© Король Д.М., Кіндій Д.Д., Кіндій П.Д., Оджубейська О.Д., Тончева К.Д.
УДК 616.31:528.74

DOI https://doi.org/10.31718/mep.2022.26.1-2.08

ФОТОГРАММЕТРІЯ У СТОМАТОЛОГІЧНІЙ ПРАКТИЦІ (ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ)

Король Д.М., Кіндій Д.Д., Кіндій П.Д., Оджубейська О.Д., Тончева К.Д.

Полтавський державний медичний університет м.Полтава, Україна

The conducted analysis of the scientific literature has shown that the photogrammetric method of images acquisition has long been used in various fields of science and industry. Its advantages include the simplicity and affordability of technical implementation, high accuracy of the obtained data, complete contactless application and the opportunity for the digital processing of an enormous amount of information over a short period of time, acquisition of a virtual model of high accuracy. The testing of photogrammetry in medical practice has resulted in the indication of promising areas of its application and improvement. They have been specified in terms of the dental field, being directed to the acquisition of three-dimensional models of the head, jaws, alveolar processes, periodontal tissues, dentitions and individual teeth as well as to the reproduction of central occlusion, jaw articulation correlation and to three-dimensional implant and denture positioning. Numerous in vitro and in vivo studies have proven the competitiveness of photogrammetry as compared to 3-D scanning methods. however, some problems associated with its application remain unresolved. On the one hand, photogrammetry experts still lack some understanding of special requests of dental diagnostics, while dentists are still unaware of photogrammetry functional opportunities. Moreover, certain procedural requirements as for the angle, lighting, distance, etc. sufficiently restrict its technical capacity. In any case, most researchers point to the need for in-depth scientific studies of the actual practical photogrammetry opportunities, while further prospects for the introduction of this method are associated with the technical improvement of the equipment adapted to the peculiarities of dental practice.

Key words: photogrammetry, scanning, three-dimensional modeling, surface analysis, dental diagnostics

Проведений аналіз наукової літератури довів, що фотограмметричний метод отримання зображення давно використовується у різних галузях науки та виробництва. Його перевагами є простота та доступність технічної реалізації, висока точність отриманих даних, повна безконтактність проведення та спроможність до цифрової обробки колосального обсягу інформації за короткий час з отриманням віртуальної моделі високої точності. Випробовування фотограметрії в умовах медичної практики виокремили декілька перспективних напрямків її застосування та вдосконалення з урахуванням стоматологічної специфіки, а саме: отримання тривимірної моделі голови, моделей щелеп, альвеолярних відростків, тканин пародонту, зубних рядів та окремих зубів, відтворення центральної оклюзії та артикуляційних співвідношень щелеп, тривимірне позиціонування імплантатів та ортопедичних конструкцій. Численні наукові дослідження in vitro та in vivo довели конкурентність фотограметрії у порівнянні з методами 3-D сканування, проте, на шляху її широкого застосування залишаються невирішені проблеми, головними з яких є: неповне розуміння фахівців-фотограмметристів особливостей та запитів стоматологічної діагностики, з іншого боку - недостатня обізнаність стоматологів у можливостях фотограмметричного методу та певні технічні обмеження, пов'язані з необхідними умовами виконання, наприклад: ракурс, освітлення, дистанція і т.ін. Так чи інакше, більшість дослідників вказують на необхідність глибокого наукового осмислення реальних можливостей фотограмметричних методів для практичного використання, а подальші перспективи впровадження фотограмметрії пов'язані з технічним вдосконаленням оснащення, максимально адаптованого до особливостей стоматологічного прийому.

