезов имеет несомненные перспективы для тотальной замены методик компрессионного прессования и горячей полимеризации акрилатов. Таким образом, потенциальной перспективой ближайшего будущего является глобальная переоценка традиционных концепций изготовления полных съёмных протезов с учётом формирования инновационной цифровой CAD/CAM-философии и внедрения компьютерных интеллектуальных систем.

Ключевые слова: цифровые технологии; CAD/CAM; полные съёмные протезы; акрилаты.

Как цитировать:

Верховский А.Е., Апресян С.В., Степанов А.Г. Обзор результатов клинико-лабораторной оценки эффективности цифровых методов интеллектуального изготовления полных съёмных акриловых протезов // Российский стоматологический журнал. 2023. Т. 27, № 6. С. 591–602.

DOI: <https://doi.org/10.17816/dent368253>

DOI: <https://doi.org/10.17816/dent368253>

Overview of clinical and laboratory evaluation results of the effectiveness of digital methods for knowledge-based fabrication of complete removable acrylic dentures

Andrey E. Verkhovskiy¹, Samvel V. Apresyan², Aleksandr G. Stepanov²

¹ Smolensk State Medical University, Smolensk, Russia;

² Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Moscow, Russia

ABSTRACT

This article provides an overview of the conceptual studies of modern digital technologies for the fabrication of complete removable acrylic dentures. Analysis of data of subtractive and additive methods of digital manufacturing shows the advantages of digital CAD/CAM methods over traditional methods. The use of known prepolymerized acrylic blocks in the subtractive milling method has enabled achieving high physical and mechanical properties, optimal spatial accuracy, and minimal thickness of the fabricated dentures. Moreover, residual monomer volume reduction in solid polymer blocks has allowed the high biological inertness and safety of the fabricated structures for prosthetic bed tissues and the patient's body. Layer-by-layer printing of removable dentures by fused polymer deposition modeling technology results in high spatial accuracy of constructing structures of any degree of complexity and reduced total production time of removable dentures.

Despite the intensity of implementation of digital CAD/CAM technologies in the practice of complete removable denture manufacturing, the search for alternative methods of modernization of the known traditional means and methods continues. However, we believe that automation and digitalization of the clinical and laboratory manufacturing of complete removable acrylic dentures has clear prospects for the total replacement of compression pressing and hot polymerization techniques of acrylates. In summary, the potential prospect in the future is a global reassessment of traditional concepts for the fabrication of complete removable dentures, considering the formation of an innovative digital CAD/CAM philosophy and the introduction of computer intelligent systems.

Keywords: digital technology; CAD/CAM; complete removable dentures; acrylates.

To cite this article:

Verkhovskiy AE, Apresyan SV, Stepanov AG. Overview of clinical and laboratory evaluation results of the effectiveness of digital methods for knowledge-based fabrication of complete removable acrylic dentures. *Russian Journal of Dentistry*. 2023;27(6):591–602. DOI: <https://doi.org/10.17816/dent368253>

Received: 01.05.2023

Accepted: 03.06.2023

Published: 10.11.2023

ВВЕДЕНИЕ

Сегодня инновационные цифровые технологии помогают в решении широкого спектра социальных, политических и экономических проблем, а также в реализации национальных стратегических целей общественного здравоохранения [1–4]. Наряду с расширением спектра предоставляемых услуг и повышением качества оказываемой медицинской помощи здравоохранение испытывает беспрецедентное давление по причине роста потребностей населения, касающихся качества и объёма медицинской помощи [5]. Возникшая тенденция к устойчивой лавинообразной интеллектуальной трансформации проявилась в виде оптимизации технологий повышения эффективности, скорости и качества предоставляемых медицинских услуг [6].

В настоящее время технологии искусственного интеллекта преобразуют традиционные системы оказания медицинской помощи в национальные автономные экосистемы цифрового здравоохранения, расширяя охват и повышая эффективность медицинских услуг, ориентированных на возрастающие потребности пациента [7, 8].

Компьютерные и информационные технологии оказывают всё большее влияние на стоматологическую отрасль, расширяя возможности сбора, хранения и анализа получаемых данных, а также обеспечивая модернизацию процесса промышленного и клинико-лабораторного производства [9]. Цифровые технологии искусственного интеллекта успешно применяются во всех областях стоматологии, в том числе в одном из сложнейших разделов ортопедической стоматологии — практике реабилитации пациентов с полным отсутствием зубов [10–13]. Согласно данным специальной литературы [14, 15], количество пациентов с полным отсутствием зубов в возрасте 65–74 лет составляет 22%, а имплантаты установлены всего лишь 3% (по некоторым данным — до 5%) пациентов. Несмотря на клиническую эффективность и перспективность использования дентальных имплантатов в качестве альтернативы классическим полным съёмным протезам, возможности их практического применения весьма преувеличены. Таким образом, вопросы, касающиеся установки пациентам полных съёмных протезов по-прежнему актуальны.

ОСОБЕННОСТИ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СТОМАТОЛОГИИ

В настоящее время CAD/CAM-технология (CAD — computer-aided design, CAM — computer-aided manufacturing) включает в себя субтрактивные и аддитивные способы производства [16, 17]. Ранние системы компьютерного проектирования основывались на субстратном методе, заключающемся в вырезании протеза из сборного блока с помощью боров, свёрл и алмазных дисков. Сегодня субтрактивное производство заключается в обработке заготовок с применением числового программного

управления методом искровой эрозии или фрезерования. Искровая эрозия представляет собой процесс субтракции металла с использованием продолжающихся искр для разрушения материала из металлического блока в соответствии с системой автоматизированного проектирования при заданных условиях. Методы фрезерования подразделяются на алмазное шлифование и твёрдосплавное фрезерование, которые в настоящее время используются вместе с CAD/CAM-устройствами CEREC (chairside economical restorations of esthetic ceramic) и CEREC inLab. В качестве последней технологии, перенесённой из обрабатывающей промышленности в стоматологию, используется лазерное фрезерование, применение которого зависит от размерного подхода и возможности рабочей оси устройства.

Методы аддитивной 3D-печати включают в себя стереолитографию (SLA), цифровую светопроекцию (DLP), струйную печать (PolyJet/ProJet), а также прямое лазерное спекание (DLMS) и селективное лазерное спекание металла (SLS) [18, 19]. Технология SLA использует ультрафиолетовый лазер для послойной полимеризации материалов и применяется для изготовления моделей зубов из жидких полимеров, чувствительных к ультрафиолетовому излучению. В методе DLP применяют ультрафиолетовый лазер и видимый свет для полимеризации при изготовлении зубных моделей, восковых моделей, съёмных частичных каркасов и временных реставраций из светочувствительных смол, полиметилметакрилата (PMMA), воска и композитных материалов. Технология PolyJet/ProJet использует серию печатающих головок для послойного нанесения материала с последующей полимеризацией.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА CAD/CAM-АКРИЛАТОВ

М.М. Gad с соавт. [20] изучали в сравнительном аспекте свойства различных групп акрилатов: SM (субтрактивный метод) (IvoCad, AvaDent); AM (аддитивный метод) (ASIGA, NextDent, FormLabs) и метод традиционной горячей полимеризации (Major base 20) — как альтернативных материалов для починки съёмных пластиночных протезов. Результаты проведённых исследований показали, что традиционные акрилаты горячей полимеризации и CAD/CAM-образцы показали близкие значения прочности сцепления на сдвиг без статистически значимых различий, в то время как для группы 3D-полимеров установлено статистически значимое снижение аналогичных показателей. Значения прочности на сдвиг значительно увеличились после обработки пластмассы мономером, за исключением групп ASIGA и NextDent, которые не показали существенных различий по сравнению с контрольными группами. Для всех материалов с предварительной пескоструйной обработкой поверхности выявлено значительное увеличение прочности на сдвиг по сравнению с контролем и применением обработки мономером.

