

АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ ТА МОЖЛИВОСТЕЙ ВІДТВОРЕННЯ АРТИКУЛЯЦІЙНИХ РУХІВ ЩЕЛЕПИ У ЦИФРОВОМУ СЕРЕДОВИЩІ

©С. Б. Костенко, М. М. Сливка, М. Ю. Гончарук-Хомин, Ю. М. Бунь, Г. Н. Накашидзе, А. В. Бокоч

ДВНЗ «Ужгородський національний університет»

РЕЗЮМЕ. Вступ. Використання віртуальних артикуляторів, які, по суті, являють собою програмне забезпечення, значно підвищує ефективність планування та реалізації етапів комплексної стоматологічної реабілітації з можливістю повного переведення даних пацієнта (не тільки анатомічних, а й функціональних) у цифровий формат.

Мета – провести аналіз систем дизайну та імітації кінематичних параметрів щелепи, основних принципів архітектури наявного програмного забезпечення, спрямованого на відтворення артикуляційних складових та побудову індивідуалізованих оклюзійних схем у ході пацієнт-орієнтованого ортопедичного лікування.

Матеріал і методи. Пошук публікацій у електронних базах даних (PubMedCentral (PMC), BioMed Central, InTech, MEDLINE/PubMed, Public Library of Science One (PloS)) здійснювали згідно з дескрипторами Medical Subject Headings (MeSH), що є своєрідними заголовками, категоризованими за системою ієрархії. Додатково проводили аналіз посилань в уже попередньо проведених системних оглядах, що стосувалися мети даного дослідження, та інших оглядових публікаціях, суміжних із ними.

Результати. Проведений системний огляд принципів цифрового моделювання артикуляційних схем з різними вихідними умовами підтвердив можливість їх практичного застосування під час виготовлення протетичних елементів з індивідуалізованими оклюзійними поверхнями, забезпечуючи таким чином досягнення найоптимальніших результатів стоматологічної реабілітації.

Висновки. Системний огляд основних можливостей відтворення артикуляційних рухів щелепи в цифровому середовищі є первинним етапом розробки власної моделі цифрового артикулятора для вирішення конкретних клінічних проблем, пов'язаних із повторним протезуванням пацієнтів з наявними оклюзійними дисфункціями.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: артикуляція; цифрове середовище; програмне забезпечення.

Вступ. Використання віртуальних артикуляторів, які по суті представляють собою програмне забезпечення, значно підвищує ефективність планування та реалізацію етапів комплексної стоматологічної реабілітації з можливістю повного переведення даних пацієнта (не тільки анатомічних, а й функціональних) у цифровий формат [1, 2, 9, 10]. Крім того, переваги використання віртуальних артикуляторів полягають у тому, що цей інструмент є найкращим для комунікації між лікарем та зубним техніком та дозволяє досягати найбільш індивідуалізованих параметрів оклюзії, характерних для конкретного пацієнта. В цифровому артикуляторі можливий аналіз як статичної, так і динамічної оклюзії із врахуванням гнатичних складових, та особливостей взаємного руху в області скронево-нижньощелепного суглоба. Крім того, цифровий артикулятор, незважаючи на необхідність використання значної кількості додаткових діагностичних інструментів, відіграє також роль своєрідного тривимірного навігатора у структурі планування лікування стоматологічного пацієнта. Механізм програмування та корекції систем віртуальних артикуляторів був описаний Kordass та Gartner ще в 1999 році, і виходячи з існуючих на сьогодні даних, залишається актуальним базовим підходом у процесі розробки індивідуалізованих оклюзійних схем [10, 11]. Первинні системи

