

СТОМАТОЛОГИЯ/DENTISTRY

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.156.76>

ИНТРАОРАЛЬНОЕ СКАНИРОВАНИЕ: НОВЫЙ УРОВЕНЬ ТОЧНОСТИ И КОМФОРТА В СТОМАТОЛОГИИ

Обзор

Колапова Н.Д.¹, Гречишникова Д.Р.², Якубова М.Р.³, Шигапова А.Р.⁴, Маркосян А.Г.⁵, Бегу А.А.⁶, Аметова Л.О.^{7,*},
Абдуламинов А.И.⁸, Буряева Э.С.⁹, Амирова Т.И.¹⁰, Якубова А.М.¹¹⁷ ORCID : 0000-0003-1496-4954;^{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11} Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, Симферополь, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (ametova-lilya[at]bk.ru)

Аннотация

Чтобы преодолеть трудности, связанные с традиционными методами получения оттисков, в стоматологической практике широко внедрены технологии интраорального сканирования (IOS) в сочетании с системами CAD/CAM (автоматизированное проектирование и производство). Последнее десятилетие ознаменовалось значительным ростом числа оптических IOS-устройств, основанных на различных технологиях сканирования, таких как конфокальная, структурная и другие. Выбор конкретной технологии существенно влияет на клиническое применение и конечный результат. Этот обзор посвящен практическому применению IOS в современной стоматологии, рассматривая последовательность процедур, критерии выбора оптимального сканера для различных клинических задач, а также оценивая влияние технологии сканирования на точность и качество конечного результата.

Ключевые слова: технология CAD/CAM, внутриротовой сканер, оптический оттиск, автоматизированное проектирование, ортопедия.

INTRAORAL SCANNING: A NEW LEVEL OF PRECISION AND COMFORT IN DENTISTRY

Review article

Kolapova N.D.¹, Grechishnikova D.R.², Yakubova M.R.³, Shigapova A.R.⁴, Markosyan A.G.⁵, Begu A.⁶, Ametova L.O.^{7,*},
Abdulaminov A.I.⁸, Buraeva E.S.⁹, Amirova T.I.¹⁰, Yakubova A.M.¹¹⁷ ORCID : 0000-0003-1496-4954;^{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11} V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russian Federation

* Corresponding author (ametova-lilya[at]bk.ru)

Abstract

To overcome the difficulties associated with traditional methods of impression taking, intraoral scanning (IOS) technologies combined with CAD/CAM (computer-aided design and manufacturing) systems have been widely adopted in dental practice. The last decade has seen a significant increase in the number of optical IOS devices based on various scanning technologies such as confocal, structural and others. The choice of a particular technology significantly influences the clinical application and the final outcome. This review focuses on the practical application of IOS in modern dentistry, looking at the sequence of procedures, criteria for selecting the optimal scanner for different clinical applications, and evaluating the impact of scanning technology on the accuracy and quality of the final result.

Keywords: CAD/CAM technology, intraoral scanner, optical impression, computer-aided design, orthopaedics.

Введение

С XVIII века для регистрации трёхмерной модели зубных тканей используются традиционные методы снятия оттисков. Тем не менее объёмные изменения материалов для снятия оттисков и расширение зубного камня могут приводить к ошибкам, поэтому для этого процесса требуются услуги высококлассной стоматологической лаборатории [1], [2], [3]. Чтобы преодолеть эти трудности, для стоматологической практики был разработан метод снятия оттисков с помощью IOS (внутриротового сканера) [4]. Внедрение устройства IOS в стоматологическую практику совпало с развитием технологии CAD/CAM (автоматизированное проектирование и производство) в стоматологии, что дало множество преимуществ практикующим врачам. В настоящее время IOS и CAD/CAM упрощают планирование лечения, приём пациентов, взаимодействие с лабораториями, сокращают время операции, требования к хранению и время лечения [5], [6], [7]. В последнее десятилетие появилось всё больше оптических устройств IOS, основанных на различных технологиях, выбор которых может повлиять на клиническое применение [7].