Утверждения о первоклассных физико-механических свойствах предварительно полимеризованных РММА-блоков экспериментально доказаны в исследовании М. Srinivasan с соавт. [21]. Повышенные показатели ударной вязкости, предельной прочности и модуля упругости делают возможным проектирование базисов съёмных протезов с минимальной толщиной без риска поломки последних. Однако наряду со столь оптимистичными прогнозами авторы исследований оставляют за собой право на проведение дополнительных долгосрочных клинических испытаний, подтверждающих выдвинутую гипотезу.

В некоторых экспериментальных исследованиях, направленных на повышение физико-химической устойчивости стоматологических полимеров, в пластмассы вводили оксид циркония, алюминия и титана [22, 23], наноалмазы [24], измельчённые наполнители природного происхождения [25], гидроксипатит и стекловолокно [26]. G. Chladek с соавт. [13] исследовали влияние антибактериального серебро-высвобождающего наполнителя на физико-химические свойства РММА. Ранее G. Chladek с соавт. [13] уже изучали антимикробный эффект РММА горячего отверждения Meliodent Heat Cure (Heraeus Kulzer, Германия) с введёнными в него субмикронными неорганическими частицами натрий-водородного фосфата циркония (S-P) серебра (Milliken Chemical, США) в течение 90-дневного эксперимента. Исследование физико-механических свойств данного модифицированного полимера показало достаточно перспективные результаты. В то же время клиницисты отмечают, что ключевым моментом для достижения улучшенных механических показателей явилась необходимость соблюдения строгих массовых концентраций наполнителя в полимере. С другой стороны, потенциальное улучшение параметров и достижение желаемого синергетического эффекта могут быть достигнуты путём одномоментного использования комбинации различных наполнителей. Наряду с этим G. Chladek с соавт. [13] указывают на необходимость проведения дополнительных цитотоксических тестов, а также долгосрочного исследования явлений высвобождения ионов, остаточного мономера, дибензоилпероксида и других химических компонентов из полимера [27].

Проводя клиническое обоснование результатов и возможностей применения цифровых технологий при протезировании пациентов с полным отсутствием зубов, В.А. Семенова с соавт. [28] сообщают о необходимости последующего склеивания отфрезерованных частей будущего съёмного протеза Wieland Digital Denture (Ivoclar Vivadent, Лихтенштейн) бондом в противовес протоколу монолитного фрезерования AvaDent Digital Denture. Отмечаются некоторые преимущества субтрактивного фрезерования над аддитивным способом прототипирования, однако факт явной конкурентоспособности обеих цифровых технологий неоспорим. Клинические исследования подтвердили ряд практических достоинств цифровых

методик изготовления полных съёмных протезов: высокая точность выполняемых конструкций, минимизация усадки акрилового полимера, отсутствие завышения межальвеолярной высоты, быстрота изготовления. Проведённые расчеты клинико-экономической эффективности производства полных съёмных пластиночных протезов выявили финансовую выгоду и уменьшение себестоимости при применении цифровых технологий изготовления протезов по сравнению с традиционными методами.

F. Mangano с соавт. [29], исследуя возможности CAD/CAM-изготовления полных съёмных покрывных протезов с балочной полиэфир-эфир-кетоновой (PEEK) системой фиксации на имплантатах в сочетании с предварительным внутриворотковым и лицевым сканированием, пришли к выводу об уменьшении общего дискомфорта протезирования для пациента в связи сокращением времени лабораторного изготовления конструкции. Кроме того, данная технология позволяет провести изготовление полностью безметалловых протезов, сохранив высокую эстетичность и превосходные физико-механические показатели выполненной работы. Отмечая выявленные преимущества и возможные перспективы использованной методики, авторы указывают на необходимость дальнейшего исчерпывающего анализа полученных данных.

Ю.А. Вокулова и Е.Н. Жулев [30], В.Л. Goodacre с соавт. [31], проводя сравнительную оценку размерной точности базисов, изготовленных традиционными и цифровыми методами, обнаружили большую размерную точность базисов, изготовленных методом внутривороткового лазерного сканирования и 3D-печати, по сравнению с традиционной технологией. Однако в специальной литературе имеются и альтернативные мнения: так Н. Chen с соавт. [32] не нашли статистически значимых различий при исследовании аналогичных параметров базисов полных съёмных протезов.

М. Kostić с соавт. [33] провели широкомасштабное обзорное исследование физических, механических, химических и биологических аспектов применения акрилатов в стоматологической практике. Резюмируя вопрос технологии полимеризации пластмасс, специалисты отмечают четыре известных типа полимеризации: горячую, холодную, световую и микроволновую. Современный тип применяемых готовых акриловых CAD/CAM-блоков обладает наилучшими физико-механическими свойствами за счёт предварительной глубокой полимеризации полимер-мономерной смеси в идеальных заводских условиях. Данная модернизационная особенность в перспективе клинической эксплуатации позволяет добиться улучшенной биосовместимости, функциональной и эстетической долговечности готовых протезов [34]. Однако в то же время, высоко оценивая технологический прогресс совершенствования акриловых пластмасс, авторы напоминают о присущих им недостатках, заложенных в самом химизме сложных эфиров акриловых кислот и их солей. Наряду с этим продолжаются параллельные попытки улучшения

физико-механических свойств акрилатов [35] путём их армирования волокнами и нановолокнами, уменьшения количества остаточного мономера и прочих токсических компонентов с целью снижения вероятности возникновения токсико-аллергических реакций, повышения биоиндифферентности и устойчивости к адгезии и колонизации микрофлорой полости рта [36]. Последнее реализуется также благодаря введению активных биоцидных агентов, подавляющих развитие патогенной бактериальной и грибковой флоры [33].

В исследовании L.A. Shinawi [37] проведены доказательные параллели между отсутствием усадки у преполмеризованных блоков акрилата и оптимальной пространственной точностью изготавливаемых CAD/CAM-протезов. Кроме того, уменьшение показателей пористости и шероховатости акриловых смол CAD/CAM, а также их устойчивость к истиранию, по сравнению с традиционными свойствами способствует уменьшению бактериальной адгезии, галитоза, а также снижает риск возникновения аспирационной пневмонии у пожилых пациентов. Успешные итоги экспериментальных исследований, имитирующих условия трёхлетней чистки зубных протезов, позволили сделать вывод о более стабильном результате и благоприятном долгосрочном прогнозе проведённого цифрового протезирования. В то же время авторы отмечают необходимость дальнейшей оценки воздействия гигиенических процедур чистки зубных протезов на другие физико-механические свойства CAD/CAM-полимеров с целью выработки оптимальных рекомендаций по уходу за протезами.

G. Çakmak с соавт. [34] изучали влияние длительной чистки зубной щёткой и термоциклирования на микрошероховатость и цветостабильность поверхности образцов полимеров, изготовленных методом 3D-печати, CAD/CAM-фрезеровки и классических акрилатов горячей полимеризации: NextDent Denture 3D+ (NextDent B.V., Soesterberg, The Netherland (ND)); Denturetec (SAREMCO Dental AG, Швейцария (SC)); Polident d.o.o (Polident, Slovenia (PD)); Promolux (Merz Dental GmbH, Германия (CNV)). Показатели микрошероховатости поверхности (Ra) регистрировали до и после процедуры полировки профилометром, цветовые показатели — спектрофотометром после полировки. В процессе эксперимента доказано, что процедура полировки обуславливала приемлемую шероховатость поверхностей всех испытуемых образцов, в то время как чистка и термоциклирование не приводили к увеличению показателя выше 0,2 мкм. Определена приемлемая цветостабильность (ND) всех испытуемых образцов после экспериментальных процедур, однако выявлен факт значительного влияния чистки и термоциклирования на интенсивность данного показателя.

P. Kraemer Fernandez с соавт. [38] изучали качество поверхности акриловых образцов, изготовленных с помощью CAD/CAM-технологии, 3D-печати и традиционного метода *in vitro* после окончательной полировки и поверхностного покрытия полимером. Результаты исследования

выявили наилучшее качество у CAD/CAM-образцов, чем 3D- и обычных акрилатов. Однако шероховатость поверхности как тщательно полированных, так и покрытых составом с дополнительной полимеризацией образцов находилась в пределах клинически значимого порога в 0,2 мкм.

