

**Ю.К. Андроник, С.В. Ничепорук**

**ОЦЕНКА ПРЕЦИЗИОННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ НА ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЯХ,  
СОЗДАНЫХ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ  
СМАРТФОНОВ, И ГИПСОВЫХ МОДЕЛЯХ ЧЕЛЮСТЕЙ**

**Научный руководитель: ассист. А.А. Гутырчик**

*Кафедра ортопедической стоматологии и ортодонтии*

*Белорусский государственный медицинский университет, г. Минск*

**Y.K. Andronik, S.V. Nicheporuk**

**EVALUATION OF PRECISION MEASUREMENTS ON DIGITAL MODELS  
CREATED USING SMARTPHONE SOFTWARE AND PLASTER MODELS  
OF JAWS**

**Tutor: assistant A.A Gutyrchik**

*Department of Orthopedic Dentistry and Orthodontics*

*Belarusian State Medical University, Minsk*

**Резюме.** В данной статье проведена оценка прецизионности измерений на цифровых моделях, созданных с помощью программного обеспечения для смартфонов, и гипсовых моделях челюстей, анализ результатов измерений и целесообразности использования метода фотограмметрии в практике врача-стоматолога.

**Ключевые слова:** модели челюстей, прецизионность измерений, 3D-модель, метод фотограмметрии, точность сканирования.

**Resume.** This article evaluates the precision of measurements on digital models created using smartphone software and plaster models of jaws, analyzes the measurement results and the feasibility of using photogrammetry in the practice of a dentist.

**Keywords:** jaw models, precision measurements, 3D model, photogrammetry method, scanning accuracy.

**Актуальность.** В современной стоматологии гипсовые модели зубных рядов на протяжении десятилетий остаются «золотым стандартом» диагностики, планирования ортопедического и ортодонтического лечения, а также контроля его результатов. Однако традиционный гипсовый метод сопряжен с рядом существенных практических ограничений: хрупкость моделей, необходимость специальных условий хранения и маркировки, трудоемкость физического измерения параметров с помощью штангенциркуля, а также невозможность быстрого обмена данными между специалистами. В условиях цифровой трансформации стоматологии все большее распространение получают внутриротовые сканеры и лабораторные 3D-сканеры, которые обеспечивают высокую точность, но остаются дорогостоящими и требуют специального обучения. Альтернативой может стать технология фотограмметрии ближнего действия – метод создания трехмерных моделей на основе серии перекрывающихся цифровых фотографий, доступный широкому кругу врачей благодаря использованию стандартных смартфонов и бесплатных приложений. При этом ключевым вопросом остается точность получаемых цифровых моделей по сравнению с прямыми измерениями на гипсовых аналогах. В связи с этим актуальным является оценка точности и прецизионности смартфон-ориентированной фотограмметрии.

**Цель:** провести оценку прецизионности линейных измерений, выполненных на

цифровых моделях челюстей, полученных методом фотограмметрии ближнего действия с использованием смартфона, и на аналоговых гипсовых моделях.

**Задачи:**

1. Провести анализ научной литературы и других источников.
2. Построить 3D-формат гипсовых моделей с помощью смартфона.
3. Выполнить прямые линейные измерения на гипсовых моделях с помощью штангенциркуля.
4. Провести аналогичные измерения на цифровых моделях, полученных методом фотограмметрии.
5. Оценить прецизионность двух методов.
6. Сформулировать вывод о возможности использования смартфон-ориентированной фотограмметрии.

**Материалы и методы.** Были проанализированы 7 гипсовых моделей, отобранных случайным образом, пациентов с постоянным и смешанным прикусом. Аналоговые модели были измерены штангенциркулем. Для создания 3D-модели использовался смартфон iPhone 17, оснащенный 48-мегапиксельной камерой с оптической стабилизацией. Для анализа на телефон было установлено программное обеспечение Polysam. Для построения каждой из моделей было выполнено 40 перекрывающихся изображений. Дополнительно использовались свет, штатив и фотобокс. В качестве параметров были выбраны межмолярное (М), межпремолярное (ПМ) и межрезцовое (Р) расстояния.

