

МЕДИЧНІ НАУКИ

УДК 616.314-76-77-089.843

ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ РЕДУКЦІЇ КІСТКОВОЇ ТКАНИНИ В ПЕРИІМПЛАНТАТНІЙ ОБЛАСТІ З ВИКОРИСТАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ПРИНЦИПУ СУПЕРІМПОЗИЦІЇ

Гончарук-Хомин М.Ю., Кенюк А.Т., Форос А.І.,
Цуперяк С.С., Гаврилешко К.І., Мошак Ю.В.
Ужгородський національний університет

Для досягнення найбільш точної суперімпозиції результатів КПКТ-дослідження кісткової тканини рекомендовано використання принципу реєстрації вокселів в області відносно анатомічно сталих орієнтирів, таким чином статистична значимість отриманих кінцевих результатів значно підвищується. Останній використовується програмним забезпеченням Maxilim (Medicim, Medical Image Computing), після чого відбувається експортування моделей у файли поверхонь типу STL для подальшого аналізу. Аналіз файлів поверхонь відбувається після остаточної сегментації зображень з використанням графічного інструменту площини, що здатен лінійно відтинати непотрібні ділянки анатомічних реформатів і залишати лиш відповідні області дослідження. Даний етап крім оптимізації процесу аналізу також дозволяє стандартизувати об'єкти дослідження до відносно однорідних геометричних параметрів.

Ключові слова: суперімпозиція, редукція кісткової тканини, дентальна імплантація.

Постановка проблеми. Об'ємні зміни кісткової тканини щелеп аргументують доцільність використання таких підходів візуалізації та дослідження тканин максилло-фацилярної ділянки, які б не тільки враховували полівекторну направленість фізіологічних чи патологічних процесів організму, або ж наслідків ятрогенного втручання, а й для яких можлива адаптація ряду математичних алгоритмів, що оптимізують якість рентгенологічних досліджень та послідовної первинної чи вторинної реконструкції зображень для можливості проведення прецизійного метрологічного аналізу [3, 4, 8].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Вивчаючи джерела літератури, присвячені проблемам оцінки змін рівня маргінальної кісткової тканини у періімплантатній області, можна відмітити, що у вітчизняній та зарубіжній імплантології, існує ціла низка невирішених питань щодо точної реєстрації змін у розрізі дослідження площинних та об'ємних параметрів кісткової тканини навколо встановленого дентального імплантата [4, 8]. Це зумовлене у першу чергу тим, що необхідність оперативної оцінки стану кісткової тканини методологічно передбачає виконання прицільних та панорамних рентгенологічних знімків, проте критерії об'єктивної оцінки динамічних змін включають ще й критерій необхідної прогнозованості результатів імплантологічного втручання, який потребує деталізованого та конкретизованого дослідження області імплантації за допомогою релевантних параклінічних методів дослідження. Доступність використання методів комп'ютерної томографії та можливість деталізованого графічного аналізу зонограм, можливість аналізу показників частотно-резонансного аналізу стабільності, періотестометрії та супутніх клінічних параметрів відповідно до існуючих критеріїв оцінки успішності імплантації значно розширюють можливість верифікації та аналізу

конкретних взаємозалежностей показників та даних отриманих в ході комплексного підходу до оцінки безпосередніх та віддалених результатів лікування.

Кісткова тканина, як об'єкт дослідження та суперімпозиції, є унікальним з точки зору можливостей аналізу об'єктом, який по своїй структурі дозволяє однаково ефективно використовувати алгоритми накладання зображень як за поверхнями (координатний метод), так і за воксельними характеристиками [1, 2, 3, 5, 6]. Сталість текстури та контурів кісток щелеп на КТ-знімку аргументують доцільність різних технік суміщення зображень для формулювання остаточних висновків відносно статистичної значимості результатів їх використання та комбінованої імплементації специфічного варіанту суперпозиції [7, 8]. Крім того, у випадках імплантації інфраосальна конструкція може бути використана в якості фідукального об'єкта, відносно якого відбуватиметься процес фрагментації та суміщення знімків при достатній корекції супутніх артефактів знімку.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Вибір графічного програмного забезпечення для реалізації процесу суперімпозиції повинен враховувати різні методологічні підходи прикладних утиліт в ході накладання зображення. Деякі адаптовані програми, по типу Dolphin 3D та InVivoDental використовують метод реєстраційних точок, яких передбачає маркування відповідної кількості координат, за якими і відбувається нашарування просторових об'єктів. Корекційне регулювання позицій реформатів при подібному підході може відбуватися мануально, проте потребує як додаткових навичок аналізу цифрових зображень, так і часових затрат, провокуючи в ході суміщення помилки ідентифікації, візуалізації та локації конкордантних орієнтирів. Для спрощення даного

процесу з використанням методу реєстраційних точок в окремих випадках рекомендовано використовувати зовнішньокісткові орієнтири, зміни рівня та позиції яких протягом життя варіюють в обмеженому діапазоні, або ж є несуттєвими, якщо цільовий термін дослідження не перевищує кількох років за сприяючих факторів мінімальних фізіологічних, патологічних та ятрогенних змін кісткових структур лицевого скелету.

