

ІМПЛАНТОЛОГІЯ

УДК 616.314.163-74:615

DOI <https://doi.org/10.35220/2078-8916-2024-52-2.17>**М.Ю. Гончарук-Хомин,**

PhD, доктор філософії, завідувач кафедри
терапевтичної стоматології, академічний редактор
Pesquisa Brasileira em Odontopediatria
e Clínica Integrada,
Державний вищий навчальний заклад
«Ужгородський національний університет»,
вул. Університетська, 16а, м. Ужгород, Україна,
індекс 88000, myroslav.goncharuk-khomyun@uzhnu.edu.ua

І.В. Тукало,

PhD-здобувач кафедри хірургічної стоматології
та клінічних дисциплін,
Державний вищий навчальний заклад
«Ужгородський національний університет»,
вул. Університетська, 16а, м. Ужгород, Україна,
індекс 88000, tukaloigor@gmail.com

А.І. Лях,

PhD-здобувач кафедри ортопедичної стоматології,
Державний вищий навчальний заклад
«Ужгородський національний університет»,
вул. Університетська, 16а, м. Ужгород, Україна,
індекс 88000, artur.liakh@uzhnu.edu.ua

В.В. Стойка,

PhD-здобувач кафедри ортопедичної стоматології,
Державний вищий навчальний заклад
«Ужгородський національний університет»,
вул. Університетська, 16а, м. Ужгород, Україна,
індекс 88000, vasyi.stoika@uzhnu.edu.ua

ФАКТОРИ ВПЛИВУ ТА ПІДХОДИ ДО ОПТИМІЗАЦІЇ ОЦІНКИ МІЖОКЛЮЗІЙНИХ СПІВВІДНОШЕНЬ ВЕРХНЬОЇ ТА НИЖНЬОЇ ЩЕЛЕП ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ДАНИХ ІНТРАОРАЛЬНОГО СКАНУВАННЯ

Мета дослідження. Вивчити та систематизувати дані літератури щодо факторів впливу, особливостей реєстрації та валідності діагностованих параметрів міжоклюзійних співвідношень верхньої та нижньої щелеп (в умовах статичного положення максимальної інтеркуспідациї), встановлених з використанням технології інтраорального сканування, а також підходів до оптимізації цифрової верифікації таких. **Матеріали та методи.** Проведене дослідження було організовано у форматі комплексного огляду літератури.

Пошук наукових джерел, афілійованих із поставленою метою дослідження, забезпечувався через пошукову систему Google Scholar (<https://scholar.google.com/>) за ключовими словами «intraoral scanning», «virtual static occlusion», «bite scan», «maxillomandibular relationship» при різних їхніх комбінаціях з використанням функцій розширеного пошуку. При відповідності інформації наведеної у резюме наукової роботи поставленій меті даного дослідження проводився подальший деталізований контент-аналіз тексту роботи з пошуком даних, відповідних сформульованим категоріям цільового контент-аналізу. **Наукова новизна.** Чутливість реєстрації статичних оклюзійних взаємовідношень при використанні технології інтраорального сканування за даними доступного мета-аналізу становить на рівні 0,76, тоді як специфічність – на рівні 0,80; при цьому у більшості попередніх досліджень повідомлялось про рівень девіацій при реєстрації оклюзійних взаємовідношень та контактів за даними інтраорального сканування в межах 0,5 мм, хоча в окремих роботах були продемонстровані і вищі показники відхилень. Рівень чутливості у 70% та специфічності в 95% для інтраоральних сканів можна вважати мінімально прийнятним для клінічно-точної оцінки міжоклюзійних взаємовідношень щелеп. Правдивість реєстрації оклюзійних співвідношень у стані максимальної інтеркуспідациї залежить від використовуваної технології інтраорального сканування та відрізняється між такими. Наявність ділянок відсутності двох і більше зубів знижує точність реєстрації оклюзійних співвідношень верхньої та нижньої щелеп у стані максимальної інтеркуспідациї. **Висновки.** Підхід до цифрової реєстрації статичної оклюзії з використанням інтраорального сканера можна інтерпретувати як такий, що характеризується порівнюваною точністю із аналоговими методами у випадках відсутності ділянок адентії, при стабільних оклюзійних контактах, при одиночно відпрепарованих зубів, або ж при відсутності одиночних зубів у дистальних ділянках при достатній стабільності прикусу. Кількість зубів, які включені у скан-реєстрат оклюзійних співвідношень, а також положення таких, впливають на точність цифрових bite-реєстратів отриманих технологією інтраорального сканування. При тотальній реабілітації ортопедичними конструкціями з опорою на власних зубах з метою належної реєстрації міжоклюзійних співвідношень доцільно застосувати класичні еластомерні відбитки, або ж комбінацію таких із цифровими сканами-реєстратами, отриманими до препарування з фронтальної та дистальних ділянок щелеп (білатерально).

Ключові слова: оклюзія, оклюзійні співвідношення, міжщелепові співвідношення, інтраоральне сканування, стоматологія, цифрова стоматологія

M.Yu. Goncharuk-Khomyn,

PhD, Head of Department of Restorative Dentistry,
Academic Editor of *Pesquisa Brasileira em Odontopediatria e Clinica Integrada*,
State High Educational Institution
«Uzhhorod National University»,
16a Universitetska street, Uzhhorod, Ukraine, postal code
88000, myroslav.goncharuk-khomyn@uzhnu.edu.ua

I.V. Tukalo,

PhD-student at the Department of Surgical Dentistry
and Clinical Disciplines, State High Educational Institution
«Uzhhorod National University»,
16a, Universitetska street, Uzhhorod, Ukraine, postal code
88000, tukaloigor@gmail.com

A.I. Liakh,

PhD-student at the Department of Prosthetic Dentistry,
State High Educational Institution
«Uzhhorod National University»,
16a, Universitetska street, Uzhhorod, Ukraine, postal code
88000, artur.liakh@uzhnu.edu.ua

V.V. Stoyka,

PhD-student at the Department of Prosthetic Dentistry,
State High Educational Institution
«Uzhhorod National University»,
16a, Universitetska street, Uzhhorod, Ukraine, postal code
88000, vasyli.stoika@uzhnu.edu.ua

INFLUENTIAL FACTORS AND OPTIMIZATION APPROACHES FOR THE ASSESSMENT OF INTEROCCLUSAL RELATIONSHIP BETWEEN MAXILLA AND MANDIBLE WITH THE USE OF INTRAORAL SCANNING DATA

Purpose of the study. To study and systematize literature data on influential factors, features of registration and validity of diagnosed parameters for interocclusal relationship of maxilla and mandible (in conditions of static position of maximum intercuspitation), established using intraoral scanning technology, as well as approaches aimed at optimization for digital verification of such.

Research methods. Conducted research was organized in the format of a comprehensive literature review. The search for scientific sources affiliated with the present research objective was provided through the Google Scholar system (<https://scholar.google.com/>) using keywords, such as «intraoral scanning», «virtual static occlusion», «bite scan», «maxillomandibular relationship» in their various combinations, while taking into account advanced search functions. If the information given in the summary of the scientific publication corresponded to the objective of present research, further detailed content analysis of the text within scientific paper was carried out with the search for data related to the formulated categories of the target content-analysis. **Scientific novelty.** The sensitivity of static occlusal relationships registration with the use of the intraoral scanning technology according to the

available meta-analysis is set at the level of 0,76, while the specificity is set at the level of 0,80; at the same time, most previous studies reported the level of deviations within 0,5 mm when registering occlusal relationships and occlusal contacts based on intraoral scanning data, although higher levels of deviations were demonstrated in some publications. 70% sensitivity level and 95% specificity level could be considered as minimally acceptable for intraoral scans for clinically accurate assessment of interocclusal relationships. The accuracy of recording interocclusal relationship within the state of maximum intercuspitation depends on the used intraoral scanning technology and varies between such. The presence of areas with missing two or more teeth reduces the accuracy of maxillomandibular relationship registration in the state of maximum intercuspitation. **Conclusions.** Approach of static occlusion digital registration using an intraoral scanner can be interpreted as such with comparable accuracy to analog impressions in cases of absent aedentia areas, stable occlusal contacts, single prepared teeth, or absence of single teeth within the distal areas with sufficient stability of remaining occlusion. The number of teeth that are included within the scan aimed at registering interocclusal relationship, as well as their position, affect the accuracy of digital bite scans obtained by intraoral scanning technology. In the case of total rehabilitation with prosthetic constructions supported by natural teeth it is advisable to use classic elastomeric impressions, or a combination of such with digital bite scans obtained before preparation from the frontal and distal areas of the jaws (bilaterally) in order to properly register interocclusal relationship.