цифрового відтворення артикуляції за Kordass та Gartner уже передбачали комплексний аналіз не тільки результатів аналізу рухів щелепи, а й їх залежності від пацієнт-специфічних рухів скронево-нижньощелепного суглоба з урахуванням їх компенсаторних механізмів [9, 10]. На сьогодні системи цифрових артикуляторів поділяють на два основні види: з функцією повної регуляції та на основі математичної симуляції. Для перших характерним є точне відтворення рухів нижньої щелепи із використанням різних електронних систем їх реєстрації, які, по суті, є аналізаторами за типом Jaw motion analyser (JMA). Одними з перших динамічні рухи нижньої щелепи оцифрували Messerman та Gibbs у 1969 році у Case Western University, для чого вони використовували систему Case Gnathic Replicator. Дещо пізніше були представлені Sirognathograph Analyzing System, Selspot, JAWS-3D та 3D артикулятори від Carstens Medizinelektronik, принципи дії яких відрізнялися, але спільна проблема полягала в тому, що вони не забезпечували можливості реєстрації рухів нижньої щелепи за шістьма ступенями вільності, таким чином обмежуючи їх аналіз у трьох траєкторіях ротації та трьох – трансляції відповідно у межах трьох взаємоперпендикулярних площин [1, 5, 7, 8, 15]. На відміну від регульованих віртуальних артикуляторів, програмне забезпечення

Огляди літератури, оригінальні дослідження, погляд на проблему, короткі повідомлення

із функцією математичної симуляції відтворює рухи щелепи, базуючись на математичній імітації характерних траєкторій; крім того, у програмах даного виду можна відтворити додаткові складніші рухи для досягнення найоптимальнішого стану, проте у середовищах таких систем дуже складно домогтися індивідуалізації артикуляційних схем, характерних для конкретного пацієнта.

Виходячи з цього, питання дослідження механізмів реєстрації рухів щелепи та їх переносу у цифровий формат з використанням різного роду аналізаторів залишається досі невирішеним, а побудова відповідних оклюзійних схем протезування стоматологічних хворих без попереднього отримання набору даних, які б дозволили одночасно інтерпретувати та адаптувати параметри статичної та динамічної оклюзії на етапах планування та прогнозування результатів реабілітації – залишається проблемним етапом мультидисциплінарного підходу у структурі комплексної пацієнт-орієнтованої стоматологічної реабілітації.

Мета – провести аналіз систем дизайну та імітації кінематичних параметрів щелепи, основних принципів архітектури наявного програмного забезпечення, спрямованого на відтворення артикуляційних складових та побудову індивідуалізованих оклюзійних схем у ході пацієнт-орієнтованого ортопедичного лікування.

Матеріал і методи дослідження. В ході підготовки до проведення системного огляду літературних даних був сформульований дизайн дослідження із постановкою відповідних цілей та формуванням критеріїв відбору публікацій (глибина огляду, сукупність ключових слів, належність публікації до джерела із достатніми науковометричними показниками), що визначають об'єкт дослідження у структурі аналізу відібраних даних, а саме виокремлення можливостей та проблем відтворення артикуляційних рухів у цифровому середовищі. Використання даних критеріїв дозволяє скоротити вибірку публікацій із кількості, що була сформована за пошуком ключових слів – 146, до такої, яка відповідатиме необхідним параметрам з подальшим групуванням висвітлених результатів за кількісними та якісними ознаками і формулюванням відповідних висновків – 17. Пошук у електронних базах даних (PubMedCentral (PMC), BioMed Central, InTech, MEDLINE/ PubMed, Public Library of Science One (PloS)) здійснювався згідно з дескрипторами Medical Subject Headings (MeSH), що становлять собою своєрідні заголовки, категоризовані за системою ієрархії. Додатково проводили аналіз посилань в уже попередньо проведених системних оглядах, що стосувалися мети даного дослідження, та інших оглядових публікаціях, суміжних із ними. Таким чином вдалось

мінімізувати кількість втрачених статей, що були упущені в ході контент-аналізу даних заголовків, анотацій, чи попередньо непроіндексованих у відповідних системах. Контент-аналіз стосувався як текстового матеріалу відібраних публікацій, так і наявних у них табличних даних, на основі яких були систематизовані вторинні дані, що входять до складу різних звітів та інших аналітичних матеріалів. Висновки при цьому формулювали із урахуванням взаємозв'язків змістових елементів (конкретних чисельних та якісних показників) і їх відносної значущості (рангу) у структурі тексту з точки зору комплексної оцінки можливостей імітації кінематичних параметрів щелепи, відтворення артикуляційних складових та побудову індивідуалізованих оклюзійних схем у ході пацієнт-орієнтованого ортопедичного лікування. Також для відображення відносин між одиницями контент-аналізу та результатів їх категоризації використовували програмне забезпечення Microsoft Excel 2016 (Microsoft Office 2016).

