

**Сравнительный обзор внутриротовых трехмерных цифровых  
сканеров для ортопедической стоматологии**

В.В. Костюкова, А. Н. Ряховский, д.м.н., профессор, М. М. Уханов,  
м.н.с.

**A Comparative Analysis Of Intraoral 3d Digital Scanners For Restorative  
Dentistry**

V.V. Kostyukova, A.N. Ryakhovsky, M.M. Uhanov

Центральный научно-исследовательский институт стоматологии и  
челюстно-лицевой хирургии, Москва, отделение современных технологий  
протезирования

*Ключевые слова: интраоральный сканер, цифровой оттиск,  
ортопедическая стоматология, непрямые реставрации, CAD/CAM,  
внутриротовое сканирование.*

*Key words: intraoral scanner, digital impression, prosthetic dentistry,  
restorative dentistry, CAD/CAM, intraoral scanning.*

**Реферат**

На современном этапе развития технология внутриротового сканирования  
является одной из самых быстроразвивающихся новых областей в стоматологии.  
Во всем мире разрабатываются интраоральные сканеры для ортопедической

стоматологии, основными задачами которых являются: сокращение времени и упрощение процесса получения оттиска, отход от традиционных методов получения оттисков. Традиционные методы получения оттисков имеют ряд недостатков, таких как: нестабильность формы оттиска, поры на гипсовых моделях, сколы на моделях, геометрические и размерные расхождения между моделью и оттиском. Целью данной статьи является составление обзора существующих и разрабатываемых внутриротовых сканеров, уделяя особое внимание оценке принципов работы, особенностей и характеристик.

Разработка первой системы для проектирования и изготовления коронок началась во Франции под руководством доктора Francois Duret в 1971 году. В 1973 году была представлена его диссертационная работа под названием «Оптический оттиск», в которой впервые в стоматологии была озвучена концепция автоматизированного проектирования и изготовления зубных протезов CFAO (Conception et Fabrication Assistée par Ordinateur) [14], или CAD / CAM (computer aided design / computer aided manufacturing). В 1984 году F. Duret разработал и запатентовал CAD / CAM устройство [15]. Разработанная система была представлена на конференции в Чикаго в 1989 году, на примере изготовления коронки зуба в течение четырех часов.

Но сама разработка первого цифрового внутриротового сканера началась еще в 1980 году, швейцарским стоматологом, доктором Werner Mörmann, и итальянским инженером-электриком, Marco Brandestini, что в итоге привело к

появлению в 1985 году первой коммерческой CAD / CAM системы для не прямых стоматологических реставраций CEREC ®, SIEMENS AG [11].

С тех пор во многих компаниях, благодаря научным исследованиям и разработкам в этой отрасли, начали появляться интраоральные сканеры с улучшенными характеристиками. Эти системы были способны делать трехмерные (3D) виртуальные изображения отпрепарированных зубов, из которых могли быть непосредственно изготовлены не прямые реставрации (с помощью CAD / CAM систем), или они могли быть использованы для создания точной модели для реставраций в зуботехнической лаборатории.

Основными преимуществами в применении интраоральных сканеров являются:

- Отсутствие неприятных ощущений, связанных с нахождением большого объема оттисковой массы в полости рта при получении традиционного оттиска.
- При повышенном рвотном рефлексе у пациента.
- Отсутствие погрешностей, присущих традиционным оттискам: нарушение пропорций, неправильное или неполное смешивание материала, ингибирование твердения оттискового материала из-за замешивания в латексных перчатках или наличия химически активных веществ на зубах пациента, неправильное введение оттисковой ложки с материалом в полость рта, движения пациента во время получения оттиска, оттяжки, воздушные поры, дефекты из-за попадания слюны или

крови, контакт ложки с зубом, отрыв оттисковой массы от ложки, перелом гипсовой модели при удалении оттиска.

- Возможность оценить клиническую ситуацию и качество оттиска сразу после его получения, а в случае обнаружения дефекта трехмерной виртуальной модели в подавляющем большинстве устройств достаточно отсканировать повторно только данную область, а не всю челюсть.
- Значительно ускоряется передача данных в лабораторию, нивелируются риски связанные с повреждением или потерей оттиска во время транспортировки.
- Возможность начать проектирование будущей конструкции, без необходимости изготовления физической модели зубного ряда, что сокращает общие сроки выполнения работы.
- Устраняется возможность передачи бактериальной или вирусной инфекции в зуботехническую лабораторию вместе с оттиском.
- Исключается возможность испачкать одежду врача или пациента оттискным материалом.

