



Научная статья

DOI: 10.15593/RZhBiomeh/2022.3.09

УДК 531/534: [57+61]

ИНДИВИДУАЛЬНАЯ ЦИФРОВАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ БИОМЕХАНИКИ ЖЕВАТЕЛЬНО-РЕЧЕВОГО АППАРАТА ПРИ ИМПЛАНТАЦИОННОМ ПРОТЕЗИРОВАНИИ ПАЦИЕНТОВ С ПОЛНОЙ ПОТЕРЕЙ ЗУБОВ

Р.А. Розов¹, В.Н. Трезубов¹, А.Л. Ураков²

¹ Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова, Санкт-Петербург, Россия

² Ижевская государственная медицинская академия, Ижевск, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 24 января 2022

Одобрена: 17 августа 2022

Принята к публикации: 18 августа 2022

Ключевые слова:

протезирование с опорой на дентальные имплантаты, ортопедическая стоматология, биомеханика, цифровые технологии, аксиография

АННОТАЦИЯ

Цифровая трансформация алгоритма имплантационного протезирования включает в себя следующие этапы: планирование пространственного положения имплантатов в челюстной кости; получение направляющего хирургического шаблона для реального позиционирования виртуальной локализации имплантатов; получение оптического оттиска; создание каркаса и/или самого имплантационного протеза. Однако в изложенной цифровой цепочке отсутствует важный этап создания нового динамического стереотипа биомеханики жевательного аппарата пациента с учетом его индивидуальных особенностей. В данной ситуации может помочь цифровое пособие при реконструкции биомеханики жевательного аппарата. В связи с этим целью работы явилась клиническая апробация виртуальной реконструкции биомеханики жевательно-речевого аппарата.

Цифровое моделирование окклюзионной поверхности искусственных зубных рядов проводилось у 82 пациентов (28 мужчин, 54 женщины) в возрасте от 54 до 83 лет (средний возраст – $73,9 \pm 4,9$ г.). При этом использовались электронный аксиограф *CADIAx 3 diagnostic (GAMMA Dental)*, виртуальные артикуляторы *GAMMA Reference SL* и *AmannGirrbach Artex CR* в пространстве программ *Exocad galway 3.0* и *Zirkonzahn.Software*. Применялся также рентгеноцефалометрический анализ с использованием боковых телерентгенограмм головы, который осуществлялся в программах *GAMMA u OrthoLine*.

В технологическую цепочку стоматологического ортопедического лечения внедрены следующие элементные этапы: цифровая регистрация показателей биомеханики нижней челюсти (цифровая аксиография) в сочетании с пространственным построением окклюзионной плоскости с помощью рентгеноцефалометрического анализа; создание окончательного протеза копированием его по лекалу предварительного протеза, созданного методом *CAD/CAM*, с использованием цифровой аксиографии, в частности, цифровое моделирование окклюзионной поверхности искусственных зубов.

Указанный подход, обеспечивая высокую сохранность опорных имплантатов (97 %) и имплантационных протезов (98,1 %), их целостность, удобство использования, способствовал достижению высокого уровня качества жизни (баллы по шкале *GOHAI* после лечения = $56,5 \pm 10,0$), связанного с протезированием.

© ПНИПУ

© Розов Роман Александрович – к.м.н., доцент, e-mail: dr.rozov@gmail.com ID: 0000-0002-6250-5157

© Трезубов Владимир Николаевич – д.м.н., профессор, e-mail: trezubovvn@mail.ru ID: 0000-0003-2107-5194

© Ураков Александр Ливиевич – д.м.н., заведующий кафедрой, e-mail: urakoval@live.ru ID: 0000-0001-5486-8049



Эта статья доступна в соответствии с условиями лицензии Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

Введение

Цифровая трансформация алгоритма имплантационного протезирования в общем включает в себя следующие четыре последовательных этапа:

1. Планирование пространственного положения дентальных имплантатов в челюстной кости [17; 18; 49];
2. Получение стереолитографического полимерного направляющего хирургического шаблона для копирования виртуальной локализации дентальных имплантатов [47];
3. Получение виртуального оптического имплантационного оттиска [8; 38];
4. Создание каркаса и/или имплантационного протеза [1; 7; 10; 16; 40; 43].

Однако, в изложенной цифровой цепочке отсутствует фаза создания нового динамического стереотипа биомеханики жевательного аппарата конкретного пациента с учетом его индивидуальных биомеханических особенностей, от чего будет зависеть функциональное качество имплантационного протеза [13; 21; 22; 23].

Рутинное осуществление данного этапа базируется во многом на интуитивной составляющей, поэтому точное осуществление её, особенно при полной потере зубов, становится возможным и выполнимым лишь для врачей с большим опытом работы [2].

В подобных ситуациях особое значение приобретает цифровое пособие реконструкции биомеханики жевательного аппарата.

К. Коуано (2014) в своей обзорной работе показал, что из 700 публикаций, посвященных вопросам окклюзии имплантационных протезов, только чуть более 30 статей явились рандомизированными проспективными, когортными исследованиями с отдаленными результатами более 12 месяцев и охватом более 30 пациентов. Именно эти публикации автор рассмотрел с точки зрения представленных результатов влияния количества дентальных имплантатов, их положения, наличия консольных элементов протезов и других факторов на сохранность дентальных имплантатов и ортопедических конструкций. Однозначный вывод автору сделать не удалось [29]. J. Montero (2021) при анализе прогностически важных факторов на сохранность имплантатов сделал вывод о положительном влиянии конического соединения имплантатов с их головками, а также шинирования компьютерно-фрезерованных протяженных имплантационных конструкций, крепящихся к головкам винтами [36]. B. Rilo (2008) в обзорной статье свидетельствует о двух принципиальных подходах к восстановлению окклюзии с помощью имплантационных протезов [39].