Технологии IOS

IOS — это медицинское устройство, состоящее из портативной камеры, компьютера и программного обеспечения. Цель IOS — точно записывать трёхмерную модель объекта. Наиболее распространённым цифровым форматом является открытый STL (стандартный язык тесселяции) или закрытый STL-подобный. Этот формат уже используется во многих отраслях промышленности и описывает последовательность триангулированных поверхностей, где каждый треугольник определяется тремя точками и нормальной поверхностью. Однако для записи цвета, прозрачности или текстуры тканей зубов были разработаны другие форматы файлов (например, Polygon File Format, файлы PLY). Независимо от типа технологии визуализации, используемой в IOS, все камеры требуют проецирования света, который затем записывается в виде отдельных изображений или видео и обрабатывается программным обеспечением после распознавания POI (точек интереса). Первые две координаты (x и y) каждой точки

оцениваются на изображении, а затем вычисляется третья координата (z) в зависимости от расстояния до объекта, как описано ниже.

Проекция и захват света. В области 3D-реконструкции существует чёткое различие между пассивными и активными методами. Пассивные методы используют только естественное освещение для подсветки тканей полости рта и зависят от определённого уровня текстуры объекта. Активные методы используют структурированное освещение белого, красного или синего цвета, проецируемое камерой на объект, что в меньшей степени зависит от реальной текстуры и цвета тканей для реконструкции [8], [9]. В активных методах на объект проецируется светящаяся точка, а расстояние до объекта вычисляется с помощью триангуляции. Альтернативой является проецирование световых узоров, например, в виде линий или сеток [10]. Реконструкция поверхности может быть выполнена с помощью набора изображений, видео, которое может снимать несколько изображений в секунду в непрерывном потоке данных, или с помощью волнового анализа [11], [12].

Определение расстояния до объекта:

Триангуляция. Триангуляция основана на принципе, согласно которому положение точки треугольника (объекта) можно вычислить, зная положение и углы двух точек обзора. Эти две точки обзора могут быть получены с помощью двух датчика, одного датчика с использованием призмы или в два разных момента времени.

Конфокальный метод. Конфокальная микроскопия — это метод, основанный на получении сфокусированных и расфокусированных изображений с заданной глубины. Эта технология позволяет определить область резкости изображения, чтобы вычислить расстояние до объекта, которое соотносится с фокусным расстоянием объектива. Затем зуб можно реконструировать с помощью последовательных изображений, полученных при разных значениях фокуса и диафрагмы и под разными углами вокруг объекта [12]. Область резкости напрямую связана с ловкостью оператора, который может создавать размытие в движении [13], и для этой техники также требуется крупная оптика, что может создавать трудности в клинической практике.

AWS (активная выборка волнового фронта). AWS — это метод получения изображений поверхности, для которого требуется камера и внеосевой модуль диафрагмы. Модуль перемещается по круговой траектории вокруг оптической оси и обеспечивает вращение точки интереса. Информация о расстоянии и глубине затем извлекается и рассчитывается на основе шаблона, создаваемого каждой точкой [8].

Стереофотограмметрия. Стереофотограмметрия определяет все координаты (x, y и z) только с помощью алгоритмического анализа изображений [14]. Поскольку этот подход основан на пассивной световой проекции и программном обеспечении, а не на активной проекции и аппаратном обеспечении, камера относительно небольшая, с ней проще обращаться, а её производство обходится дешевле.

Технологии реконструкции

Одной из основных задач при создании 3D-модели является сопоставление точек интереса, снятых под разными углами. Расстояния между разными снимками можно вычислить с помощью встроенного в камеру акселерометра, но для определения точки обзора изображения чаще используется расчёт сходства. С помощью алгоритмов расчёт сходства определяет точки интереса, совпадающие на разных снимках [2]. Эти точки интереса можно найти, обнаружив переходные области, такие как сильные изгибы, физические границы или различия в интенсивности серого («форма по силуэту») [15]. Затем рассчитывается матрица преобразования для оценки сходства между всеми изображениями, например, при вращении или гомотетии. Крайние точки также могут быть статистически исключены для уменьшения шума. Каждая координата (x, y и z) извлекается из матрицы проекции, после чего создаётся файл.

Клиническое воздействие технологий IOS

Недавние исследования показали, что метод цифрового оттиска более удобен и быстр, чем существующий метод оттиска [16], [17], [19]. Ли и Галлуччи сообщили, что оттиск имплантата с помощью IOS с использованием конфокальной технологии был более эффективным методом с более коротким временем подготовки и повторной обработки, чем обычный оттиск имплантата для неопытных студентов-стоматологов второго курса [16]. В двух других клинических исследованиях IOS с использованием конфокальной технологии или AWS значительно превосходил обычный оттиск; он был более эффективным по времени, удобным и комфортным для пациентов при оттиске имплантата [9].

