

УДК 004.921

**К.В. Меркулова (канд. техн. наук, доц.), Т.В. Даниленко (магістр)**Донецький національний технічний університет  
кафедра автоматизованих систем управління  
E-mail: katemerk@telenet.dn.ua**РОЗРОБКА СПЕЦІАЛІЗОВАНОЇ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ  
АНАТОМО-ТОПОГРАФІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЩЕЛЕПНО-ЛИЦЬОВОЇ ДІЛЯНКИ  
ЗА ДАНИМИ СКТ, НА ЕТАПІ ПЛАНУВАННЯ ДЕНТАЛЬНОЇ ІМПЛАНТАЦІЇ**

*Розроблено алгоритм побудови довільного перерізу по даним масиву зрізів спіральної комп'ютерної томографії для автоматизації процесу проведення підготовки до операції дентальної імплантації, визначення анатомо-топографічних параметрів кісток щелепно-лицьової ділянки. Проведені дослідження розробленого алгоритму та створена СКС визначення анатомо-топографічних параметрів щелепно-лицьової ділянки.*

**Ключові слова:** спіральна комп'ютерна томографія, дентальна імплантація, СКС, DICOM зображення, переріз.

**Загальна постановка проблеми**

У сучасній стоматології широко використовується метод дентальної імплантації лікування часткової або повної відсутності зубів на одній або обох щелепах. На даний момент це найбільш надійний метод протезування з рядом переваг [1].

Метод планування операції дентальної імплантації проводиться на підставі даних СКТ. Імплантація, це, перш за все впровадження чужорідного предмету в організм людини, яке може викликати ряд наслідків і ускладнень, тому правильне попереднє визначення всіх чинників, що впливають (висота і ширина кістки, тип, висота і діаметр імплантату) дозволяє мінімізувати вірогідність неправильної імплантації [2].

Наслідком проведення СКТ є масив пошарових знімків з фіксованою відстанню між ними. Кожен знімок є зрізом щелепно-лицьової ділянки і зберігається у файлі спеціального медичного формату — .dcm. Розпізнавши зображення і виділивши проблемну ділянку (ділянку відсутності зубів), необхідно математично розрахувати анатомо-топографічні параметри кістки і підібрати дентальний імплантат з урахуванням майбутньої ортопедичної конструкції. На підставі точних анатомічних даних і вивіреного розташування імплантатів створюється план хірургічного лікування, і задаються місце, положення і глибина препарування кісткового ложа під дентальний імплантат.

Результатом СКС, що розробляється, буде вихідний документ, який надалі використовуватиметься лікарем при операції, для точної постановки імплантату в заплановане положення. Спеціалізована комп'ютерна система діагностики анатомо-топографічних параметрів ЩЛД, за даними СКТ, на етапі планування дентальної імплантації забезпечує точність позиціонування дентального імплантату в запланованому місці, оптимальне розміщення імплантату відносно майбутньої ортопедичної конструкції. Дає стабільні результати, скорочує час хірургічного втручання, зменшує вірогідність виникнення ускладнень і піднімає роботу стоматологів на новий якісний рівень.

Зараз існують такі програмні забезпечення як:

- Mimics Z;
- Planmeca Romexis;
- Implant-assistant;
- CEREC Biogeneric.

Переваги: проведення діагностики кісткової тканини в передбачуваному місці установки імплантату до оперативного втручання. Вибір оптимальної операційної техніки в шкіряному клінічному випадку. Надає можливість точного позиціонування імплантату у запланованому місці [5]. Автоматизація всіх кроків, необхідних для імпорту файлів MPT і КТ сканування, вибору структури, здійснення редагування і маскування, а також експорту даних. Обробка даних стандарту DICOM. Функції анотування, що дають можливість прикріплювати ярлики до моделей з даними критичного хворого з коментарями лікаря [3].

