



# Сравнительная оценка методов трехмерного сканирования лица



## РЯХОВСКИЙ А.Н.

д.м.н., проф., заведующий отделением современных технологий протезирования ФГУ ЦНИИСиЧЛХ МЗ РФ

## ЛЕВИЦКИЙ В.В.

аспирант отделения современных технологий протезирования ФГУ ЦНИИСиЧЛХ МЗ РФ

## КАРАПЕТЯН А.А.

к.м.н., младший научный сотрудник отделения современных технологий протезирования ФГУ ЦНИИСиЧЛХ МЗ РФ

## МУРАДОВ М.А.

к.м.н., врач-стоматолог отделения современных технологий протезирования ФГУ ЦНИИСиЧЛХ МЗ РФ

## ЮМАШЕВ А.В.

к.м.н., зав.курсом ортопедической стоматологии ММА им.Сеченова

г.Москва

В настоящее время стоматологами все чаще используются цифровые технологии для диагностики и составления плана лечения (имиджинговые системы, цифровая фотография) [2].

Применение цифровых технологий значительно повышает качество лечения и облегчает работу врача-стоматолога. Наиболее информативными являются методики получения трехмерного изображения, так как дают полную клиническую картину и возможность прогнозировать эстетический результат лечения. Активно используется составление плана лечения в пластической хирургии и косметологии, существуют программные комплексы по моделированию результата оперативного вмешательства. Очевидно, что амбулаторная клиническая работа имеет характерную специфику и, следовательно, формируются определенные требования к методам трехмерного сканирования. Например, процесс сканирования должен длиться максимально короткое время (сопоставимое, например, с фотографированием); не требовать никаких специальных дополнительных устройств (кроме самого сканера) и условий, чтобы иметь возможность проводить сканирование, не пересаживая пациента на какое-либо специальное кресло.

Целью данного исследования является сравнительное изучение нескольких методик трехмерного сканирования объектов.

В задачи данного исследования входило определить:

1. Воспроизводимость результатов в каждой методике.

2. Степень различия с эталоном.

Методика фотограмметрии известна во всем мире. Она состоит в восстановлении трехмерной поверхности объекта по фотографии [1]. На изображении видна поверхность сканируемого объекта (монохромный режим) со спроецированными на него линиями (структурированная подсветка), в классическом варианте линии параллельны

проводилось в темном помещении с красной подсветкой (видимый свет) на объект проецировался сложный рисунок из линий (снежинка, вложенные друг в друга окружности и звезды и т.д.). По изображению со стереопары (две цифровые черно-белые камеры) происходило восстановление трехмерной поверхности (рис. 1). Объект во время процесса сканирования (около 3-4 секунд) должен быть неподвижен относительно сканирующего устройства.

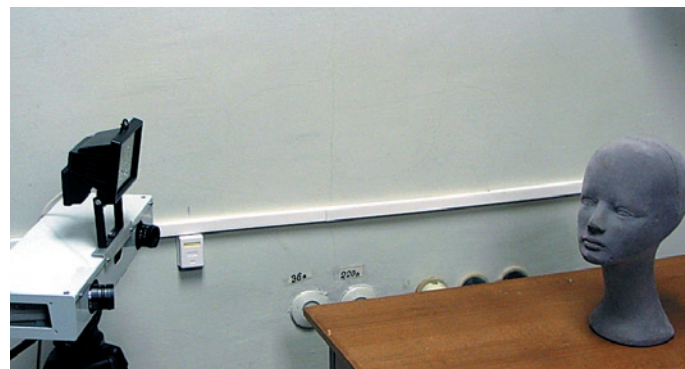


Рис. 1. Трехмерный сканер и объект (методика 1)

друг другу. Получение «полосатой» фотографии обычно проводится в инфракрасном режиме или в красном свете видимого спектра. Это необходимо для того, чтобы поверхность сканируемого объекта была подсвечена равномерно (это важно для получения точного отображения рельефа). Восстановление происходит методом расчета отклонения проецируемых линий от исходного их расположения [3].