Ключові слова: фотограмметрія, сканування, тривимірне моделювання, аналіз поверхні, стоматологічна діагностика

Загальновідомою парадигмою є те, що тільки швидка та якісна діагностика захворювань та патологічних процесів здатна забезпечити ефективний лікувальний процес, зокрема - у сучасній стоматологічній практиці. Науково-дослідні роботи останніх років, що присвячені проблематиці пошуку надійних та високоінформативних методів діагностики у стоматології, так чи інакше торкаються аспектів комп'ютерної обробки числових даних за допомогою спеціального програмного забезпечення. При цьому, у фокусі уваги опинялися усі без виключень елементи зубо-щелепної системи людини. За одержаними результатами проводилася констатація наявності морфологічних змін, а також реєструвалися фактичні порушення функцій, які є індикаторами розвитку патології. [1–3] У своєму теперішньому статусі медична візуалізація представлена широким спектром методів, проте вона стикається з низкою цікавих і, водночас – складних дослідницьких питань, оскільки головна мета її застосування - автоматичне перетворення величезних обсягів візуальних даних у корисну інформацію. Основною характеристикою вищезазначених методик є визначення подібності чи відмінності; тобто, в основному, якісна обробка інформації, притаманної зображенням, що є суттєвим недоліком, який у багатьох випадках призводить до помилкових або недостовірних результатів.[4] Саме тому, передача інформації шляхом фотограмметрії може виявитися оптимальною, адже фотограмметрія розробила ефективні інструменти для обліку геометрії формування зображень. Проте, основною проблемою залишається недостатнє розуміння спеціалістами у галузі фотограмметрії специфіки медичних досліджень.

**Цитування при атестації кадрів: Король Д.М.,Кіндій Д.Д., Кіндій П.Д., Оджубейська О.Д., Тончева К.Д. Фотограмметрія у стоматологічній практиці (Огляд літератури) // Проблеми екології і медицини. – 2022. – Т. 26, № 1-2. – С. 32-36.*

Фотографічні зображення давно стали надійним джерелом інформації у стоматології, адже створюються умови для дослідження великого масиву показників одночасно. Так, наприклад, дослідження, проведене з метою перевірки надійності внутрішньоротового графічного інструменту - камери Orthoscan, довело корисність цього інструменту в клінічній ортодонтії, але дослідницький потенціал цього приладу ще не достатньо вивчений. Таким чином, авторами було зроблено висновок про те, що камера цілком придатна для точних наукових досліджень, а дані прийнятні для дійсних міжспостережних і міжпопуляційних порівнянь. Це має особливе значення, з огляду на епідеміологічну насторогу в умовах сучасного світу, пріоритетним став пошук неінвазивних та безконтактних методів діагностики. У цьому контексті на перший план виходять методи, що грунтуються на фото- та відеореєстрації різноманітних об'єктів біологічної природи, тканин та органів людського тіла, одним з одним з яких є фотограмметрія. [5,6]

Враховуючи вищенаведену інформацію, нами була сформульована мета - літературний аналіз світового досвіду експериментально-клінічного застосування фотограмметрії, шляхів впровадження цього метода у медичну галузь та напрямків удосконалення та адаптації до стоматологічної специфіки. Для цього було проведено пошук літературних джерел за вказаною тематикою, що були систематизовано за змістом.

Фотограмметрія - це технологічна галузь науки, що дає можливість визначати кількісні показники форм, розмірів і положень об'єктів на основі їх фотографій. Метод отримав визнання спеціалістів в багатьох галузях, особливо в геодезії та картографії. У медицині цей метод використовується для вимірювання тіла людини, для планування та моніторингу терапевтичного лікування та його результатів. Зображення при цьому можна записувати в широкому діапазоні довжин хвиль електромагнітного випромінювання. Найпоширенішим є видимий діапазон, але також використовуються ближні та середні інфрачервоні, теплові інфрачервоні, мікрохвильові та рентгенівські промені. Значення фотограмметрії зросло з розвитком комп'ютерного програмного забезпечення. Цифрова обробка зображень і вимірювання в реальному часі дозволяють автоматизувати багато складних виробничих процесів.[7] Цифрові зображення, отримані з оптико-електронних датчиків у поєднанні з комп'ютерною технікою, мають потенціал об'єктивного вимірювання завдяки дистанційному характеру збору даних, без контакту з вимірюваним об'єктом і з високою точністю. Фотограмметрія також дозволяє прийняти загальні стандарти для архівування та обробки даних пацієнтів.