Использование готовых акриловых блоков из предварительно полимеризованного акрилового полимера способствует нейтрализации проблемы возможной усадки пластмассового теста при его отверждении, а следовательно, обеспечивает прецизионное прилегание базиса протеза к слизистой протезного ложа. Кроме того, наблюдаются повышение основных физико-механических характеристик изготовленного протеза, химическая устойчивость и долговечность функционирования в условиях потенциально агрессивной среды полости рта. Данные специальной литературы свидетельствуют о меньшем количестве остаточного мономера и о меньшем водопоглощении преполмеризованных акрилатов по сравнению с классическими, что обеспечивает большую биоиндифферентность и биогигиеничность изготовленных съёмных CAD/CAM-протезов. Ряд учёных установили статистически значимое снижение уровня микробной адгезии и микробной обсеменённости цельнофрезерованных конструкций, в том числе к *Candida albicans*. Данное обстоятельство способствует снижению возможности патогенного влияния микробиоценозов на слизистую оболочку полости рта и поэтому является действенным фактором профилактики явлений токсико-аллергической «непереносимости» съёмных акриловых протезов [39].

Сегодня отечественный опытно-экспериментальный завод «ВладМива», реализуя курс обеспечения социального суверенитета России путём импортозамещения, разрабатывает широкий спектр отечественных стоматологических расходных материалов. Одно из приоритетных инновационных направлений — разработка альтернативных базисных конструкционных материалов, в технологическом цикле которых отсутствует работа с метилметакрилатом, являющимся прекурсором синтетического опиоидного анальгетика 3-метилфентанила. Подобное ограничение продиктовано высокой химической токсичностью соединения, способствующей повреждению тканей протезного ложа и поражению всего организма в целом с формированием симптомокомплекса «непереносимости» конструкционного материала. Данное осложнение может приводить к ухудшению результатов и прогнозов комплексного лечения, к обострению хронических заболеваний и снижению качества жизни пациента [40, 41], к формированию недоверия со стороны пациента, возникновению претензий и судебных прецедентов [42] в совокупности с потерей репутации клиники и многократными переделками протеза за счёт лечебного учреждения. Одним из перспективных материалов, удовлетворяющих вышеобозначенным приоритетным требованиям, служит полимер на основе

этилметакрилата. Так, Д.И. Грачев с соавт. [43] выявили возможность значительного улучшения физико-механических характеристик и оптимизации микробиологических параметров базисного акрилового полимера «Нолатек» («ВладМива», Россия) путём отработки различных методик комбинированной термо- и фотополимеризации акрилата.

ОСОБЕННОСТИ ЭРГОНОМИКИ ПРОИЗВОДСТВА ПОЛНЫХ СЪЁМНЫХ CAD/CAM-ПРОТЕЗОВ

Несомненным преимуществом CAD/CAM-технологии является значительное уменьшение времени изготовления полного съёмного протеза, а также сокращение сроков адаптации за счёт снижения количества необходимых коррекций у пациента. Последнее достигается филигранным воспроизведением пространственной точности и строгой конгруэнтностью базиса тканям протезного ложа. Особенную актуальность данные преимущества приобретают в практике геронтостоматологии, а также при тяжёлых общесоматических заболеваниях пациента, когда частое посещение врача крайне затруднено [44]. Не являются исключением и лица с неудовлетворительным психическим статусом и различными неврологическими расстройствами [45]. Вся процедура изготовления протеза укладывается в два посещения, причём в первое посещение происходит снятие оттисков, определение центрального соотношения и цвета искусственных зубов, что занимает приблизительно 1–2 ч в зависимости от практического опыта клинициста. Во второе посещение проводится сдача съёмных протезов и координация плана дальнейшего наблюдения пациента в соответствии с принципом законченности лечения.

Важным преимуществом цифровой методики является возможность электронного архивирования информации о пациенте с автоматической генерацией портфолио и долгосрочным хранением личных данных с возможностью последующего их использования [46]. Цифровая информационная база значительно ускоряет и облегчает работу клиницистов при необходимости использования трёхмерных изображений, связанных с проектированием съёмных CAD/CAM-протезов [35]. Данные электронного архива могут быть в любой момент использованы для изготовления временного имедиат-протеза [47], повторного протезирования, а также для изготовления дубликата протеза при возникновении острой необходимости. Вновь изготовленные протезы будут иметь аналогичные геометрические параметры и идеальное прилегание к тканям протезного ложа, что значительно минимизирует как время изготовления, так и время адаптации пациента к новой копии протеза. Немаловажное значение электронный архив имеет и для реализации последующего комплексного лечения пациента. Возникшую в будущем потребность

в проектировании хирургического или рентгенографического шаблона для установки дентальных имплантатов можно легко удовлетворить с помощью сохранённых ранее данных.

Для получения клиничко-лабораторного подтверждения возможности потенциальной интеграции CAD/CAM в повседневную клиническую практику G. Bonnet с соавт. [48] изучили 15 полных съёмных пластиночных протезов, изготовленных с помощью инновационной системы Wieland Digital Denture. При работе с системой выявлена возможность стандартизации процедуры и сокращения количества клинических сеансов. Однако авторы исследования отмечают, что во избежание разочарований от использования системы необходимо проводить дополнительное обучение сотрудников виртуальному цифровому моделированию [49]. Требуются также увеличение возможностей программного обеспечения и модернизация процесса сканирования по причине существенных различий величины податливости отдельных участков слизистой оболочки протезного ложа.

Проводя исчерпывающий анализ преимуществ изготовленных полных съёмных пластиночных CAD/CAM-протезов, N.M. Janeva с соавт. [46] указывают, что помимо сокращения числа клинических этапов (до двух) отмечается значительное уменьшение общего времени клинического приёма (примерно на 3,5 ч) по сравнению с традиционной методикой. Кроме того, выявлена более высокая точность изготовления базисов, показателей жевательной эффективности, фиксации и удержания протезов на тканях протезного ложа. Авторы отмечают наличие взаимосвязи данных параметров с уникальностью технологии изготовления протезов, предполагающей особый способ обработки фотополимеризованного блока при отсутствии явлений полимеризационной усадки акрилата. Приводя результаты сравнительных исследований содержания остаточного мономера в CAD/CAM- и традиционных протезах, авторы ссылаются на данные специальной литературы. Так, O. Steinmassl с соавт. [50] опровергли гипотезу о наличии статистически значимой разницы содержания остаточного мономера при использовании вышеупомянутых методик. Количество остаточного мономера в CAD/CAM- и термopolimerизованных образцах было примерно одинаковым и не превышало клинически допустимых величин, что, по мнению авторов, связано с метакриловой природой связующих компонентов, используемых для фиксации искусственных зубов к фрезерованным гнёздам CAD/CAM-базисов.

Успешная реализация концепции цифровых решений в повседневной клинической практике требует от специалиста высококвалифицированной подготовки в области CAD/CAM-производства [51], а также знаний технологических свойств тождественных конструкционных материалов. Так, L.W. May с соавт. [52], изучая трёхмерное пространственное соответствие базисов архитектоники протезного ложа *in vitro*, выявили несовершенство

алгоритма автоматического наложения точечных регистрируемых параметров анатомических ориентиров, с использованием совмещения ближайших соответствующих точек между двумя поверхностями. По мнению авторов, не учитывался также ряд динамических характеристик слизистой оболочки, включая индивидуальные особенности слюновыделения.