Каждый сканер также включает в себя определённую технологию и датчики, которые влияют на размер и вес сканирующей головки [6]. Например, такие технологии, как конфокальная или AWS, в основном основаны на аппаратном обеспечении, которое требует объёмных компонентов. Однако среди сканеров, использующих одну и ту же технологию, есть клинические различия. Сообщается, что участники предпочли использовать Trios, а не iTero, хотя оба сканера основаны на конфокальной технологии [10]. Это связано с тем, что операторам требуется время, чтобы ознакомиться с эргономикой и программным обеспечением каждого IOS, и сначала кривая обучения может быть медленной. Действительно, в ходе исследования сравнивались кривые обучения при первичном сканировании и после повторных сканирований с использованием двух IOS с конфокальной технологией. Было обнаружено, что, хотя время сканирования сокращалось по мере обучения для обоих сканеров, среднее время сканирования для Trios всегда было меньше, чем для iTero [2]. Кроме того, на время обработки при цифровом отпечатке, которое, по имеющимся данным, составляет от 4 до 15 минут, не влияют ни программное обеспечение, ни используемая технология, ни траектория сканирования [12].

Для ткани зуба характерно наличие отражающих поверхностей, таких как эмаль зуба, которые могут нарушить сопоставление точек интереса программным обеспечением из-за переэкспонирования. Чтобы предотвратить это, специалисты могут изменить ориентацию камеры, чтобы увеличить количество рассеянного света. Другой способ преодолеть эту трудность, используемый в некоторых системах, — использовать камеры с поляризационным фильтром [3]. Для других сканеров в процессе оцифровки требуется порошковое покрытие толщиной 20–40 мкм для

снижения отражательной способности. Теоретически толщина порошкового покрытия может различаться у разных операторов и снижать точность файлов, но программное обеспечение IOS способно учитывать среднюю толщину [4].

Ранее было доказано, что цифровые оттиски на основе порошка очень точны при получении частичных оттисков [14]. Однако порошок может вызывать дискомфорт у пациентов, и, как сообщается, при загрязнении порошка слюной во время получения оттиска требуется дополнительное время для сканирования, так как необходимо очистить и повторно нанести порошок [11]. Кроме того, при сканировании всей челюсти рекомендуется использовать IOS без порошка из-за сложности сохранения порошкового покрытия на всех зубах в течение всего времени сканирования [6]. В заключение следует отметить, что, хотя порошок не очень удобен для пациентов, в статьях, посвящённых влиянию порошка на точность сканирования, не было обнаружено явных различий.

Пути сканирования. Путь сканирования означает, что внутриротовой сканер должен использоваться в соответствии с определённым движением для повышения точности виртуальной модели [6]. Недавние исследования показали, что путь сканирования влияет на точность данных, полученных с помощью конфокальных сканеров как *in vitro*, так и *in vivo* [17]. Сканируемый объект должен располагаться в центре области сбора данных, чтобы описать оптимальную сферу вокруг объекта. Специалисты также должны сохранять плавность движения, всегда сохраняя постоянное расстояние и центрируя зуб во время записи. В зависимости от сканеров и технологий [6], [8] камеру следует держать на расстоянии от 5 до 30 мм от сканируемой поверхности. Это особенно сложно при смене оси, например, при переходе от заднего зуба к переднему или в случае неправильного положения. Некоторые производители предлагают направляющие, чтобы врачи могли сохранять дистанцию и не допускать попадания окружающих тканей в поле зрения камеры.

Для IOS, использующих конфокальную технологию, когда требуется сканирование всей зубной дуги, производители описывают различные стратегии. Одна из них заключается в линейном движении по всем окклюзионно-нёбным поверхностям с последующим сканированием щёчной поверхности. Другая процедура заключается в последовательном сканировании вестибулярной, окклюзионной и язычной поверхностей каждого зуба в форме буквы S [7], [19]. Первая стратегия, по-видимому, ограничивает пространственное искажение за счёт завершения съёмки в исходном положении, что позволяет избежать общей односторонней ошибки, но линейное или грубое движение при вестибулярном сканировании может быть неточным в межзубных промежутках. Это техническое наблюдение побуждает практикующих врачей адаптировать свой клинический протокол в сложных областях, таких как межзубные промежутки, подготовка зубов, высокая кривизна центральных резцов и изменение оси вокруг клыков. Однако съёмка областей с крутым наклоном вниз, таких как передняя часть нижней челюсти, часто сопряжена с трудностями при обработке изображения [6]. Это ограничение подчёркивает растущую значимость отслеживания IOS и программного обеспечения, описанного ниже.