Key words: occlusion, occlusal relationship, maxillomandibular relationship, intraoral scanning, dentistry, digital dentistry.

Постановка проблеми. Реалізації повністю діджиталізованого протоколу стоматологічного лікування у випадках реабілітації пацієнтів ортопедичними конструкціями з опорою на власних зубах передбачає потребу отримання не тільки цифрових відбитків верхньої та нижньої щелеп, але й цифрового реєстрату статичної оклюзії при зімкненні таких та досягненні стану максимальної інтеркуспідації [1, 2, 3, 4].

Попри виражену гетерогенність даних та враховуючи розбіжності у дизайнах комперативних досліджень, результати таких все ж продемонстрували, що внутрішньоротове сканування (інтраоральне сканування – ІОС) є надійним методом для реєстрації відмінностей оклюзійних контактів у пацієнтів з різними видами порушень прикусу [5, 6], при цьому пацієнти з І класом співвідношень характеризувалися найбільшою кількістю точок контакту та їх найбільшою площею [5]. Однак досі відкритим залишається питання не стільки відмінностей оклюзійних контактів, зареєстрованих інтраоральним сканером при різних типах оклюзійних співвідношень, а в принципі

валідності реєстрації таких у стані максимальної інтеркуспідації за умов застосування різних технологій ІОС, різних підходів (стратегій) до сканування та формування цифрового реєстрату прикусу у розрізі показників їх правдивості, прецизійності, чутливості та специфічності.

На точність отриманих цифрових реєстратів оклюзійних співвідношень можуть впливати характеристики використовуваної системи інтраорального сканування, досвід оператора, особливості клінічної ситуації, протяжність та локалізація наявних ділянок адентії, протяжність ділянки сканування в цілому, ширина міжоклюзійного простору, клінічна рухомість зубів та явище фремітусу, та власне характеристики самих сканів-реєстратів (кількість включених до скану зубів та їх локалізація) [1, 4, 7]. Враховуючи, що різні системи сканерів характеризуються варіативним рівнем дисторцій та відмінною ймовірністю розвитку колізій графічних об'єктів зубів при реєстрації міжоклюзійних співвідношень в залежності від особливостей технології та впливу різних факторів, важко передбачити, які з них в подальшому можуть провокувати розвиток станів гіпероклюзії чи дефіциту оклюзійних контактів, що потребуватимуть відповідної компенсації в ході реалізації етапів повністю цифрового протоколу стоматологічної реабілітації [4, 8].

Відтак доцільним є аналіз релевантних даних літератури щодо діагностичної значущості застосування технології інтраорального сканування для коректної реєстрації міжоклюзійних співвідношень верхньої та нижньої щелеп, та систематизація факторів впливу і похибок, котрі можуть виникнути при отриманні так званих цифрових bite-реєстратів в умовах максимальної інтеркуспідації.

Мета дослідження. Вивчити та систематизувати дані літератури щодо факторів впливу, особливостей реєстрації та валідності діагностованих параметрів міжоклюзійних співвідношень верхньої та нижньої щелеп (в умовах статичного положення максимальної інтеркуспідації), встановлених з використанням технології інтраорального сканування, а також підходів до оптимізації цифрової верифікації таких.

Матеріали та методи дослідження. Проведене дослідження було організовано у форматі комплексного огляду літератури. Пошук наукових джерел, афілійованих із поставленою метою дослідження, проводився через пошукову систему Google Scholar (<https://scholar.google.com/>) за ключовими словами «intraoral scanning», «virtual

static occlusion», «bite scan», «maxillomandibular relationship» при різних їхніх комбінаціях з використанням функцій розширеного пошуку. Відбір публікацій для подальшого контент-аналізу проводився за інформацією наведеною у резюме (абстракті) наукової роботи. При відповідності інформації наведеної у резюме наукової роботи поставленій меті даного дослідження був проведений подальший деталізований контент-аналіз тексту роботи з пошуком даних, відповідних наступним категоріям контент-аналізу:

1) показники точності (правдивості та прецизійності), чутливості та специфічності реєстрації міжоклюзійних співвідношень (статичної оклюзії) у стані максимальної інтеркуспідації з використанням технології інтраорального сканування;

2) наявні рекомендації, протоколи та гайдлайни щодо коректної реєстрації міжоклюзійних співвідношень (статичної оклюзії) у стані максимальної інтеркуспідації за даними внутрішньоротового сканування;

3) проблеми, котрі можуть виникнути в ході реєстрації міжоклюзійних співвідношень (статичної оклюзії) у стані максимальної інтеркуспідації при використанні технології інтраорального сканування;

4) характеристики цифрових bite-реєстратів, а також клінічні умови, які можуть впливати на правдивість реєстрації міжоклюзійних співвідношень з використанням технології інтраорального сканування.

В ході пошуку цільової інформації додатково також було проаналізовано інструкції з використання інтраоральних сканів наступних виробників: Medit Corp. (Сеул, Південна Корея), Dentsply Sirona (Шарлотт, Північна Кароліна, США), Condor Technologies NV (Гент, Бельгія).

Систематизація, табуляція та групування даних у відповідності до наведених вище категорій контент-аналізу проводилася у табличному редакторі Microsoft Excel 2021 (Microsoft Office 2021, Microsoft, США) з побудовою структурно-логічних схем між взаємопов'язаними фактами, екстрагованими із масиву даних в процесі контент-аналізу, інтерпретація котрих в подальшому і була представлена у форматі комплексного літературного огляду.

Результати та їх обговорення. Для верифікації точності методу інтраорального сканування з метою реєстрації оклюзійних контактів було запропоновано декілька підходів: оцінка кількості точок фактичного контакту та зон вільних від контактів, ідентифікованих клінічно та на

моделях з використання артикуляційного паперу, з подальшим співставленням їх проєкцій на цифрових сканах; прорахунок кількості точок контакту, визначених на mesh-моделях щелеп та їх сумарної площі по відношенню до таких зареєстрованих фотографічним методом на моделях при маніпуляціях такими у оклюдаторі; порівняння даних апаратів T-scan (Tekscan, Норвуд, Массачусетс, США) або ж Occlusense (Bausch, Кельн, Німеччина) із результатами внутрішньоротового сканування.

Heuser F. та колеги продемонстрували, що хоча методи ІОС, T-scan (Tekscan, Норвуд, Массачусетс, США) та використання артикуляційного паперу не відрізнялися за кількістю зареєстрованих оклюзійних контактів, проте демонстрували різні показники розподілу таких та відмінні рівні їх вираженості: так, артикуляційний папір дозволяв виявити найменшу кількість слабких оклюзійних контактів в порівнянні із іншими методами, проте більшу кількість контактів середнього та сильного рівнів вираженості [9]. У роботі Tarrert M. та співавторів було продемонстровано, що оклюзійна фольга характеризується вищою точністю та репродуктивністю реєстрації оклюзійних контактів в порівнянні із системами сканування CS3600 (CS ScanFlow v. 14 версія), TRIOS 3 (базова версія 2019) та CEREC Omnicam (версія 5.1) [10], що також було підтверджено у дослідженні Hennen M.V., проведеному в тому ж році [11]. Esposito R. та колеги підкреслили, що методи оцінки оклюзійних контактів із використанням оклюзійного паперу та ІОС характеризуються значними відмінностями щодо кількості відмічених контактів, окрім ділянок передніх верхніх різців та премолярів [12].

ІОС продемонструвало можливість реєстрації аналогічної площі оклюзійних контактів, як і система Prescale (Dental Prescale, Fujifilm Co., Токіо, Японія) в області молярів та премолярів, хоча статистично значимі розбіжності між методами були відмічені в ділянках фронтальних зубів [13].

В порівняльному дослідженні система T-Scan продемонструвала вищу чутливість ідентифікації навіть незначних оклюзійних контактів в порівнянні із системою сканування CEREC Omnicam (Dentsply Sirona, Шарлотт, Північна Кароліна, США). В середньому T-Scan дозволяв верифікувати на 27% більше оклюзійних контактів різного рівня вираженості у жінок, і на 11% більше у чоловіків в порівнянні із CEREC Omnicam [14].

