

А. Эндер, М. Циммерманн, А. Мехл

Точность полных и частичных оттисков по данным интраорального сканирования in vitro

Аннотация

Цель: Интраоральные сканеры (ИОС) широко используются для получения цифровых слепков у пациента. Кроме того, усовершенствование ИОС происходит с каждым новым поколением. Цель этого исследования состояла в оценке точности новых ИОС для полных и частичных оттисков челюстей in vitro.

Материалы и методы. Полная модель верхней челюсти, изготовленная с помощью оттиска, снятого индивидуальной ложкой, с зубами из керамики на основе полевого шпата, использовалась в качестве эталонной модели; с нее был снят оттиск эталонным сканером (ATOS III Triple Scan MV60). Одна традиционная техника снятия оттиска с использованием поливинилсилоксанового (ПВС) материала (President) служила контролем (КО), и восемь различных ИОС, включающих различные аппаратные и программные конфигурации (TRn: Trios 3; TRi: Trios 3 insane; CS: Carestream Dental CS 3600; MD: Medit i500; iT: iTero Element 2; OC4: Cerec Omnicam 4.6.1; OC5: Cerec Omnicam 5.0.0; PS: Primescan) использовались для получения полных оттисков с эталонной модели. Оттиски повторялись 10 раз ($n = 10$) для каждой группы. Обычные оттиски заливали гипсом типа IV и получали их цифровые изображения с помощью лабораторного сканера (inEos X5). Все наборы данных были получены в формате файла стандартного языка тесселирования и для соответствующего анализа разрезаны на области полной зубной дуги, переднего сегмента или заднего сегмента. Значения достоверности и точности для соответствующих областей были оценены с использованием трехмерного (3D) метода наложения зубов со специальным программным обеспечением для 3D-разностного анализа (GOM Inspect) с использованием значений (90-10)/2 процента. Статистический анализ проводился с использованием однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) или критерия Краскела-Уоллиса ($\alpha = 0.05$). Результаты приведены в виде значений медианы и межквартильного размаха в мкм. Результаты: Статистически значимые различия были обнаружены между контрольными группами для методов полного и частичного оттиска in vitro ($p < 0,05$). Значения для полного оттиска варьировались от 16,3 [2,8] мкм (КО) до 89,8 [26,1] мкм (OC4) для точности in vitro и от 10,6 [3,8] мкм (КО) до 58,6 [38,4] мкм (iT) для точности in vitro. Наилучшие значения точности частичных оттисков были получены для заднего

сегмента: 9,7 [1,2] мкм для традиционного оттиска (КО) и 21,9 [1,5] мкм (PS) для цифрового оттиска.

Заключение: В рамках данного исследования цифровые оттиски, полученные с помощью данных ИОС, являются действительной альтернативой обычным оттискам для сегментов с частичной дугой. Полные оттиски все еще сложны для ИОС; однако, было доказано, что некоторые системы имеют необходимый диапазон для клинического качества. Для подтверждения этих результатов необходимы дальнейшие исследования in vivo.

Ключевые слова: интраоральный сканер, цифровой оттиск, традиционный оттиск, точность, четкость, достоверность

Введение

Цифровой оттиск альвеолярной дуги с использованием интраоральных сканеров (ИОС) представляет собой рентабельный подход для получения цифровых моделей зубов непосредственно от пациента. По сравнению с традиционными методами снятия оттиска с использованием слепочных материалов, методы цифрового оттиска предлагают несколько преимуществ, таких как легкая воспроизводимость оттиска, прямая визуализация модели, лучшая экономия времени и возможность выполнения у кресла пациента для реставраций CAD/CAM (компьютерное моделирование / компьютерное управление процессами изготовления индивидуальной продукции в стоматологии).¹⁻⁵ Интраоральные сканеры могут быть далее использованы для получения цифровых оттисков с использованием опций комплексирования данных с другими цифровыми наборами данных, такими как конусно-лучевая компьютерная томография (КЛКТ) и сканы лица.^{6,7} Трехмерный (3D) разностный анализ, основанный на интраоральном сканировании, продемонстрировал большой потенциал с точки зрения мониторинга пациента.^{8,9} Тот факт, что точность цифровых оттисков была предметом нескольких недавних исследований, демонстрирует, что все еще существует потребность в научных доказательствах в этой области. Для областей с коротким промежутком, таких как области с одним зубом, и областей с частичной дугой, например, области с квадрантом и секстантом, было продемонстрировано, что цифровые оттиски имеют диапазон точности,



Рис. 1 Полная модель верхней челюсти, изготовленная с помощью оттиска, снятого индивидуальной ложкой, с зубами из керамики на основе полевого шпата (Cerec Blocs; Dentsply Sirona), использовалась в качестве эталонной модели.

аналогичный обычным оттискам с использованием высокоточных материалов.¹⁰⁻¹² В больших областях, таких как полная зубная дуга, была продемонстрирована необходимость улучшения ИОС для достижения уровней точностей, как у традиционных оттисков.¹³⁻¹⁷

Сообщалось также о недостатках цифровых оттисков с ИОС, как для клинических ситуаций беззубой челюсти, так и в случае установки большого количества имплантатов.¹⁸⁻²⁰

Точность определяется двумя независимыми факторами: достоверностью и четкостью.²¹ Достоверность проверяют путем сравнения исходной геометрии, т. е. эталонной гипсовой рабочей модели с цифровой моделью, в то время как точность проверяют методом внутригруппового сравнения цифровых моделей.²¹ Модели необходимы, чтобы гарантировать точную посадку стоматологических реставраций и правильную виртуальную артикуляцию моделей.^{22,23}

В литературе были описаны различные методы для оценки точности ИОС. Описаны не прямые подходы, такие как оценка посадки реставрации.^{24,25} Описаны также прямые подходы с помощью линейных измерений геометрии зубной дуги или трехмерных сравнений поверхностей после коррекции с наилучшей посадкой, которые чаще всего используются для оценки точности.²⁶⁻²⁸ Важно подчеркнуть, что правильный метод для измерения точности должен быть выбран в зависимости от соответствующего интереса, поскольку не существует единого подхода, который описывает все соответствующие факторы. Интерпретация результатов измерений точности всегда должна основываться на очень специфических знаниях и предположениях в сочетании с глубоким пониманием правильного статистического анализа данных.