**Результаты и их обсуждение.** Первый этап работы состоял в выборке и отливке гипсовых моделей. Критериями включения в выборку были: отсутствие повреждений в изучаемых областях моделей, модели должны быть отлиты из супергипса для контрастирования оттенка гипса на белом фоне, наличие у моделей латеральных резцов, первых премоляров и первых постоянных моляров, использование моделей верхнего зубного ряда

Для изготовления моделей были использованы оттисковые ложки для верхней челюсти, альгинатный оттискной материал Zhermack “Hydrogum”, супергипс и вибростол.

3 модели постоянного прикуса были отлиты самостоятельно на кафедре ортопедической стоматологии и ортодонтии (Рис.1), 4 модели смешанного прикуса были взяты в зуботехнической лаборатории ГУ «Республиканский Клинический Стоматологический Центр-Университетская клиника».



**Рис. 1** – Процесс отливки моделей из супергипса

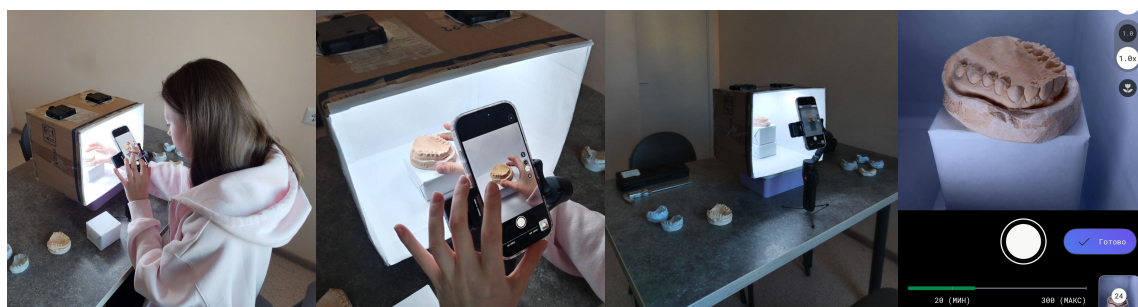
На 2 этапе на каждой модели поочередно измерялись расстояние между

дистальными углами коронок латеральных резцов, расстояние между вершинами щечных бугров первых премоляров и расстояние между вершинами мезиально-щечных бугров первых постоянных моляров (Рис.2). Для измерения параметров использовался штангенциркуль с ценой деления 0,01 мм.



**Рис. 2** – Измерение моделей штангенциркулем

3 этап включал в себя подготовку к сканированию и собственно сканирование моделей (Рис.3). Для сканирования были подготовлены фотобокс, штатив и свет. На смартфон с системой IOS было установлено программное обеспечение «Polycam». Смартфон был установлен на штатив и сканирование проводилось под углом  $0^\circ$  и углом  $45^\circ$ . Для построения 3D формата каждой из моделей было выполнено 40 перекрывающихся изображений, 20 изображений под углом  $0^\circ$  и 20 изображений под углом  $45^\circ$ . Затем приложение на основе полученных изображений генерирует готовую 3D-модель.



**Рис. 3** – Процесс измерения гипсовых моделей смартфоном

4 этап состоял из измерения параметров на полученных сканах, используя вводные настройки программного обеспечения. В приложении был задан масштаб измерением высоты цоколя модели. Для измерения параметров использовалась линейка из набора инструментов программного обеспечения. На каждой 3D-модели поочередно измерялись межрезцовое, межпремолярное и межмолярное расстояния.

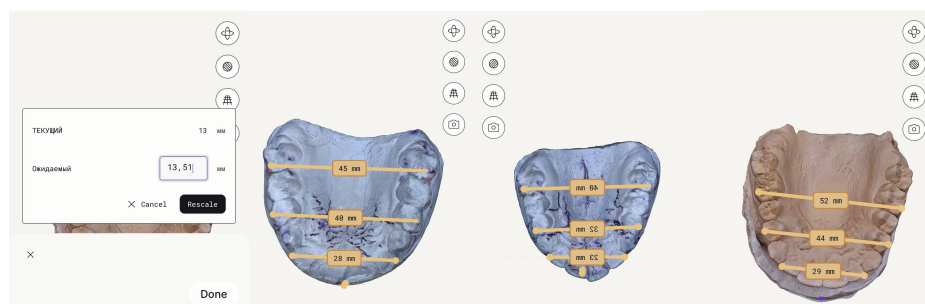


Рис. 4 – Измерение параметров с помощью программного обеспечения «Polysam»

5 этап состоял из сводки измерений в общую таблицу (Табл. 1) и статистического анализа полученных результатов.