Sao R. та колеги навпаки резюмували, що CEREC Omnicam в порівнянні із T-Scan є більш

точною системою аналізу оклюзійних контактів, оскільки така забезпечує більш широкі можливості для об'єктивізованої оцінки кількості, положення, розміру та розподілу таких; крім того, результати отримані із використання CEREC Omnicam простіше суперімпозиціонувати безпосередньо на оклюзійні поверхні зубів, що є відносно утрудненим для технології T-Scan [15]. З іншої сторони основним недоліком ІОС є перерахунок оклюзійних контактів базуючись на близькості просканованих поверхонь зубів-антагоністів, тоді як T-scan дозволяє оцінити силу контактів незалежно від їх площі, а також надає інформацію про локалізацію першого контакту, послідовність їх виникнення, час оклюзії та дизоклюзії, які неможливо визначити з ІОС [16]. В той же час Fraile C. та колеги відмітили вищу надійність методу інтраорального сканування для верифікації оклюзійних контактів, точність якого за даними авторів перевищувала точність методу T-scan [17]. Такий результат, на думку дослідників, був спровокований товщиною датчика системи T-scan, яка в свою чергу провокує виникнення хибно позитивних результатів дослідження. Інтраоральний сканер по відношенню до референсу (артикуляційного паперу товщиною у 8 мкм) характеризувався 83,82% чутливістю та 79,48% специфічністю, лабораторний сканер – 90,80% чутливістю та 57,69% специфічністю, а T-scan – 98,16% чутливістю та 24,35% специфічністю [17].

Виходячи з отриманих даних власних досліджень Abdulateef S. та колеги засвідчили, що інтраоральний скан забезпечує 87% чутливість верифікації оклюзійних контактів та 95% специфічність, що, на думку авторів, є клінічно прийнятним результатом [18]. При цьому в попередньо проведеному мета-аналізі було представлено наступні показники точності реєстрації оклюзійних співвідношень та оклюзійних контактів з використанням інтраорального сканера: правдивість – 243,53 мкм (діапазон: 144,90-342,17 мкм), тоді як прецизійність – 54,97 мкм (діапазон: 43,49-66,46 мкм) (на основі проаналізованих трьохмірних девіацій) [19]. За даними цього ж мета-аналізу чутливість реєстрації статичних оклюзійних взаємовідношень при використанні технології інтраорального сканування була встановлена на рівні 0,76, а специфічність – на рівні 0,80 [19]. У більшості попередніх досліджень також повідомлялось, що рівень девіацій ІОС при реєстрації оклюзійних взаємовідношень та реєстрації контактів сягає в межах 0,5 мм, хоча

в окремих роботах були продемонстровані і вищі показники похибок [4]. Xin Yee S.H. та колеги відмітили, що сумарний рівень дисторції у структурі показника реєстрації оклюзійних співвідношень не перевищував 0,6%, а варіації такого залежали від використовуваної технології сканування та використовуваного алгоритму віртуальної артикуляції [20, 21]. Сукупні результати декількох досліджень дозволили резюмувати, що рівень чутливості у 70% та специфічності в 95% для інтраоральних сканів є мінімально прийнятним для клінічно-точної оцінки оклюзійних контактів [4]. Для ортодонтичних цілей оцінка міжоклюзійних контактів з використанням ІОС вважається прийнятною, якщо така сягає точності в межах 500 мікрон [4].

Попередній систематичний огляд Shadid R. та Sadaqah N. відмітив, що, враховуючи результати переважної більшості досліджень саме лабораторного характеру, підхід до цифрової реєстрації статичної оклюзії можна інтерпретувати, як такий, що характеризується порівнюваною точністю із аналоговими методами реєстрації міжоклюзійних співвідношень у випадках відсутності ділянок адентії, при стабільних оклюзійних контактах, при одиночно відпрепарованих зубів, або ж при одиночно відсутніх зубів у дистальних ділянках щелеп за умов належної клінічної стабільності прикусу [7].

У комперативному дослідженні Ries J.M. та колег (2022) було визначено, що інтраоральні скани-реєстрати оклюзійного співвідношення верхньої та нижньої щелеп характеризуються вищою точністю, ніж сканування (оцифрування) оклюзійного реєстрату, отриманого полівінілсилоксановим матеріалом ($0,05 \pm 0,04$ мм проти $0,15 \pm 0,08$ мм), що особливо було виражено по осі Х; при цьому обидва ці методи характеризувались вищою точністю, ніж та, яка була відмічена для реєстрації міжщелепових оклюзійних співвідношень суто аналоговим методом (шляхом використання відбиткового матеріалу, для якого девіації варіювали в діапазоні $0,41 \pm 0,46$ - $0,44 \pm 0,32$ мм) [22]. Аналогічні результати також були відмічені і у порівняльному дослідженні Iwachi Y. та колег, які також відзначили, що прецизійність реєстрації оклюзійних співвідношень сканерами True Definition (3M™, Діегем, Бельгія) (25 ± 12 мкм) та Trios 3 (3Shape, Копенгаген, Данія) (31 ± 7 мкм) була вищою, ніж у аналогового відбитка [23].

Результати дослідження Cha C. та колег (2023) відмітили, що різні технології інтраорального сканування відрізняються у патернах змін фактичної

статичної оклюзії: так, система Trios 3 (3Shape, Копенгаген, Данія) характеризувалася вищим рівнем девіації по всій протяжності зубного ряду, при цьому провокуючи зростання міжщелепової відстані в передній ділянці та її зменшення в дистальних; Primescan (Dentsply Sirona, Шарлотт, Північна Кароліна, США) провокував же зменшення міжщелепових відстаней як у передній, так і в дистальних ділянках, але обидві технології характеризувалися вищою точністю реєстрації статичної оклюзії у випадках її білатеральної реєстрації, в порівнянні із отриманням bite-реєстрату лише у фронтальній ділянці [24].

При апробації трьох систем сканування Medit i500 (Medit Corp., Сеул, Південна Корея), Primescan (Dentsply Sirona, Шарлотт, Північна Кароліна, США) та Trios 4 (3Shape, Копенгаген, Данія) з використанням розробленої лабораторної дослідницької моделі та направленим розіркненням прикусу на досліджуваних моделях за рахунок конгруентних спеціальних штучних підтримок з лінгвальної сторони було встановлено, що усі три системи в експериментальних умовах демонструють середню максимальну похибку реєстрації міжоклюзійних співвідношень понад 50 мікрон (Primescan – 14 - 97 мікрон при співставленні гіпсових моделей та 2 - 213 при співставленні акрилових моделей, Trios 4 – 23 - 99 мікрон при співставленні гіпсових моделей та 2 - 226 при співставленні акрилових моделей, Medit i500 – 24 - 210 при співставленні гіпсових моделей) [25]. Система Medit за даними досліджень демонструвала тенденцію до позитивної зміни міжоклюзійних відстаней (тенденція до формування більшого зазору між щелепами) [25].

В умовах лабораторного дослідження було встановлено, що три апробовані системи сканерів (CEREC, TRIOS, PLANMECA) характеризуються варіативністю репрезентації оклюзійних контактів у однакових дослідницьких умовах: CEREC демонстрував найбільшу площу оклюзійних контактів, а PLANMECA – найменшу, при цьому найбільші девіації показників сканерів були характерні специфічно для дистальних ділянок щелеп (низька прецизійність) в умовах наявності усіх зубів [26]. В умовах втрати дистальних зубів прецизійність реєстрації оклюзійних співвідношень у фронтальних ділянках щелеп також знижувалась [26].

Botsford K. та колеги відмітили, що системи ІОС характеризуються високою прецизійністю щодо верифікації положення та площі оклюзійних контактів, однак низькою прецизійністю по

відношенню до рівнів їх інтенсивності [27]. При цьому дослідниками було відмічено, що інтраоральні скани характеризуються тенденцією до пропускання деяких оклюзійних контактів, відтак при імітації оклюзійних співвідношень в цифровому середовищі можуть виникати графічні «перфорації» між зубами-антагоністами, хоча в низці досліджень виникнення оклюзійних колізій між графічними об'єктами зубів була пояснена й іншими механізмів розвитку [27]. Abdulateef S. та колегами для компенсації такого ефекту було запропоновано виконання декількох сканів для реєстрації прикусу (з вестибулярної сторони), або ж сканування стану максимальної інтеркуспідації по усій зубній дузі [18].

Кількість зубів, які включені у скан-реєстрат оклюзійних співвідношень, а також положення таких, впливають на точність власне отриманих bite-реєстратів. У випадках білатерального сканування прикусу відмічалися вищі показники точності реєстрації міжклюдійних взаємовідношень, ніж при реєстрації такого з одного боку, крім того, збільшення кількості зубів дозволяло досягнути вищої правдивості отриманих результатів, хоча скан-реєстрати протяжністю у 2 зуби характеризувалися вищою прецизійністю (з яких комбінація моляр-премоляр демонструвала найвищу прецизійність, а комбінація обох премолярів – найнижчу прецизійність) [28].

У клінічному дослідженні Liu H.L. та колег, використання протяжності скануванні від ікла до моляра продемонструвало найвищі показники точності реєстрації міжклюдійних співвідношень, а загальновиражена тенденція демонструвала нижчу точність реєстрації міжклюдійних співвідношень за результатами сканування передніх зубів, ніж за реєстратами сканування дистальних зубів (премолярів та молярів) [29].