M.S. Bilgin с соавт. [8] подвергли исчерпывающему анализу технологию автоматизированного проектирования и производства (CAD/CAM), а именно фрезерования и быстрого прототипирования (RP) для изготовления съёмных зубных протезов. В результате экспертного исследования научных баз данных с 1987 по 2014 гг. были обобщены существующие разработки, оценены преимущества и недостатки CAD/CAM и RP для изготовления съёмных зубных протезов. Авторы заключили, что современные инновации, а также технологические методы CAD/CAM и RP стали самостоятельным разделом медицинской информатики, который нуждается в обеспечении квалифицированным техническим персоналом для выполнения специализированных вычислительных операций.

Актуальные стоматологические инновации и цифровые CAD/CAM-технологии позволяют максимально удалённо организовать процесс изготовления съёмных конструкций от начала до конца, достичь превосходных функциональных и эстетических результатов лечения [38], значительно сократить суммарное время пребывания пациента в клинике. По мнению авторов, перспективной вехой изготовления съёмных ортопедических конструкций является разработка средств диагностики и анализа лицевых параметров для создания виртуальных моделей и последующей визуализации в сочетании с цифровой записью и потоковой передачей до логичного завершения с помощью CAM.

Схожей точки зрения придерживаются С. Cheng с соавт. [53], разрабатывая методику виртуальной интерактивной реконструкции морфологии лица после челюстно-лицевых операций на основе анализа основных цифровых компонентов. Традиционно вопросам комплексного планирования реконструкции челюстно-лицевой области была присуща значительная доля субъективизма, продиктованного личным клиническим опытом и ожиданиями специалистов. Классический диагностический паттерн исключал возможность точного прогнозирования изменения внешнего вида лица и мягких тканей после операции, что увеличивало частоту случаев неудовлетворённости пациентов результатами лечения и повторных оперативных вмешательств. С развитием технологий искусственного интеллекта появилась надёжная цифровая база для научно-обоснованного количественного анализа и точного планирования будущей реабилитации пациента [54]. Так, отличительной особенностью предложенной методики является анализ основных компонентов для построения модели прогнозирования упругой деформации кожных покровов, что обеспечивает получение интуитивно понятной цифровой 3D-модели.

Данный метод позволяет интерактивно регулировать и предсказывать амплитуду возможной деформации мягких тканей лица путём контроля параметров с учётом индивидуальных особенностей [55]. Метод интеллектуального анализа основных компонентов используется для построения модели прогнозирования упругой деформации кожных покровов и создания интуитивно понятной цифровой 3D-модели.

N.M. Janeva с соавт. [46] на основании собственных данных и сведений специальной литературы попытались обобщить практические преимущества CAD/CAM-технологии для врача-стоматолога и пациента. Помимо уменьшения кратности посещений и времени клинического приёма, возможности заполнения виртуального хранилища цифровых сведений в базе данных производителя (GDS), авторы также обращают внимание на отсутствие полимеризационной усадки акрилового полимера, уменьшение пористости и адгезии *Candida albicans* к поверхностям протеза. Отсутствие полимеризационной усадки увеличивает точность, улучшает фиксацию и стабилизацию протезов [31, 56, 57]. Виртуальный характер процесса моделирования позволяет создать индивидуальные анатомические особенности рельефа базиса съёмного протеза, определить его минимально допустимую толщину, что в значительной мере повышает привлекательность конструкции для пациента, оправдывая даже самые высокие запросы и ожидания [58]. Особенную актуальность цифровые методы протезирования приобретают в практике ортопедической реабилитации слабоумных пациентов и лиц с психическими заболеваниями [59], равно как и в геронтостоматологии — традиционно сложнейших разделах зубопротезирования. С учётом сложности обозначенной проблематики (в частности, наблюдается устойчивая тенденция необоснованного расширения показаний к проведению имплантационного лечения) необходимо продолжать поиск методов её устранения. Одним из альтернативных способов эффективного решения данных задач является широкое внедрение в клиническую практику CAD/CAM-технологии изготовления съёмных протезов, обеспечивающей удобство работы врача-стоматолога и комфорт пациента.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Лидерами на рынке цифровой стоматологии сегодня являются технологии субтрактивного и аддитивного производства полных съёмных акриловых протезов. Предварительный анализ данных отечественной и зарубежной специальной литературы позволяет сделать вывод о наличии конкурентных преимуществ и перспектив развития цифровых методов изготовления протезов. Результаты научных исследований свидетельствуют о высокой биоиндифферентности, геометрической и пространственной точности изготавливаемых конструкций,

физико-механической устойчивости и химической инертности при функционировании в условиях агрессивной среды полости рта, высокой эргономике и комфорте реализуемых технологий, экономии общего времени изготовления и уменьшении финансовых издержек на производство протезов.

Следует отметить, что, несмотря на многочисленные попытки разработать новые базисные материалы и модификации уже существующих, неоспоримое первенство по частоте использования по-прежнему принадлежит производным акриловой и метакриловой кислот. Однако внедрение в практику изготовления полных съёмных пластиночных протезов инновационных цифровых CAD/CAM-технологий позволило преодолеть большинство традиционных проблем, связанных с несовершенством процесса формовки и полимеризации базисных акрилатов.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гветадзе Р.Ш., Андреева С.Н., Бутова В.Г., Чегерова Т.И. Разработка экспертной оценки качества стоматологической помощи // *Стоматология*. 2021. Т. 100, № 1. С. 73–78. EDN: UBWBCT doi: 10.17116/stomat202110001173
2. Кулаков А.А., Андреева С.Н., Фурчакова А.В. Внутренний контроль качества и безопасности медицинской деятельности в сфере информационного взаимодействия пациента и медицинской организации // *Стоматология*. 2022. Т. 100, № 1. С. 79–83. EDN: AOIOIC doi: 10.17116/stomat202210101179
3. Аксенова Е.И., Горбатов С.Ю. Цифровизация здравоохранения: опыт и примеры трансформации в системах здравоохранения в мире. Москва : ГБУ «НИИОЗММ ДЗМ», 2020. 44 с. EDN: FKKUNV
4. Муслев С.А., Рузуддинов Н.С., Арутюнов С.Д., и др. Качество жизни пациентов с полной утратой зубов и психометрические свойства опросника OHIP-20 DG. Часть 3. Исследование латентных переменных // *Российский стоматологический журнал*. 2021. Т. 25, № 6. С. 483–493. EDN: HEFVPP doi: 10.17816/1728-2802-2021-25-6-483-493
5. Древаль А.В., Древаль О.А. Цифровая медицина. Руководство для врачей. Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2023. 272 с.
6. Ряховский А.Н., Степанов А.Г., Апресян С.В., Золотарев Н.Н. Сочетанное использование результатов 2D- и 3D-моделирования для идентичного воспроизведения прототипа улыбки. Клинический случай // *Клиническая стоматология*. 2021. Т. 24, № 4. С. 92–95. EDN: OCBZV doi: 10.37988/1811-153X_2021_4_92
7. Бессонова Е.А., Нуриева Н.С. Классический и цифровой подход к индексной оценке гигиенического состояния рта // *Стоматология*. 2022. Т. 101, № 6. С. 14–17. EDN: QDCEYI doi: 10.17116/stomat202210106114

Вклад авторов. Все авторы в равной степени принимали участие в написании статьи; внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследований, сбор, анализ данных и подготовку статьи. Наибольший вклад распределён следующим образом: А.Е. Верховский — сбор и анализ литературных источников, написание текста и редактирование статьи; С.В. Апресян — курирование и концептуализация исследования, анализ данных, подготовка, рецензирование и правка публикации; А.Г. Степанов — разработка методологии, проблематизация, категоризация, анализ данных, подготовка, рецензирование и правка публикации.

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Authors' contribution. All authors equally participated in the writing of the article; made a significant contribution to the development of the concept, research, data collection, analysis and preparation of the article. A.E. Verkhovskiy — collection and analysis of literary sources, writing and editing of the article; S.V. Apresyan — curation and conceptualization of the research; data analysis, preparation, proofreading and editing of the publication; A.G. Stepanov — methodological development, problematisation and data categorization, data analysis, preparation, proofreading and editing of the publication.