Существуют хорошо известные расхождения в измерениях точности между исследованиями точности *in vitro* и *in vivo* с использованием ИОС.^{29,30} Такие факторы, как характеристики поверхности сканируемых объектов, факторы среды ротовой полости и движения пациента, могут отрицательно влиять на точность измерений ИОС *in vivo*.^{31,32} Определение параметра достоверности *in vivo* затруднено, поскольку отсутствует геометрия эталона. Исследования *in vitro*, таким образом, дают представление о возможной точности ИОС и могут облегчить получение большей достоверности в условиях *in vivo*.³³⁻³⁵ Цель настоящего исследования состояла в том, чтобы оценить точность новых и современных цифровых и традиционных методов получения оттиска *in vitro* для полной и частичной зубной дуги с использованием индивидуальной модели, имитирующей условия, подобные *in vivo*, с точки зрения поверхностей зубов и оптических характеристик. Нулевая гипотеза этого исследования состояла в том, что нет статистически значимых различий между различными методами получения оттисков для сегментов полной и частичной зубной дуги.

Материалы и методы

Для оценки точности *in vitro* в качестве эталонной модели использовалась полная модель верхней челюсти с непарированными зубами, изготовленная с помощью оттиска, снятого индивидуальной ложкой. Зубы были изготовлены из керамики на основе полевого шпата (Cerec Blocs; Dentsply Sirona) для имитации оптических свойств естественных зубов (Рис. 1).^{32,36,37} Эталонный слепок был отсканирован с помощью эталонного сканера высокого разрешения (ATOS III Triple Scan MV60; GOM) для получения высокоточной цифровой эталонной модели.¹¹

В этом исследовании использовались восемь различных ИОС, включающих разные аппаратные и программные комбинации: Trios 3 Pod v. 1.18.2.6 (3Shape) с использованием режима нормальной скорости сканирования (TRn); Trios 3 Pod v. 1.18.2.6 (3Shape) с использованием режима высокой скорости сканирования (TRi); Carestream Dental CS 3600 v. 3.1.0 (Carestream Dental [CS]); Medit i500 v. 1.2.1 (Medit [MD]); iTero Element 2 v. 1.7 (Align Technology [iT]); Cerec Omnicam v. 4.6.1 (Dentsply Sirona [OC4]); Cerec Omnicam v. 5.0.0 (Dentsply Sirona [OC5]); и Primescan v. 5.0.0 (Dentsply Sirona [PS]). Сканирование модели полной зубной дуги повторяли 10 раз для каждой группы (n = 10), используя рекомендованные производителем режимы сканирования. Все сканы были экспортированы в двоичный файл STL со стандартным языком тесселяции для дальнейшей обработки.

Традиционные оттиски с эталонной модели были получены с помощью металлических оттисковых ложек (ASA Perma-Lock; ASA Dental), покрытых универсальным адгезивом VPS (Coltène AG), с использованием материала на основе поливинилсилоксана (ПВС) (вязкий материал для оттиска President 360 и корригирующая масса President; Coltène AG), используя

Таблица 1 Тестовые группы с соответствующими методами снятия оттисков и программным обеспечением, используемым для создания файлов моделей STL

Контрольная группа	Система	Программное обеспечение	Методика получения оттиска	Последующая обработка
Контроль	Вязкий материал для оттиска President 360 + корригирующая масса President		Стандартная металлическая ложка Адгезив для слепочных ложек для материалов на основе ПВХ Время застывания: 10 минут Время хранения оттисков до заливки гипсом: 8 часов Время хранения моделей до получения цифрового оттиска: 24 часа	Заливка гипсом типа IV, получение цифрового оттиска inEos X5, прямой экспорт в STL
TRn	Trios 3 режим нормальной скорости сканирования	Trios программное обеспечение v. 1.18.2.6	Рекомендовано производителем (https://www.youtube.com/watch?v=M_KbWcCianY) (Руководство по эксплуатации)	Прямой экспорт в STL
TRi	Trios 3 режим высокой скорости сканирования	Trios программное обеспечение v. 1.18.2.6	Рекомендовано производителем (https://www.youtube.com/watch?v=M_KbWcCianY) (Руководство по эксплуатации)	Прямой экспорт в STL
CS	Carestream CS 3600	CS IO 3D Сбор данных с помощью программного обеспечения v. 3.1.0	Рекомендовано производителем (https://www.dmiequipment.ie/wp-content/uploads/2017/06/CS3600-User-Manual.pdf) (Руководство по эксплуатации)	Прямой экспорт в STL
MD	Medit i500	Medit Link v. 1.2.1	Рекомендовано производителем (https://www.youtube.com/watch?v=-XMgOdb3-ww) (Руководство по эксплуатации)	Прямой экспорт в STL
iT	iTero Element 2	iTero Element программное обеспечение v. 1.7	Рекомендовано производителем (http://storage-itero-production-eu.s3.amazonaws.com/download/en-us/iTero-Element-Restorative-Guidebook.pdf) (Руководство по эксплуатации)	Прямой экспорт в STL
OC4	Cerec Omnicam	Cerec программное обеспечение v. 4.6.1	Рекомендовано производителем (https://manuals.sirona.com/home.HomeDmsDocument.download.html?id=21927) (Руководство по эксплуатации)	Прямой экспорт в STL
OC5	Cerec Omnicam	Cerec программное обеспечение v. 5.0.0	Рекомендовано производителем (Руководство по эксплуатации)	Прямой экспорт в STL
PS	Primescan	Cerec программное обеспечение v. 5.0.0	Рекомендовано производителем (Руководство по эксплуатации)	Прямой экспорт в STL

одноэтапный способ получения двойного оттиска (метод сэндвича). Это является контрольной группой (КО). Время застывания слепочного материала составляло 10 минут, а время хранения оттисков до заливки гипсом типа IV (Fujirock EP; GC Corporation) составляло 8 часов.