У 2015 році Solaberrieta E. та колеги визначили, що оптимальним підходом до реєстрації міжклюдійних співвідношень є формування цифрових bite-реєстратів з двох контрлатеральних ділянок щелеп та додатково фронтальної ділянки, при цьому оптимальна протяжність bite-реєстрату повинна сягати не менше 12 мм × 15 мм [30].

У актуальному дослідженні Lee J.D. та колег від 2023 року було відмічено, що білатеральний підхід до реєстрації віртуальної статичної оклюзії характеризується вищим рівнем точності, ніж підхід із формуванням bite-реєстрату по всій протяжності зубних рядів ($0,053 \pm 0,051$ мм проти $0,265 \pm 0,241$ мм), при цьому девіації bite-реєстрату сформованого по всій протяжності зубних рядів були вищими за такі у реєстраті білатерального типу як у фронтальній, так і в дистальних ділянках [31] (рис. 1).

Систематичний огляд Revilla-León M. від 2023 року продемонстрував, що для адекватної реєстрації оклюзійних співвідношень із використанням технології інтраорального сканування необхідним є отримання двох білатеральних сканів-реєстратів дистальних ділянок та одного скану-реєстрату з фронтальної ділянки, протяжністю мінімум в 2 зуби; або ж лише двох білатеральних сканів-реєстратів протяжністю 4 зуби [1]. Для забезпечення належної точності реєстрації оклюзійних співвідношень при необхідності сканування ділянки половини щелепи доцільним є отримання цифрового реєстрату прикусу протяжністю мінімум в 4 зуби [1]. При цьому в ході систематичного огляду було встановлено, що відсутність двох і більше зубів знижує точність зареєстрованого положення верхньої та нижньої щелеп в стані максимальної інтеркуспідації. Revilla-León M. та колеги також виявили, що збільшення продовжуваності цифрових bite-реєстратів

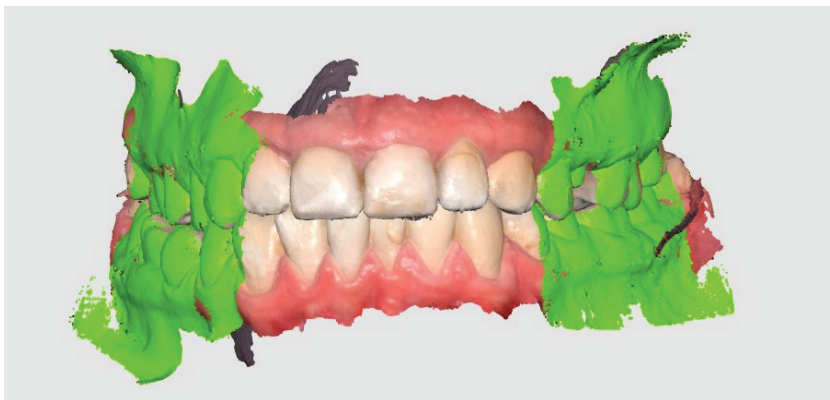


Рис. 1. Приклад білатеральної реєстрації оклюзійних співвідношень з використанням ІОС Medit I500 (Medit Corp. (Сеул, Південна Корея) (клінічний випадок із власної практики Гончарук-Хомин М.Ю.)

з розміру у половину щелепи до розміру на всю протяжність щелепи значно не покращує точність реєстрації статичного міжоклюзійного співвідношення [1].

Провівши аналіз факторів, що потенційно можуть впливати на точність реєстрації оклюзійних контактів, Chinam N. та колеги (2023) запропонували наступний алгоритм проведення реєстрації міжоклюзійних співвідношень при інтраоральному скануванні щелеп без ознак часткової адентії [4]:

1) якщо доступні скани отримані лише з квадранту зони інтересу (препарування) – доцільним є односторонній скан-реєстрат з ділянки біля проведеного препарування протяжністю в 4 зуби без пересічення серединної лінії;

2) якщо доступні скани отримані з усієї щелепи – доцільними є білатеральні скани-реєстрати протяжністю в 4 зуби кожен (шириною в 36 мм і 15 мм висотою) з максимальною відстанню між просканованими секціями, або ж 3 скани-реєстрати шириною в 24 мм і висотою в 15 мм;

3) якщо препарування було проведено у фронтальних ділянках – необхідно отримувати цифровий скан-реєстрат з лівої дистальної ділянки;

4) якщо препарування було проведено у дистальній правій ділянці однієї із щелеп – необхідно отримати білатеральні скан-реєстрати протяжністю з другого моляра до першого премоляра, або скан-реєстрат протяжністю в квадрант від другого моляра до ікла, або ж скан-реєстрат протяжністю в квадранта з правої сторони;

5) якщо препарування було проведено у дистальній лівій ділянці однієї з щелеп – необхідно отримати білатеральні скан-реєстрати протяжністю з другого моляра до першого премоляра, або скан-реєстрат протяжністю в квадрант від другого моляра до ікла, або ж скан реєстрат протяжністю в квадранта з лівої сторони [4].

У випадках часткової адентії необхідно враховувати наступні рекомендації щодо отримання коректних сканів-реєстратів міжоклюзійних співвідношень [4]:

1) при одиночно відсутніх зубах – bite-реєстрат доцільно отримати до препарування;

2) при відсутності дистальних зубів з однієї сторони однієї щелепи – доцільно отримати скан-реєстрат зі сторони локалізації майбутньої протетичної конструкції без пересічення серединної лінії;

3) при комплексній реабілітації з відновленням значної групи зубів коронками – доцільно

використовувати скан-реєстрати з усієї щелепи перед препаруванням;

4) при відсутності зубів-антагоністів в дистальних ділянках – доцільно застосувати лабораторний сканер, або ж додаткові маркери для оптимізації роботи з інтраоральним сканером;

5) при тотальній реабілітації ортопедичними конструкціями з опорою на власних зубах – доцільно застосувати класичні еластомерні відбитки, або ж комбінацію цифрових сканів-реєстратів до препарування з фронтальної та дистальних ділянок (білатерально) [4].

Edher F. та колеги наголосили, що у випадках наявності зони інтересу (препарування) з однієї сторони доцільно отримати скан-реєстрат оклюзійних співвідношень з різних сторін (із зони інтересу та їй протилежної), щоб мінімізувати ефект візуального «нахилу» щелепи в сторону відсутніх антагоністів [32]. У разі, якщо програмне забезпечення передбачає можливість отримання лише одного скану-реєстрату оклюзії, доцільно проводити такий якнайближче до зони інтересу (препарування) [32]. Одиночний скан-реєстрат оклюзійних співвідношень у фронтальній ділянці характеризувався вищою точністю, ніж одиночний скан-реєстрат однієї з дистальних ділянок щелепи, тому у разі потреби реєстрації співвідношень без чіткої зони інтересу доцільніше проводити контрольне сканування у фронтальній ділянці [32]. У випадках одиночних ділянок препарування скани-реєстрати оклюзійних співвідношень, отримані із квадрантів, а не з усієї щелепи, характеризувались найвищим рівнем чутливості [32].

У роботах Park J.-M. від 2018 року було відмічено, що попри те, що різні сканери характеризується різним рівнем точності реєстрації міжоклюзійних співвідношень, рівень даної точності знижувався при направленому збільшенні міжщелепового кліренсу в 2, 3 та 4 мм в порівнянні з точністю при 1 мм міжоклюзійного кліренсу [33]. У дослідженні Revilla-Leon M. також було встановлено, що рівень міжоклюзійного простору при отриманні білатеральних сканів-реєстратів впливав на показники правдивості зареєстрованих міжоклюзійних співвідношень [3]. В проведеному дослідженні було відмічено, що міжоклюзійна відстань в 135 мікрон характеризувалася найбільшим рівнем дисторсії по відношенню до точності отриманих bite-реєстратів, в той час як міжоклюзійна відстань в 71-73 мікрони – найменший рівень дисторсії [3]. Співвідношення даних результатів було справедливе як для показ-

ників правдивості, так і прецизійності. Скани-реєстрати оклюзійних співвідношень отримані із окремих квадрантів щелепи характеризувалися високим рівнем чутливості, демонструючи можливість верифікації контакту ділянок зубів-антагоністів, наближених один до одного на відстань меншу 100 мкм, тоді як такі скани також характеризувалися високим рівнем хибної демонстрації ділянок з міжоклюзійним кліренсом понад 100 мкм. Скани-реєстрати міжоклюзійних співвідношень, які охоплювали всю зубну дугу, характеризувалися вищою специфічністю по відношенню до верифікації зон із міжоклюзійним кліренсом понад 100 мкм [4]. Проте наявність мінімізованого міжоклюзійного простору в стані максимальної інтеркуспідації провокувала зниження показника точності реєстрації міжоклюзійних співвідношень, зареєстрованих з використанням методу інтраорального сканування, тоді як збільшення міжоклюзійного простору до певної межі було асоційовано із зростанням показників як правдивості, так і прецизійності даного методу для реєстрації оклюзійних співвідношень [3].