В основу работы интраоральных сканеров положены бесконтактные оптические технологии, такие как: конфокальная микроскопия, оптическая когерентная томография, фотограмметрия, активные и пассивные стереоскопия и триангуляция, интерферометрия и принципы фазового сдвига. Для уменьшения помех от сканируемых объектов, таких как прозрачность и отражения материалов,

влажность и случайные движения, в некоторых устройствах комбинируются различные методы получения информации о рельефе поверхности. Кроме того, применяется несколько видов источников структурированного света и оптических компонентов. Принципы работы сканирующих устройств подробно изложены в книге Ряховского А.Н. «Цифровая стоматология». [5]

Применение трехмерных цифровых внутриротовых сканеров имеет много преимуществ, представленных выше, однако существуют также и некоторые недостатки. Например, в некоторых случаях для устранения погрешности измерений и получения устойчивого фокуса необходимо устанавливать рукоятку камеры на челюсть и использовать специальные покрытия на зубы. Кроме того, виртуальная 3D модель часто реконструируется путем обработки одиночных изображений (полученных в одной плоскости), соответственно реконструкция не производится в режиме реального времени с непрерывным захватом всего объема данных. В настоящее время нет достаточных данных о точности существующих сканеров. Для того чтобы определить на сколько достоверны цифровые отпечатки, получаемые от внутриротовых сканеров, необходимо разделять такие понятия как, точность, прецизионность и правильность. В международной организации по стандартизации (ISO 5725-1-2002) эти определения звучат так [37]:

1. Точность (accuracy) – степень близости результата измерений к принятому опорному значению. Точность включает в себя прецизионность и истинность.

2. Прецизионность (precision) – степень близости друг к другу независимых результатов измерений, полученных в конкретных регламентированных условиях. Этот показатель выявляет, насколько близко находятся друг к другу результаты повторных опытов.

3. Правильность (trueness) – степень близости среднего значения, полученного на основании большой серии результатов измерений (или результатов испытаний, 10 и более), к принятому опорному значению. Этот показатель выявляет, насколько сильно результаты измерений отклоняются от истинных размеров объекта.

Также немаловажными характеристиками внутриротовых сканеров являются размеры их рабочей части и скорость самого процесса сканирования.

На сегодняшний день известны следующие интраоральные сканеры [27]:

1. CEREC ® AC Bluecam, CEREC Omnicam, Apollo DI – Sirona Dental System GMBH (Германия)
2. iTero – CADENT LTD (Израиль)
3. Lava™C.O.S., True Definition – 3M ESPE (США)
4. E4D – D4D TECHNOLOGIES, LLC (США)
5. IOS FastScan – IOS TECHNOLOGIES, INC. (США)
6. MIA 3D™ – DENSYS LTD. (Израиль)
7. DPI-3D – DIMENSIONAL PHOTONICS INTERNATIONAL, INC. (США)

8. 3D Progress – MHT S.p.A. (Италия) and MHT Optic Research AG (Швейцария)
9. PlanScan™ – Planmeca (Финляндия)
10. trios – 3SHAPE A/S (Дания)
11. Condor – MFI (Бельгия)
12. Bluescan-I - A-tron3d (Австрия)
13. EIOscan - Steinbichler Optotechnik GmbH (Германия)
14. Оптик-ДЕНТ – ВНИИОФИ (Россия).

Целью настоящей статьи является подробное рассмотрение всех этих существующих устройств, с особым вниманием к принципам их работы, особенностям и индивидуальным характеристикам.

#### **CEREC® - Sirona Dental System GMBH (Германия).**

CEREC ® (сокращенно от «кабинетная экономическая реставрация эстетической керамикой») была представлена компанией SIEMENS AG (сейчас Sirona Dental System GMBH ) в 1985 г.. Система претерпела ряд технологических усовершенствований, что привело к появлению CEREC AC® BlueCam®, представленной в январе 2009 года, и CEREC Omnicam, представленной в августе 2012 года. Последние версии системы CEREC ® (см. рис. 1) способны собирать информацию о рельефе объектов и проектировать вкладки, накладки, коронки, виниры и мосты. Система CEREC ® сочетает в себе 3D-цифровой сканер с фрезерным устройством, для создания стоматологических не прямых реставраций

непосредственно в кабинете стоматолога из коммерчески доступных блоков керамики или композитного материала за одно посещение [10].

Системы CEREC AC® BlueCam® и Omnicam используют разные методы получения информации о рельефе поверхности исследуемого объекта. CEREC AC® BlueCam® работает в соответствии с основными принципами конфокальной микроскопии, а CEREC Omnicam на основе метода триангуляции [29, 10].

CEREC ® AC Bluescam [36] обладает автоматической системой стабилизации изображения [33, 30, 22]. В связи, с чем нет необходимости фиксировать рукоятку сканера на поверхности зубов для получения устойчивого фокуса. Данная система позволяет произвести одномоментное сканирование всей зубной дуги, что занимает менее трех минут. В данной системе необходимо покрывать зубы специальным порошком, чтобы обеспечить единообразие в отражательной способности поверхностей.

Основным отличием системы CEREC Omnicam является отсутствие необходимости использовать порошок, а 3D изображения получаются в натуральном цвете.