8. Bilgin M.S., Baytaroğlu E.N., Erdem A., Dilber E. A review of computer-aided design/computer-aided manufacture techniques for removable denture // *Eur J Dent*. 2016. Vol. 10, N 2. P. 286–291. doi: 10.4103/1305-7456.178304
9. Семенова В.А. Оптимизация и подтверждение клинико-экономической эффективности протокола зубного протезирования пациентов с полным отсутствием зубов с использованием цифровых стоматологических технологий : дис. ... канд. мед. наук. Москва, 2022. 183 с. EDN: TRJEBX
10. Апресян С.В., Степанов А.Г., Антоник М.М., и др. Комплексное цифровое планирование стоматологического лечения. Москва : Мозартика, 2020. 398 с. EDN: BFHWAT
11. Ряховский А.Н., Мурадов М.А., Ерохин В.А. Изучение точности виртуальной репозиции нижней челюсти. *Стоматология*. 2022. Т. 101, № 4. С. 53–60. EDN: KVGDBG doi: 10.17116/stomat202210104153
12. Skorulska A., Piszko P., Rybak Z., et al. Review on polymer, ceramic and composite materials for CAD/CAM indirect restorations in dentistry — application, mechanical characteristics and comparison // *Materials* (Basel). 2021. Vol. 14, N 7. P. 1592. doi: 10.3390/ma14071592
13. Chladek G., Pakieła K., Pakieła W., et al. Effect of antibacterial silver-releasing filler on the physicochemical properties of poly(methylmethacrylate) denture base material // *Materials* (Basel). 2019. Vol. 12, N 24. P. 4146. doi: 10.3390/ma12244146
14. Grunnert I. Пациент с полной адентией — что делать? // *Новое в стоматологии*. 2013. № 2. С. 4–9.
15. Нестеров А.М. Комплексный подход к ортопедическому лечению больных при сочетании полного и частичного отсутствия

зубов на челюстях : дис. ... док. мед. наук. Самара, 2016. 316 с. EDN: SNHNGB

16. Ряховский А.Н. Цифровая стоматология. Москва : Авантис, 2010. 282 с.

17. Эрtesян А.Р., Садыков М.И., Нестеров А.М. Влияние направления 3D-печати на точность изготовления полных съёмных пластиночных протезов с использованием технологии стереолитографии // Международный научно-исследовательский журнал. 2021. № 1-3. С. 66–72. EDN: NKERAU doi: 10.23670/IRJ.2021.103.1.066

18. Бугаев И.В. Роль компьютерного моделирования в аддитивных технологиях // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 5-3. С. 64–66. EDN: VXMFPN doi: 10.18454/IRJ.2016.47.054

19. Эрtesян А.Р., Садыков М.И., Нестеров А.М. Обзор технологий 3D-печати в стоматологии // Медико-фармацевтический журнал «Пulse». 2020. Т. 22, № 10. С. 15–18. EDN: NGOLGM doi: 10.26787/nydha-2686-6838-2020-22-10-15-18

20. Gad M.M., Albazroun Z., Aldajani F., et al. Repair bond strength of conventionally and digitally fabricated denture base resins to autopolymerized acrylic resin: surface treatment effects in vitro // Materials (Basel). 2022. Vol. 15, N 24. P. 9062. doi: 10.3390/ma15249062

21. Srinivasan M., Cantin Y., Mehl A., et al. CAD/CAM milled removable complete dentures: an in vitro evaluation of trueness // Clin Oral Investig. 2017. Vol. 21, N 6. P. 2007–2019. doi: 10.1007/s00784-016-1989-7

22. Иванов С.Ю., Карасенков Я.Н., Латута Н.В., и др. Применение наночастиц металлов и их оксидов в стоматологических композитных материалах и конструкциях. Обзор (часть 1) // Клиническая стоматология. 2022. Т. 25, № 4. С. 159–165. EDN: HMAOJC doi: 10.37988/1811-153X_2022_4_159

23. Zidan S., Silikas N., Alhotan A., et al. Investigating the mechanical properties of ZrO₂-impregnated PMMA nanocomposite for denture-based applications // Materials (Basel). 2019. Vol. 12, N 8. P. 1344. doi: 10.3390/ma12081344

24. Al-Harbi F.A., Abdel-Halim M.S., Gad M.M., et al. Effect of nano-diamond addition on flexural strength, impact strength, and surface roughness of PMMA denture base // J Prosthodont. 2019. Vol. 28, N 1. P. 417–425. doi: 10.1111/jopr.12969

25. Sabbatini A., Lanari S., Santulli C., Pettinari C. Use of almond shells and rice husk as fillers of poly(methylmethacrylate) (PMMA) composites // Materials (Basel). 2017. Vol. 10, N 8. P. 872. doi: 10.3390/ma10080872

26. Somani M.V., Khandelwal M., Punia V., Sharma V. The effect of incorporating various reinforcement materials on flexural strength and impact strength of polymethylmethacrylate: a meta-analysis // J Indian Prosthodont Soc. 2019. Vol. 19, N 2. P. 101–112. doi: 10.4103/jips.jips_313_18

27. Косырева Т.Ф., Воейкова О.В. Клинико-лабораторные исследования светоотверждаемого базисного материала для изготовления внутриротовых ортодонтических приспособлений // Стоматология. 2021. Т. 100, № 5. С. 58–61. EDN: GCOOZQ doi: 10.17116/stomat202110005158

28. Семенова В.А., Терехов М.С., Апресян С.В., Степанов А.Г. Клиническое обоснование применения цифровых технологий при протезировании пациентов с полным отсутствием зубов // Клиническая стоматология. 2022. Т. 25, № 1. С. 98–106. doi: 10.37988/1811-153X_2022_1_98

29. Mangano F., Mangano C., Margiani B., Admakin O. Combining intraoral and face scans for the design and fabrication of computer-assisted design/computer-assisted manufacturing (CAD/CAM) polyether-ether-ketone (PEEK) implant-supported bars for maxillary overdentures // Scanning. 2019. Vol. 2019. P. 4274715. doi: 10.1155/2019/4274715

30. Вокулова Ю.А., Жулев Е.Н. Результаты изучения цифровых изображений базисов полных съёмных протезов, изготовленных с помощью 3D-печати и традиционных технологий // Клиническая стоматология. 2021. № 1. С. 131–135. EDN: JZKKQO doi: 10.37988/1811-153X_2021_1_131

31. Goodacre B.J., Goodacre C.J., Baba N.Z., Kattadiyil M.T. Comparison of denture base adaptation between CAD-CAM and conventional fabrication techniques // J Prosthet Dent. 2016. Vol. 116, N 2. P. 249–256. doi: 10.1016/j.prosdent.2016.02.017

32. Chen H., Wang H., Lv P., et al. Quantitative evaluation of tissue surface adaption of CAD-designed and 3D printed wax pattern of maxillary complete denture // Biomed Res Int. 2015. Vol. 453968. doi: 10.1155/2015/453968

33. Kostić M., Igić M., Gligorijević N., et al. The use of acrylate polymers in dentistry // Polymers (Basel). 2022. Vol. 14, N 21. P. 4511. doi: 10.3390/polym14214511

34. Çakmak G., Molinero-Mourelle P., De Paula M.S., et al. Surface roughness and color stability of 3D-printed denture base materials after simulated brushing and thermocycling // Materials (Basel). 2022. Vol. 15, N 18. P. 6441. doi: 10.3390/ma15186441

35. Jain S., Sayed M.E., Shetty M., et al. Physical and mechanical properties of 3D-printed provisional crowns and fixed dental prosthesis resins compared to CAD/CAM milled and conventional provisional resins: a systematic review and meta-analysis // Polymers (Basel). 2022. Vol. 14, N 13. P. 2691. doi: 10.3390/polym14132691

36. Косырева Т.Ф., Лебедево И.Ю., Воейкова О.В., и др. Армирование светоотверждаемого полимера для базисов ортодонтических аппаратов // Стоматология. 2021. Т. 100, № 4. С. 83–87. EDN: KRQWYP doi: 10.17116/stomat202110004183