Мета статті. Визначити можливість використання принципу суперімпозиції з метою верифікації рівня редукції кісткової тканини у періімплантатній області через 3 місяці після імплантації.

Виклад основного матеріалу. Моделі (об'єкти дослідження) при воксельній суперімпозиції формуються шляхом фрагментації окремих анатомічних ділянок (періімплантатної області) з метою оптимізації часових параметрів їх опрацювання. При цьому принцип фрагментації будується або на геометричному контуруванні сегментів щелепи, або на формуванні певного ділянки твердих тканин з відповідними показниками щільності (одиниць Хаунсвільда). Геометричне контурування передбачає використання або своєрідних константних координат, або ж цілих фрагментів, в області яких не було зареєстровано жодних фізіологічних чи ятрогенних змін, а відтак вони можуть бути використані для повного співставлення окремих поверхонь та вивчення різниці між іншими. Реєстрація на основі вокселів передбачає суміщення по аналогічному принципу незмінності певних показників, якими при використанні даного алгоритму виступають окремі вокселі із незмінними показниками щільності. Таким чином, поверхнева геометрична суперімпозиція передбачає необхідність виконання додаткового етапу рендеренгу DICOM-зображення для створення відповідної mesh-моделі, яка, власне, і піддається кінцевому аналізу. Така mesh-модель по суті представляє собою полігональну сітку як сукупність певного набору граней, ребер, полігонів та вершин (вертексів), які визначають форму досліджуваного тривимірного об'єкта. Сам об'єкт при цьому може бути представлений через кожну з його складових шляхом опису у формі матриць, та конвертований у відповідний формат файлів – FBX, 3D-Coat, 3DS, MS3D, Collada, OBJ, STL, VRML, X3D, MSH, C4D, які є зручними в залежності від інсталюваного програмного забезпечення для подальшого графічного аналізу.

Для суперімпозиції зображень при методі суміщення використовується ітеративний алгоритм найближчих точок (Iterative Closest Point – ICP), таким чином досягається мінімізація різниці між двома масивами графічної інформації у форматі реального часу. В ході його реалізації відбувається чисельне зміщення та реорієнтація об'єктів дослідження для зведення відстані між порівнюваними поверхнями до мінімально допустимого значення. Попередньо кожна з точок дослідження зв'язується в відповідною їй координатою на знімку порівняння згідно критерію найближчого сусіднього параметру (з відповідними показниками геометричних чи скалярних величин), після цього відбувається аналіз необхідності та об'єму маніпуляцій перетворення (пе-

реорієнтації) з використанням функцій середньоквадратичних значень. В результаті даного аналізу точки переформатовуються за допомогою параметрів оцінки, після чого відбувається їх багатократна ітерація – реорганізація даних з отриманням вихідного результату. Сучасні варіанти алгоритму пошуку найближчих точок використовують k -d структуру даних для співставлення масиву точок (поверхонь) у k -мірному просторі, що дозволяє проводити суміщення на рівні підсукупності, забезпечуючи таким чином вищу статистичну значимість результатів, навіть з врахуванням дизруптивного впливу параметрів підшарів та субповерхонь з їхньою просторовою диференціацією. Використання ітеративного алгоритму найближчих точок також обґрунтована поширеністю відповідних інструментів опрацювання з відкритим вихідним кодом, що дозволяє використовувати одразу декілька варіантів для реалізації вищезгаданої концепції. При суперпозиції зображень за зовнішніми поверхнями послідовність ітеративної реорганізації базується на реєстрації оптимальних параметрів конвертування та ротації трьохмірних фігур, щоб мінімізувати середнє значення відстані між ними в процесі накладання. Така відстань обраховується специфічним відсотком точок рандомізовано обраних як на первинній моделі, так і на вторинному знімку. При воксельній реєстрації процесу суперімпозиції квадратична відстань вираховується у абсолютно інших квантифікаційних показниках – диференційних значеннях інтенсивності сірого між специфічними відсотками вокселів вихідного та повторного зображень.