З іншої сторони вища сила накушування за даними Okamoto M. та колег дозволяла досягти більш точних показників реєстрації міжоклюзійних співвідношень, та дозволяла візуалізувати більшу площу оклюзійних контактів в цілому при їх верифікації методом інтраорального сканування, що, на думку авторів, може бути пов'язано із стабілізацією співвідношень щелеп між собою [34]. Оклюзійна травма при накушуванні в свою чергу може компрометувати точність реєстрації оклюзійних співвідношень за даними ІОС. Доцільним є сегментація зубів із ознаками фремітусу понад 0,5 мм із ділянки скан-реєстрата міжоклюзійних співвідношень [4]. Jeong Y. та колеги (2022) підтвердили, що тримінг зубів із ознаками фремітусу дозволяє статистично значуще покращити точність реєстрації міжщелепових співвідношень у стані максимальної інтеркуспідації з використанням технології інтраорального сканування [35].

Виникнення графічних оклюзійних колізій (пенетрацій в структуру зображення сітки поверхонь зубів) може виникати в ході співставлення (елайнменту) сканів щелеп по даним щічного скану-реєстрату. Причинами таких можуть бути неточності в ході сканування, що формуються в результаті кумулятивної дії ефекту «зшивання» зображень, особливостей пост-процесингу, помилок взаємосуміщення, різних алгоритмів суміщення (метчингу), і надто щільного клінічного

контакту зубів у структурі прикусу пацієнта [4]. При цьому функції співставлення сканів у певне оклюзійне співвідношення можуть бути автоматичними у структурі програмного забезпечення, асоційованого із системами сканування, проте співставлення також можна проводити, або ж коригувати в мануальному режимі. За даними огляду Chinam N. та колег інтероклюзійні дисторції можуть мати позитивний та негативний характер: позитивні асоційовані з ризиком виникнення гіпероклюзії на виготовлених реставраціях, а негативні – із недостатньої кількістю оклюзійних контактів [4]. Попередньо було повідомлено про можливий діапазон оклюзійних дисторцій в межах від -225,9 до 26,3 мікрон [4] (рис. 2).

Beck F. та колеги відмітили, що наявність інтерсекцій в ділянках оклюзійних контактів, зареєстрованих з використанням інтраоральних сканів, можуть бути використані для подальшого більш глибокого дослідження оклюзійних співвідношень, та внесення відповідних корекцій, тоді як відсутність таких при реєстрації міжоклюзійних співвідношень лабораторним сканером на моделях по суті виключає такі можливості, оскільки не передбачає врахування фізіологічних властивостей пародонту, рухомості зубів та мікродефлексій одонтогліфічних структур зуба [36].

При корекції оклюзійних графічних колізій кращі результати правдивості реєстрації міжоклюзійних співвідношень були відмічені у випадках використання з метою оптимізації сканів постпроцесингу, передбаченого системою інтраорального сканування, а не додаткового CAD-програмного забезпечення. Використання програмного забезпечення CAD значно не поліпшувало результати оптимізації міжщелепових співвідношень у порівнянні з тими, які були отримані в ході скан-афілійованого постпроцесингу, в той же час оптимізації оклюзійних співвідношень лише у CAD-програмному забезпеченні забезпечувало отримання гірших результатів корекції, аніж опрацювання сканів у програмі, пов'язаній із використанням конкретного сканера [37, 38] (рис. 3).

Revilla-León M. також виявили, що застосування додаткового програмного забезпечення на основі штучного інтелекту (BiteFinder) дозволяє досягти прийнятних показників точності реєстрації об'єктивних міжоклюзійних співвідношень, при цьому найкращий результат був відмічений у випадках, коли отримані скани спочатку були опрацьовані у програмному забезпеченні сканера для первинного визначення міжоклюзійних

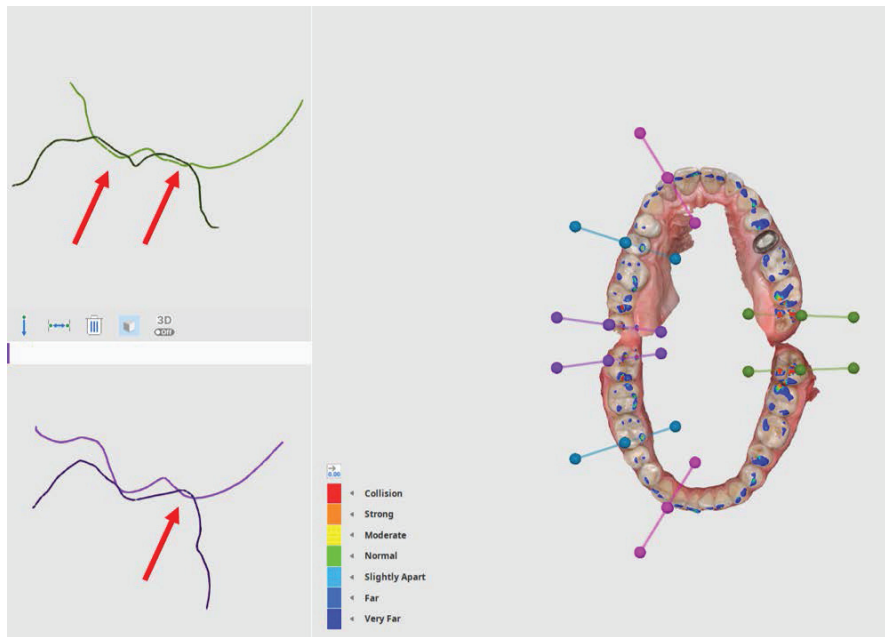


Рис. 2. Приклади оклюзійних колізій при білатеральній реєстрації оклюзійних співвідношень з використанням ІОС Medit I500 (Medit Corp. (Сеул, Південна Корея) (клінічний випадок із власної практики Гончарук-Хомин М.Ю.)

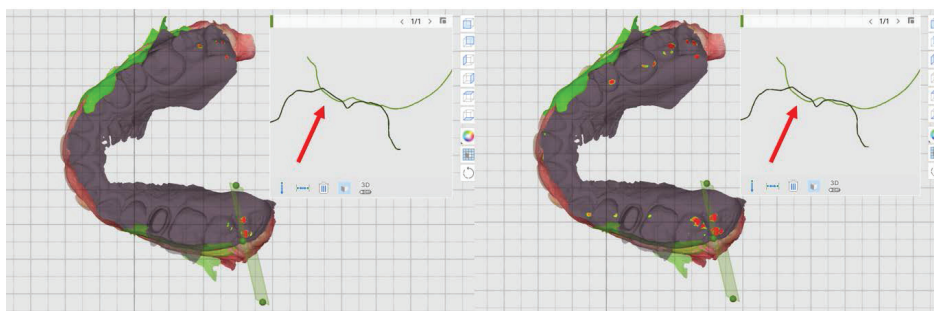


Рис. 3. Приклади різних алгоритмів компенсації оклюзійних співвідношень у програмному забезпеченні MeditLink (Medit Corp. (Сеул, Південна Корея) (клінічний випадок із власної практики Гончарук-Хомин М.Ю.)

співвідношень, а потім – і у програмному забезпеченні BiteFinder [37, 38]. Однак уже у пізнішому дослідженні Revilla-León M. та авторів було встановлено, що програмне забезпечення на основі штучного інтелекту покращує правдивість зареєстрованої позиції максимальної інтеркуспідації після суміщення моделей у програмному забезпеченні сканерів iTero (Align Technology, Ріш, Швейцарія) та PrimeScan (Dentsply Sirona, Шарлотт, Північна Кароліна, США), однак погіршує таку правдивість для сканів, отриманих та артикульованих у програмному забезпеченні сканерів TRIOS4 (3Shape, Копенгаген, Данія) та i700 (Medit Corp., Сеул, Південна Корея) [37, 38]. В цілому було встановлено, що ігнорування процесу артикуляції отриманих сканів у цифровому середовищі системи інтраорального сканування, і суміщення їх у положення максимальної інтер-

куспідації лише у програмному забезпеченні на основі штучного інтелекту, дозволяє досягти показників правдивості та прецизійності менших, аніж такі, відмічені в умовах попереднього оклюзійного суміщення сканів у програмному забезпеченні сканера з подальшою корекцією такого у програмі BiteFinder. Крім того, у розрізі сукупних результатів апробації декількох систем сканерів та афілійованих з ними версій програмного забезпечення, такі дозволяли досягти вищих показників правдивості та прецизійності, аніж застосування з цією метою лише програмного забезпечення на основі штучного інтелекту не пов'язаного із власне конкретною технологією інтраорального сканування [37, 38].