Недоліки: лікар може побачити лише три стандартні перерізи об'єкта, що досліджують. Програма вимагає великих витрат комп'ютерних ресурсів. Не призначена для планування операцій дентальної імплантації. Немає можливості здійснювати випуск ZPR файлів, підготовлених для друку на 3D принтерах Z Corp. Працює тільки з файлами отриманими на обладнанні Planmeca Romexis. Немає російськомовного або україномовного інтерфейсу. Складність в експлуатації — необхідне проходження спеціальних курсів, перед використанням програми. Відсутність бази стандартних елементів, кожен елемент необхідно створювати. Потребує великої якості зображень КТ. Також фактором, що стримує можливість використання додатків, є велика ціна.

### **Постановка задачі**

Проаналізувавши аналогічні системи, вивчивши їх переваги та недоліки можна зробити висновок, що необхідно розробити такий програмний додаток, який не містив би недоліки існуючих програм. Потрібний такий програмний продукт, який допоможе підготувати дані, які будуть містити весь набір розрахованих параметрів для планування дентальної імплантації. Також додаток повинен формувати звіт, який надається лікаріві-стоматологові для затвердження або внесення змін, спираючись на свій особистий досвід.

Задачі, що були поставлені для розробки даної СКС:

1. Загальний аналіз предмету дослідження.
2. Огляд і аналіз існуючих систем і розробок, що пов'язані з обробкою зображень ШЦЛД.
3. Огляд, аналіз і вибір методів бінаризації зображень. Проведення пов'язаних з цим експериментів.
4. Розробка структури СКС, визначення її підсистем та функціональних вузлів.
5. Аналіз результатів з точки зору достовірності, наукової і практичної цінності.

Спеціалізована комп'ютерна система діагностики анатомо-топографічних параметрів, за даними СКТ, на етапі планування дентальної імплантації забезпечить точність позиціонування дентального імплантату в запланованому місці, оптимальне розміщення імплантату відносно майбутньої ортопедичної конструкції. Скоротить час хірургічного втручання, зменшить вірогідність виникнення ускладнень і підніме роботу стоматологів на новий якісний рівень [2].

### **Розв'язок задач та результати дослідження**

Об'єктом комп'ютеризації у даній СКС є процес виявлення дефектів на підставі аналізу зображень КТ. У сучасній стоматології широко використовується метод дентальної імплантації лікування часткової або повної відсутності зубів на одній або обох щелепах. На даний момент це найбільш надійний метод зубного протезування з рядом переваг.

Дентальна імплантація, це, перш за все впровадження чужорідного предмету в організм людини, яке може викликати ряд наслідків і ускладнень, тому правильне попереднє визначення всіх чинників, що впливають (висота і ширина кістки, тип, висота і діаметр імплантату) дозволяє мінімізувати вірогідність неправильної імплантації [4].

Метод планування операції дентальної імплантації проводиться на підставі даних СКТ. На даному етапі розвитку медичного устаткування спіральна комп'ютерна томографія дозволяє отримати найбільш точне зображення досліджуваного об'єкту, і на підставі отриманих знімків визначити параметри необхідні для проведення дентальної імплантації.

Для скорочення хірургічного втручання і зменшення ризику, в даній СКС, визначаються параметри кістки в місці дентальної імплантації (висота і ширина кістки), місце впровадження імплантату і його характеристики (тип, висота, діаметр). Формується вихідний документ.

Спеціалізована комп'ютерна система діагностики анатомо-топографічних параметрів ЩЛД, за даними СКТ, на етапі планування дентальної імплантації забезпечує точність позиціонування дентального імплантату в запланованому місці, оптимальне розміщення імплантату відносно майбутньої ортопедичної конструкції. Дає стабільні результати, скорочує час хірургічного втручання, зменшує вірогідність виникнення ускладнень і піднімає роботу стоматологів на новий якісний рівень.

