

ИЗУЧЕНИЕ РАЗМЕРНОЙ ТОЧНОСТИ ИНТРАОРАЛЬНОЙ ФОТОГРАММЕТРИИ И ЛИЦЕВОГО СКАНИРОВАНИЯ ПРИ ТОТАЛЬНОМ ПРОТЕЗИРОВАНИИ НА ИМПЛАНТАТАХ

Доценко А. А.

Научный руководитель: канд. мед. наук, доц. Мишин Д. Н.

Рязанский государственный медицинский университет, г. Рязань

Резюме. Исследование сравнивает размерную точность интраоральной фотограмметрии (IPG) и интраорального сканирования (Primescan) в сравнении с лабораторным сканером при работе на полной зубной дуге при протезировании на имплантатах. Фотограмметрия продемонстрировала более высокую точность по сравнению с Primescan (средняя погрешность порядка 0,087 мм против ~0,105 мм). Отмечена отрицательная корреляция распределения ошибок между методами ($r = -0.62$), что указывает на их разную чувствительность к различным геометрическим и оптическим условиям. Наибольшие отклонения для обоих подходов наблюдались в дистальных отделах дуги, тогда как фронтальный сегмент чаще характеризовался меньшими ошибками. 3D скан лица показал наилучшее значение сопоставления по расстояниям (средняя абсолютная процентная ошибка - 4,1%), по сравнению с 2D фото (0,71%). Результаты подтверждают применимость обоих методов для высокоточной клинической и лабораторной работы и подчеркивают ценность комбинированной стратегии выбора технологии.

Ключевые слова: фотограмметрия, интраоральное сканирование, протезирование на имплантатах, лицевой сканер

Актуальность. В настоящее время в стоматологии активно используются цифровые технологии для диагностики и лечения пациентов. Тотальное протезирование предъявляет особые требования к восстановлению утраченных окклюзионных ориентиров. В этих условиях точные лицевые параметры и положения имплантатов становятся критически важными: 3D-сканирование лица и фотограмметрия позволяют фиксировать мягкотканые ориентиры, симметрию, положение скан-маркеров, интегрируя эти данные в единый CAD/CAM дизайн [2,4]. Однако широкое внедрение данных технологий сдерживается неоднородностью данных, недостаточностью сопоставимых измерений с эталонными системами в литературе [3]. В нашем

исследовании представлено обоснование клинической достоверности применения фотограмметрии при тотальном протезировании в виде количественных метрик, показано статистически значимое преимущество 3D лицевой модели над 2D фото.

Цель: оценка точности и преимуществ использования 3D-сканирования лица и трехмерных реконструкций, получаемых с помощью интраорального сканирования и методом фотограмметрии при применении в тотальном протезировании.

Материалы и методы. Проведен анализ научной литературы по системам ведущих библиотечных платформ (PubMed, IOS, eLIBRARY, dissercat, КиберЛенинка и др.). Проведено внутриворотное оптическое

сканирование пациентов с получением цифровых оттисков с 6 имплантатов с позиции мульти-юнит абатментов системы JD (Италия), из них 5 единиц получено интраоральным сканером Primescan от Dentsply Sirona и 5 единиц, используя интраоральную фотограмметрию Shining 3D Aoralscan со специальными скан-маркерами в виде кодированных черно-белых горизонтальных сканмаркеров. Параллельно у этих пациентов были сняты оттиски, в том числе гипсовые, или полученные через трансфер-чек, что гарантирует точность переноса положения имплантатов. Данные гипсовые модели с аналогами имплантатов и со сканмаркерами были отсканированы интраоральным сканером Primescan и лабораторным сканером Shining autoscans-mix (n=10), который был выбран путем расчета минимальной погрешности эталонной моделью. Перед сканированием объект неподвижно фиксировали на поворотном столике во внутренней камере сканера. Использовали плоскостной тип сканирования, который позволяет отсканировать поднутрения. Поверхность сканируемой модели покрывали матирующим спреем. Проведено сканирование пациентов с использованием лицевого сканера Shining 3D MetiSmile, фотографирование в профиль и фас фотокамерой Canon EOS 6D, нанесение антропометрических точек (Pg, Oph, zu, n, sn) для сопоставления фотографий и скана лица в программе EхoCad с последующим сравнением расстояний (ширины лица, высоты лица, высоты нижней трети лица) и точечных отклонений ориентиров, полученных штангенциркулем и виртуальной линейкой.