**Методика 1** (стереофотограмметрия со структурированной подсветкой).

Сканирование (получение полосатой фотографии)

**Методика 2** (монофотограмметрия со структурированной подсветкой).

Методика основана на получении серии полосатых кадров в инфракрасном спектре. Проецируемые на объект линии в данной методике должны быть параллельны друг другу. Поверхность объекта восстанавливалась в два этапа: первично из каждого двухмерного кадра, затем проводилась регистрация относительно друг друга каждого трехмерного кадра, и методом усреднения (аппроксимации) получали окончательную трехмерную



Рис. 2. Трехмерный сканер и объект (методика 2)

поверхность. Сканирование этим методом может проводиться при любой интенсивности фонового освещения. Для более качественного сканирования необходимо небольшое перемещение объекта в пространстве относительно сканера (рис. 2), что и происходит при удерживании камеры рукой.

Нами использовалось два варианта данного способа сканирования и аппроксимации трехмерных моделей: сканирование только фронтальной поверхности объекта и сканирование всего объекта во время его вращения.

**Методика 3** (монофотог-



Рис. 3. Трехмерный сканер (методика 3)

рамметрия со структурированной подсветкой).

В этой методике трехмерная модель восстанавливалась по трем полосатым фотографиям и одной фотографии для текстуры. Структурированная подсветка была ориентирована относительно друг друга под углом 60° (рис. 3). Трехмерная модель восстанавливалась путем совместной обработки полученных изображений методом Фурье-синтеза.

**Методика 4** (монофотограмметрия со структурированной подсветкой).

Сканирование проводится при естественном освещении средней интенсивности (без попадания прямых солнечных лучей). Процесс сканирования занимает 1-2 секунды. За это время снимается несколько полосатых фотографий и фотография для текстуры.



Рис. 4. Трехмерный сканер (методика 4)

Световые линии переменной ширины проецируются на объект в вертикальном и горизонтальном направлениях. Подсветка и проецирование производится через один объектив сканера, съемка – через другой. В данном приборе подсветка осуществляется белым светом в видимом спектре без цветных фотофильтров (рис. 4).

В качестве тестируемого объекта была выбрана голова



Рис. 5. Сканируемый объект (голова манекена)



Рис. 6. Эталонная трехмерная модель

манекена (рис. 5). Трехмерная виртуальная модель головы манекена, которую считали эталоном (рис. 6), являлась результатом усреднения (аппроксимации) пяти сканов, полученных с помощью лазерного сканера Roland LPX-250 (рис. 7). Работа данного сканера основана на методике сканирования точкой, то есть на объект проецируется луч лазера в виде точки, при этом сам объект вращается на поворотном столике и по изменению расстояния от объекта до дальномера сканера восстанавливается трехмерная поверхность. Трехмерная модель, полученная на этом сканере, была выбрана эталонной по причине наибольшей надежности и точности сканирования из исследуемых методик, поскольку сканирование проводится в идеальных условиях внутренней камеры сканера (рис. 7).

Вывод о том, что сканирование на лазерном сканере было высокоточным, основывался на проведенном дополнительном исследовании. Был взят объект простой формы с заранее известными размерами (рис. 8) и отсканирован всеми представленными методами (рис. 9). В результате чего выяснилось: при сканировании лазером погрешность метода составила  $0,080915 \pm 0,002709442$  мм. При применении других методов погрешность была значимо выше и



Рис. 7. Лазерный сканер Roland LPX-250

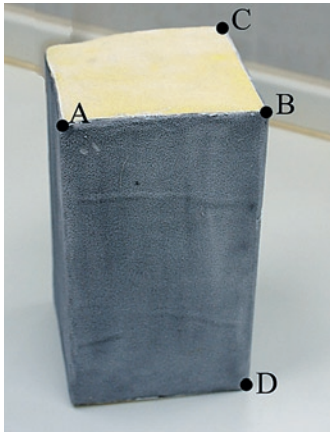


Рис. 8. Объект для тестового сканирования

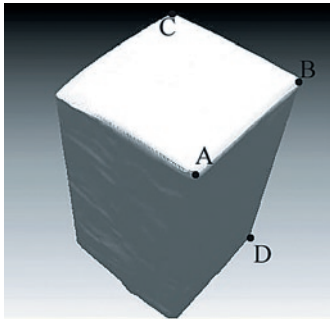


Рис. 9. Трехмерная модель объекта

Таблица 2. Величины расхождений при сравнении трехмерных моделей, полученных при помощи первой методики