Так чи інакше, технології отримання об'ємної інформації дедалі активніше впроваджуються у сучасні сфери виробничої діяльності, і медицина не стала виключенням, що підтверджується численними публікаціями.[8]

Фотоантропометрія – це метод порівняння зображень обличчя, який полягає у проведенні вимірювань на зображеннях. [9] Останнім часом науковцями ведеться експериментальна перевірка припущення, про те, чи можна застосувати вимірювання обличчя, отримані з двовимірного (2D) зображення, з метою ідентифікації людини у порівнянні з вимірюваннями, отриманими з тривимірного (3D) зображення. Застосування технології 3D-ображення поверхні стає все більш поширеним у клініках і дослідницьких центрах, що займаються проблематикою щелепно-лицевої ділянки.[10] Завдяки високій швидкості зйомки та простоті використання тривимірна цифрова стереофотограмметрія швидко займає позиції одного з кращих способів вивчення поверхні обличчя. Подібні системи можуть бути корисним інструментом для черепно-лицевих хірургів, забезпечуючи об'єктивний цифровий архів обличчя пацієнта без впливу радіації. Щоб отримати послідовні високоякісні 3D-зйомки обличчя, потрібно знати та розуміти певні обмеження цих пристроїв. Наразі доступно небагато ресурсів, які би змогли допомогти новим користувачам цієї технології вирішити проблеми, з якими вони неминуче зіткнуться. [11]

Створення бази фотограмметричних даних стало завданням для багатьох науковців, адже це дозволило би отримати цінну статистичну інформацію для подальшого її використання у якості орієнтовної норми.[12] Подібні роботи у свій час були проведені у таких галузях науки, як антропологія, анатомія та щелепно-лицева хірургія.[13,14] Об'єктами фотограмметричного дослідження можуть бути анатомічні поверхні стопи, верхньої частини тіла, голови та вуха. Мета дослідження полягає в тому, щоб дати користувачам рекомендації, яка частина людського тіла найкраще підходить для цього типу сканування, та обгрунтувати доцільність поєднання фотограмметрії та іншої техніки 3D-сканування. При цьому зверталась увага на необхідності врахування таких факторів, як сфера медичного застосування, якість отриманих результатів, необхідне обладнання та проблеми, що виникають при отриманні та обробці даних.

Ще одним напрямком стоматології, який надзвичайно активно використовує можливості фотограмметричної візуалізації у діагностичних цілях є ортодонтія.[15,16] Прикладом цього стало дослідження спрямоване на вдосконалення методології клінічної оцінки ортодонтичного лікування за допомогою тривимірних зубощелепно-лицевих зображень. [17] Оскільки додаткова інформація досягається шляхом інтеграції кількох методів, конусно-променева комп'ютерна томографія (КЛКТ) та стереофотограметрія використовуються для розробки методології відстеження змін кісток і шкіри обличчя з часом.

Вимірювання зубів (одонтометрія) та оцінка їхньої поверхні має багато наукових і практичних призначень і також все більше базується на використанні 3D-моделей, що відкриває перспективи в порівнянні з вимірюваннями на реальних об'єктах: зубах або їх гіпсових копіях.[18] Вимірювання зубів завжди вважалося трудомістким процесом і, саме тут автоматизація стає важливою для подальшого розвитку та застосування методів вимірювання. Багаточисельні дослідження щодо можливостей автоматизації отримання 3D-моделей та вимірювань дала суттєві дані, які були оприлюднені у науковій літературі. [19–21] Дослідження, показали, що оригінальна фотограмметрична система 3D реконструкції дозволяє генерувати 3D-моделі зубних дуг, відтворювати їх змикання або оклюзію, а також виконувати набір стандартних вимірювань в автоматизованому режимі.[22]

Перспективним напрямком наукового пошуку є вивчення можливостей поєднання потенціалу 3D обстеження у поєднанні з рентгенологічними методами, прикладом чого є напрацювання, що доводять доцільність інтеграції 3D фотографічних та рентгеногра-

фічних методів, які, на думку авторів, пропонує багатообіцяючі клінічні перспективи.[23]