Отслеживание и программное обеспечение. Иногда во время сканирования может быть потеряно отслеживание, что может дестабилизировать программное обеспечение, если не соблюдается расстояние до объекта или траектория сканирования; если движение слишком быстрое или слишком резкое. Необходимо следовать стратегии сканирования, начиная, например, с простых участков (окклюзионных поверхностей задних зубов), чтобы у программного обеспечения было достаточно информации в случае потери отслеживания. В настоящее время производители разрабатывают различные стратегии и алгоритмы программного обеспечения для продолжения сканирования в случае потери отслеживания, в основном за счёт распознавания сохранённой геометрии объекта. Для этого специалистам необходимо повторно сканировать значимую область, не оставаясь на одном месте, чтобы предоставить камере и программному обеспечению достаточно информации. Второе сканирование позволит сопоставить предыдущие точки интереса, и программное обеспечение дополнит эту пропущенную область [3]. На повторное сопоставление точек интереса напрямую влияет сложная геометрия объекта, например, большая кривизна или множество скрытых граней, которые уменьшают количество точек интереса и усложняют процесс для программного обеспечения [11].

Качество сетки. Программное обеспечение IOS может создавать файлы с разной плотностью сетки. Однако высокая плотность сетки для всего зуба не имеет смысла из-за большого количества вычислений. Некоторые файлы содержат стандартную сетку для плоских зон (вестибулярная поверхность резцов) и более плотную сетку для участков с высокой кривизной (например, режущий край или десневая борозда). Действительно, большого количества треугольников достаточно, чтобы точно следовать профилю выхода, в то время как малое количество может привести к сглаживанию границ. Во время внутриротового сканирования основная сложность заключается в контроле подвижности пациента, которая может привести к ошибочному сканированию периферических мягких тканей, таких как язык или челюсти [12]. Кроме того, наличие крови, слюны или десневой жидкости также может исказить полученную картину [15]. Например, плотная водяная плёнка может привести к ошибке в несколько миллиметров при снятии оттиска. Последние версии IOS также обеспечивают цвет и текстуру, которые значительно улучшают восприятие клинических ситуаций и объёма зубов. Тем не менее отображение файла в графическом пользовательском интерфейсе часто вводит в заблуждение относительно точности сканирования из-за использования шейдеров и алгоритмов сглаживания. Тщательный анализ точности и аккуратности, по-видимому, является более важным фактором для оценки точности сканирования в текущей версии IOS, и эти аспекты рассматриваются ниже.

Точность технологий IOS

Согласно стандарту ISO, точность определяется двумя методами измерения: правильностью и прецизионностью [3]. Правильность — это степень соответствия между средним арифметическим большого количества результатов испытаний и истинным или принятым эталонным значением. Прецизионность — это степень соответствия между результатами испытаний. Метод измерения влияет на точность и достоверность результатов, полученных с помощью IOS, поскольку это зависит от таких факторов, как оператор, используемое оборудование и калибровка, время, прошедшее между измерениями, и условия окружающей среды (температура, влажность и т. д.). Однако методы расчёта точности и достоверности результатов, полученных с помощью IOS, ограничены из-за качества используемых

эталонов и применяемого метода измерения. Например, в настоящее время в качестве эталона используется сканирование гипсовой модели *in vitro* с использованием внеротовой технологии, но эти результаты сложно сравнить с файлами *in vivo*, поскольку для последних эталоном является сканирование гипсовой модели, полученное с помощью косвенного физико-химического оттиска (то есть, вероятно, содержащее неточности) [5]. Кроме того, в некоторых исследованиях сравнивались расстояния между STL-файлами, созданными на гипсовой модели, и файлами, созданными с помощью IOS вручную, в то время как в других исследованиях использовался алгоритм для выравнивания двух разных файлов и расчёта расстояния между ними [7]. Однако процесс измерения в рамках первой стратегии сильно зависит от оператора, в то время как алгоритм выравнивания требует субъективного ручного удаления оператором неточных областей, таких как язык или мягкие ткани, чтобы предотвратить ложное выравнивание. Таким образом, для разработки стандартизированных и сопоставимых стратегий измерения точности IOS [4] требуются дальнейшие исследования.