Ряд исследователей придерживается позиции распределения максимальной окклюзионной нагрузки в

пользу таковой на боковых зубах, другие же специалисты, поддерживают применение окклюзионной картины, преемственно полученной от встречных полных съемных протезов, ставя во главу угла именно сбалансированную окклюзию со множеством контактов для равномерного распределения нагрузки на имплантаты [23; 27; 28; 30; 31]. В этой же публикации автор утверждает наличие консенсуса относительно контактов в центральной окклюзии: они должны быть максимальными с сохранением свободы движений кпереди. Хотя качество и плотность контактов зависят и от того, какой зубной ряд является антаголирующим, естественный или искусственный. Y. Kim (2005) описывает вопрос окклюзии имплантационных протезов с позиции биомеханики и заключает, что в силу отсутствия периодонтальной связки имплантаты могут быть более подвержены перегрузке, а следовательно, конструировать функциональную окклюзию в этих протезах необходимо более аккуратно, учитывая индивидуальные параметры пациента [27; 34; 37]. Интересна экспериментальная работа P.H. Acharya (2021) по анализу методом конечных элементов модели имплантационной конструкции из трех звеньев на нижней челюсти с различным типом окклюзии: так называемой «защищенной» и бугорковой [15]. Общее напряжение, создаваемое наклонной нагрузкой, оказалось ожидаемо больше такового от осевой нагрузки. Другими словами, предпочтительна окклюзионная схема с меньшим количеством окклюзионных контактов, находящихся под углом к оси имплантата, то есть защищенная окклюзия более безопасна относительно риска перегрузки имплантатов и убыли краевой кости. Осевая нагрузка и нагрузка под углом показали значительные различия в смещении имплантата в губчатой кости: наклонная нагрузка показала более высокое смещение (339 ± 47 мкм при 80 Н) по сравнению с осевой нагрузкой (266 ± 39 мкм при 80 Н). В компактной кости таких различий не было. Таким образом, определено, что и плотность кости влияет на восприятие нагрузки. P.Ш. Гветадзе (2021) в аналогичном по методологии исследовании показал значимость уменьшения угловых нагрузок за счет уменьшения площади окклюзионных контактов при артикуляции [3].

Целью работы явилась клиническая апробация виртуальной реконструкции биомеханики жевательно-речевого аппарата.

Учитывая многообразие клинических подходов и технических решений при восстановлении функций жевательно-речевого аппарата с использованием имплантационных протезов, нам предстояло разработать алгоритм, обоснованный с позиции биомеханики, реабилитации пациентов с полной потерей зубов [5; 10].

Материалы и методы

Исследование проведено в соответствии с Хельсинкской декларацией и одобрено локальным этическим комитетом ФГБОУ ВО ПСПбГМУ им. И.П. Павлова Минздрава России.

Цифровое моделирование окклюзионной поверхности искусственных зубных рядов проводилось у 82 пациентов (28 мужчин, 54 женщины) в возрасте от 54 до 83 лет (средний возраст – $73,9 \pm 4,9$ г.). При этом использовались электронный аксиограф *CADIAx 3 diagnostic (GAMMA Dental)*, виртуальные артикуляторы *GAMMA Reference SL* и *AmannGirrbach Artex CR* в пространстве программ *Exocad galway 3.0* и *Zirkonzahn.Software*. Для регистрации паттернов движения нижней челюсти у пациентов при жевании применялись стандартизованные конфеты по *Slavicek (OREHAB MINDS GmbH)* (рис.1) с установкой времени записи магнитно-сенсорной системы [4].

Применялся также рентгеноцефалометрический анализ с использованием боковых телерентгенограмм головы (получены на цифровом стоматологическом томографе с цефалостатом *ProMax Planmeca*) с использованием методов расчёта В.Н. Трезубова (1973, 2005), *R. Slavicek* (1974), *S. Sato* (2000) с дополнительным анализом *Y. Kim* (2001), который осуществлялся в программах *GAMMA* и *OrthoLine*. Эффективность жевания и речи рассчитывалась по методам В.Н. Трезубова с соавт. (2009, 2012) [14].

Для пациентов с зарегистрированными в анамнезе болезнями височно-нижнечелюстных суставов проводилась магнитно-резонансная томография (МРТ, 3Т) височно-нижнечелюстных суставов (ВНЧС), что позволяло адекватно трактовать результаты аксиографии (например, в случае перфорации суставного диска или его полного вывиха и переднего положения), а также определять прогноз лечения. Всем пациентам выполнялась электромиография жевательных мышц аппаратами «Синапсис» или «Колибри» («Нейротех», Россия), уделялось особое внимание достижению симметрии показателей мышечной активности после наложения и фиксации предварительных и окончательных протезов [45; 46].

Для оценки состояния здоровья полости рта у пожилых людей использован гериатрический индекс оценки состояния полости рта – *Geriatric Oral Health Assessment Index (GOHAI)* [9]. Опросник состоит из 12 пунктов, которые определяют три измерения качества жизни: физическая функция (3 вопроса), психосоциальная функция (5 вопросов) и боль/дискомфорт (4 вопроса). Три вопроса анкеты *GOHAI* имеют обратный подсчёт баллов (№ 3, 5, 7). К высоким относились суммарные ответы от 49 до 60 баллов, к хорошим – от 37 до 48 баллов, к средним – от 25 до 36 баллов, а к низким от 13 до 24 баллов, к очень низким – от 0 до 12 баллов. Оценка показателя здоровья

полости рта по каждому из вопросов проводилась по шестибальной системе: 5 – высокий; 4 – хороший; 3 – удовлетворительный; 2 – неудовлетворительный; 1 – низкий; 0 – очень низкий.

Оценку качества имплантационных протезов с малым числом искусственных опор осуществляли с помощью авторской портативной компьютерной анкеты «РОЗА»[6].

Визуально-аналоговые шкалы *R. Mericske-Stern* применялась для оценки степени удовлетворённости пациента протезированием. При оценке результатов высоким считался уровень удовлетворённости в диапазоне от 76 до 100 баллов, средним – в пределах от 50 до 75 баллов и низким – в интервале от 0 до 49 баллов [35].

Расчет кумулятивного показателя выживаемости пациентов и сохраняемости имплантатов и протезов проводили по алгоритму Каплана–Мейера.

Статистическая обработка полученных данных была проведена на уровне значимости $p < 0,05$ с использованием программы *SPSS Statistics 26*.

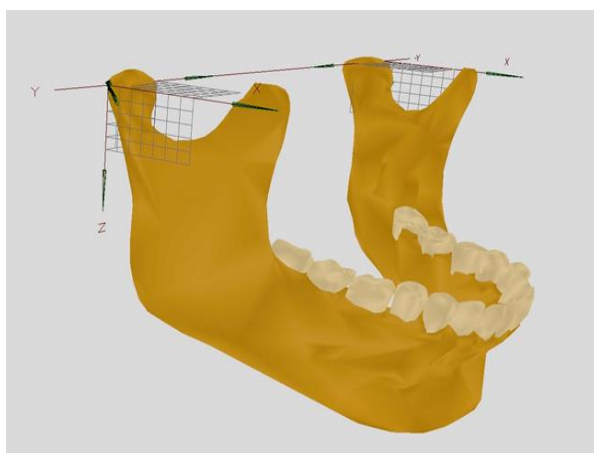
Результаты и их обсуждение

В технологическую цепочку протезирования входят следующие элементные этапы:

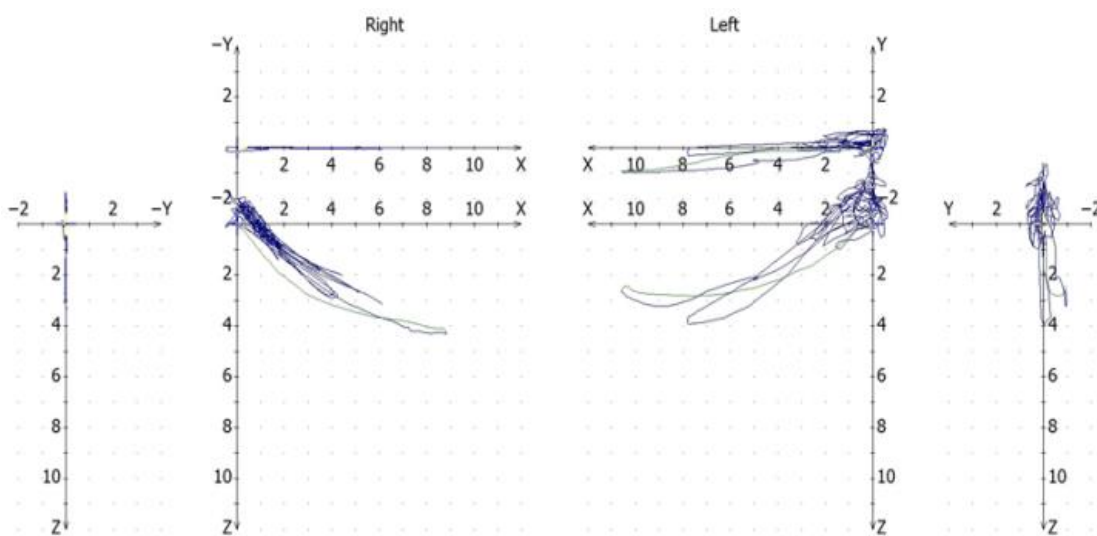
1. Цифровая регистрация показателей биомеханики нижней челюсти (цифровая аксиография) в сочетании с пространственным построением окклюзионной плоскости с помощью рентгеноцефалометрического анализа.
2. Создание окончательного протеза путем копирования по лекалу предварительного протеза, созданного методом *CAD/CAM*, с использованием цифровой аксиографии, в частности, цифровое моделирование жевательной (окклюзионной) поверхности искусственных зубов).



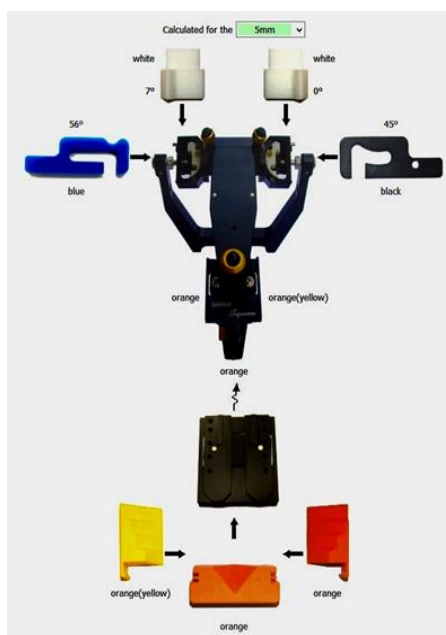
Рис. 1 Стандартизованные мармеладные конфеты по *Slavicek (OREHAB MINDS GmbH)*, использованные при проведении проб на жевание



a



b



b

Рис. 2. Запись индивидуальных биомеханических параметров жевательно-речевого аппарата: a – трехмерная запись акта жевания стандартизированной конфеты; б – аксиограмма выдвигания нижней челюсти в переднюю окклюзию; в – автоматизированная настройка артикулятора *Gamma Reference SL*

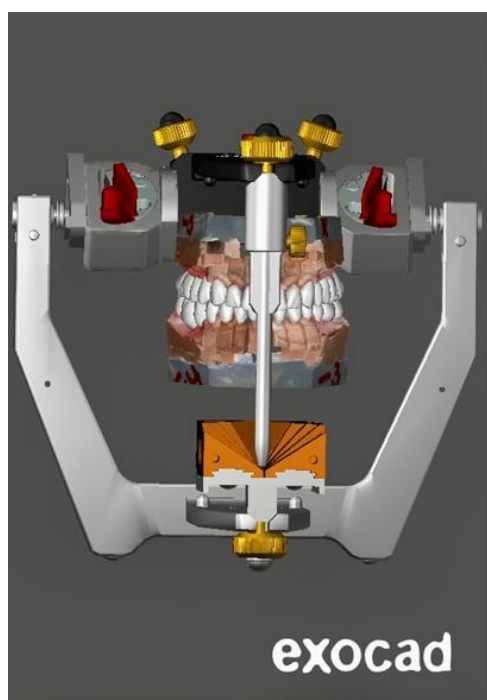


Рис. 3. Моделирование индивидуальной поверхности искусственных зубных рядов в пространстве виртуального артикулятора программы *Exocad galway 3.0*: введение индивидуальных параметров функционирования ВНЧС

Оба пункта имеют отношение к системе инженерного анализа *CAE (Computer Aided Engineering)*, дополняющей собой компьютерное проектирование и создание имплантационных протезов (*CAD/CAM*).

Определение показателей (угол сагиттального суставного пути, угол трансверзального суставного пути) биомеханики нижней челюсти проводили с помощью электронного аксиографа *CADIAX 3 diagnostic* и программного обеспечения *Gamma Dental Software* (рис. 2). Электронную регистрацию движения нижней челюсти осуществляли как при предварительном непосредственном (спустя 6 недель после фиксации), так и при окончательном протезировании, то есть – дважды. Моделирование искусственных зубных рядов, особенно их окклюзионных поверхностей, также проводили цифровым методом с использованием программы *Exocad galway 3.0* и виртуального артикулятора (рис. 3) [32; 42].

Результаты диагностической электронной аксиографии на этапе создания предварительных имплантационных протезов представлены в таблице.

При выполнении аксиографии нами регулярно регистрировались признаки (выпуклая или плоская форма кривых (14,6 %), низкое их качество (41,5 %), недостаточный объем регистрируемых движений (17,1 %), асимметричность кривых (32,9 %), несоответствие точек начала и окончания движения (62,2 %) морфологическим изменениям в суставах, а

также смещение шарнирной оси от центра суставной головки к её шейке (54,9 %). Подтверждение морфологических изменений в ВНЧС, влияющих на функцию (перфорация диска (11 %), полный его вывих (22 %)), мы также нашли на МРТ. Именно эти обстоятельства требуют при имплантационном протезировании пациентов с полной потерей зубов проводить регистрацию индивидуальных функциональных параметров жевательно-речевого аппарата [33; 41].