Не менш цікавими є і нові технічні рішення при виконанні фотограмметрії, наприклад – отримання дзеркального відображення об'єкта одночасно у декількох ракурсах, а, отже, останнім часом науковці звертають увагу на можливість отримання дзеркальних відображень об'єкта, які можна використовувати окремо або разом із фотографіями самого об'єкта. [24] Перспективними є спроби інтеграції фотограмметрії та класичних діагностичних методів, наприклад – мікроскопії.[25] Одним із обговорюваних можливих застосувань подібного технічного рішення є використання для фотограмметрії ближнього діапазону, особливо в стоматології. Нові технічні рішення торкнулися методології сканування та інтеграції поверхні м'яких тканин обличчя з моделями твердих тканин зубів у тривимірному (3D) віртуальному середовищі. [26] Розробники пропонують метод інтеграції цифрових 3D-моделей у 3D-зображення обличчя для візуалізації анатомічного положення зубного ряду, при цьому пропонується метод, що грунтується на фотограмметричному скануванні на близькій відстані. Це дозволяє аналізувати поверхні обличчя та зубів, зменшуючи при цьому час, складність і вартість операцій сканування та цифрової обробки.

Системи сканування обличчя стають дедалі доступнішими для широкого кола користувачів. Проте, мало що відомо про реальну правдивість безкоштовних програм і додатків для сканування обличчя, отже, питання, чи можна їх розглядати як допоміжні інструменти для діагностики та планування в стоматології, залишається відкритим. Дослідження проведене in vitro було оцінювало правдивість 3D-сканування обличчя за допомогою Bellus3D та +ID ReCap Photo. За результатами дослідження було зроблено висновок про те, що обидва методи, оцінені в цьому дослідженні, забезпечили отримання 3D-моделі обличчя з клінічно прийнятною точністю і можуть бути надійними інструментами для планування естетичних реставрацій.

Звичайні методи отримання відбитків для моделювання повних дугових протезів з опорою на імплантати, так само як і саме точне визначення просторового положення дентальних імплантатів, займають багато часу і не виключають помилок.[27,28] Прямий оптичний запис розташування та орієнтації імплантатів без необхідності проміжних етапів перенесення може зменшити або усунути ці недоліки.[29,30] Наприклад, вивчення рівня точності розташування аналогів імплантатів на 5 зліпках вимірювали за допомогою сканера Nobel Procera (звичайний метод). Прототипи оптичних мішеней були приєднані до аналогів імплантатів головної моделі, і 5 комплектів зображень були записані цифровою камерою та стандартизованим протоколом захоплення зображення. Дані розмірів були імпортовані в комерційно доступне програмне забезпечення для фотограмметрії (фотограмметричний метод). З'ясувалося, що загальна точність вимірювання істотно не відрізнялася при порівнянні звичайного та фотограмметричного методу (середня різниця = -2,6 мкм, 95% ДІ від -12,8 до 7,6). Таким чином, точність фотограмметричного методу була подібна до контролю. [31]

Існуючі методи аналізу форми та положення зубних рядів, а також рел'єфу м'яких тканин протезного ложа передбачають використання гіпсових моделей зубних дуг та застосування спеціальних механічних пристосувань, що дозволяють реєструвати прикус. Традиційно, для дослідження та візуалізації зовнішнього вигляду зубних дуг використовуються лише 2D зображення, які не дають повного та адекватного уявлення, а, отже, не дають необхідної точності і не зручні для стоматолога. [32] Фотограмметричний підхід дозволяє вирішити всі описані проблеми з належною точністю вимірювань і вичерпними даними, широкими можливостями документування та представлення. [33,34]Розроблені фотограмметричні методики використовуються для автоматизованого створення 3D-моделей обличчя та зубної дуги пацієнта, для реєстрації прикусу, планування лікування та документування.[35]

Концепція виготовлення CAD/CAM фрезерованих верифікаційних шаблонів для виготовлення повнодугової мостоподібної конструкції з опорою на імплантати при лікуванні вторинної адентії шляхом з використанням методу фотограмметрії для збору даних – це ще один напрямок активного наукового пошуку стоматологів різних країн. При цьому ставиться за мету подолання розриву між аналоговими та цифровими робочими процесами шляхом впровадження техніки CAD/CAM для внутрішньоротової перевірки інформації, отриманої в цифровому вигляді.[36]