Наразі продовжуються дослідження щодо ефективності застосування сканерів з метою реєстрації взаєморозміщення щелеп у стані цен-

трального співвідношення; для більшості систем інтраорального сканування застосування технології оптичного трекингу положення щелепи (ModJaw) може покращити результати реєстрації взаєморозміщення щелеп у положенні центрального співвідношення [2, 38, 39]. Результати пілотного дослідження продемонстрували, що доповнення інтраорального сканування технологією оптичного трекингу рухів нижньої щелепи сприяє більш точній реєстрації оклюзійних співвідношень з точки зору відмічених показників правдивості результатів, характерних для апробованих систем Trios4, Itero Element 5D Plus та i700 [38, 39]. У клінічному дослідженні авторів було відмічено, що системи IOC іTero та TRIOS4, а також система оптичного трекингу рухів нижньої щелепи ModJaw статистично не відрізняються в показниках правдивості реєстрації між-оклюзійних співвідношень щелеп у статичному положенні [2, 38, 39]. Для досягнення належної оклюзійної еквілібрації в цифровому середовищі Revilla-León M. та колеги запропонували використовувати комплексний підхід, який передбачав отримання цифрових діагностичних моделей щелеп із використанням інтраорального сканера, в той час, як повторюване референтне положення нижньої щелепи, екскурсійні рухи та патерн жування реєструвалися із використанням оптичної трекингової системи, з компіляцією отриманих даних у спеціалізованому програмному забезпеченні [38, 39].

Згідно даних систематичного огляду Velasquez V. та колег найбільшою перевагою цифрових систем аналізу оклюзійних співвідношень є можливість об'єктивізації показників таких за різними параметрами (кількості, розподілу, інтенсивності), тоді як застосування оклюзійного паперу у якості найбільш поширеного в клініці методу дозволяє лише фактично виявити оклюзійні контакти та репрезентувати їх у якості мапи розподілу [41]. В свою чергу Sigvardsson J. та колеги наголосили, що інтраоральне сканування по суті є одним з найоптимальніших підходів до квантифікації оклюзійних контактів, первинно зареєстрованих із використанням артикуляційного паперу, враховуючи тенденції залежності площі таких від їх кількості [42].

Доступні цифрові технології, що можуть використовуватися з метою реєстрації між-оклюзійних співвідношень, повинні підлягати подальшому аналізу в ході досліджень з метою встановлення наступних аспектів: причин та особливостей розвитку оклюзійних колізій при використанні

інтраоральних сканерів, показників точності різних оптичних систем трекингу положення нижньої системи (ультразвукових, фотометричних та таких на основі алгоритмів штучного інтелекту), взаємозв'язку характеристик зареєстрованих оклюзійних контактів із параметрами послідовності їх виникнення та розподілом жувального навантаження, які можуть бути зареєстровані із використанням комп'ютеризованих систем аналізу оклюзії.

Висновки. Підхід до цифрової реєстрації статичної оклюзії з використанням інтраорального сканера можна інтерпретувати як такий, що характеризується порівнюваною точністю із аналоговими методами у випадках відсутності ділянок адентії, при стабільних оклюзійних контактах, при одиночно відпрепарованих зубів, або ж при відсутності одиночних зубів у дистальних ділянках при достатній стабільності прикусу. Кількість зубів, які включені у скан-реєстрат оклюзійних співвідношень, а також положення таких, впливають на точність власне отриманих bite-реєстратів технологією інтраорального сканування. У випадках білатерального сканування прикусу відмічаються вищі показники точності реєстрації між-оклюзійних взаємовідношень, ніж при реєстрації таких з одного боку. Помилки у коректній реєстрації між-оклюзійних співвідношень щелеп із застосуванням технології інтраорального сканування можуть виникати в результаті кумулятивної дії ефекту «зшивання» зображень, особливостей пост-процесингу, помилок взаємосуміщення, різних алгоритмів суміщення (метчингу), і надто щільного клінічного контакту зубів у структурі прикусу пацієнта. Для більшості систем інтраорального сканування доповнення процедури реєстрації між-оклюзійних співвідношень застосуванням технології оптичного трекингу положення нижньої щелепи може покращити результати реєстрації взаєморозміщення щелеп як у стані максимальної інтеркуспідації, так і у позиції центрального співвідношення. При тотальній реабілітації ортопедичними конструкціями з опорою на власних зубах з метою належної реєстрації між-оклюзійних співвідношень доцільно застосувати класичні еластомерні відбитки, або ж комбінацію таких із цифровими сканами-реєстратами, отриманими до препарування з фронтальної та дистальних ділянок щелеп (білатерально).

Література:

1. Factors that influence the accuracy of maxillomandibular relationship at maximum intercuspation acquired by using intraoral scanners: A systematic review / M.

- Revilla-León, A.B. Barmak, H. Tohme [et al]. *Journal of dentistry*. 2023. Vol. 138. P. 104718.
2. Differences in maxillomandibular relationship recorded at centric relation when using a conventional method, four intraoral scanners, and a jaw tracking system: A clinical study / M. Revilla-León, R. Agustín-Panadero, J.M. Zeitler [et al]. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 2023. P. S0022-3913(22)00795-8.
 3. Does the available interocclusal space influence the accuracy of the maxillomandibular relationship captured with an intraoral scanner? / M. Revilla-León, M. Gómez-Polo, J.M. Zeitler [et al]. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 2022. P. S0022-3913(22)00564-9.
 4. Virtual occlusal records acquired by using intraoral scanners: A review of factors that influence maxillo-mandibular relationship accuracy / N. Chinam, M. Bekkali, M. Kallas [et al]. *Journal of Prosthodontics*. 2023. Vol. 32(S2). P. 192-207.
 5. Al-Rayes N. Z., Hajeer M. Y. Evaluation of Occlusal Contacts among Different Groups of Malocclusion using 3D Digital Models. *Journal of Contemporary Dental Practice*. 2014. Vol. 15(1). P. 46-55.
 6. Guevara Reyes J. Clinical application of digitalization of occlusal contacts with dental scanner. *Jaw Functional Orthopedics and Craniofacial Growth*. 2022. Vol. 2(2). P. 56-63.
 7. Shadid R., Sadaqah N. Accuracy of Virtual Static Articulation: A Systematic Review. *The International journal of prosthodontics*. 2022. Vol. 35(5). P. 627-646.
 8. Three-dimensional accuracy of digital static interocclusal registration by three intraoral scanner systems / K.Y. Wong, R. J. Esguerra, V.A.P. Chia [et al]. *Journal of Prosthodontics*. 2018. Vol. 27(2). P. 120-128.
 9. Clinical investigations of the comparability of different methods used to display occlusal contact points / F. Heuser, C. Bourauel, H. Stark [et al]. *International journal of computerized dentistry*. 2020. Vol. 23(3). P. 245-255.
 10. Tappert M. V., Grabowski H., Dammaschke T. Accuracy and reproducibility of the visualisation of occlusal contact points using analogue articulating foil or digital intraoral scanners in vitro. *International journal of computerized dentistry*. 2022. P. 1-25.
 11. Hennen M. V., Blum H., Dammaschke T. Accuracy and reproducibility of the visualization of occlusal contact points using analog articulating foil or digital intraoral scanners in vitro. *International journal of computerized dentistry*. 2022. Vol. 25(2). P. 173-180.
 12. Reliability of recording occlusal contacts by using intraoral scanner and articulating paper-A prospective study / R. Esposito, F. Masedu, M. Cicciù [et al]. *Journal of Dentistry*. 2024. Vol. 142. P. 104872.
 13. Comparison of the occlusal contact area of virtual models and actual models: a comparative in vitro study on Class I and Class II malocclusion models / H. Lee, J. Cha, Y.S. Chun [et al]. *BMC Oral Health*. 2018. Vol. 18. P. 1-9.
 14. Bostancioğlu S. E., Toğay A., Tamam E. Comparison of two different digital occlusal analysis methods. *Clinical Oral Investigations*. 2021. Vol. 26(2). P. 2095-2109.
 15. Evaluation of the accuracy of T-scan system and Cerec Omnicam system used in occlusal contact assessment / R. Cao, H. Xu, J. Lin [et al] / *Heliyon*. 2023. Vol. 9(2). P. e13476.
 16. Digital Occlusion Analysis after Orthodontic Treatment: Capabilities of the Intraoral Scanner and T-Scan Novus System / D. Shopova, D. Bakova, S. Yordanova [et al]. *Applied Sciences*. 2023. Vol. 13(7). P. 4335.
 17. Clinical study comparing the accuracy of interocclusal records, digitally obtained by three different devices / C. Fraile, A. Ferreiroa, M. Romeo Rubio [et al]. *Clinical oral investigations*. 2022. Vol. 26(6). P. 4663-4668.
 18. Clinical accuracy and reproducibility of virtual interocclusal records / S. Abdulateef, F. Edher, A.G. Hannam [et al]. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2020. Vol. 124(6). P. 667-673.
 19. Morsy N., El Kateb M. Accuracy of intraoral scanners for static virtual articulation: A systematic review and meta-analysis of multiple outcomes. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2022. P. S0022-3913.
 20. Three-Dimensional Static Articulation Accuracy of Virtual Models—Part I: System Trueness and Precision / S.H.X. Yee, R.J. Esguerra, A.A.Q.A. Chew [et al]. *Journal of Prosthodontics*. 2018. Vol. 27(2). P. 129-136.
 21. Three-Dimensional Static Articulation Accuracy of Virtual Models—Part II: Effect of Model Scanner-CAD Systems and Articulation Method / S.H.X. Yee, R.J. Esguerra, A.A.Q.A. Chew [et al]. *Journal of Prosthodontics*. 2018. Vol. 27(2). P. 137-144.
 22. Three-dimensional analysis of the accuracy of conventional and completely digital interocclusal registration methods / J.M. Ries, C. Grünler, M. Wichmann [et al]. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2022. Vol. 128(5). P. 994-1000.
 23. Clinical evaluation of the precision of interocclusal registration by using digital and conventional techniques / Y. Iwachi, S. Tanaka, E. Kamimura-Sugimura [et al]. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2022. Vol. 128(4). P. 611-617.
 24. Digital mounting accuracy of 2 intraoral scanners with a single anterior or bilateral posterior occlusal scan: A three-dimensional analysis / C. Cha, S.W. Pyo, J.S. Chang [et al]. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2023. Vol. 130(4). P. 612-e1.
 25. Kakali L., Halazonetis D. J. A novel method for testing accuracy of bite registration using intraoral scanners. *Korean Journal of Orthodontics*. 2023. Vol. 53(4). P. 254.
 26. Precision of maxillo-mandibular registration with intraoral scanners in vitro / A. Gintaute, K. Aj, O. Ca [et al]. *Journal of prosthodontic research*. 2020. Vol. 64(2). P. 114-119.