	1 модель	2 модель	3 модель	4 модель	5 модель
1 модель		0,0253975202	0,0285456494	0,0270465727	0,0268170502
2 модель	0,0253975202		0,0258861861	0,0236346240	0,0238661606
3 модель	0,0285456494	0,0258861861		0,0229976985	0,0228730193
4 модель	0,0270465727	0,0236346240	0,0229976985		0,0214275646
5 модель	0,0268170502	0,0238661606	0,0228730193	0,0214275646	

Таблица 3. Величины расхождений при сравнении трехмерных моделей, полученных при помощи второй методики (вариант 1)

	1 модель	2 модель	3 модель	4 модель	5 модель
1 модель		0,1593346913	0,1218511571	0,1196107054	0,1409119937
2 модель	0,1593346913		0,1477537177	0,1377661720	0,1354315856
3 модель	0,1218511571	0,1477537177		0,0600470381	0,1437306408
4 модель	0,1196107054	0,1377661720	0,0600470381		0,1427381940
5 модель	0,1409119937	0,1354315856	0,1437306408	0,1427381940	

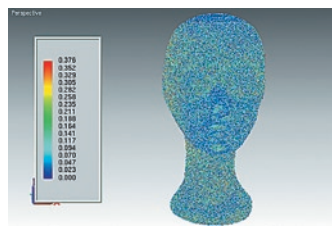


Рис. 10. Сравнение трехмерных моделей, полученных на сканере Roland LPX-250

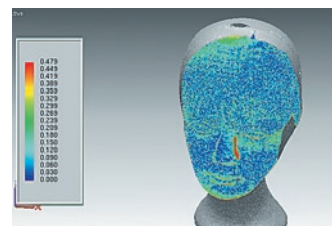


Рис. 11. Сравнение трехмерных моделей, полученных при помощи первой методики

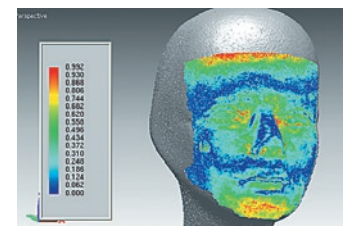


Рис. 12. Сравнение трехмерных моделей, полученных при помощи второй методики (вариант 2)

достигала нескольких десятых –  $0,793774529 \pm 0,003524728$  мм (методика 3),  $0,13726 \pm 0,0033623$  мм (методика 2, вариант 1),  $0,291764975 \pm 0,028347678$  мм (методика 2, вариант 2) или сопоставима –  $0,027859316 \pm 0,001682535$  мм (методика 1);  $0,040634 \pm 0,00841621$  мм (методика 4).

Для обеспечения достоверности исследования эталонная трехмерная модель была построена путем аппроксимации пяти моделей, полученных на сканере Roland LPX-250. Координаты усредненных моделей получали расчетом истинных средних значений каждой координаты трехмерной модели. Сопоставление для сравнения трехмерных моделей производили при помощи программного комплекса RapidForm 2002

RP1. Данный программный комплекс позволяет сравнить трехмерные модели не только параметрически, но и визуально, поскольку на дисплей выводится цветовая карта (с параметрической шкалой) несоответствия сравниваемых трехмерных моделей. Также было получено по пять трехмерных виртуальных моделей, используя все четыре сравниваемых методики сканирования.

Было проведено сравнение всех полученных трехмерных моделей между собой внутри каждого метода сканирования, а также сравнение усредненных моделей с эталонной. Определенные нами величины параметрических расхождений между моделями демонстрируют воспроизводимость каждо-

го представленного метода (табл.1).