На комп'ютерно-томографічних зрізах були визначені показники редукції кісткової тканини з медіальної та дистальної сторін у різних топографічних відділах щелеп через 3 місяці після імплантації серед 106 пацієнтів чотирьох вікових груп (до 45 років, 46-55 років, 56-65 років, старших 66 років). Найвищі значення були зареєстровані на верхній щелепі та складали 0,38-0,44 мм, в той час як на нижній щелепі показники редукції не перевищували 0,27-0,31 мм. Середні показники редукції кісткової тканини визначені у різних вікових групах та в залежності від топографії області імплантації, визначені за допомогою методу воксельної суперімпозиції та визначені у умовних одиницях мали наступний вигляд: у віковій групі до 45 років у фронтальному відділі верхньої щелепи – 28,97, у дистальному відділі верхньої щелепи – 14,25, у фронтальному відділі нижньої щелепи – 10,47, у дистальному відділі нижньої щелепи – 17,01; у віковій групі 46-55 років у фронтальному відділі верхньої щелепи – 34,56, у дистальному відділі верхньої щелепи – 12,63, у фронтальному відділі нижньої щелепи – 24,70, у дистальному відділі нижньої щелепи – 12,62; у віковій групі 56-65 років у фронтальному відділі верхньої щелепи – 26,92, у дистальному відділі верхньої щелепи – 8,95, у фронтальному відділі нижньої щелепи – 7,89, у дистальному відділі нижньої щелепи – 12,62; у віковій групі старших 66 років у фронтальному відділі верхньої щелепи – 26,92, у дистальному відділі верхньої щелепи – 8,96, у фронтальному відділі нижньої щелепи – 7,89, у дистальному відділі нижньої щелепи – 17,19.

При цьому було визначено високі рівні кореляції отриманих даних і показниками редукції кісткової тканини з медіальної та дистальної сторін імплантату, що відповідали значенню коефіцієнта Пірсона в 0,92, а також залежність показника об'ємної редукції кісткової тканини від вихідних показників оптичної щільності кістки за Хаунсвільдом – 0,88 ($p \leq 0,05$).

Метод співставлення результатів КТ-досліджень областей імплантації з використанням принципів суперімпозиції зображень різного терміну виконання та врахуванням показників щільності кісткової тканини досліджуваних сегментарних фрагментів дозволив оцінити зміни параметрів альвеолярного гребня у абсолютних показниках з точністю у 95,4-96,7 \pm 0,26%. Дана методика також дозволяє індивідуалізувати підхід до оцінки якості комплексу проведених ятрогенних втручань з урахуванням впливу різних факторів на стан періімплантатної кісткової тканини, в тому числі і адекватності вибору схем ортопедичної реабілітації стоматологічних хворих з опорою на імплантати.

Висока кореляція показників редукції кісткової тканини, визначених шляхом оцінки її рівня з медіальної та дистальної сторін, а також методом суперімпозиції, свідчить про взаємовідповідність отриманих результатів об'єктивному стану альвеолярного гребня, а також про те, що процес конвертації файлів формату .dcm у формат .stl за запропонованим алгоритмом забезпечує оптимальне нівелювання впливу окремих артефактів на якість рентгенологічного зображення.

Таким чином, використання подібного алгоритму оцінки дозволяє не тільки деталізувати параметри втрати кісткової тканини в періімплантатній області, що може бути використано як адаптовані критерії окремого сегменту експертної оцінки успішності дентальної імплантації, а й розширює можливості для вивчення впливу сукупних ятрогенних та біологічних факторів дентальної імплантації на розвиток циркулярної втрати кісткової тканини, яка бути зареєстрована лише з використанням методів комп'ютерної томографії.

Висновки і пропозиції. Для досягнення найбільш достовірних суперімпозиції результатів КПКТ-дослідження кісткової тканини рекомендовано використання принципу реєстрації вокселів в області відносно анатомічно сталих орієнтирів, таким чином статистична значимість отриманих кінцевих результатів значно підвищується. Останній використовується програмним забезпеченням Maxilim (Medicim, Medical Image Computing), після чого відбувається експортування моделей у файли поверхонь типу STL для подальшого аналізу. Аналіз файлів поверхонь відбувається після остаточної сегментації зображень з використанням графічного інструменту площини, що здатен лінійно відтинати непотрібні ділянки анатомічних реформатів і залишити лиш відповідні області дослідження. Даний етап крім оптимізації процесу аналізу також дозволяє стандартизувати об'єкти дослідження до відносно однорідних геометричних параметрів.