27. Precision of the virtual occlusal record / K.P. Botsford, M.C. Frazier, A.A. Ghoneima [et al]. *The Angle Orthodontist*. 2019. Vol. 89(5). P. 751-757.

28. Influence of the number of teeth and location of the virtual occlusal record on the accuracy of the maxillo-mandibular relationship obtained by using an intraoral scanner / M. Revilla-León, J. Alonso Pérez-Barquero, A. Zubizarreta-Macho [et al]. *Journal of Prosthodontics*. 2023. Vol. 32(3). P. 253-258.

29. Clinical study on the accuracy of occlusal contacts on digital model / H.L. Liu, X.G. Liu, Y.M. Tian [et al]. *Zhonghua kou Qiang yi xue za zhi= Zhonghua Kouqiang Yixue Zazhi= Chinese Journal of Stomatology*. 2020. Vol. 55(10). P. 737-742.

30. Intraoral Digital Impressions for Virtual Occlusal Records: Section Quantity and Dimensions / E. Solaberrieta, A. Garmendia, A. Brizuela [et al]. *Biomed Research International*. 2016. Vol. 2016. P. 7173824-7173824.

31. Accuracy comparison of bilateral versus complete arch interocclusal registration scans for virtual articulation / J.D. Lee, D. Luu, T.W. Yoon [et al]. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2023. P. S0022-3913.

32. The accuracy of virtual interocclusal registration during intraoral scanning / F. Edher, A.G. Hannam, D.L. Tobias [et al]. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2018. Vol. 120(6). P. 904-912.

33. Park J. M., Jeon J., Heo S. J. Accuracy comparison of buccal bite scans by five intra-oral scanners. *Journal of Dental Rehabilitation and Applied Science*. 2018. Vol. 34(1). P. 17-31.

34. Accuracy of optical interocclusal registration using an intraoral scanner / M. Okamoto, N. Tanabe, S. Fukazawa [et al]. *Journal of Prosthodontic Research*. 2023. Vol. 67(4). P. 619-625.

35. 3D analysis of occlusal registration through geometry embedded library matching between quadrant and full-arch digital impression / Y. Jeong, Y.K. Kim, J.S. Shim [et al]. *Clinical Oral Investigations*. 2023. Vol. 27(7). P. 3771-3778.

36. Comparison of Virtual Intersection and Occlusal Contacts between Intraoral and Laboratory Scans: An In-Vivo Study / F. Beck, S. Lettner, L. Zupancic Cepic [et al.]. *Journal of Clinical Medicine*. 2023. Vol. 12(3). P. 996.

37. Accuracy of maximum intercuspal position located by using four intraoral scanners and an artificial intelligence-based program / M. Revilla-León, L. Fernández-Estevan, A.B. Barmak [et al]. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2024. P. S0022-3913(24)00193-8.

38. Accuracy of an artificial intelligence-based program for locating the maxillomandibular relationship of scans acquired by using intraoral scanners / M. Revilla-León, M. Gómez-Polo, A.B. Barmak [et al]. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2024. P. S0022-3913(24)00053-2.

39. Revilla-León M., Zeitler J. M., Kois J. C. Digital diagnostic occlusal equilibration combining an intraoral scanner, optical jaw tracking system, and dental design

program: A dental technique. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2024. P. S0022-3913(23)00818-1.

40. An overview of the digital occlusion technologies: Intraoral scanners, jaw tracking systems, and computerized occlusal analysis devices / M. Revilla-León, D.E. Kois, J.M. Zeitler [et al]. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*. 2023. Vol. 35(5). P. 735-744.

41. Occlusal Analysis in Natural Dentition: Systematic Review / B. Velásquez, M. Rodríguez, V. Mosquera [et al]. *European Journal of Dentistry*. 2023. Vol. 17(03). P. 615-622.

42. Digital quantification of occlusal contacts: a methodological study / J. Sigvardsson, S. Nilsson, M. Ransjö [et al]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021. Vol. 18(10). P. 5297.

References:

1. Revilla-León, M., Barmak, A. B., Tohme, H., Yilmaz, B., Kois, J. C., & Gómez-Polo, M. (2023). Factors that influence the accuracy of maxillomandibular relationship at maximum intercuspation acquired by using intraoral scanners: A systematic review. *Journal of dentistry*, 138, 104718.

2. Revilla-León, M., Agustín-Panadero, R., Zeitler, J. M., Barmak, A. B., Yilmaz, B., Kois, J. C., & Pérez-Barquero, J. A. (2023). Differences in maxillomandibular relationship recorded at centric relation when using a conventional method, four intraoral scanners, and a jaw tracking system: A clinical study. *Journal of Prosthetic Dentistry*, S0022-3913(22)00795-8.

3. Revilla-León, M., Gómez-Polo, M., Zeitler, J. M., Barmak, A. B., Kois, J. C., & Pérez-Barquero, J. A. (2022). Does the available interocclusal space influence the accuracy of the maxillomandibular relationship captured with an intraoral scanner?. *Journal of Prosthetic Dentistry*, S0022-3913(22)00564-9.

4. Chinam, N., Bekkali, M., Kallas, M., & Li, J. (2023). Virtual occlusal records acquired by using intraoral scanners: A review of factors that influence maxillomandibular relationship accuracy. *Journal of Prosthodontics*, 32(S2), 192-207.

5. Al-Rayes, N. Z., & Hajeer, M. Y. (2014). Evaluation of Occlusal Contacts among Different Groups of Malocclusion using 3D Digital Models. *Journal of Contemporary Dental Practice*, 15(1), 46-55.

6. Guevara Reyes, J. (2022). Clinical application of digitalization of occlusal contacts with dental scanner. *Jaw Functional Orthopedics and Craniofacial Growth*, 2(2), 56-63.

7. Shadid, R., & Sadaqah, N. (2022). Accuracy of Virtual Static Articulation: A Systematic Review. *The International journal of prosthodontics*, 35(5), 627-646.

8. Wong, K. Y., Esguerra, R. J., Chia, V. A. P., Tan, Y. H., & Tan, K. B. C. (2018). Three-dimensional accuracy of digital static interocclusal registration by three intraoral scanner systems. *Journal of Prosthodontics*, 27(2), 120-128.