Результати й обговорення. Класична блок-схема дизайну цифрової системи артикуляції передбачає реалізацію низки послідовних етапів: спочатку відбувається отримання 3D сканованих даних, після цього відбувається завантаження віртуальних моделей щелеп, за якою дихотомічно відбувається реалізація одразу двох субпроцесів – з одного боку, відбувається завантаження даних щодо рухів щелепи та пацієнт-індивідуалізованих їх параметрів, а з іншого – завантаження визначальних параметрів руху та симуляція вимушених/необхідних рухів щелепи [7, 8]. Шляхом порівняння результатів двох вищеописаних субпроцесів досягається верифікація параметрів оклюзії (дійсних та необхідних) з подальшою візуалізацією їх у системі графічного відображення. Сам же процес імітації рухів нижньої щелепи із застосуванням віртуального артикулятора у CAD/CAM системі проходить за наступною схемою: 1) імпорт відсканованих та відмодельованих елементів у область формування CAD; 2) формування автоматичного суглоба із обмежених даних, отриманих із області формування, та мануальне доопрацювання системи руху суглоба із додаванням необхідних приводів; 3) власне процес симуляції рухів [15, 16]. Перевірка результатів симуляції кінематики може відбуватися за даними контролю інтерференції поверхонь, анімаційного відображення чи оцінки зміщень та траєкторій. При потребі процес дизайну та симуляції повторюється заново для досягнення більш прийнятних кінцевих параметрів. За таким програмним дизайном працює більшість базових систем віртуальної артикуляції, однак модифікація їх є передбачуваним процесом, враховуючи зростання ролі циф-

рових технологій у щоденній стоматологічній практиці.

У 2002 році Bisler A. та колеги запропонували модель так званого віртуального артикулятора, який працював на основі комбінації даних, отриманих шляхом сканування моделей пацієнта та від ультразвукових сенсорів системи Jaw Motion Analyzer (JMA), зафіксованих на нижній щелепі пацієнта [1]. Останні дозволяли проводити реєстрацію траєкторії рухів нижньої щелепи. Точки оклюзії при аналізі даних від Jaw Motion Analyzer визначали за алгоритмом детекції можливих пересічень зубів (що розглядаються як графічні елементи) верхньої та нижньої щелеп. Проблема такого підходу полягала в тому, що алгоритм прогнозування пересічень графічних елементів системи часто не збігався із реальними точками оклюзійного контакту щелеп, що було спровоковано впливом помилок при скануванні, реєстрації рухів щелепи за допомогою ультразвуку, а також потенційним впливом мікрорухомоті власне зубів. При цьому усі похибки підходу все ж могли бути мануально скоректовані та адаптовані до потреб фрезерних апаратів з функцією комп'ютерного моделювання. Враховуючи значимість фактора відтворення елементів досліджуваної системи при скануванні, Mouse M. V. S. та колеги (2012) звернули увагу на фактор репродуктивності дійсних розмірів щелеп, отриманих у процесі їх оцифрування. У структурі авторського дослідження проводився аналіз двадцяти щелеп за п'ятнадцятьма анатомічними орієнтирами та із заміром одинадцяти точок, а специфіка такого була зосереджена на факті відсутності попередніх даних щодо точності сканера 3Shape (D-250; 3Shape, Copenhagen, Denmark). У ході проведеного аналізу вдалося встановити, що точність параметрів ширини та довжини у відповідних зонах інтересу гіпсових та цифрових моделей є майже ідентичною, що ще раз підтверджує доцільність використання цифрових аналогів даних у ході планування ятрогенних втручань та довготривалої реабілітації пацієнта. Крім того, дослідники звертають увагу на вплив людського фактора, а саме калібрування операторів програмного забезпечення – лікарів, які проводили аналіз відповідних моделей. Цей факт може пояснити, чому попередні дослідження, проведені Kusnoto B. та Evans C. A. (2002), встановили, що цифрові моделі хоч і характеризуються достатньою точністю відтворення параметрів довжини та ширини, але програють гіпсовим під час репродукції показника глибини [12].