Ниже приведена сравнительная таблица двух систем (табл. 1) [38]:

Таблица 1. Сравнение интраоральных сканеров CEREC ® AC Bluescam и CEREC Omnicam. [38]

Характеристики	CEREC Omnicam	CEREC ® AC Bluescam
Метод получения изображения	Полноцветное непрерывное изображение.	Соединение одиночных изображений Несколько одиночных



	Постоянный поток данных, объединяясь, образует 3D модель.	изображений соединяются для создания 3D модели.
<b>Область применения</b>	Одиночный зуб, квадрант, вся челюсть. Отсутствие порошка – значительное преимущество при сканировании большой области.	Одиночный зуб, квадрант (возможно сканирование всей челюсти).
<b>Размеры</b>	Общая длина: 228 мм Длина головки камеры: 108 мм Высота и ширина головки камеры: 16 мм	Общая длина: 206 мм Длина головки камеры: 86 мм Высота и ширина головки камеры: 22x17 мм
<b>Вес</b>	313 г	270 г
<b>Свободное пространство/Глубина поля</b>	Камера движется примерно в промежутке от 0 до 15 мм от поверхности зубов.	Камера может устанавливаться непосредственно на зубы.
<b>Может комбинироваться с фрезерной установкой</b>	Да	Да
<b>Режим консультации пациента</b>	Да	Нет
<b>3D сканирование в цвете</b>	Да	Нет
<b>Использование порошка</b>	Нет	Да
<b>Преимущества</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Удобное манипулирование.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Простота в эксплуатации</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Сканирование без порошка.</li> <li>• 3D изображения в естественном цвете.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Захват изображений поверхностей, покрытых порошком.</li> </ul>
--	---	---

В апреле 2013 года вышла система Apollo DI, обладающая наилучшим соотношением цена/качество из всей линейки интраоральных сканеров компании Sirona.

### **iTero - CADENT LTD (Израиль).**

Cadent iTero цифровая система получения оттисков от компании Cadent LTD, IL поступила в продажу в начале 2007 года (рис. 2). В системе iTero используется метод параллельной конфокальной микроскопии [6, 7]. Данная техника позволяет произвести захват изображения всех структур и материалов, присутствующих в полости рта, без необходимости применения отражающих порошков. Сама процедура сканирования включает в себя пять последовательных шагов: захват изображения окклюзионной, язычной, щечной поверхностей, и межзубных контактов с соседними зубами [24, 8, 26]. Это занимает около 15-20 секунд для каждого отпрепарированного зуба. По окончании процедуры, пациента просят закрыть рот в положении центральной окклюзии, и сканируют зубные ряды в сомкнутом состоянии. В целом, 3D модели верхнего и нижнего квадранта и виртуальный прикусной регистрат могут быть получены менее чем за 3 минуты.

### **Lava™ Chairside Oral Scanner (C.O.S.) - 3M ESPE (США).**

The Lava™ Chairside Oral Scanner (C.O.S.) был создан на базе Brontes Technologies в Лексингтоне, штат Массачусетс, и был приобретен компанией 3M ESPE (St. Paul, MN) в октябре 2006 года. Интраоральный сканер был официально представлен в феврале 2008 года.

Система Lava C.O.S. состоит из процессора, сенсорного дисплея и непосредственно самого сканера [39]. Вес рукоятки камеры составляет 390 г, а ширина головки - 13,2 мм. В основу работы системы Lava C.O.S. положен принцип активного отбора проб фронтальных волн с проекцией структурированного света. Данный метод был назван “3D-in-Motion technology” («технология трехмерного изображения в движении») [25]. Компьютерная обработка в системе Lava C.O.S. позволяет сформировать в реальном времени видеопоследовательность из 3D изображений, скорость съёмки которых составляет 20 кадров в секунду. Для выполнения сканирования необходимо использование специального порошка. Система автоматически завершает процедуру сканирования, как только стоматолог возвращается к зубу, с которого он начинал. Затем стоматолог подтверждает сканирование, получая изображения других зубов в дуге. В случае обнаружения некачественных изображений достаточно отсканировать конкретную область, и программное обеспечение само исправит ошибку.

Процедура завершается сканированием зубов при максимальном фиссурно-бугорковом контакте, при этом щечная поверхность одной стороны

челюсти покрывается порошком. После чего 3D модели верхней и нижней челюстей распределяются в артикулятор на экране. Компьютерное обеспечение системы создает стереолитографическую (SLT) модель, которая может быть отправлена в лабораторию зубному технику через интернет.

#### **True Definition – 3M ESPE (США).**

16 октября 2012 года компания 3M ESPE (США) представила интраоральный сканер «True Definition», рукоятка которого значительно меньше и легче предыдущей версии. К другим преимуществам относятся: дизайн; интерактивный, мультисенсорный монитор; свободное соединение с другими системами через Центр Подключения 3M и поддержка файлов изображений формата STL.

True Definition является автономной системой со встроенным фрезерным аппаратом. Система имеет оптику с защитой от запотевания (рис. 3).

#### **E4D - D4D Technologies LLC (США).**

Система The E4 Dentist была представлена компанией D4D Technologies LLC (Richardson, TX) в начале 2008 года. Она представляет собой передвижной блок, состоящий из процессора и монитора, лазерного сканера, а так же отдельного блока для фрезерования (рис. 4).