Залитые гипсом модели хранили в течение 24 часов, и затем последовательно получали цифровые оттиски с помощью лабораторного экстраорального сканера (inEos X5; Dentsply Sirona). Традиционные оттиски повторялись 10 раз (n = 10). Опять же, все данные сканирования были экспортированы в двоичные файлы STL. В таблице 1 приведены процедуры оттиска для всех испытуемых групп. Онлайн-ссылки на соответствующие используемые режимы сканирования доступны в таблице. Все другие режимы сканирования можно

найти в руководствах пользователя соответствующих производителей.

В настоящем исследовании для оценки точности цифровых и традиционных оттисков использовались три различных области интереса: полная дуга (зуб 17 - зуб 27); передний сегмент (зуб 14 - зуб 24); и задний сегмент (зуб 13 - зуб 17). Соответствующие области были выбраны из цифрового набора данных полной зубной дуги, полученного для каждой группы из цифровой мастер-модели полной зубной дуги (Рис. 2). (GOM Inspect 2018 rev. 114010; GOM).

Оценка точности началась с наложения сканов в соответствии с методом коррекции для наилучшего соответствия (GOM Inspect 2018 rev. 114010). После наложения 3D расстояния были рассчитаны для каждой точки поверхности и проана-

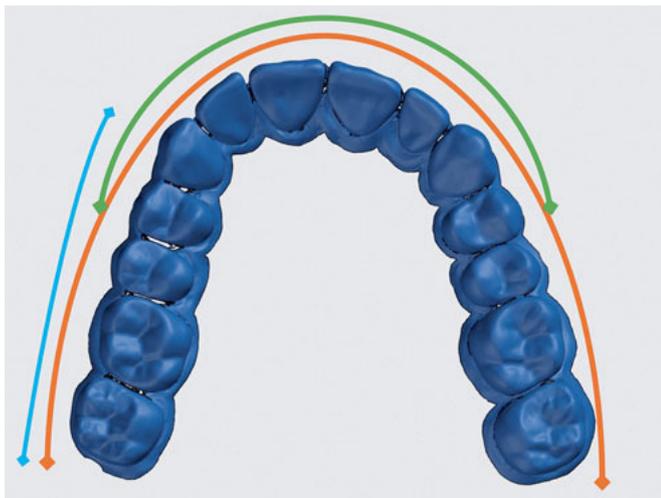


Рис. 2 Цифровая эталонная модель (ATOS III Triple Scan MV60). Цветными линиями обозначены области, представляющие интерес для оценки точности *in vitro*: оранжевый - сегмент полной зубной дуги (зуб 17 - зуб 27), зеленый - передний сегмент (зуб 14 - зуб 24), синий - задний сегмент (зуб 13 - зуб 17).

лизированы с помощью программного обеспечения для 3D разностного анализа (GOM Inspect 2018 rev. 114010). Значения достоверности (сравнение с эталонным сканированием; $N = 10$) и точности (внутригрупповые сравнения; $N = 45$) для каждой группы и для каждой соответствующей области были рассчитаны с использованием значений $(90-10)/2$ процентиля. Результаты были оценены с использованием статистического программного обеспечения (SPSS 25; IBM), и значения описательной статистики были даны как медиана с соответствующим межквартильным размахом и среднее \pm стандартное отклонение (СО) (все значения в мкм). Нормальное распределение и равенство дисперсии были проверены с помощью критериев Шапиро-Уилка и Левена. Статистически значимые различия затем рассчитывали, используя либо критерий Краскела-Уоллиса для аномальных распределенных данных, либо односторонний дисперсионный анализ (ANOVA) с помощью специального критерия Даннетта Т3 для нормальных распределенных данных (критический уровень значимости $\alpha = 0,05$).

Результаты

Результаты для методов полного и частичного оттиска *in vitro*, включая статистический анализ, показаны на рисунке 3 и в таблице 2 как медиана с межквартильным размахом и средним \pm стандартным отклонением (СО) в мкм. Значения достоверности варьировались от 16,3 [2,8] мкм (КО) до 89,8 [26,1] мкм (ОС4) для оттисков полных дуг, от 14,3 [2,3] мкм (КО) до 68,4 [10,9] мкм (MD) для переднего сегмента, и от 9,7 [1,2] мкм (КО) до 46,8 [4,9] мкм (MD) для заднего сегмента.

Значения достоверности варьировались от 10,6 [3,8] мкм (КО) до 58,6 [38,4] мкм (iT) для оттисков полных дуг, от 7,8 [1,4] мкм (КО) до 39,0 [18,3] мкм (MD) для переднего сегмента, и от 6,6 [1,4] мкм (КО) до 21,5 [8,6] мкм (CS) для заднего сегмента.