Rohrle O. та колеги у 2009 представили новий підхід до оптоелектронної реєстрації рухів нижньої щелепи за допомогою системи VICON MX s із врахуванням усіх шести ступенів вільності, а та-

кож цифрове середовище, в якому траєкторії руху щелепи можуть бути трансльовані у точні індивідуалізовані тривимірні геометричні моделі високої роздільної здатності [14]. Згідно з алгоритмом Rohrle, спочатку необхідно отримати КЛКТ-скани щелеп у стані оклюзії, після чого відбувається реєстрація рухів нижньої щелепи за допомогою електронної траєктологічної системи при еластичній та пластичній взаємодіях щелеп. Після чого відбувається аналіз власне рухів щелепи, зареєстрованих за допомогою реєстраційної системи, з їх сегментацією на три кінематичні складові. Перша відповідала маркеру руху голови в конкретний момент часу, друга – абсолютному руху маркерів реєстраційної системи шляхом субстракції моменту руху голови, а третя – ротаціям та трансляціям (рухам твердого тіла) для опису картування еталонного маркера позиції від початку до його дійсного положення, відкоректованого з урахування руху голови. Візуалізація отриманих первинних наборів даних відбувалась із застосуванням CMGUI (<http://www.cmiss.org/cmgui>). Реєстрація рухів нижньої щелепи за допомогою різних систем може бути змінена за рахунок впливу деяких факторів, що знижують точність такого дослідження. Вони включають системні апаратні похибки (можна усунути шляхом калібрування та перевірки статичними тестами), випадкові апаратні похибки (викликані, в свою чергу, автоматичним процесом оцифрування чи дисторціями шейпінгу об'єкта через ефект прискорення реєстраційних маркерів під час руху щелепи), недотримання правил позиціонування маркерів реєстрації.

Враховуючи негативний ефект можливих апаратних похибок Chang Y. B. (2010) запропонував експериментальний метод досягнення оклюзії шляхом використання ітеративного картування поверхонь за принципом мінімальної дистанції (iterative surface-based minimum distance mapping – ISMDM), що передбачає реалізацію низки етапів [2]. Спочатку отримують результати сканування фізичних моделей у формі stl-файлів, які представляють mesh-моделі, що складаються із вортексів та граней. Після цього проводять сегментацію оклюзійних поверхонь зубів, які підлягають первинному зіставленню. На даному етапі може спостерігатися ефект «проникнення» поверхонь верхньої та нижньої моделей одна в одну, але подібний результат коректується для успішного продовження маніпуляції. Після того, як дві просторові криві будуть зіставлені, відбувається їх розширення до площинних похідних, отриманих за результатами сканування, по яких зрештою і відбувається алгоритм ISMDM до позиції максимальної інтеркуспідації. При цьому суміщення поверхонь відбувається повторювально таку кіль-

кість разів, доки не буде досягнуто критерію мінімальної відстані між ними. Первинний елайнмент просторових кривих дозволяє мінімізувати кількість ітерацій оклюзійних поверхонь, які є більш часозатратною маніпуляцією. В експерименті було доведено, що навіть у 80 варіантах різних співвідношень щелеп вищеописаний підхід дозволяє досягнути цифрового положення бугорково-фісурного контакту з мінімальною його відмінністю від дійсного, а сам принцип може бути застосований як самостійна програма у структурі процесу виготовлення відповідних конструкцій та реабілітації пацієнта із відповідними оклюзійними порушеннями. В свою чергу, Fang J. J. та Kuo T. H. (2009) запропонували оригінальний алгоритм побудови індивідуальних оклюзійних поверхонь на основі даних траєкторологічної реєстрації рухів щелепи пацієнта [4]. Їхній підхід передбачає реалізацію трьох почергових етапів: підготовки, трансформації та реконструкції оклюзійних поверхонь. На першому етапі по виготовлених моделях припасовують спеціальні стенти, які будуть служити анкоражною опорою для фіксації на ясна на зубах. До цієї опори приєднують трасуючі пластинки, які складаються із трьох неметалевих складових: друкованих лейблів, власне тонких пластинок та керамічних кульок, кожна з яких відіграє свою роль реєстраційної матриці в подальшій інтеграції отриманих даних у процес реабілітації. В ході етапу трансформації відбувається оцифрування жувальних рухів щелепи шляхом передачі координат від двох пластинок у різні підсистеми цифрового аналізу. Таким чином, в області зони інтересу (майбутньої коронки) відбувається калькуляція вільних точок позиції із врахуванням даних траєкторії реєструючих пластинок, за якими рух цих точок можна представити у вигляді хвильового переміщення оклюзійної поверхні зуба-антагоніста. Власне реконструкція поверхні відбувається за даними оклюзійної поверхні зуба-антагоніста та її рухами: отриманий на попередньому етапі прямолінійний макет траєкторії трансформується у хвильову похідну, яка, власне, і виокремлює не тільки необхідну оклюзійну форму коронки, а й шлях її руху в процесі жування – відбувається формування так званої оклюзійної петлі (occlusal mesh generation) у координатному просторі. Практична імплементація даного підходу полягає в його впровадженні у більш стандартизоване програмне забезпечення: таким чином на початковій стадії в цифровому режимі можна було б проводити припасування стандартної штучної коронки із набору даних, наявних у базі, а далі проводити індивідуалізацію оклюзійної поверхні даної коронки за алгоритмом, описаним вище, використовуючи принципи оптичної реєстрації.