E4D не требует использования отражающего агента (порошка). Головка сканера должна отстоять на определенном расстоянии от сканируемой поверхности. Это достигается при помощи резинового наконечника на головке сканера. Пользователь удерживает педаль, в то время как происходит

центрирование изображения, и когда на экране выбрана нужная область, он отпускает педаль, и происходит момент съемки. Диаграмма на мониторе показывает, как ориентировать сканер для получения следующего изображения. Как только получены все изображения, они выстраиваются в 3D модель. Монитор с сенсорным экраном позволяет стоматологу просмотреть сканирование зуба со всех сторон, что даёт возможность оценить её качество. Конструкционные особенности системы E4D способны автоматически обнаруживать и маркировать финишную границу препарирования [28].

### **IOS FastScan™ - IOS Technologies Inc. (США).**

IOS Technologies Inc. была основана в начале 2007 года с целью вывести на рынок внутриворотные сканеры и приборы для получения цифровых оттисков своего собственного производства. И в июле 2010 года компания объявила, что внутриворотной цифровой сканер IOS FastScan был улучшен по сравнению с прототипом, и успешно прошел все клинические испытания.

Лазер в системе IOS FastScan автоматически перемещается на треке внутри рукоятки, так что стоматологу только остается держать саму рукоятку в трех положениях - щечном, язычном и окклюзионном, для сканирования полной дуги [34, 16, 17]. Как Lava C.O.S. и iTero, IOS FastScan является автономным сканером, так что стоматологу придется сотрудничать с лабораторией. Данные сканирования системой IOS FastScan выводятся в стереолитографическом (STL) формате, с открытым исходным кодом, который могут распознавать, открывать и манипулировать все лаборатории. Система также включает в себя модуль

автоматизированного проектирования (CAD) для получения информации о цвете, прозрачности и 3D форме, для отображения точного цветового представления будущей конструкции. Информация о цвете, прозрачности и поверхности объединяется в один файл и отправляется в электронном виде в лабораторию или CAD/CAM систему для последующего изготовления. Программное обеспечение IOS FastScan™ Dental CAD позволяет создать виртуальную модель, на которой может быть отмечена граница препарирования.

#### **Densys3D - DENSYS LTD (Израиль).**

Densys3d это автономное устройство состоящее из процессора, монитора и внутриротовой камеры, созданное компанией DENSYS LTD (Migdal Ha'Emeq, Israel) [21].

Система Densys3d использует принцип активной стереофотограмметрии с проекцией структурированного света. Полученные в ходе сканирования данные архивируются в небольшие по объёму файлы, которые могут быть использованы при работе с различными CAD/CAM машинами других фирм производителей. Используя эту систему, стоматологи могут создавать и хранить файлы малого размера, которые готовы к экспорту в CAD/CAM устройства в клинике или в удаленных лабораториях. Вес рукоятки около 100 гр.

#### **DPI - 3D от Dimensional Photonics International Inc. (США).**

Dimensional Photonics International Inc. (DPI) является разработчиком технологии по трехмерному измерению и захвату изображений. [32, 13].

Последней разработкой компании является интраоральный сканер DPI/O, отличающийся малыми размерами и работающий в режиме реального времени. Запатентованная технология DPI не требует использования порошка для получения точного изображения зуба или полной дуги. Система невосприимчива к относительному движению устройства и объектов. К преимуществам сканера DPI/O по сравнению со старыми сканерами, в которых используется «белый свет», относятся меньшая чувствительность к окружающей вариации света, высокая точность, большая глубина проекции поля, расширенные возможности для сканирования блестящих и прозрачных поверхностей и возможность сканирования без использования мишеней и фотограмметрических систем.

**3D Progress от MHT S.p.A. (Италия) и MHT Optic Research AG  
(Швейцария).**

3D Progress произведенный компанией MHT (Medical High Technologies) S.p.A. и созданный MHT Optic Research AG (Швейцария), является портативной системой для получения цифровых оттисков, которая подключается к ПК через кабель USB 2.0 (рис. 5).

MHT Optic Research AG и MHT S.p.A были основаны в 1995 году Markus Berner [9] и Carlo Gobbetti. 3D Progress позволяет получить цифровой оттиск менее чем за 1/10-ую секунды для одного сканирования, со скоростью от 14 скан / секунду (в зависимости от свойств ПК). Полная дуга может быть отсканирована примерно за 3 минуты. Сканер не требует использования порошка для покрытия прозрачных поверхностей. Отсканированные поверхности сначала выводятся в

виде облака точек, а затем в окончательном варианте, в формате STL, совместимым с большинством CAD систем. Основными техническими характеристиками системы 3D Progress являются: сенсор, который дает возможность быстрого и точного сканирования, автоматическая сшивка изображений каждого отдельного сканирования в режиме реального времени, возможность функции паузы / остановки сканирования в каждый момент времени, автоматическое (или полу-автоматическое) определение границы препарирования, соединие с ПК с помощью USB 2.0.

### **PlanScan<sup>TM</sup> – Planmeca (Финляндия).**

Интраоральный сканер PlanScan<sup>TM</sup> был представлен в марте 2013 года. Он может быть непосредственно встроен в стоматологическую установку, либо может использоваться как автономное устройство. Сам сканер имеет сменные наконечники различных размеров, в зависимости от полости рта пациента. Помимо этого, эти наконечники подвергаются стерилизации в автоклаве, что предупреждает распространение инфекции. В оптической системе сканера применена технология антизапотевания (рис. 6).