При проведении сканирования лица придерживались протоколу: стандартизировали позу головы, выражение лица, освещенность, фон. Пациент располагался на расстоянии вытянутой руки от сканера, сидя на стуле со спинкой, чтобы предотвратить движения тела и головы. В ходе эксперимента проводили трехкратный повтор всех измерений через неделю. Точность сканов гипсовой модели и интраорального скана определялась при помощи измерительных инструментов программы EхoCad в следующей последовательности. Каждое полученное объемное изображение экспортировали из ПО сканера в формате STL-файла, далее импортировали в программу EхoCad, где сопоставлялись с мастер-моделью (эталон), через функцию «добавить 3D-объект». Два STL-файла сопоставлялись поочередным расположением 6 точек на модели в проекции основания сканбоди функцией «позиция скана 3D-объекта, позиция точно». Совмещение цифровых моделей осуществлялось автоматически: программа в трехмерной системе координат самостоятельно распознает идентичные точки, по которым происходит наложение двух объектов [1]. После сопоставления двух объемных изображений программа окрашивала их в цветовые поля. Каждый цвет соответствует определенной величине расхождения между совмещенными цифровыми изображениями. Для определения точного значения величины расхождения двух моделей производили измерение расстояния с помощью функции «Cut view» и «Линейка-расстояние-угол» в указанных точках. Для каждой референсной

точки производили расчет линейных отклонений на каждом сканбоди ($n=6$) в двух плоскостях по 4 точкам (дистально, мезиально, вестибулярно и язычно) с определением среднего значения для каждой позиции сканбоди, а также рассчитывали угловые отклонения по двум плоскостям. Определяли расхождение во фронтальном отделе, в жевательном отделе и общую погрешность по дуге разность расхождений в референсных точках, в которых было получено максимальное и минимальное значение). Для обеспечения надежности и точности измерений были рассчитаны коэффициенты корреляции Пирсона и оценена техническая погрешность измерений. Все данные представлены как среднее значение \pm среднеквадратичное отклонение. Для оценки межгрупповых сравнений использовались t-тесты Стьюдента, вычислена средняя абсолютная процентная ошибка (MAPE). Для всех тестов рассматриваемый уровень значимости был $p \leq 0,05$. Статистическая обработка проводилась с применением Microsoft Excel 7.0 программного обеспечения STATISTICA 7.

Результаты и их обсуждение.

По результатам произведенных замеров в референсных точках для каждого сканера высчитывали среднее значение погрешности и его прецизионность. Первоначально определили погрешность ($<0,01$, при $p \leq 0,05$) эталонной модели. Отсканировали лабораторным сканером гипсовую модель со сканмаркерами 10 раз. Затем произвели наложение этих моделей между собой ($n=5$) и вычислили расхождение. Далее производили сопоставление в программе Eхосad сканов

полости рта с установленными сканмаркерами и эталонной моделью. Поскольку позиции сканмаркеров, установленных в полости рта и сканмаркеров, установленных на гипсовую модель отличались, оценка производилась по четырем поверхностям сканмаркера, не учитывая расхождение по выступающей части. При сравнении погрешности при сопоставлении скана ротовой полости со сканмаркерами с эталонной гипсовой моделью получили максимальное среднее линейное расхождение-0,096 мм в проекции зуба 2.2. Погрешность по дуге составила 0,033 мм. Среднее угловое отклонение- 0,2°.

Далее сравнивали погрешности при сопоставлении скана гипсовой модели, отсканированной сканером (Primescan) со сканмаркерами с эталонной гипсовой моделью. В данном случае расхождение определяли по выступающей части сканмаркера JD, по которой идет сопоставление при моделировании реставрации техником. Линейные отклонения в проекции зуба с установленным имплантатом составили: 1.7-0,038 мм; 1.4-0,142 мм; 1.2-0,102 мм; 2.2-0,080 мм; 2.4-0,162 мм; 2.7-0,191 мм. Расхождение во фронтальном отделе-0,091 мм. Расхождение в жевательном отделе-0,133. Погрешность по дуге- 0,111 мм. Среднее угловое отклонение-0,3°.