Корекція параметрів просторової резолюції результатів сканування дозволяє підвищити точність відтворення деталей протетичних елементів, зменшуючи рівень шуму та чітко визначаючи екстремуми похідної оклюзійної петлі як математичної функції обробки цифрових даних. Крім того, підхід Fang J. J. та Kuo T. H. (2009) дозволяє мінімізувати кількість ускладнень у ділянці скронево-нижньощелепного суглоба під час повторного ортопедичного лікування, адже Nagalur S. V. (2013), проводячи аналіз змін параметрів оклюзії та їх асоціацію із порушенням в ділянці скронево-нижньощелепного суглоба, встановив, що результати Т-скан-аналізу та динамічної реєстрації функціональних оклюзійних точок свідчать, що центричне зміщення щелепи більше ніж на 2 мм має достатньо сильний кореляційний зв'язок із прогнозом розвитку порушень суглоба [6]. При цьому у осіб із оклюзійною схемою, що передбачає групову функцію, порушення суглоба були більш прогностично ймовірними, а час оклюзії та дисклюзії у пацієнтів із змінами у суглобі був подовжений, порівняно із контрольною групою. Цікавим є й той факт, що у даному дослідженні параметр втрати вертикальної складової характеризувався показником p , рівним 1,000, що свідчить про статистично незначиму кореляцію з етіологією порушень скронево-нижньощелепного суглоба.

Будь-яка віртуальна система артикуляції передбачає кінцеву візуалізацію рухів щелепи, що відбувається у вікнах програмного забезпечення, які можуть включати вікно рендерингу зображення (демонструє обидві щелепи у стані динамічної оклюзії і дозволяє спостерігати за рухом щелепи із будь-якої вихідної точки), вікно оклюзії (демонструє динамічні та статичні оклюзійні контакти у стані їх слайдингу по поверхнях зубів під час функції), вікна суглоба (демонструють сагітальні та трансверзальні поля зору, які дозволяють проводити сумісний аналіз залежностей між контактами зубів та рухами скронево-нижньощелепного суглоба), вікно зрізу (демонструє фронтальний зріз у будь-якій зоні зубної дуги, дозволяючи таким чином проаналізувати рівень інтеркуспідації та висоти і функціональних кутів бугрів). Такий інтерфейс характерний для віртуального артикулятора DentCAM та ще низки аналогічних представників програмного забезпечення і є кінцевим результатом поетапного відтворення проаналізованих артикуляційних схем.

Враховуючи вищезгадані аспекти та доступність необхідного технічного забезпечення можна створити макет власного цифрового середовища артикулятора, який би дозволив відтворити рухи щелепи у найбільш потрібній формі для конкретного випадку чи низки однорідних клінічних

Огляди літератури, оригінальні дослідження, **погляд на проблему**, короткі повідомлення

ситуацій, враховуючи при цьому можливості власне системи кінематичної реєстрації. Цей підхід є особливо важливим для вирішення конкретних клінічних проблем, пов'язаних із повторним протезуванням пацієнтів із наявними оклюзійними дисфункціями.