Традиционные оттиски (КО) показали значительно более высокую точность (16,3 [2,8] мкм) и точность (10,6 [3,8] мкм), чем все испытанные ИОС для полных оттисков. ИОС показали большую вариабельность с точки зрения достоверности и точности для сегментов полной и частичной дуги. При применении ИОС группа PS показала более высокую достоверность (32,4 [9,8] мкм) для оттисков полной дуги со статистически значимыми отличиями от всех других групп ИОС, кроме TRi. В передних сегментах самые низкие отклонения относительно достоверности для ИОС были также обнаружены для группы PS. В пределах заднего сегмента PS, TRi и TRn не демонстрируют статистически значимых различий с группой КО для достоверности.

Обсуждение

В этом исследовании точность нового метода цифрового оттиска и традиционного метода оттиска *in vitro* для сегментов с полной и частичной дугой была оценена с использованием новой индивидуальной модели, имитирующей условия *in vivo*. Было восемь различных ИОС, включающих различные аппаратные и программные комбинации, и один традиционный метод оттиска с использованием материала ПВХ служил контролем. Оценка точности была выполнена с использованием метода наложения, с наилучшим выравниванием цифровых моделей и разностного анализа с использованием программного обеспечения для 3D разностного анализа и значений $(90-10)/2$ процентиля. Результаты варьировались в отношении статистически значимых различий между различными тестовыми группами по точности методов полных и частичных оттисков ($p < 0,05$). На основании результатов данного исследования, нулевая гипотеза состояла в том, что нет статистически значимых различий между различными методами получения оттисков для сегментов полной и частичной зубной дуги. Результаты этого исследования обсуждаются далее в соответствии с различными аспектами.

В этом исследовании клинически приемлемые результаты для всех ИОС были получены для задних сегментов с частичной дугой с отклонениями ниже 50 мкм для всех тестируемых групп. Эти результаты подтверждают результаты предыдущих исследований и недавно опубликованных обзорных статей, рекомендующих цифровые внутриротовые оттиски в качестве подходящей альтернативы традиционным методам оттисков для этого специфического показания.³⁰

В этом исследовании наилучшие результаты для полных и частичных оттисков были получены для группы КО, для пара-

Таблица 2 Результаты для значений достоверности и точности для цифровых и традиционных оттисков с использованием метода (90-10)/2 процентиля

Группа	Точность (мкм) Медиана [межквартильный размах] и среднее значение ± стандартное отклонение процентиля (90-10)/2								
	Полная зубная дуга*			Передний сегмент*			Задний сегмент		
Контроль	16.3 [2.8]	16.2 ± 1.6	A,B,C,D,E,F,G,H	14.3 [2.3]	13.8 ± 1.7	A,B,C,D,E,F,G,H	9.7 [1.2]	9.8 ± 0.9	A,B,C,D,M
TRn	49.2 [17.1]	50.5 ± 9.6	A,I,K,L	39.3 [10.1]	37.9 ± 5.1	A,I,K,L	27.3 [2.4]	27.5 ± 1.8	E
TRi	47.8 [20.5]	51.1 ± 16.1	B,M,N	34.1 [8.1]	36.5 ± 6.7	B,M,N,O	27.1 [1.4]	27.2 ± 1.1	F
CS	57.5 [31.4]	61.4 ± 17.3	C,O,P	40.2 [5.5]	41.1 ± 5.2	C,P,Q	35.3 [5.4]	35.5 ± 2.9	A,I
MD	88.9 [28.2]	93.1 ± 20.2	D,I,M,O,Q,R,S	68.4 [10.9]	68.7 ± 9.3	D,I,M,P,R,S,T,U	46.8 [4.9]	46.8 ± 2.6	B,E,F,G,H
iT	63.3 [24.8]	60.7 ± 11.5	E,Q,T,U	39.0 [2.9]	39.4 ± 3.1	E,R,V,W	34.4 [1.8]	34.9 ± 1.6	C,K
OC4	89.8 [26.1]	87.3 ± 18.5	F,K,N,T,V	47.2 [7.9]	47.7 ± 5.6	F,K,N,S,V,X	28.5 [4.4]	28.9 ± 3.2	D,G
OC5	48.0 [12.8]	49.7 ± 8.8	G,R,V,W	40.3 [2.9]	40.1 ± 2.8	G,T,Y	36.2 [1.8]	36.4 ± 1.5	L,M
PS	32.4 [9.8]	33.9 ± 7.8	H,L,P,S,U,V,W	23.7 [3.4]	23.3 ± 2.0	H,L,O,Q,U,W,X,Y	21.9 [1.5]	22.2 ± 1.1	H,I,K,L

Группа	Точность (мкм) Медиана [межквартильный размах] и среднее значение ± стандартное отклонение процентиля (90-10)/2								
	Полная зубная дуга*			Передний сегмент*			Задний сегмент		
Контроль	10.6 [3.8]	12.0 ± 4.2	A,B,C,D,E,F,G,H	7.8 [1.4]	8.4 ± 1.8	A,B,C,D,E,F,G	6.6 [1.4]	7.0 ± 1.4	A,B,C,D,E,F,G
TRn	45.6 [38.3]	51.3 ± 22.1	A,I	25.2 [16.1]	28.6 ± 8.7	A,H,I	15.1 [1.9]	15.5 ± 1.7	A,H,I,K,L,M,N
TRi	53.7 [28.3]	57.4 ± 23.5	B,K	27.3 [8.8]	29.2 ± 7.4	B,K,L	18.2 [3.2]	18.4 ± 2.0	B,H,P
CS	55.2 [41.7]	63.2 ± 26.1	C,L,M,N	32.1 [11.5]	34.3 ± 8.5	C,M,N	21.5 [8.6]	23.3 ± 6.5	C,I,Q
MD	56.1 [35.6]	66.3 ± 26.2	D,O,P,Q	39.0 [18.3]	40.9 ± 11.8	D,H,K,O,P,Q	20.5 [4.9]	21.0 ± 2.9	D,K,R
iT	58.6 [38.4]	66.0 ± 31.0	E,R,S,T	28.5 [16.7]	33.2 ± 10.8	E,R	18.4 [15.1]	21.7 ± 7.6	E,L,S
OC4	40.0 [14.1]	41.2 ± 12.0	F,L,O,R	25.3 [4.3]	26.2 ± 4.4	F,M,O,S	17.7 [4.8]	18.8 ± 4.1	F,M,T
OC5	40.1 [22.0]	43.7 ± 15.7	G,M,P,S	27.0 [7.8]	28.8 ± 7.1	G,R,T	20.1 [1.6]	20.1 ± 1.0	G,N,U
PS	30.1 [15.8]	31.3 ± 10.3	H,I,K,N,Q,T	15.1 [4.4]	16.5 ± 4.0	I,L,N,Q,R,S,T	12.3 [2.6]	12.9 ± 2.2	P,Q,R,S,T,U