Табл. 1. Сводные данные измерений с помощью программного обеспечения и цифрового штангенциркуля

| № модели | Цифровой штангенциркуль |       |       | Измерение в приложении |    |    |
|----------|-------------------------|-------|-------|------------------------|----|----|
|          | ПМ                      | М     | Р     | ПМ                     | М  | Р  |
| B1       | 45,49                   | 53,18 | 29,09 | 44                     | 52 | 29 |
| B2       | 43,6                    | 55,4  | 29,05 | 44                     | 56 | 29 |
| B3       | 43,1                    | 51,08 | 25,8  | 41                     | 50 | 25 |
| B4       | 45,3                    | 57,32 | 32,35 | 47                     | 60 | 34 |
| B5       | 40,74                   | 48,03 | 28,77 | 41                     | 48 | 29 |
| B6       | 37,15                   | 46,9  | 27,63 | 37                     | 48 | 27 |
| B7       | 39,07                   | 46,11 | 28,64 | 40                     | 45 | 28 |

Для статистического анализа полученных результатов были рассчитаны показатели абсолютной и относительной погрешностей. Абсолютная погрешность рассчитывается по формуле:

$$\Delta = \bar{y} - \bar{x},$$

где  $\bar{y}$  – среднее значение измерения в приложении, а  $\bar{x}$  – среднее значение измерения штангенциркулем.

Относительная погрешность рассчитывается по формуле:

$$\delta = (\Delta / \bar{x}) * 100\%$$

где  $\Delta$  – абсолютная погрешность,  $\bar{x}$  – среднее значение измерения штангенциркулем.

Относительная погрешность для показателя ПМ составила -0,15%, для М 0,27%, для Р -0,16%. Таким образом, относительная погрешность не превышает 0,27%, что говорит о высоком соответствии двух методов.

Для расчета корреляции между методами измерения был использован коэффициент корреляции Пирсона, который рассчитывается по формуле:



$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (xi - \bar{x})(yi - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (xi - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (yi - \bar{y})^2}}$$

где  $xi$  – значения измерений штангенциркулем,  $yi$  – значения измерений в приложении,  $\bar{x}$  – среднее значение измерения штангенциркулем,  $\bar{y}$  – среднее значение измерения в приложении,  $n=7$  – число гипсовых моделей.

Согласно расчетам, коэффициент корреляции Пирсона для показателей составил: ПМ – 0,915, М – 0,97, Р – 0,99. Таким образом, корреляция между методами очень высокая ( $>0,9$ ), что подтверждает согласованность измерений.

### **Выводы:**

1. Установлено, что цифровые модели зубных рядов, реконструированные методом фотограмметрии ближнего действия, обеспечивают прецизионность линейных измерений, сопоставимую с прямым измерением гипсовых моделей штангенциркулем. Максимальное значение относительной погрешности (0,27%) находится в диапазоне, признаваемом клинически приемлемым для ортодонтической и ортопедической диагностики.

2. Полученные данные позволяют рассматривать фотограмметрию ближнего действия на базе смартфона как альтернативу традиционному измерению на гипсовых моделях. Метод не уступает прямому измерению штангенциркулем при соблюдении стандартизированных условий съемки (штатив, фотобокс, контролируемое освещение, съемка под углами  $0^\circ$  и  $45^\circ$ ).

3. Оцифровка данных о пациенте дает возможность быстрого обмена данными между специалистами при изучении сложных клинических случаев, что существенно сокращает время на диагностику и планирование комплексного лечения.

4. Также метод оцифровки моделей позволяет хранить все данные моделей на электронном носителе, что позволяет не быть привязанным к месту хранения гипсовых моделей и не хранить их на этапах диагностики и лечения пациента.

### **Литература**

1. Comparison of Reliability and Validity of Measurements on Digital Study Models Made with Scann Three-Dimensional Smartphone Software and Plaster Models / Prabhu K., Venkatesan N., Kirubakaran A. etc. // The Journal of Interdisciplinary Dentistry. – 2021. - №11(1). – p. 11-16.
2. Accuracy of Complete-Arch Scans Obtained by Intraoral Scanner and Smartphone T hree-Dimensional Scanning Applications with Different Smartphone Position Setups / Jiang Y, Long H, Soo S, et al. // Cureus. – 2024. - №16(6). – p. 1-12.