Висновки. Проведений аналіз цифрових середовищ з можливістю реєстрації та відтворення рухів щелепи шляхом використання різного роду аналізаторів та подальшої побудови індивідуалізованих оклюзійних схем дозволив виокремити основні принципи дизайну цифрових артикуляторів, що включають: 3D-сканування CAD-складових та, при потребі, їх додаткове моделювання, обробку віртуальних моделей щелеп з урахуванням індивідуальних та визначальних параметрів траєкторії рухів, та кінцеву верифікацію параметрів

оклюзії з подальшою візуалізацією їх у системі графічного відображення.

Перспективи подальших досліджень. Аналіз використання принципів цифрового моделювання артикуляційних схем з різними вихідними умовами підтвердив можливість їх практичного застосування під час виготовлення протетичних елементів з індивідуалізованими оклюзійними поверхнями, забезпечуючи досягнення найоптимальніших результатів стоматологічної реабілітації. Крім того, системний огляд основних можливостей відтворення артикуляційних рухів щелепи в цифровому середовищі є первинним етапом розробки власної моделі цифрового артикулятора для вирішення конкретних клінічних проблем, пов'язаних із повторним протезуванням пацієнтів із наявними оклюзійними дисфункціями.

ЛІТЕРАТУРА

1. Bisler A. The virtual articulator-applying VR technologies to dentistry / A. Bisler, U. Bockholt, G. Voss // Proceedings of the 6th IEEE international conference on informatics and visualization. – 2002. – P. 600–6022.
2. An automatic and robust algorithm of reestablishment of digital dental occlusion / Y. B. Chang, J. J. Xia, J. Gateno [et al.] // IEEE transactions on medical imaging. – 2010. – No. 29(9). – P. 1652–1663.
3. Fang J. J. Modelling of mandibular movement / J. J. Fang, T. H. Kuo // Computers in Biology and medicine. – 2008. – No. 38 (11). – P. 1152–1162.
4. Fang J. J. Tracked motion-based dental occlusion surface estimation for crown restoration / J. J. Fang, T. H. Kuo // Computer-Aided Design. – 2009. – No. 41(4). – P. 315–323.
5. Functional movements of the mandible / C. H. Gibbs, T. Messerman, J. B. Reswick, H. J. Derda // The Journal of Prosthetic Dentistry. – 1971. – No. 26 (6). – P. 604–620.
6. Haralur S. B. Digital evaluation of functional occlusion parameters and their association with temporomandibular disorders / S. B. Haralur // Journal of clinical and diagnostic research: JCDR. – 2013. – No. 7 (8). – P. 1772.
7. Koralakunte P. R. Prosthetic management of a masticatory muscle disorder with customized occlusal splint / P. R. Koralakunte // Journal of clinical and diagnostic research: JCDR. – 2014. – No. 8 (3). – P. 259.
8. Koralakunte P. R. The role of virtual articulator in prosthetic and restorative dentistry / P. R. Koralakunte, M. Aljanakh // Journal of Clinical and Diagnostic Research: JCDR. – 2014. – No. 8(7). – P. ZE25.
9. Kordass B. The virtual articulator-concept and development of VR-tools to analyse the dysfunction of dental occlusion / B. Kordass, C. Gärtner // In International Congress Series. – 2001. – No. 1230. – P. 689–694.
10. Kordass B. Virtual articulator: usage of virtual reality tools in the dental technology / B. Kordass, C. Gärtner // Quintessence of Dent. Tech. – 2000. – No. 12(1). – P. 75–80.
11. The virtual articulator in dentistry: concept and development / B. Kordass, C. Gärtner [et al.] // Dental Clinics of North America. – 2002. – No. 46 (3). – P. 493–506.
12. Kusnoto B. Reliability of a 3D surface laser scanner for orthodontic applications / B. Kusnoto, C. A. Evans // American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. – 2002. – No. 122(4). – P. 342–348.
13. Virtual articulator for the analysis of dental occlusion: an update / L. Maestre-Ferrín, J. Romero-Millán, D. Peñarrocha-Oltra, M. Peñarrocha-Diago // Medicina Oral, Patología Oral y Cirugía Bucal. – 2012. – No. 17 (1). – P. e160.
14. Using a motion capture system to record dynamic articulation for application in CAD/CAM Software / O. Röhrle, J. N. Waddell, K. D. Foster, [et al.] // Journal of Prosthodontics. – 2009. – No. 18 (8). – P. 703–710.
15. Solaberrieta E. Design of a virtual articulator for the simulation and analysis of mandibular movements in dental CAD/CAM / E. Solaberrieta, O. Etxaniz, R. Minguez [et al.] // In Proceedings of the 19th CIRP Design Conference-Competitive Design. – 2009. – P. 323.
16. Improved digital transfer of the maxillary cast to a virtual articulator / E. Solaberrieta, J. R. Otegi, R. Minguez, O. Etxaniz // The Journal of Prosthetic Dentistry. – 2014. – No. 112 (4). – P. 921–924.
17. Accuracy and reproducibility of 3-dimensional digital model measurements / M. V. S. Sousa, E. C. Vasconcelos, G. Janson [et al.] // American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. – 2012. – No. 142 (2). – P. 269–273.

