

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

АЛХІМОВА СВІТЛАНА МИКОЛАЇВНА

УДК 004.932:616-073.756.8

**Адаптивна обробка та аналіз зображень комп'ютерної
томографії ювенільних ангіофібром основи черепа**

Спеціальність 05.11.17 – біологічні та медичні прилади і системи

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2013

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному технічному університеті України “Київський політехнічний інститут” Міністерства освіти і науки України на кафедрі медичної кібернетики та телемедицини.

Науковий керівник

доктор медичних наук, професор
Яценко Валентин Порфирович,
Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”, професор кафедри медичної кібернетики та телемедицини.

Офіційні опоненти

доктор технічних наук, професор
Сторчун Євген Володимирович
Національний університет «Львівська політехніка», професор кафедри електронних засобів інформаційно-комп’ютерних технологій;

доктор технічних наук, доцент
Аврунін Олег Григорович
Харківський національний університет радіоелектроніки, професор кафедри біомедичної інженерії.

Захист відбудеться “_____” _____ 2013 р. о _____ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.002.19 в Національному технічному університеті України “Київський політехнічний інститут” 03056, Київ–56, пр. Перемоги, 37, корп. 12, ауд.412.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці НТУУ “КПІ” за адресою: 03056, Київ–56, пр. Перемоги, 37.

Автореферат розісланий “_____” _____ 2013 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
кандидат технічних наук, доцент _____

В.Б. Швайченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Ювенільна ангіофіброма основи черепа (ЮАОЧ) – це доброякісна пухлина мезенхімального походження, що морфологічно характеризується поєднанням судин і волокнистої сполучної тканини. Це захворювання становить 0,5% всіх пухлин голови та шиї. ЮАОЧ в клінічному перебігу, особливо в дітей, проявляє себе агресивним ростом, що призводить до деструкції кісток та хрящів черепа, а іноді й до інтракраніального поширення.

У лікуванні пацієнтів з ангіофібромою основи черепа на даний час запропоновано кілька методик, що включають хірургічне видалення пухлини, променеву терапію, гормональну терапію, хіміотерапію і цілий ряд інших. Однак, основним, а можливо, і єдиним методом лікування ЮАОЧ залишається хірургічний. Однією з найважчих проблем, з якою зіштовхуються хірурги під час видалення ЮАОЧ, є масивна кровоточивість тканин, що може спричинити крововтрату в сотні мілілітрів, а іноді й більше літра. Окремим питанням попередження масивної інтраопераційної крововтрати під час хірургічного видалення ЮАОЧ присвячені роботи таких вчених, як Н.А. Дайхес, С.В. Яблонський, М.Ф. Федоров, О.І. Захаренко, Л.Г. Розенфельд, Г.Є.Тімен.

Задача визначення ризику масивної інтраопераційної крововтрати та можливості її усунення є однією з найважливіших, із якою зіштовхуються лікарі під час лікування хворих із зазначеною патологією. Планування хірургічного лікування в таких випадках, в першу чергу, пов'язано з встановленням необхідності проведення додаткових інвазивних методів попередження інтраопераційної крововтрати, серед яких використовують емболізацію судин, що живлять пухлину, керовану глибоку гіпотонію, імбібіцію основи пухлини різними розчинами, перев'язку зовнішньої сонної артерії й т.п.

Те, що видалення знекровленої пухлини викликає набагато менше технічних проблем і скорочує час лікування пацієнта, не викликає сумнівів, але інвазивність зазначених методів та ризик ускладнень роблять актуальним питання щодо того, в яких саме клінічних випадках необхідне застосування методів попередження інтраопераційної крововтрати. Тим самим встає необхідність в такому плануванні хірургічного лікування ЮАОЧ, яке безпосередньо пов'язано з можливістю прогнозування ризику масивної інтраопераційної крововтрати. Це питання, нажаль, залишається невирішеним не тільки у випадку хірургічного лікування зазначеної патології, але й в хірургічній практиці загалом. Це пов'язано, в першу чергу, з тим, що на даний час не існує універсального, абсолютно достовірного, доступного методу вимірювання об'єму крововтрати під час проведення хірургічних втручань, не кажучи вже про її прогнозування. Про комплексність проблеми свідчить залежність крововтрати від виду операції, техніки виконання оперативного втручання, місцевих (перфузійні характеристики тканин, що безпосередньо піддаються дії оперативного втручання) і загальних (показники гемодинаміки, стан системи гемостазу і т. ін.) особливостей організму пацієнта. Таким чином, для проведення планування хірургічного лікування необхідний комплексний аналіз даних, які надають відомості щодо вищезазначених факторів і можуть бути

отримані в ході передопераційних діагностичних досліджень хворого.