Сканирование в режиме реального времени может выполняться как для одного зуба, так и для полной дуги. Данные выводятся в STL формате. Программное обеспечение для PlanScan<sup>TM</sup> может быть установлено на ПК с операционными системами Mac OS и Windows.

В данной системе используется метод триангуляции. Источник света – лазер. Головка сканера при непосредственном исследовании должна отстоять от



поверхности зубов на 15-20 мм. При этом скорость записи более 10 3D данных в секунду, с погрешностью в точности менее 25 микрон.

### **TRIOS™ от 3Shape A/S (Дания).**

В декабре 2010 года 3Shape анонсировала внутриротовой сканер под названием TRIOS™, который был презентован на Международной Стоматологической Выставке (IDS) в марте 2011 года в Кельне, Германия (рис. 7) [23].

А в марте 2013 года, компания представила TRIOS Color solution, с помощью которого можно получать изображение в натуральном цвете. Система TRIOS™ работает по принципу конфокальной микроскопии. Она не требует использования порошка.

Во время процедуры сканирования, головка рукоятки должна плавно перемещаться, немного отстоя от поверхностей зубов. В нее интегрирован механизм антизопотевания, что способствует оптимальной визуализации. Для предотвращения распространения инфекций, головка сканера обрабатывается в автоклаве.

Получение изображения происходит в режиме реального времени. Запись данных производится в формате STL.

Система позволяет получать цифровые оттиски под коронки, мосты, вкладки, накладки, виниры, и коронки на имплантатах.

### **Condor – MFI (Бельгия).**

Новый интраоральный сканер, разработанный под началом профессора Duret, основоположника CAD/CAM технологии. Система является открытой и не требует применения порошка. Рукоятка камеры имеет маленькие размеры. Сканер был впервые представлен на международной выставке IDS в марте 2013 года в Кельне, Германия.

### **Bluescan-I - A-tron3d (Австрия).**

Bluescan-I имеет размеры 25 X 22 X 216 мм и вес наконечника (без кабеля) 50 г. Дизайн выработан по аналогии с рукояткой зубной щетки. Он не требует калибровки и технического обслуживания, устойчив к стерилизации [35] (рис. 8).

Во время процесса сканирования головка может касаться поверхности зубов, либо отстоять на 20 мм. Площадь области (на расстоянии 5 мм): 21 x 17 мм. Получение данных происходит в режиме реального времени (8-15 кадров в секунду). Источник света: ультрафиолетовый импульс. Для сканирования не требуется особенной подготовки зубов и нанесения на их поверхность порошка. Время, требуемое для исследования полной дуги – 4 мин. Формат получаемых данных - STL файлы, или любые другие форматы, в зависимости от пожеланий. Программное обеспечение сканнера может быть установлено на ПК с операционной системой Windows 7 (64-бит). Передача данных осуществляется с помощью USB 2.0.

### **ЕПОscan - Steinbichler Optotechnik GmbH (Германия).**

В марте 2013 года на международной выставке IDS в Кельне был представлен интраоральный сканер ЕПОscan (рис. 9). Длина рукоятки 200 мм, вес 40 г без кабеля. Размеры головки 10 x 26 мм.

В данной системе используется светодиодная технология (BLUE-LED). Принцип измерения - случайная корреляция. Точность аппарата составляет около 25 микрон [12]. Процесс обработки данных занимает примерно 5 секунд. Система находится в разработке.

### **Оптик-ДЕНТ – ВНИИОФИ (Россия).**

В нашей стране профессором Левиным Г. Г. (д.т.н., проф., нач. лаборатории Всероссийского научно-исследовательского института оптико-физических измерений, ВНИИОФИ) был разработан и запатентован способ оптического измерения формы поверхности трехмерного объекта [1], что привело к появлению отечественной САD/САМ-системы „Оптик-ДЕНТ” [3, 4, 2] (рис. 10). Это кабинетная мини-система, предназначенная для изготовления вкладок, виниров, коронок, каркасов протезов. Оптик-ДЕНТ включает: внутриротовую видеокамеру для бесконтактного измерения формы поверхности препарированного зуба или гипсовой модели; компьютерную моделировочную часть, программное обеспечение которой позволяет произвести виртуальную реставрацию; фрезеровочный станок. Внутриротовая камера для системы Оптик-ДЕНТ имеет короткое время съемки и импульсное освещение, что значительно

нивелирует фактор дрожания руки при съемке. Размеры камеры составляют 48×65×255 мм (ширина × высота × длина) [40]. Компьютерная программа системы содержит библиотеку 3D-моделей зубов; средства редактирования 3D-поверхности (перемещение, деформация, просмотр сечений, масштабирование, вращение, локальное редактирование поверхности); цифровое моделирование реставрации.

В качестве обобщения вышеизложенной информации предлагаем рассмотреть следующую сравнительную таблицу представленных интраоральных сканеров, составленную на основании исследования доктора S. Logozzo [27], и дополненную нами (таб.2).