REFERENCES

1. Bisler, A., Bockholt, U., & Voss, G. (2002). The virtual articulator-applying VR technologies to dentistry. *Proceedings of the 6th IEEE International Conference on Informatics and Visualization*, 600-6022.
2. Chang, Y.B., Xia, J.J., Gateno, J., Xiong, Z., Zhou, X., & Wong, S.T. (2010). An automatic and robust algorithm of reestablishment of digital dental occlusion. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 29 (9), 1652-1663.
3. Fang, J.J., & Kuo, T.H. (2008). Modelling of mandibular movement. *Computers in Biology and Medicine*, 38 (11), 1152-1162.
4. Fang, J.J., & Kuo, T.H. (2009). Tracked motion-based dental occlusion surface estimation for crown restoration. *Computer-Aided Design*, 41 (4), 315-323.
5. Gibbs, C.H., Messerman, T., Reswick, J.B., & Derda, H.J. (1971). Functional movements of the mandible. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 26 (6), 604-620.
6. Haralur, S.B. (2013). Digital evaluation of functional occlusion parameters and their association with temporomandibular disorders. *Journal of Clinical and Diagnostic Research: JCDR*, 7 (8), 1772.
7. Koralakunte, P.R. (2014). Prosthetic management of a masticatory muscle disorder with customized occlusal splint. *Journal of Clinical and Diagnostic Research: JCDR*, 8 (3), 259.
8. Koralakunte, P.R., & Aljanakh, M. (2014). The role of virtual articulator in prosthetic and restorative dentistry. *Journal of Clinical and Diagnostic Research: JCDR*, 8 (7), ZE25.
9. Kordaß, B., & Gärtner, C. (2001). The virtual articulator-concept and development of VR-tools to analyse the dysfunction of dental occlusion. *In International Congress Series*, 1230, 689-694.
10. Kordass, B., & Gärtner, C.H. (2000). Virtual articulator: usage of virtual reality tools in the dental technology. *Quintessence of Dent. Tech.*, 12 (1), 75-80.
11. Kordaß, B., Gärtner, C., Söhnel, A., Bisler, A., Voß, G., Bockholt, U. et al. (2002). The virtual articulator in dentistry: concept and development. *Dental Clinics of North America*, 46 (3), 493-506.
12. Kusnoto, B., & Evans, C.A. (2002). Reliability of a 3D surface laser scanner for orthodontic applications. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 122 (4), 342-348.
13. Maestre-Ferrín, L., Romero-Millán, J., Peñarrocha-Oltra, D., & Peñarrocha-Diago, M. (2012). Virtual articulator for the analysis of dental occlusion: an update. *Medicina Oral, Patología Oral y Cirugía Bucal*, 17 (1), e160.
14. Röhrle, O., Waddell, J.N., Foster, K.D., Saini, H., & Pullan, A.J. (2009). Using a motion capture system to record dynamic articulation for application in CAD/CAM Software. *Journal of Prosthodontics*, 18 (8), 703-710.
15. Solaberrieta, E., Etxaniz, O., Minguez, R., Munozguren, J., & Arias, A. (2009). *Design of a virtual articulator for the simulation and analysis of mandibular movements in dental CAD/CAM*. In Proceedings of the 19th CIRP Design Conference-Competitive Design. Cranfield University Press.
16. Solaberrieta, E., Otegi, J. R., Minguez, R., Etxaniz, O. (2014). Improved digital transfer of the maxillary cast to a virtual articulator. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 112 (4), 921-924.
17. Sousa, M.V.S., Vasconcelos, E.C., Janson, G., Garib, D., & Pinzan, A. (2012). Accuracy and reproducibility of 3-dimensional digital model measurements. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 142 (2), 269-273.