Во многих статьях сообщается о клинически значимой точности и достоверности современных технологий IOS как *in vitro*, так и *in vivo* [14]. Например, Эндер и др. сообщили, что средняя достоверность различных технологий IOS составляет от 20 до 48 мкм, а точность — от 4 до 16 мкм, когда оттиск является частичным и сравнивается с обычным оттиском [4]. Из этих отчётов следует, что современные устройства IOS клинически адаптированы для обычной практики и по крайней мере не уступают по точности традиционным методам снятия оттисков [6]. Однако сообщается, что снятие оттисков с полной дугой в естественных условиях связано с явлением искажения, в частности при использовании технологий триангуляции, конфокальной или AWS [7].

Что касается имплантологии, то различные исследования *in vitro* показали, что триангуляция, конфокальная технология и технология AWS могут стать приемлемыми альтернативами высокоточному сканированию, которое в настоящее время используется для сканирования обычных оттисков или гипсовых моделей [12]. Тем не менее, как исследования *in vitro*, так и исследования *in vivo* показали, что ошибки в расстоянии и углах наклона в настоящее время слишком велики для изготовления протезов на основе нескольких имплантатов, например, для беззубых челюстей, из-за отсутствия анатомических ориентиров для сканирования, независимо от используемой технологии. Действительно, по сравнению с зубами, отсутствие периодонтальной связки ограничивает адаптацию имплантатов в случае микроскопических ошибок, которые могут привести к осложнениям при имплантации [15].

Заключение

После объективного анализа литературы можно сделать вывод, что IOS клинически адаптирован для обычной практики, независимо от используемой технологии. Каждую технологию следует рассматривать в контексте индивидуальной деятельности, требований и ожиданий практикующих специалистов. Понимание технологии IOS необходимо любому практикующему специалисту для успешной клинической стратегии при сканировании подготовленных зубов. Однако в настоящее время не существует метода сканирования, сканера или технологии, которые можно было бы однозначно считать более точными из-за отсутствия стандартизированных процедур или сопоставимых исследований *in vivo*. Несмотря на то, что в настоящее время в основе IOS в основном лежит конфокальная технология, необходимость в объёмном оборудовании означает, что ищутся альтернативы, такие как технологии на основе программного обеспечения, особенно по соображениям эргономики, комфорта пациентов и стоимости производства.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Сообщество рецензентов Международного научно-исследовательского журнала

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.156.76.2>

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.156.76.1>

Conflict of Interest

None declared.

Review

International Research Journal Reviewers Community
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.156.76.2>

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.156.76.1>

Список литературы на английском языке / References in English

1. Chen L.C. Innovative 3D dental measurement for tooth model restoration / L.C. Chen, Z.Q. Xu // Key Engineering Materials. — 2005. — Vol. 295-296. — P. 145–150. — DOI: [10.4028/www.scientific.net/KEM.295-296.145](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.295-296.145)
2. Hong-Seok P. Development of high speed and high accuracy 3D dental intra oral scanner / P. Hong-Seok, S. Chintal // Procedia Engineering. — 2015. — Vol. 100. — P. 1174–1181. — DOI: [10.1016/j.proeng.2015.01.481](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.01.481)
3. Ali A.O. Accuracy of digital impressions achieved from five different digital impression systems / A.O. Ali // Dentistry. — 2015. — Vol. 5. — P. 1–5.
4. Duret F. Toward a new symbolism in the fabrication of prosthetic design / F. Duret // Les Cahiers de Prothèse. — 1985. — Vol. 13, № 50. — P. 65–71.
5. Baheti M.J. Intra-oral scanners: a new eye in dentistry / M.J. Baheti, U.N. Soni, N.V. Gharat [et al.] // Austin Journal of Orthopedics & Rheumatology. — 2015. — Vol. 2, № 3. — P. 1–5.
6. Zimmermann M. Intraoral scanning systems - a current overview / M. Zimmermann, A. Mehl, W.H. Mörmann, S. Reich // International Journal of Computerized Dentistry. — 2015. — Vol. 18, № 2. — P. 101–129. — PMID: 26110925
7. Alghazzawi T.F. Advancements in CAD/CAM technology: options for practical implementation / T.F. Alghazzawi // Journal of Prosthodontic Research. — 2016. — Vol. 60, № 2. — P. 72–84. — DOI: [10.1016/j.jpor.2016.01.003](https://doi.org/10.1016/j.jpor.2016.01.003)