Для відділення об'єкту від фону, кісткової тканини від останнього зображення, необхідно виконати бінаризацію всього масиву зображень. Для цього розглянемо та проведемо аналіз найбільш ефективних методів бінаризації: метод порогової бінаризації  $k$ -середніх, метод Отса, метод Бернсена, метод Ейквеля, метод Ніблека та метод Яновіца і Брукштейна.

Метод порогової бінаризації  $k$ -середніх [5]. Даний метод є вдосконаленим методом медіанної порогової бінаризації. Вибір порогу  $f_0$  виконується в 4 етапи:

1. Вибрати поріг  $f_0$  рівний середині діапазону яскравостей;
2. Обчислити середню яскравість ( $m_1$ ) пікселів з яскравістю  $< f_0$  і середню яскравість ( $m_2$ ) для пікселів з яскравістю  $> f_0$ .
3. Перерахувати поріг.
4. Повторювати кроки 2 і 3, поки поріг не перестане змінюватися.

До переваг методу можна віднести кращі результати в більшості випадків в порівнянні з методом медіанної порогової бінаризації, а до недоліків — велика тривалість обробки зображення, в порівнянні з методом медіанної порогової бінаризації.

Метод Отса. Найбільш ефективним з методів глобальної бінаризації, як за якістю (помилки до 30% і менше), так і за швидкістю обробки є метод Отса. До його недоліків відноситься розмиття ліній, «злипання» об'єктів, особливо в місцях пересічень, втрата тонких ліній.

Метод використовує гістограму розподілу значень яскравості пікселів растрового зображення. Будується гістограма по значеннях  $p_i = n_i/N$ , де  $N$  — це загальна кількість пікселів на зображенні,  $n_i$  — це кількість пікселів з рівнем яскравості  $i$ . Діапазон яскравостей ділиться на два класи за допомогою порогового значення рівня яскравості  $i$ ,  $k$ - ціле значення від 0 до  $L$ . Кожному класу відповідають відносні частоти  $\omega_0 \omega_1$ .

Далі обчислюється максимальне значення оцінки якості розділення зображення на дві частини:

Метод Бернсена. Часто використовується метод Бернсена. Для схематичних і картографічних зображень. Для кожного пікселя  $(x; y)$  вибирається поріг яскравості  $B(x; y) = (B_{\min} - B_{\max})/2$ , де  $B_{\min}$  — відповідно, найнижчий і найвищий рівень яскравості пікселів з квадратної околиці пікселя  $(x; y)$ . Якщо рівень контрасту (різниця самого високого рівня і найнижчого рівнів) перевищує деякий поріг, то піксель вважається або білим, або чорним. Для всього зображення цей поріг контрасту є константою і повинен підбиратися інтерактивно [6].

Має ряд недоліків: після обробки монотонних областей яскравості формуються сильні паразитні перешкоди, в деяких випадках наводить до появи помилкових чорних плям. Недоліки можуть бути компенсовані за допомогою додаткової обробки — процесингу поста. Метод є найбільш швидким серед останніх, навіть в сукупності з етапом процесингу поста.

Метод Ейквеля. Одним з найпродуктивніших методів є метод Ейквеля. Його часто застосовують для обробки чітких і контрастних зображень [7].

Згідно даному методу зображення обробляється за допомогою двох концентричних вікон: маленького —  $S$ , і великого  $L$ . Зазвичай форма вікон приймається квадратною. Обоє вікна послідовно зліва направо зверху вниз накладаються на зображення з кроком рівним стороні маленького вікна  $S$ . Для вікна  $L$  розраховується поріг  $B$  так, щоб поділити пікселі на два кластери.

Якщо математичні сподівання рівня яскравості в двох кластерах мають різницю, що перевищує деякий заданий користувачем рівень  $\mu_1 - \mu_2 \geq 1$ , то всі пікселі усередині вікна  $S$  бінаризують відповідно до порогу  $T$ . Інакше, яскравість пікселів з вікна  $S$  замінюється деяким близьким значенням.