Среднее расхождение между моделями, полученными лазерным сканированием, составило  $0,084083413 \pm 0,007858006$  мм (рис. 10). Такое значение расхождения объясняется тем, что лазерный луч имеет неоднородную структуру, и поверхность трехмерной модели получается покрытой мелкой рябью. То есть если сравнивать трехмерные модели не количественно (используя показатель среднего расхождения), а качественно (визуально), то видно, что эталонные модели при сравнении между собой практически совпадают. При сравнении с трехмерными моделями, полученными другими методами, обнаруживается, что расхождение количест-

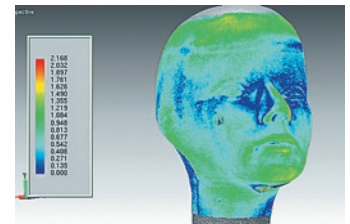


Рис. 13. Сравнение трехмерных моделей, полученных при помощи второй методики (вариант 2)

венно меньше, но качественно весьма велико, поскольку имеются целые области несоответствия сравниваемых объектов.

При анализе воспроизводимости результатов сканирования при помощи первой методики были получены следующие цифры (табл. 2).

Среднее расхождение между ними составило  $0,024849205 \pm 0,001389334$  мм.

При сравнении результатов сканирования по методике №1 с эталонной моделью среднее расхождение составило  $0,076091169 \pm 0,001031335$  мм (рис. 11).

Аналогичным образом была проведена оценка вос-

Таблица 1. Величины расхождений при сравнении трехмерных моделей, полученных на сканере Roland LPX-250.

	1 модель	2 модель	3 модель	4 модель	5 модель
1 модель		0,0828778460	0,0491861207	0,0867271734	0,0848739177
2 модель	0,0828778460		0,0904919782	0,0917123532	0,0854349609
3 модель	0,0491861207	0,0904919782		0,0915059277	0,0917520861
4 модель	0,0867271734	0,0917123532	0,0915059277		0,0862717621
5 модель	0,0848739177	0,0854349609	0,0917520861	0,0862717621	

Таблица 4. Величины расхождений при сравнении трехмерных моделей, полученных при помощи второй методики (вариант 2)

	1 модель	2 модель	3 модель	4 модель	5 модель
1 модель		0,2414612874	0,3008394254	0,2875738503	0,3286774621
2 модель	0,2414612874		0,3133598743	0,3184115104	0,2917334107
3 модель	0,3008394254	0,3133598743		0,3810656190	0,3521952137
4 модель	0,2875738503	0,3184115104	0,3810656190		0,3871120874
5 модель	0,3286774621	0,2917334107	0,3521952137	0,3871120874	

Таблица 5. Величины расхождений при сравнении трехмерных моделей, полученных при помощи третьей методики

	1 модель	2 модель	3 модель	4 модель	5 модель
1 модель		0,1471540054	0,1673076445	0,1430818093	0,1468566350
2 модель	0,1471540054		0,1473218436	0,1107791289	0,1163106683
3 модель	0,1673076445	0,1473218436		0,1432825403	0,1185591360
4 модель	0,1430818093	0,1107791289	0,1432825403		0,1204091906
5 модель	0,1468566350	0,1163106683	0,1185591360	0,1204091906	

Таблица 6. Величины расхождений при сравнении трехмерных моделей, полученных при помощи четвертой методики

	1 модель	2 модель	3 модель	4 модель	5 модель
1 модель		0.06548	0.06316	0.06173	0.05433
2 модель	0.06548		0.03134	0.03265	0.03563
3 модель	0.06316	0.03134		0.03147	0.03194
4 модель	0.06173	0.03265	0.03147		0.03001
5 модель	0.05433	0.03563	0.03194	0.03001	

производимости результатов сканирования второй методикой (двумя разными вариантами) (табл. 3).

Среднее расхождение между моделями составило  $0,13091759 \pm 0,01702993$  мм.

Среднее расхождение при сравнении с эталоном составило  $0,179405035 \pm 0,019668832$  мм (рис. 12).

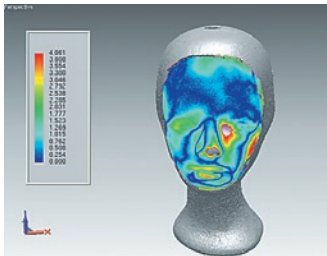


Рис. 14. Сравнение трехмерных моделей, полученных при помощи третьей методики

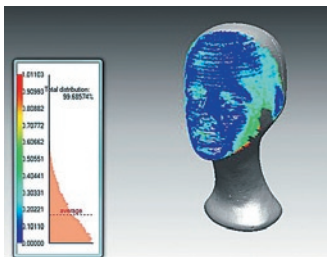


Рис. 15. Сравнение трехмерных моделей, полученных при помощи четвертой методики

Воспроизводимость результатов сканирования, полученных второй модификацией этого способа, была ниже (табл. 4).