8. Logozzo S. Recent advances in dental optics - part I: 3D intraoral scanners for restorative dentistry / S. Logozzo, E.M. Zanetti, G. Franceschini [et al.] // *Optics and Lasers in Engineering*. — 2014. — Vol. 54. — P. 203–221. — DOI: 10.1016/j.optlaseng.2013.07.017
9. Duret F. Différentes méthodes d'empreinte en CFAO dentaire / F. Duret, B. Pélissier // *EMC - Médecine Buccale*. — 2010. — Vol. 5, № 1. — P. 1–16.
10. Geng J. Structured-light 3D surface imaging: a tutorial / J. Geng // *Advances in Optics and Photonics*. — 2011. — Vol. 3. — P. 128–160. — DOI: 10.1364/AOP.3.000128
11. Ireland A.J. 3D surface imaging in dentistry — what we are looking at / A.J. Ireland, C. McNamara, M.J. Clover [et al.] // *British Dental Journal*. — 2008. — Vol. 205, № 7. — P. 387–392. — DOI: 10.1038/sj.bdj.2008.845
12. Taneva E. 3D scanning, imaging, and printing in orthodontics / E. Taneva, B. Kusnoto, C.A. Evans // *Issues in Contemporary Orthodontics*. — 2015. — Pt. 9. — P. 147–188.
13. Giménez B. Accuracy of a digital impression system based on active wavefront sampling technology for implants considering operator experience, implant angulation, and depth / B. Giménez, M. Özcan, F. Martínez-Rus, G. Pradies // *Clinical Implant Dentistry and Related Research*. — 2015. — Vol. 17, Suppl. 1. — P. e54–e64. — DOI: 10.1111/cid.12124
14. Pradies G. Using stereophotogrammetric technology for obtaining intraoral digital impressions of implants / G. Pradies, A. Ferreiroa, M. Özcan [et al.] // *Journal of the American Dental Association*. — 2014. — Vol. 145, № 4. — P. 338–344. — DOI: 10.14219/jada.2013.45
15. Aubreton O. Infrared system for 3D scanning of metallic surfaces / O. Aubreton, A. Bajard, B. Verney, F. Truchetet // *Machine Vision and Applications*. — 2013. — Vol. 24, № 7. — P. 1513–1524. — DOI: 10.1007/s00138-012-0423-7
16. Gjelvold B. Intraoral digital impression technique compared to conventional impression technique. A randomized clinical trial / B. Gjelvold, B.R. Chrcanovic, E.K. Korduner [et al.] // *Journal of Prosthodontics*. — 2016. — Vol. 25, № 4. — P. 282–287. — DOI: 10.1111/jopr.12410
17. Yuzbasioglu E. Comparison of digital and conventional impression techniques: evaluation of patients' perception, treatment comfort, effectiveness and clinical outcomes / E. Yuzbasioglu, H. Kurt, R. Turunc, H. Bilir // *BMC Oral Health*. — 2014. — Vol. 14, № 1. — P. 1–10. — DOI: 10.1186/1472-6831-14-10
18. Patzelt S.B.M. Accuracy of full-arch scans using intraoral scanners / S.B.M. Patzelt, A. Emmanouilidi, S. Stampf [et al.] // *Clinical Oral Investigations*. — 2014. — Vol. 18, № 6. — P. 1687–1694. — DOI: 10.1007/s00784-013-1132-y
19. Burhardt L. Treatment comfort, time perception, and preference for conventional and digital impression techniques: a comparative study in young patients / L. Burhardt, C. Livas, W. Kerdijk [et al.] // *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. — 2016. — Vol. 150, № 2. — P. 261–267. — DOI: 10.1016/j.ajodo.2015.12.027
20. Lee S.J. Digital vs. conventional implant impressions: efficiency outcomes / S.J. Lee, G.O. Gallucci // *Clinical Oral Implants Research*. — 2013. — Vol. 24, № 1. — P. 111–115. — DOI: 10.1111/j.1600-0501.2012.02430.x