Значения указаны как медиана [межквартильный размах] и среднее значение ± CO; все значения в мкм; значения с одинаковыми заглавными буквами в одном и том же столбце указывают на статистически значимые различия (критерий Краскела-Уоллиса для аномальных распределенных данных и однофакторный дисперсионный анализ с ретроспективным анализом Даннета ТЗ для нормальных распределенных данных (*), $p < 0,05$.

метров достоверности и точности. ИОС показали наивысшую точность для задних сегментов для всех тестовых групп по сравнению с оттисками переднего сегмента и полной зубной дуги. Более высокие отклонения устройств ИОС как по параметрам достоверности, так и по параметрам точности были обнаружены для переднего сегмента по сравнению с задним сегментом, по-видимому, вызванные специфической морфологической структурой передних зубов и имеющие лишь недостаточную морфологическую информацию. Более высокие отклонения в переднем сегменте привели к снижению

точности оттиска полной дуги для ИОС. Группа PS показала более высокую достоверность со значительно меньшими отклонениями по сравнению со всеми другими группами ИОС для переднего сегмента.

В пределах заднего сегмента PS, TRi и TRn не демонстрируют статистически значимых различий с группой KO для достоверности.

Для некоторых ИОС в предыдущих исследованиях с аналогичными методами оценки сообщалось о более низких значениях с точки зрения полной достоверности *in vitro*.15,38

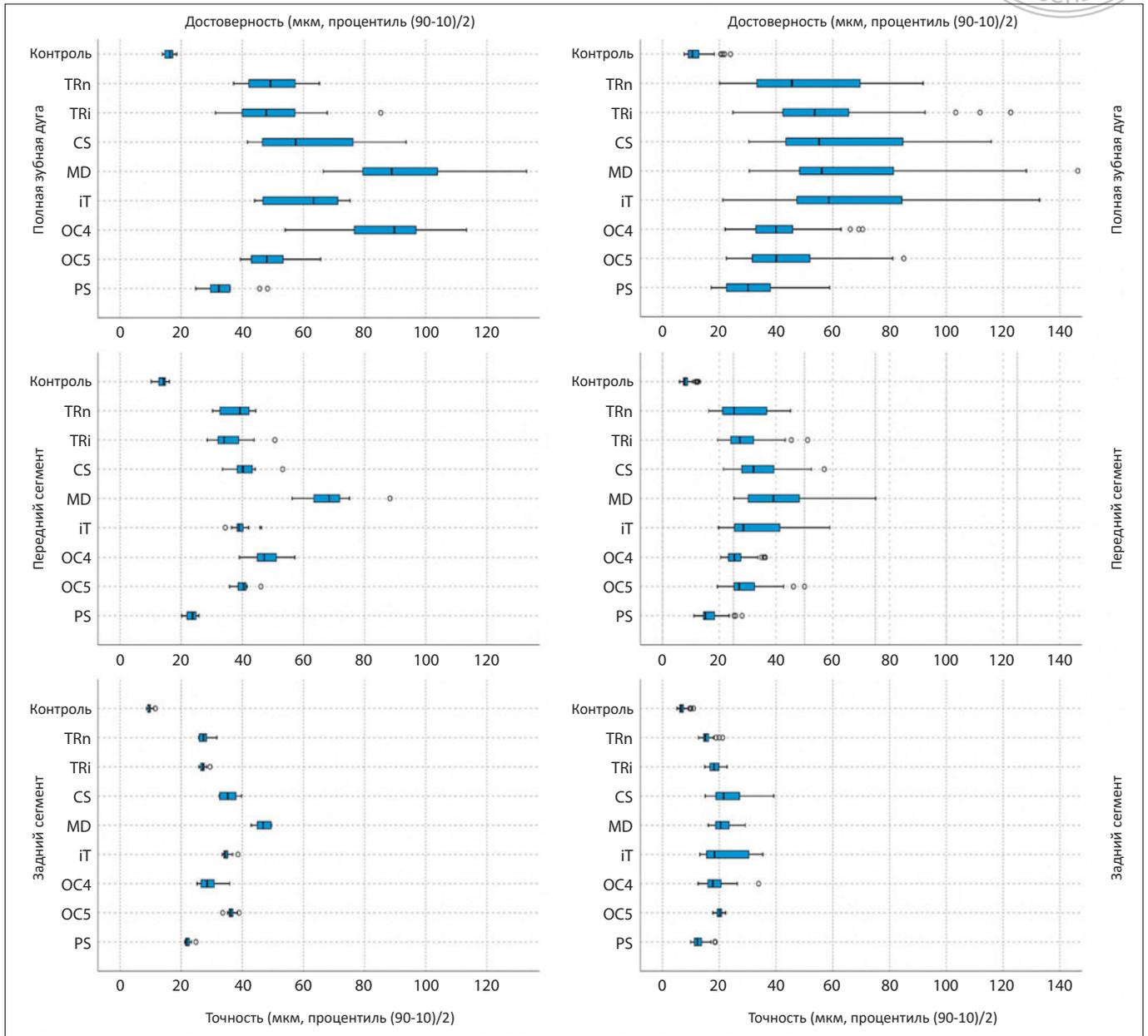


Таблица 3 Диаграммы Боксплота, показывающие значения достоверности и точности для цифровых и традиционных оттисков с использованием метода (90-10)/2 процентиля Вкладка представляет межквартильный размах [IQR]. Столбик в рамке представляет среднее значение. Для каждой группы были оценены три различных области интереса: полная зубная дуга, передний сегмент и задний сегмент.