Існуючі алгоритми бінаризації дозволяють проводити обробку зображень із значною зональною нерівномірністю яскравості, з монотонними областями яскравості, з сильно зашумленими зображеннями. Проте залишаються невирішеними ряд проблем. До таких проблем відноситься виявлення зон накладення об'єктів зображення і необхідність автоматичної інтерпретації даних зон. Не є задовільним часто використовуваний варіант «обриву» об'єкту в місці накладення. Незадовільним є і варіант, в якому зона накладення вважається частиною кожного з прилеглих до неї об'єктів.

Детальний експериментальний аналіз та вибір методів бінаризації розглянуто у пункті 5.1. «Аналіз адаптивних та порогових методів бінаризації» та у пункті 5.2. «Аналіз та обґрунтування вибору методу порогової бінаризації»

Графічно результат аналізу методів порогової бінаризації та його результат наведено на рисунку 3.2.

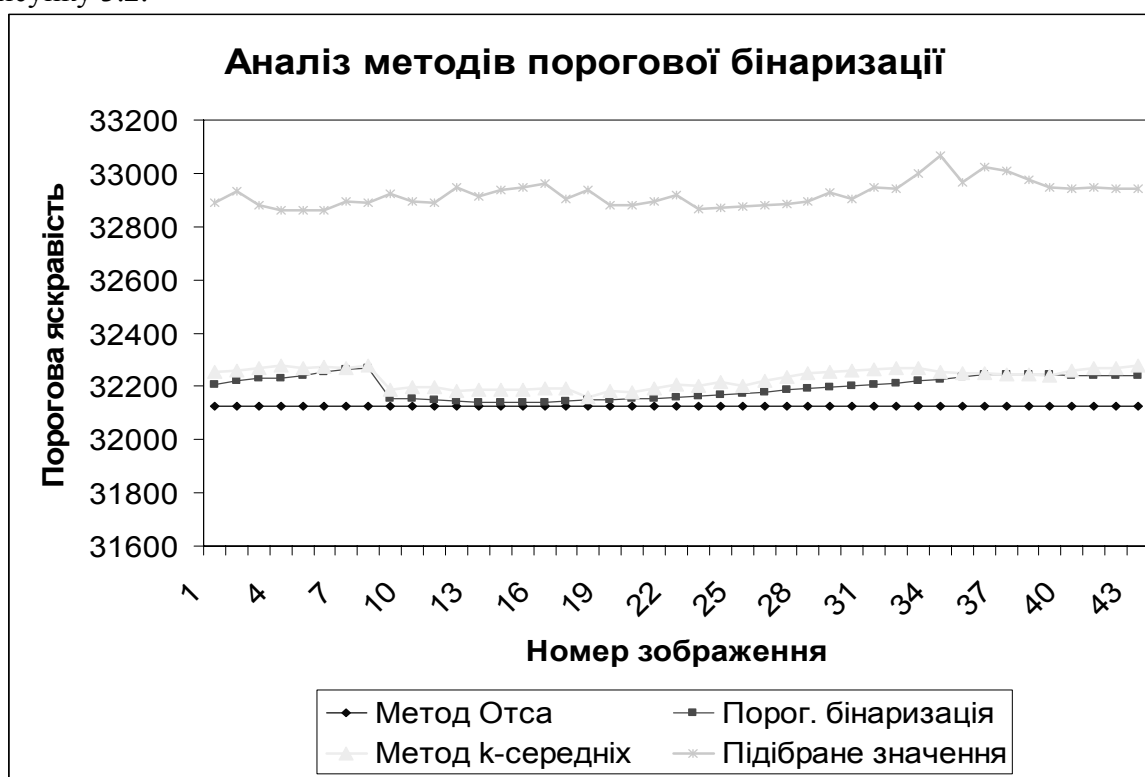


Рисунок 1 — Аналіз методів порогової бінаризації

Переваги та недоліки кожного з методів були описані вище. Проаналізувавши їх треба виділити метод  $k$ -середніх, не дивлячись на те, що даний метод простий в реалізації. Дані отримані експериментально щонайкраще свідчать про ефективність обробки зображень стандарту DICOM даним методом.