Разброс значений углов как сагиттального, так и трансверзального суставного пути достаточно велик (см. таблицу). Средние значения последнего (угла Бенетта) несколько ниже аналогичного показателя нормы для молодых людей с ортогнатическим прикусом и интактными зубными рядами. Отмечено номинальное отличие средних значений указанных углов на правой и левой сторонах. Однако их статистические различия не обнаружены.

Многие исследования показывают важность воспроизведения положения окклюзионной плоскости для восстановления нормальной функции языка, губ, жевательных мышц. Кроме того, правильная ориентация окклюзионной плоскости позволяет добиться высокой эстетики улыбки.

Для определения положения окклюзионной плоскости мы использовали весь арсенал доступных в клинике ортопедической стоматологии методов (измерение положения окклюзионной плоскости на моделях в пространстве артикулятора специальным измерительным модулем (*GAMMA Dental*), измерение кривизны кривой Шпее комплектом прозрачных шаблонов с радиусом от 60° до 90°). Основным является рентгеноцефалометрический расчет ТРГ (рис. 4), который проводился с использованием автоматизированных методов.

На диагностическом этапе для уточнения и облегчения рентгеноцефалометрического анализа, определения пространственного положения окклюзионной плоскости и при расчете ее параметров по ТРГ использовали рентгеноконтрастный силиконовый материал *X-resin* с сульфатом бария. С нанесенным силиконовым материалом между встречными предварительными протезами получали ТРГ, что уточняло и облегчало последующий рентгеноцефалометрический анализ.

Если подробно рассмотреть последовательность создания протяженных имплантационных протезов, в особенности – встречных, от врача и зубного техника требуется принятие решений по многим вопросам, начиная от выбора формы и размера зубов и заканчивая вопросом настройки цифрового артикулятора для создания гармонично функционирующих искусственных зубных рядов. Необходима их гармония в «пространстве улыбки», и в первую очередь – определенное положение окклюзионной плоскости.

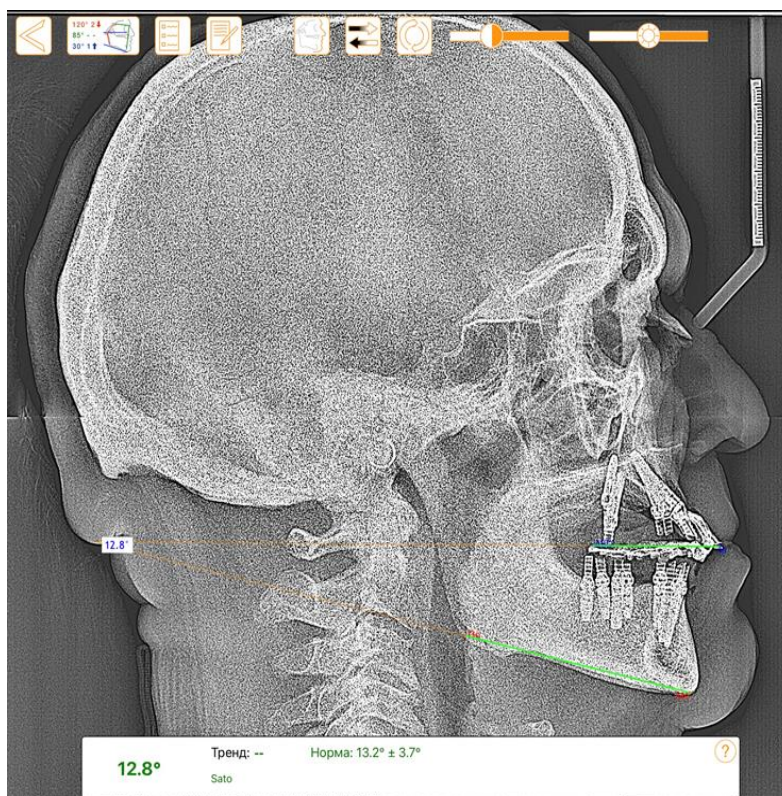


Рис. 4. Рентгеноцефалометрическое построение окклюзионной плоскости по В.Н. Трезубову и S. Sato на этапе фиксированных предварительных конструкций с опорой на дентальные имплантаты (моделированных и фрезерованных с учётом индивидуальных данных цифровым способом) для определения результата восстановления структурных параметров жевательно- речевого аппарата

Средние показатели биомеханики нижней челюсти по данным электронной аксиографии

Показатели биомеханики нижней челюсти	n	Минимум	Максимум	Среднее	Среднекв. отклонение	p
Угол сагиттального суставного пути справа (в градусах)	82	28	60	48,74	± 4,82	>0,05
Угол сагиттального суставного пути слева (в градусах)	82	35	60	48,18	± 4,79	
Угол трансверзального суставного пути (Bennett) справа (в градусах)	82	5	30	9,77	± 3,84	>0,05
Угол трансверзального суставного пути (Bennett) слева (в градусах)	82	5	30	9,28	± 3,77	
n валидных (по списку)	82	-	-	-	-	-

Порочная практика интуитивно-усредненного воссоздания положения и кривизны окклюзионной поверхности (например, используя стандартный столик среднеанатомического артикулятора с заданными параметрами кривых Шпее и Уилсона–Плиже) провоцирует гипертонию ряда жевательных мышц, что приводит к повышенной нагрузке на элементы протеза. Воссоздание окклюзионной поверхности

имплантационных протезов преследует восстановление оптимальной функции искусственных зубных рядов, что возможно только при учете индивидуальных биомеханических параметров конкретного пациента и цифровой реализации их в готовом изделии – протезе. Такой подход позволяет ускорить адаптацию к имплантационным протезам и обеспечивает их высокую сохраняемость.