37. Shinawi L.A. Effect of denture cleaning on abrasion resistance and surface topography of polymerized CAD CAM acrylic resin denture base // Electron Physician. 2017. Vol. 9, N 5. P. 4281–4288. doi: 10.19082/4281

38. Kraemer Fernandez P., Unkovskiy A., Benkendorff V., et al. Surface characteristics of milled and 3D printed denture base materials following polishing and coating: an in-vitro study // Materials (Basel). 2020. Vol. 13, N 15. P. 3305. doi: 10.3390/ma13153305

39. Janeva N., Kovacevska G., Janev E. Complete dentures fabricated with CAD/CAM technology and a traditional clinical recording method // Open Access Maced J Med Sci. 2017. Vol. 5, N 6. P. 785–789. doi: 10.3889/oamjms.2017.169

40. Арутюнов С.Д., Муслев С.А., Чижмаков Е.А., и др. Качество жизни пациентов с полной утратой зубов и психометрические свойства опросника OHIP-20 DG. Часть 1. Валидизация и автоматизация // Российский стоматологический журнал. 2021. Т. 25, № 5. С. 387–397. EDN: HMEZGY doi: 10.17816/1728-2802-2021-25-5-387-397

41. Муслев С.А., Нохрин Д.Ю., Арутюнов С.Д., и др. Качество жизни пациентов с полной утратой зубов и психометрические свойства опросника OHIP-20 DG. Часть 4. Оценка параметров с помощью нелинейного анализа главных компонент по алгоритму CatPCA // Российский стоматологический журнал. 2021. Т. 25, № 6. С. 495–503. EDN: YXMLEY doi: 10.17816/1728-2802-2021-25-6-495-503

42. Розов Р.А., Трезубов В.Н., Попов В.Л., и др. Автоматизированное цифровое исследование в судебно-стоматологической экспертизе для сопоставления объемной модели и архивных фотографий полных съёмных протезов // *Стоматология*. 2022. Т. 101, № 3. С. 61–69. EDN: NAQEDB doi: 10.17116/stomat202210103161
43. Грачев Д.И., Царев В.Н., Маджидова Е.Р., и др. Физико-механические и микробиологические характеристики первого отечественного базисного материала гибридной полимеризации // *Клиническая стоматология*. 2021. № 1. С. 144–148. EDN: SWZZXB doi: 10.37988/1811-153X_2021_1_144
44. Arai K., Tanaka Y., Matsuda S., et al. Complete denture fabrication using digitally fabricated copy dentures for a patient with moderate dementia // *Case Rep Dent*. 2021. Vol. 20221. P. 9385095. doi: 10.1155/2021/9385095
45. Oweis Y., Ereifej N., Al-Asmar A., Nedal A. Factors affecting patient satisfaction with complete dentures // *Int J Dent*. 2022. Vol. 2022. P. 9565320. doi: 10.1155/2022/9565320
46. Janeva N.M., Kovacevska G., Elencevski S., et al. Advantages of CAD/CAM versus conventional complete dentures — a review // *Open Access Maced J Med Sci*. 2018. Vol. 6, N 8. P. 1498–1502. doi: 10.3889/oamjms.2018.308
47. Бабич В.В. Клинический пример использования временной съёмной конструкции после имплантационного лечения // *Клиническая стоматология*. 2021. Т. 24, № 3. С. 109–111. EDN: PSXYTV doi: 10.37988/1811-153X_2021_3_109
48. Bonnet G., Batisse C., Bessadet M., Nicolas E., Veyrune J.L. A new digital denture procedure: a first practitioners appraisal // *BMC Oral Health*. 2017. Vol. 17, N 1. P. 155. doi: 10.1186/s12903-017-0440-z
49. Успенская О.А., Спиридонова С.А., Брагина О.М., Рузина К.А. Медицинское образование в условиях ускоренной цифровизации образовательного процесса на фоне коронавирусной инфекции, вызванной вирусом COVID-19 // *Клиническая стоматология*. 2021. Т. 24, № 2. С. 136–140. EDN: TOGSEA doi: 10.37988/1811-153X_2021_2_136
50. Steinmassl O., Offermanns V., Stöckl W., et al. In vitro analysis of the fracture resistance of CAD/CAM denture base resins // *Materials (Basel)*. 2018. Vol. 11, N 3. P. 401. doi: 10.3390/ma11030401
51. Ishida Y., Kuwajima Y., Kobayashi T., et al. Current Implementation of digital dentistry for removable prosthodontics in US dental schools // *Int J Dent*. 2022. Vol. 2022. P. 7331185. doi: 10.1155/2022/7331185
52. May L.W., John J., Seong L.G., et al. Comparison of cooling methods on denture base adaptation of rapid heat cured acrylic using a three dimensional superimposition technique // *J Indian Prosthodont Soc*. 2021. Vol. 21, N 2. P. 198–203. doi: 10.4103/jips.jips_41_21
53. Cheng C., Cheng X., Dai N., et al. Facial morphology prediction after complete denture restoration based on principal component analysis // *J Oral Biol Craniofac Res*. 2019. Vol. 9, N 3. P. 241–250. doi: 10.1016/j.jobocr.2019.06.002
54. Апресян С.В., Степанов А.Г., Гаджиев М.А., и др. Клиническая эффективность окклюзионных шин, изготовленных методом компьютерного моделирования и объемной печати, у пациентов с бруксизмом: результаты исследования и клинический случай // *Российский стоматологический журнал*. 2022. Т. 26, № 3. С. 199–210. EDN: QPTDLN doi: 10.17816/1728-2802-2022-26-3-199-211
55. Колсанов А.В., Попов Н.В., Аюпова И.О., Ивлева А.И. Согласованность мнений экспертов при изучении позиции опорных точек для изучения мягкотканного профиля лица на цифровых телерентгенологических снимках боковой проекции черепа // *Стоматология*. 2021. Т. 100, № 4. С. 49–54. EDN: XXZZYS doi: 10.17116/stomat202110004149
56. Infante L., Yilmaz B., McGlumphy E., Finger I. Fabricating complete dentures with CAD/CAM technology // *J Prosthet Dent*. 2014. Vol. 111, N 5. P. 351–355. doi: 10.1016/j.prosdent.2013.10.014
57. Bidra A.S., Taylor T.D., Agar J.R. Computer-aided technology for fabricating complete dentures: systematic review of historical background, current status, and future perspective // *J Prosthet Dent*. 2013. Vol. 109, N 6. P. 361–366. doi: 10.1016/S0022-3913(13)60318-2
58. Schwindling F.S., Stober T. A comparison of two digital techniques for the fabrication of complete removable dental prostheses: a pilot clinical study // *J Prosthet Dent*. 2016. Vol. 116, N 5. P. 756–763. doi: 10.1016/j.prosdent.2016.03.022
59. Unkovskiy A., Wahl E., Zander A.T., et al. Intraoral scanning to fabricate complete dentures with functional borders: a proof-of-concept case report // *BMC Oral Health*. 2019. Vol. 19, N 1. P. 46. doi: 10.1186/s12903-019-0733-5