Это может быть связано с использованием другой эталонной модели (нержавеющая сталь) с непрозрачными поверхностями зубов.^{15,38} Более высокие отклонения, наблюдаемые в настоящем исследовании, могут быть вызваны прозрачной поверхностью зубов модели, изготовленных из керамики на основе полевого шпата (Cerec Blocs). Керамика на основе полевого шпата демонстрирует естественное изображение при сканировании благодаря своей прозрачности, как

у естественного зуба.^{32,36,37} Представляется важным подчеркнуть этот факт, поскольку это может повлиять на сопоставимость различных исследований *in vitro*, в которых используются разные материалы для эталонной модели. Интересно, что результаты настоящего исследования для точности *in vitro* оттисков полной зубной дуги были в пределах того же диапазона, что и ранее опубликованные результаты для точности полной зубной дуги *in vivo* для некоторых ИОС.³⁹

В этом исследовании использовался трехмерный метод сравнения поверхностей с использованием значений (90-10)/2 процентиля, следуя четко определенному протоколу.15,40 Трудно сравнивать результаты этого исследования непосредственно с результатами других исследований, использующими разные статистические интерпретации и измерения расстояний. Существуют разные методы оценки точности зубных оттисков в зависимости от различных показателей достоверности и точности. Для подхода линейной оценки точное определение специфических точек отсчета является основным требованием. Таким образом, этот подход предпочтителен для оценки точности определенной геометрии с острыми краями или ориентирами, такими как части импланта или другие геометрические объекты. В случае поверхностей свободной формы, таких как зубы и анатомические структуры, эта процедура обычно не рекомендуется. Таким образом, 3D-методы сравнения поверхностей используются для реальных сравнений поверхностей свободной формы, таких как естественная морфология поверхности зуба, которая включает тысячи линейных измерений расстояния до поверхности. Наложение цифровых моделей с алгоритмами наилучшего соответствия является стандартной процедурой для 3D сравнений поверхностей. Однако существует также несколько различных способов суммирования значений расхождения 3D, которые являются результатом точечных вычислений расстояния наложенных поверхностей. Примерами из самой последней литературы являются среднеквадратическая ошибка, среднее значение, а также положительное и отрицательное (абсолютное) среднее отклонение. Количество включенных данных измерений и, следовательно, интересующая область различны для всех этих оценок, что затрудняет сравнение результатов различных исследований.10-12

Влияние стратегий сканирования и программного обеспечения на точность цифровых оттисков было продемонстрировано в литературе.14,41 Стратегии сканирования для ИОС зависят от системы, поскольку ИОС основаны на различных технологиях. В этом исследовании для получения оптимальных результатов использовалась стратегия сканирования, специфичная для системы, с реальным программным обеспечением для каждого ИОС. Влияние программного обеспечения для сканирования очевидно при сравнении результатов групп ОС4/ОС5, в которых использовались одинаковые аппаратные компоненты, но использовались разные режимы/версии программного обеспечения для сканирования. Предыдущие исследования показывают растущие отклонения для достоверности и точности при увеличении площади сканируемой поверхности для ИОС, тогда как это утверждение не является справедливым для традиционных методов оттиска.10-12,39,42 Результаты этого исследования хорошо согласуются с этим утверждением. Области коротких промежутков, такие как передний и задний сегменты, показали самые низкие значения отклонения для ИОС, в то время как

были обнаружены только небольшие различия между частичной и полной зубной дугой для традиционного оттиска.

Заключение

Точность оттисков полной дуги остается труднодостижимой для отдельных ИОС. Однако некоторые современные ИОС имеют требуемую точность, необходимую для сканирования полной дуги. В случае оттисков полной зубной дуги ИОС представляют собой подходящую альтернативу традиционным оттискам даже с использованием высокоточных оттисковых материалов. Результаты настоящего исследования показывают, что новые разработки в области аппаратного и/или программного обеспечения могут обеспечить значительные улучшения с точки зрения точности оттиска для ИОС. Дальнейшие исследования *in vivo* необходимы для подтверждения точности ИОС в различных клинических ситуациях.

Заявление об ограничении ответственности

Авторы заявляют, что конфликт интересов отсутствует.