Обрані методи були реалізовані у програмному додатку. У результаті роботи програми, після успішного завантаження DICOM зображення стають можливими наступні функції додатку:

- Переглядання тегів для поточного зображення DICOM.
- Збереження зображення у форматі JPEG.
- Перегляд числових характеристик зображення.
- Виконання побудову поперечного перерізу в місті вказаному користувачем додатку.



Рисунок 2 — Вибір місця перерізу

В результаті побудови поперечного перерізу існує можливість швидкого переходу між знімками та розрахунку параметрів зони інтересу, та на основі розрахованих параметрів отримати рішення з вибору типу імплантату.



Рисунок 3 — Приклад побудованого поперечного перерізу

Інструменти програми дозволяють детально вивчити клінічну ситуацію з можливістю аналізу тканин. Дана СКС дозволяє на точному анатомічному перерізі віртуальну установку імплантату. В результаті цього точно визначається його розмір і позиція. Об'єктивно вибираються оптимальні рішення відносно майбутньої операції.

Після аналізу перерізу є можливість отримати вихідний документ з розширенням \*.doc. У нього заноситься особиста інформація про пацієнта, параметри досліджуваної області і пропонованого імплантату, у випадку якщо операція можлива, дата та час проведення КТ та дата отримання вихідного документа.

Висновки, що були зроблені в ході проведення наведених експериментів, які дали найкращі результати, були реалізовані в програмному додатку, який тестувався більш ніж на 30 контрольних зображеннях.

Розроблений алгоритм визначення параметрів імплантатів на підставі розмірів проблемної ділянки дав вірні результати на майже 94 % випадках, що свідчить про достовірність даних результатів. Наявність не вірних значень визначених імплантатів обумовлено не великою якістю деяких зображень, у наслідок чого виникає ймовірність невірною визначення контуру кістки.

Проведена робота дозволила значно скоротити час аналізу знімків КТ. Методи та експерименти, що представлені вище, можуть бути використані для обробки зображень з інших галузей знань, тому представляють практичну цінність не тільки для розробників систем медичної діагностики, а й вчених, що займаються обробкою й аналізом зображень в цілому.

Наукова новизна даної роботи полягає у розробці алгоритму створення перерізу на базі масиву знімків. На основі проведених досліджень та експериментів розроблено спеціальне програмне забезпечення, яке дозволить скоротити час, необхідний на проведення аналізу зрізів, а також вирішить проблему покупки нового обладнання, що принесе лікарям велику економічну вигоду.

### **Висновки**

В ході виконання даної роботи були вирішені наступні задачі:

1. Виконано аналіз предмету дослідження та визначена мета створення спеціалізованої комп'ютерної системи.
2. Проаналізовані існуючі системи, які виконують задачі аналогічні поставленій, знайдені найвагоміші недоліки та переваги. Сформовані вимоги до розроблюваної системи.
3. Проаналізовані методи бінаризації зображень. В результаті аналізу визначено більшу ефективність порогових методів ніж адаптивних, для обробки зображень ЩЛД.
4. Проведено експеримент з визначення кращого порогового методу бінаризації. У результаті експерименту обрано метод порогової бінаризації k-середніх. Також проведено експеримент з визначення коефіцієнту корегування для даного методу бінаризації. Винайдено залежність даного коефіцієнту від математичного сподівання.
5. Розроблено алгоритм побудови довільного перерізу по даним масиву зрізів спіральної комп'ютерної томографії для автоматизації процесу проведення підготовки до операції дентальної імплантації, визначення анатомо-топографічних параметрів кісток щелепно-лицьової ділянки. Створена СКС.
6. Було проведено аналіз результатів роботи СКС з точки зору достовірності, наукової і практичної цінності.