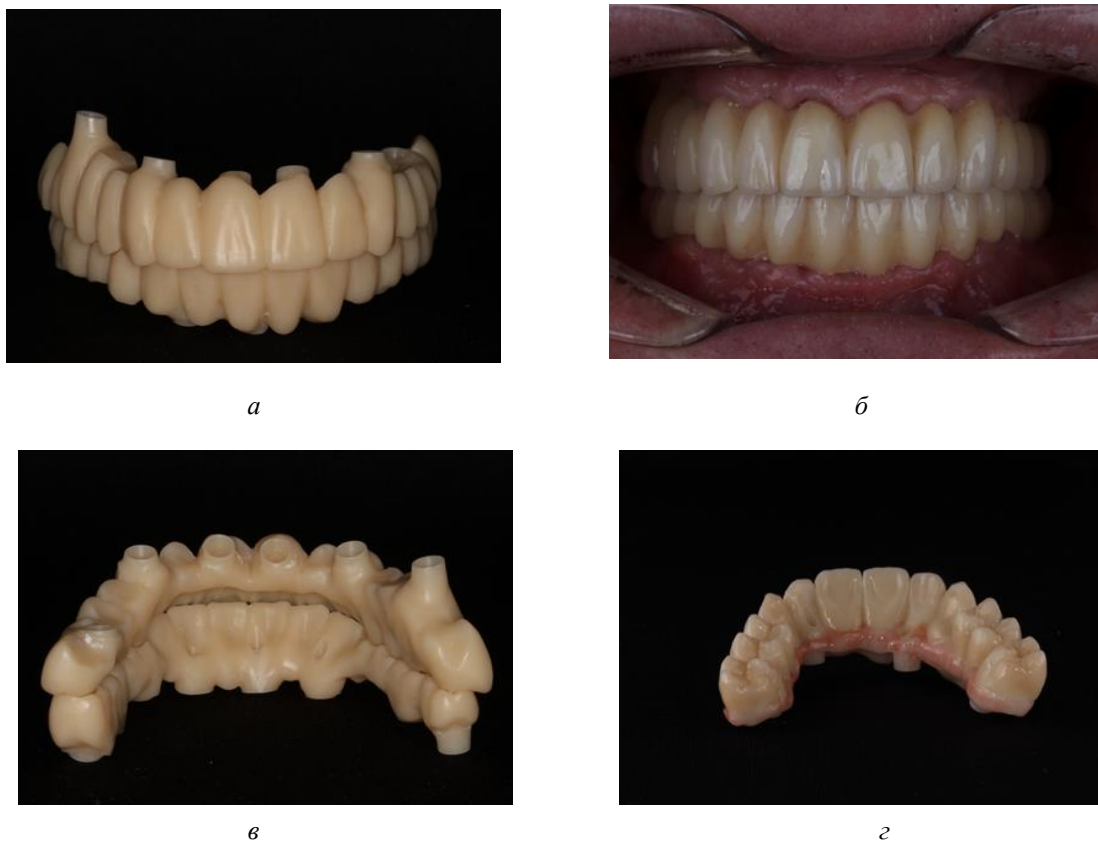


Рис. 5. Воссоздания функциональной окклюзионной поверхности искусственных зубных рядов: а, б – предварительные протезы, полученные компьютерным фрезерованием; в – встречные диоксидциркониевые протезы с компьютерным моделированием окклюзионной поверхности; г – полнодиоксидциркониевый протез верхней челюсти с компьютерным фрезерованием окклюзионной поверхности

Нами осуществлено конструирование предварительных имплантационных протезов на основании индивидуальных биомеханических показателей с проведением клинического и инструментального анализа степени восстановления функциональных параметров жевательно-речевого аппарата. И только после этого приступали к созданию окончательных имплантационных конструкций (рис. 5). Подобный подход способен обеспечить сокращение сроков адаптации.

Наиболее сложным и принципиальным вопросом при воссоздании индивидуальных морфологических функциональных параметров жевательно-речевого аппарата является аккуратность и точность переноса этих конкретных параметров в прибор и/или компьютерную программу для их последующего воссоздания. Основой, безусловно, является определение и регистрация центрального соотношения челюстей с последующим высокоточным его переносом в пространство артикулятора [25; 26].

Для этого нами предложен авторский способ, особенно удобный при малом количестве искусственных опор [11].

При записи движений нижней челюсти основополагающим этапом является определение шарнирной оси. Последующий перенос положения верхней модели в пространство артикулятора должен производиться по кинематической лицевой дуге, а не по анатомической. Только в этом случае можно рассчитывать на точное воспроизведение параметров в артикуляторе. В то же время из клинической практики понятно, что шарнирная ось часто не параллельна эстетическим плоскостям (например, межзрачковой), что создает очевидные трудности при конструировании протезов. Этот аспект по-прежнему является слабым звеном в воспроизведении индивидуальных параметров движения нижней челюсти. Что в очередной раз подчеркивает значимость функционального макета имплантационного протеза, который мы создаем в качестве одного из двух вариантов предварительных конструкций.

Применение цифрового артикулятора, на наш взгляд, может быть рациональным этапом технологии имплантационных протезов только в случае одновременного применения его аналоговой версии, особенно учитывая, что конечный пользователь протеза

существует в виде физического, а не виртуального объекта.

Более того, последняя версия программы *Exocad galway 3.0*, в которой мы проводим цифровое конструирование протезов с полной анатомией окклюзионной поверхности, содержит библиотеку нескольких артикуляторов, но известный *GAMMA Reference SL* представлен в редуцированном виде, без возможности полноценно использовать настройки резцового столика.

Для точного переноса аналоговых моделей в пространство виртуального артикулятора и обратно, нами успешно применяется полностью регулируемый артикулятор *AmannGirrbach Artex CR* (цифровой аналог которого присутствует в программе со всеми функциями), сканирование оснований которого позволяет широко использовать персональные настройки функциональных параметров при моделировании в *Exocad galway 3.0*.

В профессиональном арсенале стоматологов-ортопедов сегодня имеется широкий выбор цифровых устройств для записи движений нижней челюсти. Многие из них достаточно просты и отличаются высокой эргономикой. Не решенным остается лишь вопрос преемственности результатов этих приборов, как между цифровыми программами, так и между аналоговыми устройствами. В связи с этим приоритетным в использовании столь мощного и сложного диагностического ресурса по-прежнему является интеллект врача, его клиническое мышление и компетенции, интуиция в отношении рационального применения каждого прибора в отдельности и их успешной комбинации [19]. Беспорядочное применение различных средств диагностики и их нерациональное комплексирование неминуемо приведет к накопительной ошибке.

Так решались вопросы трёхмерного объемного воссоздания утраченных зубных рядов: точные значения высоты нижней части лица, переднезаднего соотношения челюстей, угол наклона и расположения окклюзионной плоскости предопределяют смысловую значимость последующих этапов конструирования искусственных зубных рядов, на которые уже накладываются оптимальные для индивида параметры [32; 33; 44]. Другими словами, адекватное восстановление жевательно-речевого аппарата возможно только при достижении правильно воссозданной анатомо-физиологической биомеханики нижней челюсти [12; 48].