Ссылки

1. Reich S, Vollborn T, Mehl A, Zimmermann M. Intraoral optical impression systems - an overview. *Int J Comput Dent* 2013;16:143-162.
2. Patzelt SB, Lamprinos C, Stampf S, Att W. The time efficiency of intraoral scanners: an *in vitro* comparative study. *J Am Dent Assoc* 2014;145:542-551.
3. Yuzbasioglu E, Kurt H, Turunc R, Bilir H. Comparison of digital and conventional impression techniques: evaluation of patients' perception, treatment comfort, effectiveness and clinical outcomes. *BMC Oral Health* 2014;14:10.
4. Zimmermann M, Mehl A, Mörmann WH, Reich S. Intraoral scanning systems - a current overview. *Int J Comput Dent* 2015;18:101-129.
5. Sfondrini MF, Gandini P, Malfatto M, Di Corato F, Trovati F, Scribante A. Computerized casts for orthodontic purpose using powder-free intraoral scanners: accuracy, execution time, and patient feedback. *Biomed Res Int* 2018;2018:4103232. doi: 10.1155/2018/4103232.
6. Joda T, Gallucci GO. The virtual patient in dental medicine. *Clin Oral Implants Res* 2015;26:725-726.
7. Mangano C, Luongo F, Migliario M, Mortellaro C, Mangano FG. Combining intraoral scans, cone beam computed tomography and face scans: the virtual patient. *J Craniofac Surg* 2018;29:2241-2246.
8. Mehl A, Koch R, Zaruba M, Ender A. 3D monitoring and quality control using intraoral optical camera systems. *Int J Comput Dent* 2013;16:23-36.
9. Zaruba M, Ender A, Mehl A. New applications for three-dimensional follow-up and quality control using optical impression systems and Ora-Check. *Int J Comput Dent* 2014;17:53-64.



10. Vecsei B, Joós-Kovács G, Borbély J, Hermann P. Comparison of the accuracy of direct and indirect three-dimensional digitizing processes for CAD/CAM systems - an in vitro study. *J Prosthodont Res* 2017;61:177-184.
11. Renne W, Ludlow M, Fryml J, et al. Evaluation of the accuracy of 7 digital scanners: an in vitro analysis based on 3-dimensional comparisons. *J Prosthet Dent* 2017;118:36-42.
12. Serag M, Nassar TA, Avondoglio D, Weiner S. A comparative study of the accuracy of dies made from digital intraoral scanning vs. elastic impressions: an in vitro study. *J Prosthodont* 2018;27:88-93.
13. Ender A, Mehl A. Full arch scans: conventional versus digital impressions - an in-vitro study. *Int J Comput Dent* 2011;14:11-21.
14. Ender A, Mehl A. Influence of scanning strategies on the accuracy of digital intraoral scanning systems. *Int J Comput Dent* 2013;16:11-21.
15. Ender A, Mehl A. In-vitro evaluation of the accuracy of conventional and digital methods of obtaining full-arch dental impressions. *Quintessence Int* 2015;46:9-17.
16. Su TS, Sun J. Comparison of repeatability between intraoral digital scanner and extraoral digital scanner: An in-vitro study. *J Prosthodont Res* 2015;59:236-242.
17. Jeong ID, Lee JJ, Jeon JH, Kim JH, Kim HY, Kim WC. Accuracy of complete-arch model using an intraoral video scanner: an in vitro study. *J Prosthet Dent* 2016;115:755-759.
18. Patzelt SB, Vonau S, Stampf S, Att W. Assessing the feasibility and accuracy of digitizing edentulous jaws. *J Am Dent Assoc* 2013;144:914-920.
19. Vandeweghe S, Vervack V, Dierens M, De Bruyn H. Accuracy of digital impressions of multiple dental implants: an in vitro study. *Clin Oral Implants Res* 2017;28:648-653.
20. Fang JH, An X, Jeong SM, Choi BH. Digital intraoral scanning technique for edentulous jaws. *J Prosthet Dent* 2018;119:733-735.
21. Ender A, Mehl A. Accuracy in dental medicine, a new way to measure trueness and precision. *J Vis Exp* 2014;86. doi: 10.3791/51374.
22. Patzelt SB, Emmanouilidi A, Stampf S, Strub JR, Att W. Accuracy of full-arch scans using intraoral scanners. *Clin Oral Investig* 2014;18:1687-1694.
23. Zimmermann M, Ender A, Attin T, Mehl A. Accuracy of buccal scan procedures for the registration of habitual intercuspation. *Oper Dent* 2018;43:573-580.
24. Memari Y, Mohajerfar M, Armin A, Kamalian F, Rezayani V, Beyabanaki E. Marginal adaptation of CAD/CAM all-ceramic crowns made by different impression methods: a literature review [epub ahead of print 20 April 2018]. *J Prosthodont* 2018. doi: 10.1111/jopr.
25. Bosniac P, Rehmann P, Wöstmann B. Comparison of an indirect impression scanning system and two direct intraoral scanning systems in vivo [epub ahead of print 9 Oct 2018]. *Clin Oral Investig* 2018. doi 10.1007/s00784-018-2679-4.
26. Guth JF, Edelhoff D, Schweiger J, Keul C. A new method for the evaluation of the accuracy of full-arch digital impressions in vitro. *Clin Oral Investig* 2016;20:1487-1494.
27. Tomita Y, Uechi J, Konno M, Sasamoto S, Iijima M, Mizoguchi I. Accuracy of digital models generated by conventional impression/plaster-model methods and intraoral scanning. *Dent Mater J* 2018;37:628-633.
28. 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.
29. Goracci C, Franchi L, Vichi A, Ferrari M. Accuracy, reliability, and efficiency of intraoral scanners for full-arch impressions: a systematic review of the clinical evidence. *Eur J Orthod* 2016;38:422-428.
30. Khraishi H, Duane B. Evidence for use of intraoral scanners under clinical conditions for obtaining full-arch digital impressions is insufficient. *Evid Based Dent* 2017;18:24-25.
31. Nedelcu RG, Persson AS. Scanning accuracy and precision in 4 intraoral scanners: an in vitro comparison based on 3-dimensional analysis. *J Prosthet Dent* 2014;112:1461-1471.
32. Kurz M, Attin T, Mehl A. Influence of material surface on the scanning error of a powder-free 3D measuring system. *Clin Oral Investig* 2015;19:2035-2043.
33. Kuhr F, Schmidt A, Rehmann P, Wöstmann B. A new method for assessing the accuracy of full arch impressions in patients. *J Dent* 2016;55:68-74.
34. Atieh MA, Ritter AV, Ko CC, Duquum I. Accuracy evaluation of intraoral optical impressions: a clinical study using a reference appliance. *J Prosthet Dent* 2017;118:400-405.
35. Park HN, Lim YJ, Yi WJ, Han JS, Lee SP. A comparison of the accuracy of intraoral scanners using an intraoral environment simulator. *J Adv Prosthodont* 2018;10:58-64.
36. Yu B, Ahn JS, Lee YK. Measurement of translucency of tooth enamel and dentin. *Acta Odontol Scand* 2009;67:57-64.
37. Della Bona A, Nogueira AD, Pecho OE. Optical properties of CAD-CAM ceramic systems. *J Dent* 2014;42:1202-1209.
38. Muller P, Ender A, Joda T, Katsoulis J. Impact of digital intraoral scan strategies on the impression accuracy using the TRIOS Pod scanner. *Quintessence Int* 2016;47:343-349.
39. Ender A, Attin T, Mehl A. In vivo precision of conventional and digital methods of obtaining complete-arch dental impressions. *J Prosthet Dent* 2016;115:313-320.
40. Zimmermann M, Koller C, Rumetsch M, Ender A, Mehl A. Precision of guided scanning procedures for full-arch digital impressions in vivo. *J Orofac Orthop* 2017;78:466-471.
41. Haddadi Y, Bahrami G, Isidor F. Effect of software version on the accuracy of an intraoral scanning device. *Int J Prosthodont* 2018;31:375-376.
42. Ender A, Zimmermann M, Attin T, Mehl A. In vivo precision of conventional and digital methods for obtaining quadrant dental impressions. *Clin Oral Investig* 2016;20:1495-1504.