Ортопедична стоматологія зацікавлена у повній реалізації технологічного потенціалу фотограмметрії для такого вкрай важливого етапу, як створення віртуальних відбитків щелеп. Окремі експериментальні напрацювання демонструють успішність використання комплексу: камера-ендоскоп, персональний комп'ютер та фотограмметричні програмні пакети із відкритим кодом (VisualSFM, CMVS/PMVS та MeshLab). Розробка дозволить запропонувати низьку вартість, простий дизайн і зручну систему для створення тривимірних фізичних об'єктів.

Продовжується технічне удосконалення оснащення для проведення фотограметрії для підвищення рівня доступності методу для стоматологів на рівні користувачів. [37] Наприклад, пропонуються конструкції сканерів до звичайного мобільного телефону, які дозволять згенерувати тривимірний об'єкт, що буде вкрай корисним для планування лікування та виготовлення зубних протезів. Не залишився поза увагою стоматологів аспект застосування фотограмметрії для точного позиціонування дентальних імплантатів та ортопедичних конструкцій, що на них спираються. [38] При цьому неодноразово наголошувалось, що відмінність результатів, отриманих за результатами відбитків та фотограмметрії при їхньому порівнянні, свідчить про труднощі оцінки клінічної придатності, коли перевірка проводиться лише на рівні лабораторної моделі.

Бурхливий розвиток сучасної ортопедичної стоматології також пов'язаний із впровадженням передових технологічних рішень.[39] Одним з таких рішень у сфері стоматологічної практики є отримання точного відображення 3D моделей щелеп та зубів для різних цілей. [40]Застосування безконтактних 3D-систем, таких як фотограмметрія близької відстані, дозволяє швидко і точно відображати 3D-моделі зубів. Численні характерні проблеми описані у наукових публікаціях вказують на те, що медична фотограмметрія ще не у повній мірі розкрила свій потенціал, але, тим не менш, заслуговує на визнання та продовження фундаментальних досліджень.

Висновок

Проведений літературний аналіз довів, що незважаючи на очевидні переваги, більш широке застосування фотограмметрії в окремих аспектах до сьогодні стикається з певними труднощами. Недостатня технічна підготовка обслуговуючого персоналу, відсутність наукового осмислення реальних можливостей фотограмметричних методів для практичного використання, є на сьогодні суттєвою перешкодою для досягнення більш значущих і якісних результатів у науці та клінічній стоматології. Подальші перспективи впровадження фотограмметрії пов'язані з науковим пошуком у двох основних напрямках: як діагностичний інструмент та як необхідна технічна складова при виготовленні фізичних об'єктів, зокрема – конструкцій зубних протезів.