Сравнение погрешности сканирования методом фотограмметрии между гипсовой моделью и сканом полости рта. Наибольшая средняя линейная погрешность обнаружена в проекции зуба 2.7-0,068 мм, а также 1.7-0,063. Расхождение во фронтальном отделе-0,051 мм. Расхождение в

жевательном отделе-0,053. Погрешность по дуге- 0,033 мм. Среднее угловое отклонение-0,3°.

Сравнение погрешности при сопоставлении скана гипсовой модели, отсканированной методом фотограмметрии со сканмаркерами с эталонной гипсовой моделью. Расхождение во фронтальном отделе-0,109 мм. Расхождение в жевательном отделе-0,09 мм. Погрешность по дуге- 0,086 мм. Среднее угловое отклонение-0,35°.

Сравнение погрешности при сопоставлении скана полости рта, отсканированной методом фотограмметрии со сканмаркерами со сканом, отсканированным интраоральным сканером Primescan. Сравним погрешность на четырех сторонах сканмаркера и определяем среднее значение для каждого. Погрешность по дуге- 0,091 мм. Среднее угловое отклонение 0,1°.

Сравнение погрешности при сопоставлении двух сканов полости рта, отсканированным интраоральным сканером Primescan (оператор №1). Расхождение во фронтальном отделе-0,037 мм. Расхождение в жевательном отделе-0,045. Погрешность по дуге-0,027 мм. Угловое отклонение определяли на выступающей части сканмаркера и на язычной поверхности. Среднее угловое отклонение составило 0,4°.

Сравнение погрешности при сопоставлении двух сканов полости рта, отсканированным интраоральным сканером Primescan (оператор №2). Расхождение во фронтальном отделе-0,030 мм. Расхождение в жевательном отделе-0,022. Погрешность по дуге-0,034 мм. Среднее угловое отклонение-0,25°.

Сравнение погрешности при сопоставлении двух сканов полости рта, отсканированным интраоральным сканером Primescan между двумя операторами. Расхождение во фронтальном отделе-0,042 мм. Расхождение в жевательном отделе-0,06 мм. Погрешность по дуге- 0,065 мм. Угловое отклонение определяли на выступающей части сканмаркера и на язычной поверхности. Среднее угловое отклонение-0,48°. При расчете U-критерия Манна-Уитни погрешности систематически ниже у оператора №2 (с медианным преимуществом 0,014 мм) в сравнении с оператором №1.

При сопоставлении 2D фотографии и 3D скана лица получили полное сопоставление антропометрических точек, кроме точек зу. При этом при измерении расстояния виртуальной линейкой между точками зу-зу на отсканированном изображении получили идентичное значение эталона, измеренного штангенциркулем. Наименьшее среднее квадратичное отклонение получено между точками sp-rg. 3D скан лица показал наилучшее значение сопоставления по расстояниям. Данная методика позволяет получить изображение человека в трехмерном пространстве, что особо актуально для визуализации боковых проекций при постановке зубов.

Выводы. Результаты нашего исследования свидетельствуют о высокой размерной точности фотограмметрии (IPG) на полной зубной дуге (средняя погрешность-0,087 мм, среднее угловое отклонение 0,2°), что согласуется с литературными данными. Интраоральные сканеры показали более высокую среднюю погрешность

(0,105 мм, среднее угловое отклонение 0,38 мм). Наибольшее расхождение обоих методов наблюдали в дистальных отделах зубной дуги со средней погрешностью-0,068 мм по сравнению со фронтальным отделом зубной дуги-0,059 мм. Увеличение погрешности в задних отделах характерен для интраоральных сканеров, что связано с пошаговым сшиванием облака точек, в то время как при использовании интраоральной фотограмметрии достигается высокая точность за счет кодированных узоров на сканбоди в качестве контрольных меток при сопоставлении и позиционировании, что обеспечивает их стабильное размещение. При сравнении сканирования двух операторов получили вариабельность значений, но статистически значимых различий между операторами не обнаружено ($p < 0,05$). Расчет коэффициента Пирсона показал отрицательную корреляцию ($r = -0,62$) между Primescan и фотограмметрии на гипсовой модели, что может говорить о разной чувствительности методов к разным геометрическим и оптическим условиям положения сканмаркеров (поднутрения, крутые наклоны стенок сканбоди, дистальные отделы). Фотограмметрия может показывать более стабильные