Проведена робота дозволить значно скоротити час проведення підготовки до операції дентальної імплантації, визначення анатомо-топографічних параметрів кісток щелепно-лицьової ділянки. Методи експерименти та розроблені алгоритми, представлені у даній роботі, можуть бути використані для аналізу зображень іншої галузі знань, тому представляють практичну цінність не тільки для розробників систем медичної діагностики, а й для вчених, що займаються обробкою та аналізом зображень в цілому.

Наукова новизна даної роботи полягає у розробці комплексу алгоритмів обробки зображень стандарту DICOM, побудові перерізу всього масиву зрізів КТ та точності вибору дентального імплантату.

### Список використаної літератури

1. Параскевич В.Л. Дентальная имплантология: Основы теории и практики: науч.-практ. пособие / В.Л. Параскевич. — Мн.: ООО «Юнипресс», 2002. — 368 с.
2. Баркова А.В. Создание СКС диагностики анатомо-топографических параметров ЧЛО, по данным СКТ, на этапе планирования дентальной имплантации. Інформаційні управляючі системи та комп'ютерний моніторинг (ІУС КМ – 2011) / А.В. Баркова, Е.В. Меркулова, Т.В. Даниленко / II Всеукраїнська науково-технічна конференція студентів, аспірантів та молодих вчених, 11–13 квітня 2011 р., м. Донецьк: зб. доп. у 2 т. – Донецьк: ДонНТУ, 2011. — Т.2 — 262 с.
3. Офіційний сайт компанії «Z Corporation». Mimics Z. [Електронний ресурс]. — Режим доступу до статті: <http://www.zcorp.com/ru/Products/3D-Software/Mimics-Z/page.aspx>
4. Planmeca Oy. Программное обеспечение Planmeca Romexis [Електронний ресурс]. — Режим доступу до статті: <http://www.planmeca.ru/index.php?lng=10&page=63185>
5. Implant-Assistant [Електронний ресурс]. — Режим доступу до статті: <http://implant-assistant.ru/>
6. Возможности и принципы компьютерной томографии [Електронний ресурс]. — Режим доступу до статті: <http://nmgazette.narod.ru/CT.htm>.
7. DICOM Specification Overview: Basic DICOM file structure [Електронний ресурс]. — Режим доступу до статті: <http://www.leadtools.com/sdk/medical/dicom-spec1.htm>

Надійшла до редакції:  
17.01.2012р.

Рецензент:  
д-р техн.наук, проф. Скобцов Ю.О.

*E. Merkulova, T. Danylenko. Development of the Dedicated Computer System of Diagnostics of Pathological Formations of Maxillufacial Area from Data of Computer Tomography. We developed an algorithm of constructing arbitrary section according to data of SCT for the automation of process of preparation to implantation operation, determination of anatomical tomografical parameters of bones of maxillufacial area.*

**Keywords:** *spiral computer tomography, dental implantation, SCS, DICOM image, cut.*

*Е.В. Меркулова, Т.В. Даниленко. Разработка специализированной компьютерной системы диагностики патологических образований челюстно-лицевой области по данным компьютерной томографии на этапе планирования дентальной имплантации. Разработан алгоритм построения произвольного сечения по данным массива срезов спиральной компьютерной томографии для автоматизации процесса проведения подготовки к операции дентальной имплантации, определения анатомо-топографических параметров костей челюстно-лицевой области. Проведены исследования разработанного алгоритма и создана СКС диагностики патологических образований челюстно-лицевой области.*

**Ключевые слова:** *спиральная компьютерная томография, дентальная имплантация, СКС, DICOM изображения, сечение.*

© Меркулова Е.В., Даниленко Т.В., 2012