Таблица 2. Сравнительная таблица интраоральных сканеров. [27]

Интраоральный Сканер	Компания производитель	Принципы работы	Источник излучения	Тип получаемого изображения	Необходимость покрытия сканируемой поверхности порошковым	Формат вывода данных
CEREC® AC Bluecam	Sirona Dental System GmbH (Германия)	Активная триангуляция и конфокальная микроскопия	Видимый голубой свет	Множественное изображение	Да – диоксид титана	Разработка производителя
CEREC Omnicam	Sirona Dental System GmbH	Полноцветное непрерывное изображение	Не разглашается	Постоянный поток данных, объединяя	Нет	Разработка производителя

	(Германия)			сь, образует 3D модель		
iTero	Cadent LTD (Израиль)	Параллельная конфокальная микроскопия	Красный лазер	Множество	Нет	Разработка производителя и STL
E4D	D4D Technologies, LLC (США)	Оптическая когерентная томография и конфокальная микроскопия	Лазер	Множество	В зависимости от случая	Разработка производителя
Lava™ C. O. S.	3M ESPE (США)	Активный отбор проб волнового фронта	Пульсующий видимый голубой свет	Видео	Да – диоксид титана	Разработка производителя
True Definition	3M ESPE (США)	Не разглашается	Не разглашается	Не разглашается	Да	STL
IOS FastScan	IOS Technologies, INC. (США)	Активная триангуляция и принцип Шаймпфлюга	Лазер	3 изображения	Да	STL
DENSYS 3D	Densys LTD. (Израиль)	Активная стереофотограмметрия	Видимый свет	2 изображения	Не разглашается	ASCII, STL
DPI – 3D	Dimensional Photonics International, INC. (США)	Принципы интерферометрии (AFI)	Длина волны 350-500 нм	Множество изображений	Нет	Не разглашается
3D Progress	МНТ S. P. A. (ИТ) – МНТ	Конфокальная микроскопия и муаровый	Не разглашается	3 изображения	В зависимости от случая	STL

	Optic Research AG (CH)	эффект				
PlanScan™	Planmesa (Финляндия)	Триангуляция	Лазер	Множество изображений	Нет	STL
trios	3Shape A/S (Дания)	Конфокальная микроскопия	Не разглашается	Множество изображений	Нет	STL
Condor	MFI (Бельгия)	Не известно	Не известно	Не известно	Не известно	Не известно
Bluescan-I	A-tron3d (Австрия)	Не разглашается	ультрафиолетовый импульс	Множество изображений	Нет	STL
Elioscan	Steinbichler Optotechnik GmbH (Германия)	случайная корреляция	светодиодная технология (BLUE-LED)	Не известно	Нет	Не известно
ОптикДент	ВНИИОФИ (Россия)	Метод четырехракурсной проекции параллельных полос в конусных лучах	Многоракурсное освещение	Четыре изображения объекта с проецированными полосами, по которым осуществляется реконструкция 3D поверхности объекта	Не известно	Не известно

В ряде институтов были проведены независимые исследования по точности интраоральных сканеров. По данным исследования доктора А. Ender и профессора А. Mehl (2011, Zurich, Switzerland) [18], было выявлено, что правильность гипсовой модели (гипс IV типа), отлитой по оттиску, полученному Impregum Penta и металлической оттискной ложкой, составляет  $55 \pm 21,8$  микрон, а прецизионность:  $61,3 \pm 17,9$  микрон. Правильность цифрового оттиска системы Lava COS:  $40,3 \pm 14,1$  микрон, прецизионность:  $60,1 \pm 31,3$  микрон. Правильность цифрового оттиска системы Cerec BlueCam:  $49 \pm 14,2$  микрон, прецизионность:  $30,9 \pm 7,1$  микрон. Значения правильности в каждой группе находятся в пределах очень близких друг к другу, от 40 до 50 микрон. Что показывает незначительные различия между ними. Значения прецизионности все же превышали значения правильности в группах, полученных оттискным материалом Impregum и системой Lava COS. Поэтому, результаты измерений были представлены в широком диапазоне значений по отношению к первоначальному у исходной модели. В противопоставление этому, расхождения в группе системы Cerec BlueCam невелики. Прецизионность в этой системе значительно выше, чем в остальных по данным исследования.

В аналогичном исследовании точности цифрового оттиска полной дуги (А. Mehl, 2013) [19], была изготовлена стальная модель зубов, которая была измерена исследуемым интраоральным сканером (в результате чего была получена эталонная цифровая модель). По стальной модели были сняты оттиски и были отлиты гипсовые модели из гипса IV типа, затем они были отсканированы и

получены их цифровые модели. Также, были сделаны цифровые оттиски эталонной модели и созданы её виртуальные модели. Измерение точности проводилось путем наложения цифровых моделей для каждой группы. Наложение цифровых моделей на эталонную цифровую модель показало правильность каждого из методов получения оттиска. Были получены следующие результаты - исследуемый сканер показал высокую точность отображения полной зубной дуги со значениями прецизионности  $1,6 \pm 0,6$  микрон, и правильности  $5,3 \pm 1,1$  микрон . Оттиски, полученные традиционными методами, показали значительно более высокую прецизионность ( $12,5 \pm 2,5$  микрон) и правильность ( $20,4 \pm 2,2$  микрон), с небольшими отклонениями в области моляров. Цифровые оттиски были значительно менее точными с прецизионностью  $32,4 \pm 9,6$  микрон и правильностью  $58,6 \pm 15,8$  микрон. Большинство систематических отклонений цифровых моделей были видимы на протяжении всей зубной дуги.