9. Heuser, F., Bourauel, C., Stark, H., & Dör-sam, I. (2020). Clinical investigations of the comparability of different methods used to display occlusal contact points. *International journal of computerized dentistry*, 23(3), 245-255.
10. Tappert, M. V., Grabowski, H., & Dammaschke, T. (2022). Accuracy and reproducibility of the visualisation of occlusal contact points using analogue articulating foil or digital intraoral scanners in vitro. *International journal of computerized dentistry*, 1-25.
11. Hennen, M. V., Blum, H., & Dammaschke, T. (2022). Accuracy and reproducibility of the visualization of occlusal contact points using analog articulating foil or digital intraoral scanners in vitro. *International journal of computerized dentistry*, 25(2), 173-180.
12. Esposito, R., Masedu, F., Cicciù, M., Tepedino, M., Denaro, M., & Ciavarella, D. (2024). Reliability of recording occlusal contacts by using intraoral scanner and articulating paper-A prospective study. *Journal of Dentistry*, 142, 104872.
13. Lee, H., Cha, J., Chun, Y. S., & Kim, M. (2018). Comparison of the occlusal contact area of virtual models and actual models: a comparative in vitro study on Class I and Class II malocclusion models. *BMC Oral Health*, 18, 1-9.
14. Bostancioğlu, S. E., Toğay, A., & Tamam, E. (2021). Comparison of two different digital occlusal analysis methods. *Clinical Oral Investigations*, 26(2), 2095-2109.
15. Cao, R., Xu, H., Lin, J., & Liu, W. (2023). Evaluation of the accuracy of T-scan system and Cerec Omnicam system used in occlusal contact assessment. *Heliyon*, 9(2), e13476.
16. Shopova, D., Bakova, D., Yordanova, S., Yordanova, M., & Uzunov, T. (2023). Digital Occlusion Analysis after Orthodontic Treatment: Capabilities of the Intraoral Scanner and T-Scan Novus System. *Applied Sciences*, 13(7), 4335.
17. Fraile, C., Ferreiroa, A., Romeo Rubio, M., Alonso, R., & Pradies Ramiro, G. (2022). Clinical study comparing the accuracy of interocclusal records, digitally obtained by three different devices. *Clinical oral investigations*, 26(6), 4663-4668.
18. Abdulateef, S., Edher, F., Hannam, A. G., Tobias, D. L., & Wyatt, C. C. (2020). Clinical accuracy and reproducibility of virtual interocclusal records. *The Journal of prosthetic dentistry*, 124(6), 667-673.
19. Morsy, N., & El Kateb, M. (2022). Accuracy of intraoral scanners for static virtual articulation: A systematic review and meta-analysis of multiple outcomes. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, S0022-3913.
20. Yee, S. H. X., Esguerra, R. J., Chew, A. A. Q. A., Wong, K. M., & Tan, K. B. C. (2018). Three-Dimensional Static Articulation Accuracy of Virtual Models—Part I: System Trueness and Precision. *Journal of Prosthodontics*, 27(2), 129-136.
21. Yee, S. H. X., Esguerra, R. J., Chew, A. A. Q. A., Wong, K. M., & Tan, K. B. C. (2018). Three-Dimensional Static Articulation Accuracy of Virtual Models—Part II: Effect of Model Scanner-CAD Systems and Articulation Method. *Journal of Prosthodontics*, 27(2), 137-144.
22. Ries, J. M., Grünler, C., Wichmann, M., & Matta, R. E. (2022). Three-dimensional analysis of the accuracy of conventional and completely digital interocclusal registration methods. *The Journal of prosthetic dentistry*, 128(5), 994-1000.
23. Iwauchi, Y., Tanaka, S., Kamimura-Sugimura, E., & Baba, K. (2022). Clinical evaluation of the precision of interocclusal registration by using digital and conventional techniques. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 128(4), 611-617.
24. Cha, C., Pyo, S. W., Chang, J. S., & Kim, S. (2023). Digital mounting accuracy of 2 intraoral scanners with a single anterior or bilateral posterior occlusal scan: A three-dimensional analysis. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 130(4), 612-e1.
25. Kakali, L., & Halazonetis, D. J. (2023). A novel method for testing accuracy of bite registration using intraoral scanners. *Korean Journal of Orthodontics*, 53(4), 254.
26. Gintaute, A., AJ, K., CA, O., NU, Z., Ferrari, M., & Joda, T. (2020). Precision of maxillo-mandibular registration with intraoral scanners in vitro. *Journal of prosthodontic research*, 64(2), 114-119.
27. Botsford, K. P., Frazier, M. C., Ghoneima, A. A., Utreja, A., Bhamidipalli, S. S., & Stewart, K. T. (2019). Precision of the virtual occlusal record. *The Angle Orthodontist*, 89(5), 751-757.
28. Revilla-León, M., Alonso Pérez-Barquero, J., Zubizarreta-Macho, Á., Barmak, A. B., Att, W., & Kois, J. C. (2023). Influence of the number of teeth and location of the virtual occlusal record on the accuracy of the maxillo-mandibular relationship obtained by using an intraoral scanner. *Journal of Prosthodontics*, 32(3), 253-258.
29. Liu, H. L., Liu, X. G., Tian, Y. M., Ni, L., & Zheng, D. X. (2020). Clinical study on the accuracy of occlusal contacts on digital model. *Zhonghua kou Qiang yi xue za zhi= Zhonghua Kouqiang Yixue Zazhi= Chinese Journal of Stomatology*, 55(10), 737-742.
30. Solaberrieta, E., Garmendia, A., Brizuela, A., Otegi, J. R., Pradies, G., & Szentpétery, A. (2016). Intraoral Digital Impressions for Virtual Occlusal Records: Section Quantity and Dimensions. *Biomed Research International*, 2016, 7173824-7173824.
31. Lee, J. D., Luu, D., Yoon, T. W., & Lee, S. J. (2023). Accuracy comparison of bilateral versus complete arch interocclusal registration scans for virtual articulation. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, S0022-3913.
32. Edher, F., Hannam, A. G., Tobias, D. L., & Wyatt, C. C. (2018). The accuracy of virtual interocclusal registration during intraoral scanning. *The Journal of prosthetic dentistry*, 120(6), 904-912.
33. Park, J. M., Jeon, J., & Heo, S. J. (2018). Accuracy comparison of buccal bite scans by five intra-oral scanners. *Journal of Dental Rehabilitation and Applied Science*, 34(1), 17-31.

34. Okamoto, M., Tanabe, N., Fukazawa, S., Oyama, Y., & Kondo, H. (2023). Accuracy of optical interocclusal registration using an intraoral scanner. *Journal of Prosthodontic Research*, 67(4), 619-625.
35. Jeong, Y., Kim, Y. K., Shim, J. S., & Lee, H. (2023). 3D analysis of occlusal registration through geometry embedded library matching between quadrant and full-arch digital impression. *Clinical Oral Investigations*, 27(7), 3771-3778.
36. Beck, F., Lettner, S., Zupancic Cepic, L., & Schedle, A. (2023). Comparison of Virtual Intersection and Occlusal Contacts between Intraoral and Laboratory Scans: An In-Vivo Study. *Journal of Clinical Medicine*, 12(3), 996.
37. Revilla-León, M., Fernández-Estevan, L., Barmak, A. B., Kois, J. C., & Pérez-Barquero, J. A. (2024). Accuracy of maximum intercuspal position located by using four intraoral scanners and an artificial intelligence-based program. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, S0022-3913(24)00193-8.
38. Revilla-León, M., Gómez-Polo, M., Barmak, A. B., Kois, J. C., & Pérez-Barquero, J. A. (2024). Accuracy of an artificial intelligence-based program for locating the maxillomandibular relationship of scans acquired by using intraoral scanners. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, S0022-3913(24)00053-2.
39. Revilla-León, M., Zeitler, J. M., & Kois, J. C. (2024). Digital diagnostic occlusal equilibration combining an intraoral scanner, optical jaw tracking system, and dental design program: A dental technique. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, S0022-3913(23)00818-1.
40. Revilla-León, M., Kois, D. E., Zeitler, J. M., Att, W., & Kois, J. C. (2023). An overview of the digital occlusion technologies: Intraoral scanners, jaw tracking systems, and computerized occlusal analysis devices. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 35(5), 735-744.
41. Velásquez, B., Rodríguez, M., Mosquera, V., Álvarez, E., Chauca, L., & Mena, A. (2023). Occlusal Analysis in Natural Dentition: Systematic Review. *European Journal of Dentistry*, 17(03), 615-622.
42. Sigvardsson, J., Nilsson, S., Ransjö, M., & Westerlund, A. (2021). Digital quantification of occlusal contacts: a methodological study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(10), 5297.