Точность полных и частичных оттисков челюсти современных систем внутриротового сканирования in vitro

Ключевые слова: Интраоральный сканер, цифровой оттиск, обычный оттиск, качество, степень точности

Резюме

Цель: Интраоральные сканеры (IOS) в настоящее время широко используются для создания цифровых моделей непосредственно на пациенте. Из поколения в поколение также достигаются улучшения IOS. Целью настоящего исследования было оценить точность новых и современных систем внутриротового сканирования для полных и частичных оттисков челюсти in vitro.

Материал и метод: В качестве эталонной модели использовалась специальная общая модель верхней челюсти с зубами из полевошпатной керамики и оцифровывалась с помощью лабораторного сканера (ATOS III Triple Scan MV60). Оттиск всей челюсти производили обычным способом с помощью поливинилсилоксанового материала (CO; President) и цифровым способом с помощью восьми различных систем IOS (TRn: Trios 3; TRI: Trios 3 insane; CS: Carestream Dental CS 3600; MD: Medit i500; iT: iTero Element 2; OC4: Cerec Omnicam 4.6.1; OC5: Cerec Omnicam 4.6.1; OC5: Primescan) (n = 10 на группу). Обычные оттиски были отлиты с использованием гипса типа IV (Fujirock EP), а модели оцифрованы лабораторным сканером (inEOS X5). Все файлы данных были экспортированы в формат файла STL и обрезаны для дальнейшего анализа в различных участках: Вся челюсть, передняя часть челюсти и задняя часть челюсти. Значения правильности и точности для соответствующих частей оценивали с помощью метода трехмерного наложения со специальным программным обеспечением для 3D-анализа различий (GOM Inspect) с использованием значений (90-10) / 2 процента. Статистическую оценку проводили с помощью одностороннего анализа ANOVA или теста Крускала-Уоллиса ($\alpha = 0,05$). Все результаты приведены в виде среднего значения [IQR] в мкм.

Результаты: Значения общего и частичного оттиска челюсти in vitro показали статистически значимые различия между испытываемыми группами ($p < 0,05$). Для всей челюсти значения точности были в диапазоне 16,3 [2,8] мкм (CO) и 89,8 [26,1] мкм (OC4), а значения точности в диапазоне 10,6 [3,8] мкм (CO) и 58,6 [38,4] (iT). В случае частичных оттисков челюсти наилучшие значения точности были найдены для всех групп для частичного заднего сегмента челюсти, причем 9,7 [1,2] мкм для обычного метода оттиска (CO) и 21,9 [1,5] мкм (PS) в качестве наилучшего значения для метода цифрового оттиска.

Заключение: Принимая во внимание ограничения этого исследования in vitro, некоторые цифровые внутриротовые сканеры можно рассматривать как альтернативу традиционным частичным оттискам челюсти. Оттиски всей челюсти все еще остаются проблемой для внутриротовых сканеров, но некоторые системы уже обеспечивают точность в рамках клинических требований. Для подтверждения этих результатов необходимы дальнейшие исследования in vivo.



Андреас Эндер

Приват-доцент Доктор медицинских наук, стоматолог Андреас Эндер

Отделение компьютерной восстановительной стоматологии, Клиника профилактической стоматологии, пародонтологии и кариологии, Центр стоматологии, Университет Цюриха, Цюрих, Швейцария

Доктор медицинских наук, стоматолог Мориц Циммерманн

Отделение компьютерной восстановительной стоматологии, Клиника профилактической стоматологии, пародонтологии и кариологии, Центр стоматологии, Университет Цюриха, Цюрих, Швейцария

Проф. Доктор медицинских наук, стоматолог Д-р теоретич. биол.чел. Альберт Миль

Отделение компьютерной восстановительной стоматологии, Клиника профилактической стоматологии, пародонтологии и кариологии, Центр стоматологии, Университет Цюриха, Цюрих, Швейцария

Адрес

Приват-доцент Доктор медицинских наук, стоматолог Андреас Эндер, Платтенштрассе 11, CH-8032 Цюрих, E-mail: andreas.ender@zzm.uzh.ch