Исследователи Paul Seelbach , Cora Brueckel и Bernd Wöstmann (2012, Germany) пришли к выводу, что допустимый краевой зазор и прилегание коронок, изготовленных по цифровым оттискам, сопоставимы с таковыми, изготовленными с помощью традиционных методов получения оттисков (табл. 3) [31]. Краевым прилеганием называют соответствие краев литой коронки и отпрепарированного зуба в области уступа. Хорошее краевое прилегание констатируют при расположении края коронки у границы препарирования, переход к неотпрепарированной поверхности зуба должен быть незаметным. На практике, даже при наилучших условиях адаптации, между краем коронки и



областью уступа существует зазор. В данном исследовании проводилось измерение самого большого отклонения от радиуса оригинальной матрицы в качестве метода определения краевого зазора.

Таблица 3. Результаты исследования краевого прилегания цельнокерамических коронок, изготовленных с помощью цифровых и стандартных методов получения оттисков. [31]

Метод получения оттиска	Материал	Допустимый краевой зазор (микрон)	Прилегание (микрон)
Cerec	Empress CAD	30 ( $\pm 17$ )	88 ( $\pm 20$ )
Lava C.O.S.	Lava zirconia	48 ( $\pm 25$ )	29 ( $\pm 7$ )
iTero	Copran Zr-i	41 ( $\pm 16$ )	50 ( $\pm 12$ )
Одноэтапный двухслойный оттиск	Lava zirconia	33 ( $\pm 19$ )	36 ( $\pm 5$ )
Одноэтапный двухслойный оттиск	Cera E alloy	38 ( $\pm 25$ )	44 ( $\pm 22$ )
Двухэтапный двухслойный оттиск	Lava zirconia	60 ( $\pm 30$ )	35 ( $\pm 7$ )
Двухэтапный двухслойный оттиск	Cera E alloy	68 ( $\pm 29$ )	56 ( $\pm 36$ )

При исследовании точности внутриротового сканера Cerec BlueCam, профессор А.Mehl с соавторами (2009) [20] сообщили о том, что расхождение полученного цифрового оттиска с размерами исходного шаблона, составило  $19.2 \pm 5.9$  микрон при сканировании только отпрепарированного зуба. Что доказало достаточную точность системы.

### **Заключение.**

Актуальность технологии внутриротового сканирования и ее большая перспектива обуславливают бурный к ней интерес и неуклонное развитие. На сегодняшний день список интраоральных сканеров не так уж и мал, приведенные выше, лишь основные из них. Уже сейчас на рынке появляется все больше новых моделей внутриротовых сканеров. Меняется дизайн, способ и сама методика получения изображения. Системы становятся более удобными как для врача, так и для пациента. В связи с этим научные исследования по отслеживанию и сравнению технических характеристик разных сканеров зачастую не успевают за столь быстрым развитием данной отрасли, на что указывает небольшое количество публикаций на эту тему.

## Литература

1. Левин Г.Г., Вишняков Г.Н., Лоцилов К.Е. Способ оптического измерения формы поверхности трехмерного объекта (варианты) //Патент RU2232373. 2004. – №19.
2. Левин Г.Г., Вишняков Г.Н., Лоцилов К.Е., Ибрагимов Т.И., Лебедеенко И.Ю., Цаликова Н.А. Современные стоматологические CAD/CAM системы с интраоральными 3D профилометрами //Измерительная техника. 2010. – №2. – С.52-54.
3. Лоцилов К.Е., Сухоруков К.А., Пирогов В.В., Пирогов И.В. Метод создания цифровых 3D-моделей зубов для стоматологического CAD/CAM-комплекса //14-я конференция «Фотометрия и ее метрологическое обеспечение» Тезисы докладов. М., ВНИИОФИ. 2004. – С.131-133.
4. Лоцилов К.Е. Стоматологический CAD/CAM-комплекс «OptikDent» //Измерительная техника. 2006. – № 12. – С. 58-61.
5. Ряховский А.Н. «Цифровая стоматология». М.: ООО «Авантис», 2010. – 282 с.: ил.
6. Babayoff N and Glaser-Inbari I, inventors: Imaging a three-dimensional structure by confocal focussing an array of light beams. International Publication WO 00/08415; 2000, Feb 17.