При оценке результатов степени удовлетворённости пациентов протезированием с использованием визуально-аналоговые шкалы *R. Mericske-Stern* через три года показатель составил $95,3 \pm 1,3$ ($p < 0,05$).

Баллы по шкале *GOHAI* были выше у пациентов после лечения $56,5 \pm 10,0$, ($p < 0,001$). Общий показатель сохраняемости имплантатов составил 97 %. Кумулятивный уровень выживаемости пациентов –

95 %. Значение кумулятивного уровня сохраняемости протезов – 98,1 %.

Заключение

Проведенная цифровая трансформация моделирования анатомической формы непосредственных предварительных имплантационных протезов с учетом индивидуальных биомеханических показателей конкретного пациента, воссозданная сначала на предварительных протезах, а затем в цифровом формате с копированием в окончательных конструкциях протезов, позволяет сократить и облегчить период адаптации к протезу у пациентов с полной потерей зубов. Указанный подход обеспечивает высокую сохраняемость опорных имплантатов и имплантационных протезов, их целостность, удобство использования, способствует достижению высокого уровня качества жизни пациентов, связанного с протезированием.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арутюнов С. Д., Грачев Д.И., Багдасарян Г.Г. Математическое моделирование биомеханического поведения базиса съёмного зубного протеза под действием характерных жевательных нагрузок // Российский журнал биомеханики. – 2020. – Т. 24, № 4. – С. 491–504. – DOI 10.15593/RZhBiomeh/2020.4.07. – EDN AOEONA.
2. Булычева Е.А., Трезубов В.Н., Алпатьева Ю.В. Создание оптимального положения окклюзионной поверхности протяженных имплантационных протезов (часть I) // Институт стоматологии. – 2016. – Т. 71, № 2. – С. 54–56.
3. Гветадзе Р.Ш., Стрекалов А.А., Смердов А.А. Изучение влияния окклюзионной поверхности естественного зуба, искусственных коронок с опорой на дентальный имплантат на распределение напряжения методом конечных элементов с учетом коэффициента трения // Стоматология. – 2021. – Т. 100(3). – С. 13–18.
4. Ермолин В.И., Чакадуа Т.З., Стариков Н.А., Бабунашвили Г.Б., Машкина А.А., Романовский М.А. Использование магнитно-сенсорной системы для регистрации паттернов движения нижней челюсти у пациентов, перенесших реконструкцию височно-нижнечелюстного сустава // Стоматология. – 2022. – Т. 101(3). – С. 44–48.
5. Розов Р.А., Трезубов В.Н., Поцци А. Имплантационное протезирование протяженными цельнодиоксидциркониевыми конструкциями с цифровым моделированием окклюзионных поверхностей // Сеченовский вестник. – 2018. – Т. 33, № 3. – С. 41–48.
6. Розов Р.А., Трезубов В.Н., Быстрова Ю.А., Спицына О.Б., Ойсиева К.Ш. Разработка, валидация и клиническая апробация авторского способа оценки качества имплантационных протезов у пациентов пожилого и старческого возраста // Пародонтология. – 2021. – № 26 (3). – С. 197–202.