REFERENCES

1. Gvetadze RSh, Andreeva SN, Butova VG, Chegerova TI. Development of an expert assessment of the quality of dental care. *Stomatology*. 2021;100(1):73–78. EDN: UBWBCT doi: 10.17116/stomat202110001173
2. Kulakov AA, Andreeva SN, Furchakova AV. Internal control of the quality and safety of medical activities in the field of information interaction between patient and medical organization. *Stomatology*. 2022;101(1):79–83. EDN: AOIOIC doi: 10.17116/stomat202210101179
3. Aksenova EI, Gorbatov SY. *Digitalization of healthcare: experience and examples of transformation in healthcare systems in the world*. Moscow: GBU «NIIOZMM DZM»; 2020. 44 p. (In Russ). EDN: FKKUNV
4. Muslov SA, Ruzuddinov NS, Arutyunov SD, et al. Quality of life of patients with complete loss of teeth and psychometric properties of the questionnaire OHIP-20 DG. Part 3. Investigation of latent variables. *Russian Journal of Dentistry*. 2021;25(6):483–493. EDN: HEFVPP doi: 10.17816/1728-2802-2021-25-6-483-493
5. Dreval AV, Dreval OA. *Digital medicine. A guide for doctors*. Moscow: GJeOTAR-Media; 2023. 272 p. (In Russ).
6. Ryakhovskiy AN, Stepanov AG, Apresyan SV, Zolotarev NN. Combined use of 2D- and 3D- simulation results for identical smile prototype production (clinical case). *Clinical Dentistry (Russia)*. 2021;24(4):92–95. EDN: OCBZRV doi: 10.37988/1811-153X_2021_4_92
7. Bessonova EA, Nurieva NS. Classical and digital option to index assessment of the oral hygiene. *Stomatology*. 2022;101(6):14–17. EDN: QDCEYI doi: 10.17116/stomat202210106114
8. Bilgin MS, Baytaroğlu EN, Erdem A, Dilber E. A review of computer-aided design/computer-aided manufacture techniques for removable denture fabrication. *Eur J Dent*. 2016;10(2):286–291. doi: 10.4103/1305-7456.178304
9. Semenova VA. *Optimization and confirmation of the clinical and economic efficiency of the dental prosthetics protocol for patients with complete absence of teeth using digital dental technologies* [dissertation]. 2022. 183 p. (In Russ). EDN: TRJEBX
10. Apresyan SV, Stepanov AG, Antonik MM, et al. *Comprehensive digital planning of dental treatment*. Moscow: Mozartika; 2020. 396 p. (In Russ). EDN: BFHWAT

11. Ryakhovsky AN, Muradov MA, Erokhin VA. Lower jaw virtual reposition accuracy research. *Stomatology*. 2022;101(4):53–60. EDN: KVGLBG doi: 10.17116/stomat202210104153
12. Skorulska A, Piszko P, Rybak Z, et al. Review on polymer, ceramic and composite materials for CAD/CAM indirect restorations in dentistry-application, mechanical characteristics and comparison. *Materials (Basel)*. 2021;14(7):1592. doi: 10.3390/ma14071592
13. Chladek G, Pakieta K, Pakieta W, et al. Effect of antibacterial silver-releasing filler on the physicochemical properties of poly(methylmethacrylate) denture base material. *Materials (Basel)*. 2019;12(24):4146. doi: 10.3390/ma12244146
14. Grunnert I. A patient with complete adentia — what is to be done? *New in Dentistry*. 2013;(2):4–9. (In Russ).
15. Nesterov AM. *A comprehensive approach to orthopedic treatment of patients with a combination of complete and partial absence of teeth on the jaws* [dissertation]. Samara; 2016. 316 p. (In Russ). EDN: SNHNGB
16. Ryakhovsky AN. *Digital dentistry*. Moscow: Avantis; 2010. 282 p. (In Russ).
17. Ertesyan AR, Sadykov MI, Nesterov AM. The impact of 3D printing direction on the accuracy of manufacturing complete dentures using SLA technology. *International Research Journal*. 2021;(1):66–72. EDN: NKEPAU doi: 10.23670/IRJ.2021.103.1.066
18. Bugaev IV. In the role of computer simulation in additive technologies. *International Research Journal*. 2016;(5-3):64–66. EDN: VXMFPN doi: 10.18454/IRJ.2016.47.054
19. Ertesyan AR, Sadykov MI, Nesterov M. Overview of 3D printing technologies in dentistry. *Medical & Pharmaceutical Journal "Pulse"*. 2020;22(10):15–18. EDN: NGOLGM doi: 10.26787/nydha-2686-6838-2020-22-10-15-18
20. Gad MM, Albazroun Z, Aldajani F, et al. Repair bond strength of conventionally and digitally fabricated denture base resins to autopolymerized acrylic resin: surface treatment effects in vitro. *Materials (Basel)*. 2022;15(24):9062. doi: 10.3390/ma15249062
21. Srinivasan M, Cantin Y, Mehl A, et al. CAD/CAM milled removable complete dentures: an in vitro evaluation of trueness. *Clin Oral Investig*. 2017;21(6):2007–2019. doi: 10.1007/s00784-016-1989-7
22. Ivanov SYu, Karasenkov YaN, Latuta NV, et al. Application of metal nanoparticles and their oxides in dental composite materials and structures: a review (part I). *Clinical Dentistry (Russia)*. 2022;25(4):159–165. EDN: HMAOJC doi: 10.37988/1811-153X_2022_4_159
23. Zidan S, Silikis N, Alhotan A, et al. Investigating the mechanical properties of ZrO₂-impregnated PMMA nanocomposite for denture-based applications. *Materials (Basel)*. 2019;12(8):1344. doi: 10.3390/ma12081344
24. Al-Harbi FA, Abdel-Halim MS, Gad MM, et al. Effect of nano-diamond addition on flexural strength, impact strength, and surface roughness of PMMA denture base. *J Prosthodont*. 2019;28(1):e417–e425. doi: 10.1111/jopr.12969
25. Sabbatini A, Lanari S, Santulli C, Pettinari C. Use of almond shells and rice husk as fillers of poly(methyl methacrylate) (PMMA) composites. *Materials (Basel)*. 2017;10(8):872. doi: 10.3390/ma10080872
26. Somani MV, Khandelwal M, Punia V, Sharma V. The effect of incorporating various reinforcement materials on flexural strength and impact strength of polymethylmethacrylate: a meta-analysis. *J Indian Prosthodont Soc*. 2019;19(2):101–112. doi: 10.4103/jips.jips_313_18
27. Kosyreva TF, Voeykova OV. Clinical and laboratory studies of light-curing base material for the manufacture of intraoral orthodontic devices. *Stomatology*. 2021;100(5):58–61. EDN: GCOOZQ doi: 10.17116/stomat202110005158
28. Semenova VA, Terehov MS, Apresyan SV, Stepanov AG. Clinical justification of the use of digital technologies in prosthetics of patients with complete absence of teeth. *Clinical Dentistry*. 2022;25(1):98–106. doi: 10.37988/1811-153X_2022_1_98
29. Mangano F, Mangano C, Margiani B, Admakin O. Combining intraoral and face scans for the design and fabrication of computer-assisted design/computer-assisted manufacturing (CAD/CAM) polyether-ether-ketone (PEEK) implant-supported bars for maxillary overdentures. *Scanning*. 2019;2019:4274715. doi: 10.1155/2019/4274715
30. Vokulova YuA, Zhulev EN. Results of the study of digital images of the bases of complete removable prostheses made using 3D printing and traditional technologies. *Clinical Dentistry*. 2021;(1):131–135. EDN: JZKKQO doi: 10.37988/1811-153X_2021_1_131
31. Goodacre BJ, Goodacre CJ, Baba NZ, Kattadiyil MT. Comparison of denture base adaptation between CAD-CAM and conventional fabrication techniques. *J Prosthet Dent*. 2016;116(2):249–256. doi: 10.1016/j.prosdent.2016.02.017
32. Chen H, Wang H, Lv P, et al. Quantitative evaluation of tissue surface adaption of CAD-designed and 3D printed wax pattern of maxillary complete denture. *Biomed Res Int*. 2015;2015:453968. doi: 10.1155/2015/453968
33. Kostić M, Igić M, Gligorijević N, et al. The use of acrylate polymers in dentistry. *Polymers (Basel)*. 2022;14(21):4511. doi: 10.3390/polym14214511
34. Çakmak G, Molinero-Mourelle P, De Paula MS, et al. Surface roughness and color stability of 3D-printed denture base materials after simulated brushing and thermocycling. *Materials (Basel)*. 2022;15(18):6441. doi: 10.3390/ma15186441
35. Jain S, Sayed ME, Shetty M, et al. Physical and mechanical properties of 3D-printed provisional crowns and fixed dental prosthesis resins compared to cad/cam milled and conventional provisional resins: a systematic review and meta-analysis. *Polymers (Basel)*. 2022;14(13):2691. doi: 10.3390/polym14132691
36. Kosyreva TF, Lebedenko IYu, Voeykova OV, et al. Reinforcement of photosensitive material for bases of orthodontic appliances. *Stomatology*. 2021;100(4):83–87. EDN: KRQWYP doi: 10.17116/stomat202110004183
37. Shinawi LA. Effect of denture cleaning on abrasion resistance and surface topography of polymerized CAD CAM acrylic resin denture base. *Electron Physician*. 2017;9(5):4281–4288. doi: 10.19082/4281
38. Kraemer Fernandez P, Unkovskiy A, Benkendorf V, et al. Surface characteristics of milled and 3D printed denture base materials following polishing and coating: an in-vitro study. *Materials (Basel)*. 2020;13(15):3305. doi: 10.3390/ma13153305
39. Janeva N, Kovacevska G, Janev E. Complete dentures fabricated with CAD/CAM technology and a traditional clinical recording method. *Open Access Maced J Med Sci*. 2017;5(6):785–789. doi: 10.3889/oamjms.2017.169
40. Arutyunov SD, Polyakov DI, Muslov SA, et al. Study of the quality of life of patients using the QL PAER specific questionnaire after prosthetic auricular reconstruction. *Clinical Dentistry*. 2021;25(5):387–397. EDN: HMEZGY doi: 10.17816/1728-2802-2021-25-5-387-397
41. Muslov SA, Nokhrin DYu, Arutyunov SD, et al. Quality of life of patients with complete loss of teeth and psychometric properties of the OHIP-20 DG questionnaire. Part 4. Parameter estimation using