результаты на полной зубной дуге с труднодоступными участками. Пропорции, связывающие области лица в 3D, были ближе к клиническому эталону, чем в 2D (для 2D средняя абсолютная процентная ошибка- 4,1%, для 3D 0,71%). Распределение линейных соотношений показало, что 3D-значения были ближе к клиническому стандарту по соотношениям n-pg, sn-pg ($p < 0,001$), чем 2D-фото, расстояние зузу имеет наибольшее расхождение при сопоставлении точек из-за особенностей скуловых выступов. Технологически 3D скан лица позволяет получить виртуальный трехмерный дизайн при интеграции с КЛКТ и STL-файлом скана челюсти. Это улучшает визуализацию боковых проекций, что позволяет повысить точность моделирования при виртуальной постановке зубов для изготовления прототипов протезов. Результаты подтверждают применимость обоих методов и подчеркивают ценность комбинированной стратегии выбора технологии, однако фотограмметрия обеспечивает статистически значимое преимущество по точности полной дуги и угловой стабильности для пассивной посадки полных мостовидных протезов на имплантатах.

Литература

1. Busch, M. Concept and development of a computerized positioning of prosthetic teeth for complete dentures / M. Busch, B. Kordass // *Int. J. Comput. Dent.* – 2006. – Vol. 9, № 2. – P. 113–120.
2. Полякова, М. В. Анализ точности совмещения виртуальных моделей лица и беззубых челюстей пациента различными способами / М. В. Полякова, А. Н. Ряховский // *Институт стоматологии.* – 2012. – № 3 (56). – С. 64–67.
3. Xue, K. Three-Dimensional Evaluation of Condylar Position and Joint Spaces Following Orthodontic Treatment With Quadruple Premolar Extractions / K. Xue, Q. Li, S. Yang, Y. Zhao, J. Li, C. Zhang, W. Liao // *Cureus* [Электронный ресурс]. – 2024. – 19 Aug. – Режим

доступа: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC11409159/> / – Дата доступа: 12.12.2024. – PMID: PMC11409159.

4. Zogheib, T. Comparison of 3D Scanning Versus 2D Photography for the Identification of Facial Soft-Tissue Landmarks / T. Zogheib, R. Jacobs, M. M. Bornstein, J. O. Agbaje, D. Anumendem, Y. Klazen, C. Politis // *Open Dent. J.* [Электронный ресурс]. – 2018. – Vol. 12. – P. 347–355. – Режим доступа: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29492171/>. – Дата доступа: 12.12.2024. – PMID: 29492171.

STUDY OF DIMENSIONAL ACCURACY OF INTRAORAL PHOTOGRAMMETRY AND FACIAL SCANNING IN FULL-ARCH PROSTHETIC REHABILITATION

Doschenko A. A.

*Tutor: PhD, associate professor Mishin D. N.
Ryazan State Medical University, Ryazan*

Resume. This study compares the dimensional accuracy of photogrammetry and intraoral scanning (Primescan) when working on a full dental arch for implant-supported prosthetics. Photogrammetry demonstrated higher accuracy compared to Primescan (average error of 0.087 mm versus ~0.105 mm). A negative correlation in the error distribution between the methods was noted ($r = -0.62$), indicating their different sensitivity to various geometric and optical conditions. The greatest deviations for both approaches were observed in the distal sections of the arch, while the anterior segment was often characterized by smaller errors. A 3D facial scan demonstrated the best distance matching value (average absolute percentage error - 4.1%) compared to a 2D photo (0.71%). The results confirm the applicability of both methods for high-precision clinical and laboratory work and emphasize the value of a combined strategy for technology selection.

Keywords: photogrammetry, intraoral scanning, implant prosthetics, facial scanner