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ И ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ АРТИКУЛЯЦИОННЫХ ДВИЖЕНИЙ ЧЕЛЮСТИ В ЦИФРОВОЙ СРЕДЕ

©С. Б. Костенко, М. М. Сливка, М. Ю. Гончарук-Хомин, Ю. М. Бунь, Г. Н. Накашидзе, А. В. Бокоч

ГВУЗ «Ужгородский национальный университет»

РЕЗЮМЕ. Введение. Использование виртуальных артикуляторов, которые, по сути, представляют собой программное обеспечение, значительно повышает эффективность планирования и реализации этапов комплексной стоматологической реабилитации с возможностью полного перевода данных пациента (не только анатомических, но и функциональных) в цифровой формат.

Цель – провести анализ систем дизайна и имитации кинематических параметров челюсти, основных принципов архитектуры имеющегося программного обеспечения, направленного на воспроизводство артикуляционных составляющих и построение индивидуализированных окклюзионных схем в ходе пациент-ориентированного ортопедического лечения.

Материал и методы. Поиск публикаций в электронных базах данных (PubMedCentral (PMC), BioMed Central, InTech, MEDLINE / PubMed, Public Library of Science One (PloS)) осуществлялся согласно дескрипторов Medical Subject Headings (MeSH), представляющих собой своеобразные заголовки, категоризированных по системе иерархии. Дополнительно проводился анализ ссылок в уже предварительно проведенных системных обзорах, касающихся цели данного исследования, и других обзорных публикациях, смежных с ними.

Результаты. Проведенный системный обзор принципов цифрового моделирования артикуляционных схем с различными исходными условиями подтвердил возможность их практического применения при изготовлении протетических элементов с индивидуализированными окклюзионными поверхностями, обеспечивая таким образом достижение наиболее оптимальных результатов стоматологической реабилитации.

Огляди літератури, оригінальні дослідження, **погляд на проблему**, короткі повідомлення

Выводы. Системный обзор основных возможностей воспроизведения артикуляционных движений челюсти в цифровой среде является первичным этапом разработки собственной модели цифрового артикулятора для решения конкретных клинических проблем, связанных с повторным протезированием пациентов с имеющимися окклюзионными дисфункциями.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: артикуляция; цифровая среда; программное обеспечение.

ANALYSIS OF THE PROBLEMS AND POSSIBILITIES OF REPRODUCTION OF THE INTELLIGENT MOVEMENTS OF THE CYLINDER IN THE DIGITAL ENVIRONMENT

©S. B. Kostenko, M. M. Slyvka, M. Y. Goncharuk-Khomyn, Y. M. Bun,
G. N. Nakashidze, A. V. Bokoch

Uzhhorod National University

SUMMARY. Introduction. The use of virtual articulators, which are essentially software, greatly enhances the effectiveness of planning and implementing stages of complex dental rehabilitation with the ability to completely translate patient data (not only anatomical but also functional) into a digital format.

The aim – to carry out an analysis of design and simulation systems for jaw kinematic parameters reproduction, basic principles of the architecture of existing software aimed at reproducing articulation components and constructing individualized occlusion patterns during patient-oriented prosthetic treatment.

Material and Methods. The search for publications in electronic databases (PubMedCentral (PMC), BioMed Central, InTech, MEDLINE / PubMed, the Public Library of Science One (PloS)) was carried out in accordance with the Medical Subject Headings (MeSH) descriptors, which are peculiar headings categorized by the hierarchy system. Additionally, the analysis of references in already pre-made system reviews related to the objectives of this study and other review publications adjacent to them was provided.

Results. The systematic review of the principles of digital modeling of articulation schemes with different initial conditions confirmed the possibility of their practical application during the manufacture of prosthetic elements with individualized occlusive surfaces, thus ensuring the achievement of the best results of dental rehabilitation.

Conclusions. A systematic review of the main possibilities for reproduction jaw articulation movements in the digital environment is the primary stage in the development of an own model of a digital articulator to address specific clinical problems associated with prosthetic retreatment of patients with present occlusive dysfunctions.

KEY WORDS: articulation; digital environment; software.

Отримано 16.10.2017