Список літератури:

1. Nastych O. Differences of the Bacterial, Biological and Immunological Aspects of Periimplantitis and Periodontitis. Literature Review / O. Nastych, I. Melnychuk, V. Pryshlyak, M. Goncharuk-Khomyn, L. Siegfried // Новини стоматології. – 2016. – № 2. – С. 61-64.
2. Nastych O. Differences of the Bacterial, Biological and Immunological Aspects of Periimplantitis and Periodontitis. Literature Review. Part 2 / O. Nastych, I. Melnychuk, V. Pryshlyak, M. Goncharuk-Khomyn, L. Siegfried // Новини стоматології. – 2016. – № 3. – С. 24-28.
3. Гончарук-Хомин М. Ю. Антропометричні розрахунки пропорційних співвідношень за цифровими ортопантомограмами / М. Ю. Гончарук-Хомин, Є.Я. Костенко // Буковинський медичний вісник. – 2013. – № 3(1). – С. 45-46.
4. Кенюк А. Т. Перспектива використання принципу суперімпозиції зображень в ході реєстрації динамічних змін кісткової тканини в періімплантатній області / А. Т. Кенюк // Morphologia. – 2016. – Т. 10. – № 3. – С. 180-187.
5. Костенко Є. Я. Клініко-експериментальне обґрунтування судово-медичної класифікації стоматологічного статусу / Є. Я. Костенко, В. Д. Мішалов, М. М. Сливка, М. Ю. Гончарук-Хомин // Вісник проблем біології і медицини. – 2013. – № 4(1). – С. 361-364.
6. Костенко Є. Я. Систематизація дефектів зубних рядів у пацієнтів з нефіксованою міжальвеолярною висотою та центральним співвідношенням щелеп / Є. Я. Костенко, А. Т. Кенюк, М. Ю. Гончарук-Хомин, О. Б. Ганущак // Современная стоматология. – 2014. – № 5. – С. 72-75.
7. Потапчук А. М. Аналіз результатів успішності іммедіат-імплантації з використанням дентальних імплантатів системи Zircon Prior Fortis / А. М. Потапчук, В. М. Криванич, В. В. Русин, М. Ю. Гончарук-Хомин // Клінічна стоматологія. – 2015. – № 2. – С. 93-99.
8. Русин В. В. Альтернативний підхід до реєстрації змін рівня періімплантатної кісткової тканини у віддалений реабілітаційний період / В. В. Русин, М. Ю. Гончарук-Хомин // Morphologia. – 2016. – Т. 10. – № 2. – С. 77-84.

**Гончарук-Хомин М.Ю., Кенюк А.Т., Форос А.И.,
Цуперяк С.С., Гаврилешко Е.И., Мошак Ю.В.**
Ужгородский национальный университет

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЯ РЕДУКЦИИ КОСТНОЙ ТКАНИ В ПЕРИИМПЛАНТАТНОЙ ОБЛАСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ПРИНЦИПА СУПЕРИМПОЗИЦИИ

Аннотация

Для достижения наиболее точной суперимпозиции результатов КПКТ-исследования костной ткани рекомендуется использование принципа регистрации вокселей в области относительно анатомически постоянных ориентиров, таким образом статистическая значимость полученных конечных результатов значительно повышается. Последний используется программным обеспечением Maxilim (Medicim, Medical Image Computing), после чего происходит экспорт моделей в файлы поверхностей типа STL для дальнейшего анализа. Анализ файлов поверхностей происходит после окончательной сегментации изображений с использованием графического инструмента плоскости, который способен линейно отсекал ненужные участки анатомических реформатов и оставлять только соответствующие области исследования. Данный этап кроме оптимизации процесса анализа также позволяет стандартизировать объекты исследования в отношении однородных геометрических параметров.

Ключевые слова: суперимпозиция, редукция костной ткани, дентальная имплантация.

**Goncharuk-Khomyn M.Y., Kenyuk A.T., Foros A.I.,
Tsuperyak S.S., Havryleshko K.I., Moshak Y.V.**
Uzhgorod National University

ASSESSMENT OF THE BONE LEVEL REDUCTION IN THE PERI-IMPLANT AREA USING EXPERIMENTAL PRINCIPLE OF SUPERIOMPOSITION

Summary

In order to achieve the most accurate superimposition of the results of CBCT bone tissue evaluation, it is recommended to use the principle of registering voxels in the region of interest with respect to anatomically stable landmarks, thus the statistical significance of the obtained results is significantly increased. The latter principle have been used in the Maxilim software (Medicim, Medical Image Computing), after which models are exported to STL-type files for further analysis. The analysis of the surface files occurs after the final segmentation of the images using a graphical tool of the plane that is able to linearly remove the unnecessary parts of the anatomical reformats and leave only the relevant areas of the study. This stage, in addition to optimizing the analysis process, also allows to provide standardization of research objects to relatively analogica geometric parameters.

Keywords: superimposition, bone reduction, dental implantation.