7. Babayoff N and Glaser-Inbari I, inventors: Method and apparatus for imaging three-dimensional structure. US Patent 2007/0109559; 2007, May 17.
8. Babayoff N, inventor: Method and apparatus for colour imaging a three-dimensional structure. US Patent 2010/0208275 A1; 2010, Aug 19.
9. Berner M, inventor: Optical system for a confocal microscope. US Patent 2010/0085636 A1; 2010, Apr 8.
10. Birnbaum NS, Aaronson HB, Stevens C, Cohen B: 3D Digital Scanners: A High-Tech Approach to More Accurate Dental Impressions. *Inside Dentistry*; 2009; 5: 70-74.
11. Brandestini M, Moermann WH, inventors: Method and apparatus for the three dimensional registration and display of prepared teeth. US Patent 4837732; 1989.
12. Concept Elioscan intraoral scanner CG 20\_03\_2013.pdf
13. Dillon RF, Zhao B, Judell NHK, inventors: Intra-oral three-dimensional imaging system. International Publication WO 2009/058656 A1; 2009, May 7.
14. Duret, F., *Empreinte Optique*, in *Faculté d'Ondontologie*. 1973, Université Claude Bernard: Lyon. p. 400.

15. Duret F and Termoz C, inventors: Method of and apparatus for making a prosthesis, especially a dental prosthesis. US Patent 4663720; 2010 May 5.

16. Durbin DM, Durbin DA, inventors: Systems and methods for 3D previewing. US Patent 2009/033108 A1; 2009, Mar 12.

17. Durbin DM, Durbin DA, Dymek MJ, Warden L, inventors: 3D dental shade matching and apparatus. US Patent 2009/0133260 A1; 2009, May 28.

18. Ender A, Mehl A: Full arch scans: conventional versus digital impressions – an in-vitro study. International Journal of Computerized Dentistry 2011; 14: 11-21.

19. Ender A, Mehl A: Accuracy of complete-arch dental impressions: A new method of measuring trueness and precision. J Prosthet Dent 2013;109:121-128.

20. Ender A, Mehl A, Mörmann W, Attin Th: Accuracy Testing of a New Intraoral 3D Camera. International Journal of Computerized Dentistry 2009; 12: 11-28.

21. Ernst MM, Neta U, Cohen C, Geffen M, inventors: Three-dimensional modeling of the oral cavity. US Patent 2008/0273773 A1; 2008, Nov 6.

22. Faulstich A, inventor: Optical projection grid, scanning camera comprising an optical projection grid and method for

generating an optical projection grid. US Patent 2010/0026963 A1; 2010.

23. Fisker R, Öjelund H, Kjær R, Van Der Poel M, Qazi AA, Hollenbeck KJ, inventors: Focus scanning apparatus. International Publication WO 2010/145669 A1; 2010, Dec 23.

24. Harrison L: Digital impressions competition booming. DrBicuspid.com; 2009, March 31: <http://www.drbcuspid.com/index.aspx?sec=sup&sub=rst&pag=dis&ItemID=301650>

25. Hart DP, Lammerding J, Rohaly J, inventors: 3-D Imaging System. US Patent 2004/0155975 A1; 2004, Aug 12.

26. Jacobson B: Taking the headache out of impressions. Dentistry Today 2007; 26(9):74-76

27. Logozzo S., G. Franceschini, A. Kilpelä, M. Caponi, L. Governi, L. Blois: A Comparative Analysis Of Intraoral 3d Digital Scanners For Restorative Dentistry. *The Internet Journal of Medical Technology*. 2011 Volume 5 Number 1. DOI: 10.5580/1b90

28. Quadling H, Quadling M, Blair A, inventors: Laser digitizer system for dental applications. US Patent 2010/0060900 A1; 2010, Mar

29. Schwotzer A, inventor: Measuring device and method that operates according to the basic principles of confocal microscopy. US Patent 2007/0296959; 2007.

30. Schmidt V, inventor: 3D dental camera for recording surface structures of a measuring object by means of triangulation. International Publication WO 2010/012838 A1; 2010.

31. Seelbach P, Brueckel C, Wöstmann B: Accuracy of digital and conventional impression techniques and workflow. Clin Oral Invest DOI 10.1007/s00784-012-0864-4.

32. Shirley LG, Mermelstein MS inventors: Apparatus and methods for surface contour measurement. US Patent 5870191; 1999, Feb 9.

33. Thiel F, Pfeiffer J, Fornoff P, inventors: Apparatus and method for optical 3D measurement. International Publication WO 2008/092791 A1; 2008.

34. Trissel RG, inventor: Polarizing multiplexer and methods for intra-oral scanning. US Patent 2007/0047079 A1; 2007, Mar 1.

35. <http://www.a-tron3d.com/en/products/id-3d-intraoral-scanner.html>

36. [http://www.cerecwerx.com/cerec\\_photos.html](http://www.cerecwerx.com/cerec_photos.html)

37. <http://www.gosthelp.ru/gost/gost2995.html>

38. <http://www.sirona.com/ecomaXL/index.php?site=SIRON>  
A\_COM\_cerec\_nl\_2009-01
39. [http://solutions.3m.co.za/wps/portal/3M/en\\_ZA/3M-ESPE/dental-professionals/solutions/dental-lab/lava-cos/](http://solutions.3m.co.za/wps/portal/3M/en_ZA/3M-ESPE/dental-professionals/solutions/dental-lab/lava-cos/)
40. <http://www.vniiofi.ru/depart/m44/3d-oral.html>