7. Розов Р.А., Трезубов В.Н. Цифровой метод протезирования компактной пластинки челюстной кости при немедленной ортопедической реабилитации пациентов с полной потерей зубов // Институт стоматологии. – 2021. – № 3 (92). – С. 88–89.
8. Розов Р.А., Трезубов В.Н., Спицына О.Б., Быстрова Ю.А. Цифровой способ сравнительного изучения жесткости авторской и стандартной разборных имплантационных оттичных ложек // Проблемы стоматологии. – 2021. – Т. 17(2). – С. 163–168.
9. Розов Р.А., Кабанов М.Ю., Трезубов В.Н. Утрата звеньев жевательного аппарата – инвалидность или инвалидизация? // Успехи геронтологии. – 2021. – Т. 34(2). – С. 232–238.
10. Розов Р.А., Трезубов В.Н., Герасимов А.Б., Эмдин Л.М. Стоматологическая реабилитация пациента с гидротической эктодермальной дисплазией (синдромом Клоутона) // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. – 2021. – Т. 9(1). – С. 95–106.
11. Пат. 2741862 RU, МПК А 61 С 19/00. Способ определения и фиксации центрального соотношения челюстей при изготовлении встречных окончательных протезов, опирающихся на дентальные имплантаты, при полном отсутствии зубов / Розов Р.А. - № 2020132577; Заявлено 01.10.2020; Опубл. 29.01.2021, Бюл. № 4. – 17 с.
12. Тверье В.М., Шитоев И.Д., Няшин Ю.И. Биомеханическое моделирование влияния усилий в зубочелюстной системе на внутреннюю сонную артерию // Российский журнал биомеханики. – 2020. – Т. 24, № 3. – С. 370–389 DOI: 10.15593/RZhBiomeh/2020.3.09
13. Тверье, В. М., Никитин В. Н., Кротких А. А. Уточнение прикуса на основе биомеханического моделирования // Российский журнал биомеханики. – 2017. – Т. 21, № 1. – С. 41–50. – DOI 10.15593/RZhBiomeh/2017.1.04.
14. Трезубов В. В., Чикунов С. О., Булычева Е. А., Алпатьева Ю. В. Современный способ клинической оценки речевой функции при полной потере зубов // Институт стоматологии. – 2012. – № 2(55). – С. 58–59.
15. Acharya P.H., Patel V.V., Duseja S.S., Chauhan V.R. Comparative evaluation of peri-implant stress distribution in implant protected occlusion and cusally loaded occlusion on a 3 unit implant supported fixed partial denture: A 3D finite element analysis study // J Adv Prosthodont. – 2021. – Vol. 13(2). – P. 79–88. DOI: 10.4047/jap.2021.13.2.79.
16. Barbin T., Silva L.D.R., Velôso D.V., Borges G.A., Presotto A.G.C., Barão V.A.R., Groppo F.C., Ferraz Mesquita M. Biomechanical behavior of CAD/CAM cobalt-chromium and zirconia full-arch fixed prostheses // J Adv Prosthodont. – 2020. – Vol. 12(6). – P. 329–337. DOI: 10.4047/jap.2020.12.6.329.
17. Bayrak A., Yaramanoğlu P., Kılıçarslan M.A., Yaramanoğlu B., Akat B. Biomechanical Comparison of a New Triple Cylindrical Implant Design and a Conventional Cylindrical Implant Design on the Mandible by Three-Dimensional Finite Element Analysis // J Oral Maxillofac Implants. – 2020. – Vol. 35(2). – P. 257–264. DOI: 10.11607/jomi.7760.
18. Bedrossian E., Bedrossian E.A. Implant-Supported Vs. Tissue-Supported Prosthesis: Biomechanical Principles for Fixed Full-Arch Restorations // Compend Contin Educ Dent. – 2019. – Vol. 40(8). – P. 524–529.
19. Beninati C.J., Katona T.R. The combined effects of salivas and occlusal indicators on occlusal contact forces // J Oral Rehabil. – 2019. – Vol. 46(5). – P. 468–474. DOI: 10.1111/joor.12772.
20. Caramês J., Marques D., Malta Barbosa J., Moreira A., Crispim P., Chen A. Full-arch implant-supported rehabilitations: A prospective study comparing porcelain-veneered zirconia frameworks to monolithic zirconia // Clin Oral Implants Res. – 2019. – Vol. 30(1). – P. 68–78. DOI: 10.1111/clr.13393.
21. Graves C.V., Harrel S.K., Rossmann J.A., Kerns D., Gonzalez J.A., Kontogiorgos E.D., Al-Hashimi I., Abraham C. The Role of Occlusion in the Dental Implant and Peri-implant Condition: A Review // Open Dent J. – 2016. – Vol. 16 (10). – P. 594–601. DOI: 10.2174/1874210601610010594.
22. Gross M.D. Occlusion in implant dentistry. A review of the literature of prosthetic determinants and current concepts // Aust Dent J. – 2008. – Vol. 53 (Suppl. 1). – P. 60–68. DOI: 10.1111/j.1834-7819.2008.00043.x.
23. Hämmerle C.H.F., Cordaro L., Alccayhuaman K.A.A., Botticelli D., Esposito M., Colomina L.E., Gil A., Gulje F.L., Ioannidis A., Meijer H., Papageorgiou S., Raghoebar G., Romeo E., Renouard F., Storelli S., Torsello F., Wachtel H. Biomechanical aspects: Summary and consensus statements of group 4 // The 5th EAO Consensus Conference 2018 // Clin Oral Implants Res. – 2018. – Vol. 29 (Suppl. 18). – P. 326–331. DOI: 10.1111/clr.13284.
24. Hellmann D., Etz E., Giannakopoulos N.N., Rammelsberg P., Schmitter M., Schindler H.J. Accuracy of transfer of bite recording to simulated prosthetic reconstructions // Clin Oral Investig. – 2013. – Vol. 17(1). – P. 259–67. DOI: 10.1007/s00784-012-0682-8.
25. Katona T.R., Eckert G.J. The mechanics of dental occlusion and disclusion // Clin Biomech (Bristol, Avon). – 2017. – Vol. 50. – P. 84–91. DOI: 10.1016/j.clinbiomech.2017.10.009.
26. Kattadiyil M.T., Alzaid A.A., Campbell S.D. The Relationship Between Centric Occlusion and The Maximal Intercuspal Position and Their Use as Treatment Positions for Complete Mouth Rehabilitation: Best Evidence Consensus Statement // J. Prosthodont. – 2021. – Vol. 30(S1). – P. 26–33. DOI: 10.1111/jopr.13316.
27. Kim Y., Oh T.J., Misch C.E., Wang H.L. Occlusal considerations in implant therapy: clinical guidelines with biomechanical rationale // Clin Oral Implants Res. – 2005. – Vol. 16(1). – P. 26–35. DOI: 10.1111/j.1600-0501.2004.01067.x.
28. Khudoroshkov Yu.G., Ishmurzin P. V., Danilova M. A., Rogozhnikov G. I. Prognosis of pterygoid muscles tonus in occlusion abnormalities associated with temporomandibular joint dysfunction // Russian Journal of Biomechanics. – 2017. – Vol. 21 (4). – P. 338–349. DOI 10.15593/RZhBiomeh/2017.4.01.
29. Koyano K, Esaki D. Occlusion on oral implants: current clinical guidelines // J Oral Rehabil. – 2015. – Vol. 42(2). – P. 153–161. DOI: 10.1111/joor.12239.
30. Krupnin A.E., Kharakh Y. N., Kirakosyan L. G., Arutyunov S. D. Modelling of dynamic behaviour of