Література

1. Yatsenko PI, Rybalov OV, Yatsenko OI, Novikov VM, Korol DM, Kindiy DD, et al. Electromyographic characteristics of temporal and masticatory muscles in patients with compression-dislocation dysfunction of temporomandibular joints of different severity. Wiadomosci lekarskie (Warsaw, Poland : 1960). 2018;71(3).
2. Tkachenko IM, Vodoriz YY, Marchenko IY, Shundryk MA, Korol DM, Gurzhiy OV. Changes in electromyography test results of patients with pathological abrasion of teeth. the role of anterior teeth in the process of rehabilitation. Wiadomosci lekarskie (Warsaw, Poland : 1960). 2019;72(4).
3. Pavlenko SA, Pavlenkova EV, Tkachenko IM, Sidorova AI, Korol DM. Prognostic indices of pathological tooth wear development. Wiadomosci lekarskie (Warsaw, Poland : 1960). 2020;73(7).
4. Galantucci LM. New challenges for Reverse Engineering in facial treatments: How can the new 3-D non invasive surface measurements support diagnosis and treatment? In: Innovative Developments in Design and Manufacturing - Advanced Research in Virtual and Rapid Prototyping. 2010.
5. Gage CC, Elo JA, Sun HHB, McClendon GD, Azevedo B, Henson BS. Comparison of facial morphometric analysis using CBCT volumetric rendering and digital photography. Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, Medicine, and Pathology. 2016;28(3).
6. Vilborn P, Bernitz H. A systematic review of 3D scanners and computer assisted analyzes of bite marks: searching for improved analysis methods during the Covid-19 pandemic. International Journal of Legal Medicine. 2021.
7. Guerra MG, Volpone C, Galantucci LM, Percoco G. Photogrammetric measurements of 3D printed microfluidic devices. Additive Manufacturing. 2018;21.
8. Mitchell HL, Chadwick RG. Digital photogrammetric concepts applied to surface deformation studies. Geomatica. 1999;53(4).
9. Ferrario VF, Sforza C, Miani A, Serrao G. A three-dimensional evaluation of human facial asymmetry. Journal of anatomy. 1995;186 (Pt 1).
10. Lincoln KP, Sun AYT, Prihoda TJ, Sutton AJ. Comparative Accuracy of Facial Models Fabricated Using Traditional and 3D Imaging Techniques. In: Journal of Prosthodontics on Complex Restorations. 2016.
11. Loveday OE, Hakeem FB, Lekara DT. A software tool for facial analysis. Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology. 2012;4(6).
12. Esabish PL, Beugre-Kouassi LMA, Baukaka FS, Nzanza RM, Gboro TD, Beugre JB. Facial photogrammetric profile measurements and sagittal dental occlusion in the young Congolese Bantu Adult (DRC). International Orthodontics. 2019;17(2).
13. Hassan RB, Azmi A, Zreaqat M, Yusuf A. Measurements of facial morphology in normal Malay children using a Stereo Photogrammetry, 3dMD System. International Medical Journal. 2011;18(1).
14. Syutkina TA, Galeev RM. Digital copies for anthropological research: Virtual models and databases. Vestnik Archeologii, Antropologii i Etnografii. 2021;1(52).
15. Arapović-Savić M, Savić M, Umićević-Davidović M, Arbutina A, Nedeljković N, Glišić B. A novel method of photogrammetry measurements of study models in orthodontics. Srpski Arhiv za Celokupno Lekarstvo. 2019;147(1–2).
16. Geiger M, Sander FG. Measuring precisely the orthodontic long-term tooth movement in case of canine retraction with the "Hybrid Retraktor" utilizing macro photogrametry. Journal of Biomechanics. 2006;39.
17. Hajeer MY, Millett DT, Ayoub a F, Siebert JP. Applications of 3D imaging in orthodontics: part I. Journal of orthodontics. 2004;31(1).
18. Bergström J. Photogrammetric registration of dental plaque accumulation in vivo. Acta Odontologica Scandinavica. 1981;39(5).
19. Ayaz I, Shaheen E, Aly M, Shujaat S, Gallo G, Coucke W, et al. Accuracy and reliability of 2-dimensional photography versus 3-dimensional soft tissue imaging. Imaging Science in Dentistry. 2020;50(1).
20. Grenness MJ, Osborn JE, Tyas MJ. Mapping tooth surface loss with a fixed-base stereo camera. Photogrammetric Record. 2008;23(122).
21. Hubar JS, Cresson RJ. Technical note. A novel technique for pre-implant radiography using an instant camera system. Dentomaxillofacial Radiology. 1996;25(3).
22. Knyaz VA, Gaboutchian A v. PHOTOGRAMMETRY-BASED AUTOMATED MEASUREMENTS FOR TOOTH SHAPE AND OCCLUSION ANALYSIS. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2016;XLI-B5.
23. Negi G, Chitra P. Photogrammetric reliability of frontal facial photographs with radiographs and anthropometric measurements. Journal of Oral Biology and Craniofacial Research. 2019;9(3).
24. Mikhail E. Principles and applications of Analytical Mirror Photogrammetry. PHOTOGRAMMETRIC ENGINEERING. 1968;34(10).
25. Mitchell HL, Chadwick RG, McCabe JF. Monitoring Wear On Dental Restoration Surfaces Using Microscope Photogrammetry. In: Baumann JU, Herron RE, editors. Biostereometrics '88 [Internet]. 1989. p. 294. Available from: http://proceedings.spiedigitallibrary.org/proceeding.aspx?doi=10.1117/12.950481
26. Nikolopoulos D, Tsioukas V, Sechidis L, Koidis P, Patias P. 4D photogrammetric recording of soft and hard tissues of the lower part of face for decision making in dental treatment planning. In: International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives. 2006.
27. Penarrocha D oltra, Agustin R panadero, Pradies G, Gomar S vercher, Penarrocha M diago. Maxillary Full-Arch Immediately Loaded Implant-Supported Fixed Prosthesis Designed and Produced by Photogrammetry and Digital Printing: A Clinical Report. In: Journal of Prosthodontics on Complex Restorations. 2016.
28. Rivara F, Lumetti S, Calciolari E, Toffoli A, Forlani G, Manfredi E. Photogrammetric method to measure the discrepancy between clinical and software-designed positions of implants. Journal of Prosthetic Dentistry. 2016;115(6).
29. Forlani G, Rivara F. Photogrammetric determination of discrepancies between actual and planned position of dental implants. In: ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2014.
30. Pradíes G, Ferreiroa A, Özcan M, Giménez B, Martínez-Rus F. Using stereophotogrammetric technology for obtaining intraoral digital impressions of implants. Journal of the American Dental Association. 2014;145(4).
31. Agustín-Panadero R, Peñarrocha-Oltra D, Gomar-Vercher S, Peñarrocha-Diago M. Stereophotogrammetry for Recording the Position of Multiple Implants: Technical Description. The International Journal of Prosthodontics. 2015;28(6).
32. Diouf JS amba, Touré B, Ndiaye M, Badiane A, Diop-Bâ K, Ngom PI brahima, et al. Correlation between sagittal pho-