- nonlinear principal component analysis using the CatPCA algorithm. *Russian Journal of Dentistry*. 2021;25(6):495–503. EDN: YXMLYE doi: 10.17816/1728-2802-2021-25-6-495-503
- 42.** Rozov RA, Trezubov VN, Popov VL, et al. Automated digital superimposition of the 3D model and archival photographs of full removable dentures in forensic dentistry. *Stomatology*. 2022;101(3):61–69. EDN: NAQEDB doi: 10.17116/stomat202210103161
- 43.** Grachev DI, Tsarev VN, Majidova E.R, et al. Physical, mechanical and microbiological characteristics of the first domestic base material hybrid polymerization. *Clinical Dentistry*. 2021;(1):144–148. EDN: SWZZXB doi: 10.37988/1811-153X_2021_1_144
- 44.** Arai K, Tanaka Y, Matsuda S, et al. Complete denture fabrication using digitally fabricated copy dentures for a patient with moderate dementia. *Case Rep Dent*. 2021;2021:9385095. doi: 10.1155/2021/9385095
- 45.** Oweis Y, Ereifej N, Al-Asmar A, Nedal A. Factors affecting patient satisfaction with complete dentures. *Int J Dent*. 2022;2022:9565320. doi: 10.1155/2022/9565320
- 46.** Janeva NM, Kovacevska G, Elencevski S, et al. Advantages of CAD/CAM versus conventional complete dentures — a review. *Open Access Maced J Med Sci*. 2018;6(8):1498–1502. doi: 10.3889/oamjms.2018.308
- 47.** Babich VV. Clinical case of temporary dentures installing during implant treatment. *Clinical Dentistry*. 2021;24(3):109–111. EDN: PSXYTV doi: 10.37988/1811-153X_2021_3_109
- 48.** Bonnet G, Batisse C, Bessadet M, et al. A new digital denture procedure: a first practitioners appraisal. *BMC Oral Health*. 2017;17(1):155. doi: 10.1186/s12903-017-0440-z
- 49.** Uspenskaya OA, Spiridonova SA, Bragina OM, Ruzina KA. Medical education in the context of expedited digitalization of educational process during the COVID-19 pandemic. *Clinical Dentistry*. 2021;24(2):109–111. EDN: PSXYTV doi: 10.37988/1811-153X_2021_3_109
- 50.** Steinmassl O, Offermanns V, Stöckl W, et al. In vitro analysis of the fracture resistance of cad/cam denture base resins. *Materials (Basel)*. 2018;11(3):401. doi: 10.3390/ma110304011
- 51.** Ishida Y, Kuwajima Y, Kobayashi T, et al. Current Implementation of digital dentistry for removable prosthodontics in US dental schools. *Int J Dent*. 2022;2022:7331185. doi: 10.1155/2022/7331185
- 52.** May LW, John J, Seong LG, et al. Comparison of cooling methods on denture base adaptation of rapid heat-cured acrylic using a three-dimensional superimposition technique. *J Indian Prosthodont Soc*. 2021;21(2):198–203. doi: 10.4103/jips.jips_41_21
- 53.** Cheng C, Cheng X, Dai N, et al. Facial morphology prediction after complete denture restoration based on principal component analysis. *J Oral Biol Craniofac Res*. 2019;9(3):241–250. doi: 10.1016/j.jobcr.2019.06.002
- 54.** Apresyan SV, Stepanov AG, Gadzhiev MA, et al. Clinical efficacy of occlusive splints manufactured by computer modeling and volumetric printing in patients with bruxism: research results and clinical case. *Russian Journal of Dentistry*. 2022;26(3):199–210. EDN: QPTDLN doi: 10.17816/1728-2802-2022-26-3-199-211
- 55.** Kolsanov AV, Popov NV, Ayupova IO, Ivleva AI. Consistency of expert opinions on localization of the reference points for studying a soft tissue face profile in digital teleradiological images of the skull lateral projection. *Stomatology*. 2021;100(4):49–54. EDN: XXZZYS doi: 10.17116/stomat202110004149
- 56.** Infante L, Yilmaz B, McGlumphy E, Finger I. Fabricating complete dentures with CAD/CAM technology. *J Prosthet Dent*. 2014;111(5):351–355. doi: 10.1016/j.prosdent.2013.10.014
- 57.** Bidra AS, Taylor TD, Agar JR. Computer-aided technology for fabricating complete dentures: systematic review of historical background, current status, and future perspective. *J Prosthet Dent*. 2013;109(6):361–366. doi: 10.1016/S0022-3913(13)60318-2
- 58.** Schwindling FS, Stober T. A comparison of two digital techniques for the fabrication of complete removable dental prostheses: a pilot clinical study. *J Prosthet Dent*. 2016;116(5):756–763. doi: 10.1016/j.prosdent.2016.03.022
- 59.** Inokovskiy A, Wahl E, Zander AT, et al. Intraoral scanning to fabricate complete dentures with functional borders: a proof-of-concept case report. *BMC Oral Health*. 2019;19(1):46. doi: 10.1186/s12903-019-0733-5

ОБ АВТОРАХ

* **Верховский Андрей Евгеньевич**, канд. мед. наук, доцент;
адрес: Россия, 214012, Смоленск, ул. Кашена, д. 2;
ORCID: 0000-0002-1627-9099;
eLibrary SPIN: 7617-8166;
e-mail: a.verhovskii@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 Геннадиевич, д-р мед. наук, профессор;
ORCID: 0000-0002-6543-0998;
eLibrary SPIN: 5848-6077;
e-mail: stepanovmd@list.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

AUTHORS' INFO

* **Andrey E. Verkhovskiy**, MD, Cand. Sci. (Medicine), Associate Professor;
address: 2 Kashena street, 214012 Smolensk, Russia;
ORCID: 0000-0002-1627-9099;
eLibrary SPIN: 7617-8166;
e-mail: a.verhovskii@mail.ru

Samvel V. Apresyan, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;
ORCID: 0000-0002-3281-707X;
eLibrary SPIN: 6317-9002;
e-mail: apresyan@rudn.ru

Aleksandr G. Stepanov, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;
ORCID: 0000-0002-6543-0998;
eLibrary SPIN: 5848-6077;
e-mail: stepanovmd@list.ru