- dental bridge using finite element method // Russian Journal of Biomechanics. – 2018. – Vol. 22 (3). – P. 315–331. DOI 10.15593/RZhBiomeh/2018.3.04.
31. Krupnin A. E., Kharakh Y. N., Kirakosyan L. G [et al.]. Numerical investigation of influence of defects of the dentition small extent on the stress-strain state of bridge prosthesis and periodontium // Russian Journal of Biomechanics. – 2019. – Vol. 23 (1). – P. 58–68. DOI 10.15593/RZhBiomeh/2019.1.06.
 32. Lepidi L., Galli M., Mastrangelo F., Venezia P., Joda T., Wang H.L., Li J. Virtual Articulators and Virtual Mounting Procedures: Where Do We Stand? // J. Prosthodont. – 2021. – Vol. 30(1). P. – 24–35. DOI: 10.1111/jopr.13240.
 33. Lo J., Abduo J., Palamara J. Effect of different lateral occlusion schemes on peri-implant strain: A laboratory study // J. Adv. Prosthodont. – 2017. – Vol. 9(1). – P. 45–51. DOI: 10.4047/jap.2017.9.1.45.
 34. Maminkas J., Puisys A., Kuoppala R., Raustia A., Juodzbalys G. The Prosthetic Influence and Biomechanics on Peri-Implant Strain: a Systematic Literature Review of Finite Element Studies // J. Oral Maxillofac Res. – 2016. – Vol. 9;7(3). – P. 4. DOI: 10.5037/jomr.2016.7304.
 35. Mericske-Stern R. On Implant Prosthodontics: One Narrative, Twelve Voices – 6 // Int. J. Prosthodont. – 2018. – Vol. 31 (Suppl). – P. 41–51. DOI: 10.11607/ijp.2018.suppl.RM-S.
 36. Montero J.A. Review of the Major Prosthetic Factors Influencing the Prognosis of Implant Prosthodontics // J. Clin. Med. – 2021. – Vol. 10(4). – P. 816. DOI: 10.3390/jcm10040816.
 37. Ozan O., Kurtulmus-Yilmaz S. Biomechanical Comparison of Different Implant Inclinations and Cantilever Lengths in All-on-4 Treatment Concept by Three-Dimensional Finite Element Analysis // Int. J. Oral Maxillofac Implants. – 2018. – Vol. 33(1). – P. 64–71. DOI: 10.11607/jomi.6201.
 38. Papaspyridakos P., Kang K., DeFuria C., Amin S., Kudara Y., Weber H.P. Digital workflow in full-arch implant rehabilitation with segmented minimally veneered monolithic zirconia fixed dental prostheses: 2-year clinical follow-up // J Esthet Restor Dent. – 2018. – Vol. 30(1). – P. 5–13. DOI: 10.1111/jerd.12323.
 39. Rilo B., da Silva J.L., Mora M.J., Santana U. Guidelines for occlusion strategy in implant-borne prostheses. A review // Int Dent J. – 2008. – Vol. 58(3). – P. 139–45. DOI: 10.1111/j.1875-595x.2008.tb00189.x.
 40. Rojas Vizcaya F. Retrospective 2- to 7-Year Follow-Up Study of 20 Double Full-Arch Implant-Supported Monolithic Zirconia Fixed Prostheses: Measurements and Recommendations for Optimal Design // J Prosthodont. – 2018. – Vol. 27(6). – P. 501–508. DOI: 10.1111/jopr.12528.
 41. Schierz O., Wagner P., Rauch A., Reissmann D.R. Impact of mounting methods in computerized axiography on assessment of condylar inclination // Cranio. – 2019. – Vol. 37(1). – P. 60–67. DOI: 10.1080/08869634.2017.1367060.
 42. Sigvardsson J., Nilsson S., Ransjö M., Westerlund A. Digital Quantification of Occlusal Contacts: A Methodological Study // Int J Environ Res Public Health. – 2021. – Vol. 18(10):5297. DOI: 10.3390/ijerph18105297. PMID: 34065755; PMCID: PMC8156897.
 43. Tischler M., Patch C., Bidra A.S. Rehabilitation of edentulous jaws with zirconia complete-arch fixed implant-supported prostheses: An up to 4-year retrospective clinical study // J Prosthet Dent. – 2018. – Vol. 120(2). – P. 204–209. DOI: 10.1016/j.prosdent.2017.12.010.
 44. Türker N., Alkiş H.T., Sadowsky S.J., Şebnem Büyükkaplan U. Effects of Occlusal Scheme on All-on-Four Abutments, Screws, and Prostheses: A Three-Dimensional Finite Element Study // J Oral Implantol. – 2021. – Vol. 1;47(1). – P. 18–24. DOI: 10.1563/aaaid-joi-D-19-00334.
 45. Uram-Tuculescu S., Cooper L.F., Foegeding E.A., Vinyard C.J., De Kok I.J., Essick G. Electromyographic evaluation of masticatory muscles in dentate patients versus conventional and implant-supported fixed and removable denture wearers- a preliminary report comparing model foods // Int J Prosthodont. – 2015. – Vol. 28(1). – P. 79–92. DOI: 10.11607/ijp.3931.
 46. Von der Gracht I., Derks A., Haselhuhn K., Wolfart S. EMG correlations of edentulous patients with implant overdentures and fixed dental prostheses compared to conventional complete dentures and dentates: a systematic review and meta-analysis // Clin Oral Implants Res. – 2017. – Vol. 28(7). – P. 765–773. DOI: 10.1111/clr.12874.
 47. Velasco-Ortega E., Jiménez-Guerra A., Ortiz-García I., Moreno-Muñoz J., Núñez-Márquez E., Cabanillas-Balsera D., López-López J., Monsalve-Guil L. Immediate Loading of Implants Placed by Guided Surgery in Geriatric Edentulous Mandible Patients // Int J Environ Res Public Health. – 2021. – Vol. 13;18(8). – P. 4125. DOI: 10.3390/ijerph18084125.
 48. Wang M., Mehta N. A possible biomechanical role of occlusal cusp-fossa contact relationships // J Oral Rehabil. – 2013. – Vol. 40(1). – P. 69–79. DOI: 10.1111/j.1365-2842.2012.02333.x.
 49. Yu W., Chen S., Li X., Ma X., Xu X. Evaluation of 1-Piece Versus 3-Piece Framework Designs for the Edentulous Mandible with Fixed Implant-Supported Prostheses: A Clinical, Occlusal and Biomechanical Study // J Prosthodont. – 2021. – Vol. 30(4). – P. 290–297. DOI: 10.1111/jopr.13320.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

DIGITAL WORKFLOW FOR RECONSTRUCTING THE BIOMECHANICS OF THE MASTICATORY APPARATUS IN IMPLANT-SUPPORTED PROSTHETICS IN EDENTULOUS PATIENTS

R.A. Rozov¹, V.N. Trezubov¹, A.L. Urakov²

¹ I.P. Pavlov First Saint Petersburg State Medical University, Saint-Peterburg, Russia

² Izhevsk State Medical Academy, Izhevsk, Russia

ARTICLE INFO

Received: 24 January 2022

Approved: 17 August 2022

Accepted for publication: 18 August 2022

Key words:

Dental implants, Prosthodontics, Biomechanics, Computer-aided design/computer-aided manufacturing (CAD/CAM), Axiography

ABSTRACT

Digital transformation of the algorithm of implant prosthetics includes the following steps: planning the spatial position of implants in the jawbone; making a surgical guide for real positioning of the virtual localization of implants; taking an optical impression; creation of a framework and/or the implant prosthesis itself. However, the above digital chain lacks an important step of creating a new dynamic stereotype of the patient's masticatory apparatus biomechanics that should take into account its individual characteristics. In this situation, a digital workflow can help with the reconstruction of the biomechanics of the masticatory apparatus.

The aim of the study was the clinical testing of the digital workflow for reconstructing the biomechanics of the masticatory apparatus in implant-supported prosthetics in edentulous patients.

Digital modeling of the occlusal surface of artificial dentition was carried out in 82 patients (28 men, 54 women) aged 54 to 83 years (mean age 73.9 ± 4.9 years). In this case, the electronic axiograph CADIAX 3 diagnostic (GAMMA Dental), virtual articulators GAMMA Reference SL and AmannGirrbach Artex CR in the Exocad galway 3.0 and Zirkonzahn. Software program were used. X-ray cephalometric analysis was also used, which was carried out in the GAMMA and OrthoLine programs.

The following stages have been introduced into the technological chain of prosthodontic treatment: digital registration of the lower jaw biomechanics in combination with the spatial construction of the occlusal plane with X-ray cephalometric analysis; manufacturing of the final prosthesis copying it according to the temporary CAD/CAM prosthesis, with digital axiography, in particular, digital modeling of the occlusal surface of artificial teeth.

This approach, providing a high survival rate of supporting implants (97 %) and implant prostheses (98.1 %), ease of use, contributed to the achievement of a high level of patient quality of life (scores on the GOHAI scale after treatment = 56.5 ± 10.0) associated with prosthetics.