togrammetric measurements of the soft tissue profile and dental arches measurements. Orthodontie française. 2015;86(4).
33. Örtorp A, Jemt T, Bäck T. Photogrammetry and conventional impressions for recording implant positions: A comparative laboratory study. Clinical Implant Dentistry and Related Research. 2005;7(1).
34. Glon F, Flys O, Lööf PJ, Rosén BG. 3D SEM for surface topography quantification - A case study on dental surfaces. In: Journal of Physics: Conference Series. 2014.
35. Riakhovskiĭ AN, Zheltov SI, Kniaz' VA, Iumashev A v. Apparatno-programmnyi kompleks polucheniia 3D-modelei zubov. Stomatologiya. 2000;79(3).
36. Sinescu C, Negrutiu M, Faur N, Negru R, Romînu M, Cozarov D. Dental scanning in CAD/CAM technologies: laser beams. In: Lasers in Dentistry XIV. 2008.
37. Patel M, Mettenburg D. The Application of Low-Cost, Close-Range Photogrammetry in Dentistry. The Arsenal: The Undergraduate Research Journal of Augusta University. 2020;3(2).
38. Azevedo L, Molinero-Mourelle P, Antonaya-Martín JL, del Río-Highsmith J, Correia A, Gómez-Polo M. Photogrammetry Technique for the 3D Digital Impression of Multiple Dental Implants. In: Lecture Notes in Computational Vision and Biomechanics [Internet]. 2019. p. 615–9. Available from: http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-32040-9_62
39. Varghese G, Moral M, Castro-García M, López-López JJ, Marín-Rueda JR, Yagüe-Alcaraz V, et al. Fabrication and characterisation of ceramics via low-cost DLP 3D printing [Fabricación y caracterización de cerámicas medinate impresión 3D DLP de bajo coste]. Boletin de la Sociedad Espanola de Ceramica y Vidrio. 2018;57(1).
40. Ali FI, Tarik Al-dahan Z. Teeth Model Reconstruction Based on Multiple View Image Capture. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering [Internet]. 2020 Dec 10;978(1):012009. Available from: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/978/1/01 2009

Матеріал надійшов до редакції 00.00.2022 р.