Среднее расхождение между моделями составило  $0,320242974 \pm 0,027545678$  мм.

Среднее расхождение при сравнении с эталоном -  $0,538098066 \pm 0,028264702$  мм (рис. 13).

Воспроизводимость результатов сканирования по третьей методике была выше (табл. 5).

Средняя величина расхождения составила  $0,13610626 \pm 0,011362385$  мм.

Однако среднее расхождение при сравнении с эталоном было максимальным и составило  $0,822874529 \pm 0,003726728$  мм, что говорит о наименьшей точности сканирования среди сравниваемых методик (рис. 14).

Анализ воспроизводимости результатов сканирования по четвертой методике представлен в таблице 6.

Величина среднего расхождения между моделями составила  $0,043774 \pm 0,008628043$  мм.

Среднее расхождение при сравнении с эталоном соста-

вило  $0,167606 \pm 0,006455413$  мм (рис. 15).

Исходя из полученных результатов можно сделать вывод о том, что трехмерные модели, полученные при помощи четвертой методики, наиболее точно передают рельеф поверхности сканируемого объекта. Первый метод имеет ряд существенных недостатков по сравнению со вторым и четвертым: в момент съемки объект должен быть неподвижен относительно сканера длительное время. Учитывая, что сканируется живой человек, это доволь-

но сложно осуществить; для сканирования необходимо отдельное темное помещение, что тоже весьма неудобно в условиях стоматологического приема. Третья методика наименее предпочтительна среди описанных, так как наименее точно передает рельеф сканируемой поверхности.

Большое влияние на результат оказывает алгоритм обработки двумерных изображений и алгоритм восстановления трехмерной модели. Критерием выбора метода трехмерного сканирования должно быть: удобство проведения методики для оператора (врача), удобство для пациента.

Результаты, полученные в процессе исследования, свидетельствуют о том, что разница в точности сканирования для такого объекта, как лицо человека, ничтожно мала, и производить выбор метода сканирования в данном случае лучше с точки зрения приемлемого воспроизведения всех деталей рельефа, сканируемой поверхности и удобства проведения съемки.

### Литература

1. Бобир Н. Я., Лобанов А. Н., Федорук Г. Д. Фотограмметрия. – М., 1974.
2. Вайзер Вольфганг. Цифровая и аналоговая фотография в истинном свете. // Панорама ортопедической стоматологии. – 2005. – №2.
3. Дробышев Ф. В. Основы аэрофотосъемки и фотограмметрии. – 3-е изд., М., 1973.

### Evaluation of different 3D facial scanning techniques.

Ryachovskiy A.N. – DMD, Prof., Head of Prosthodontics department, FGU CSRID and MFS of MH of Russia;

Leviskiy V.V. – PhD student of Department of Contemporary technologies of Prosthodontics, FGU CSRID and MFS of MH of Russia;

Karapetyan A.A. – PhD., Department of Contemporary technologies of Prosthodontics, FGU CSRID and MFS of MH of Russia;

Myradov M.A. – PhD, Department of Contemporary technologies of Prosthodontics, FGU CSRID and MFS of MH of Russia;

Yumashev A.V. – PhD, Head of the Course of Prosthodontics, MMA named by Sechenov, Moscow

Different 3D scanning techniques were evaluated in the study. The testing object was phantom head. Comparison for three-dimensional models made by with software RapidForm 2002 PP1, which has allowed assess models both parametrically and visually. The color card of discrepancies (with a parametrical scale) of compared three-dimensional models was deduced. Five three-dimensional virtual models have been received on, using all four compared techniques of scanning. Comparison of all three-dimensional models among themselves inside of each method of scanning, and also comparison of the average models with reference has been lead. The sizes of parametrical divergences certain as a result of research between models have shown reproducibility of each presented method.