Сучасні діагностичні методи в галузі візуалізації та розрахунку кількісних показників для оцінювання кровопостачання тканин, такі як перфузійна комп'ютерна томографія, широко використовують в країнах Європи та в США. Однак, перфузійна комп'ютерна томографія (як загалом й інші діагностичні методи для оцінювання кровопостачання тканин) не має на сьогодні обладнання для забезпечення надійних методів швидкого вимірювання змін концентрації контрастної речовини з часом в усій пухлині та надійного аналізуючого програмного забезпечення з підтвердженням статистичним апаратом. Тому отримувані при проведенні подібних досліджень дані є лише усередненими значеннями перфузійних характеристик для досліджуваної під час сканування ділянки і не відображають гетерогенність судинної щільності всієї пухлини, а також не враховують проблему комплексної залежності крововтрати від виду операції, техніки виконання оперативного втручання, місцевих і загальних особливостей організму пацієнта.

Що стосується діагностичних методів, які використовують в нашій країні при обстеженні хворих з наведеною патологією, то більшості з них проводять дослідження за допомогою рентгенівської комп'ютерної томографії (КТ) з використанням методики контрастного посилення тканин.

У зв'язку з цим підвищення точності оцінювання кровопостачання тканин усєї пухлини і надання діагностичних даних для прогнозування ризику масивної крововтрати під час її хірургічного видалення за рахунок обробки та аналізу КТ-зображень ЮАОЧ є актуальною науковою задачею, що має важливе практичне значення для застосування в клінічній практиці з метою зменшення травматичності хірургічного лікування хворих.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Наукові дослідження дисертаційної роботи проводилися на кафедрі медичної кібернетики та телемедицини за тематичними планами НДР НТУУ «КПІ» відповідно до закону України № 3715-IV від 08 вересня 2011 р. «Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні» (стратегічний пріоритетний напрям «Впровадження нових технологій та обладнання для якісного медичного обслуговування, лікування, фармацевтики») згідно НДР на кафедрі медичної кібернетики та телемедицини «Інформаційні, телекомунікаційні та кібернетичні проблеми здоров'я людини» (ММІФ-МКТМ – Рч-01/ 2011р.), а також відповідно до Державної програми розвитку виробництва медичної техніки на 2008-2012 роки, схваленої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 21 березня 2007 р. N 102-р, у межах якої передбачено підвищення якості та рівня медичного обслуговування населення за рахунок забезпечення закладів охорони здоров'я сучасними засобами діагностики і лікування.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення вірогідності прогнозування ризику масивної крововтрати під час хірургічного видалення ЮАОЧ шляхом отримання комплексних даних оцінювання кровопостачання досліджуваних тканин за результатами адаптивної обробки та аналізу КТ-зображень для кожного конкретного хворого.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні задачі.

1. Проаналізувати існуючі діагностичні методи візуалізації та розрахунку кількісних показників для оцінювання кровопостачання тканин і покладені в їх основу методи визначення перфузійних характеристик з метою виявлення їх недоліків та обґрунтування напрямків подальшого вдосконалення.

2. Розробити методіку отримання комплексних даних для прогнозування ризику масивної крововтрати під час проведення хірургічного видалення тканин ЮАОЧ, яка мала врахувати проблему залежності крововтрати від виду операції, техніки виконання оперативного втручання, місцевих і загальних особливостей організму пацієнта. Вихідними даними мали бути цифрові зображення методу візуалізації, що широко використовується в нашій країні при обстеженні хворих з діагнозом ЮАОЧ, – рентгенівської комп'ютерної томографії з контрастним посиленням тканин.

3. Підвищити точність визначення ділянок зображень рентгенівської комп'ютерної томографії, що характеризують тканини ЮАОЧ, для проведення їх подальшого аналізу.

4. Визначити дані для проведення візуального дослідження кровопостачання тканин ЮАОЧ в тривимірному просторі при оцінюванні лікарем особливостей проведення оперативного втручання при певній техніці виконання операції для кожного окремого пацієнта.

5. Визначити дані для проведення кількісного дослідження кровопостачання тканин ЮАОЧ при оцінюванні перфузійних характеристик пухлини.

Об'єкт дослідження – оцінювання діагностичних параметрів кровопостачання тканин за даними зображень рентгенівської комп'ютерної томографії.

Предмет дослідження – методи обробки та аналізу КТ-зображень ЮАОЧ для отримання даних, за якими можливе підвищення вірогідності прогнозування ризику масивної крововтрати під час проведення хірургічного видалення тканин пухлини.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених задач в дисертаційній роботі були використані метод моментів, компартментний аналіз та метод деконволюції для дослідження тканинної перфузії; основні положення теорії матриць та теорії алгоритмів, а також методи сегментації та візуалізації об'єму для обробки зображень комп'ютерної томографії; теорія математичної статистики для проведення експериментальних досліджень й обробки результатів.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

- подальшого розвитку отримав метод сегментації зображень рентгенівської комп'ютерної томографії на основі нарощування ділянок за рахунок використання зрізів з контрастним посиленням тканин, що дозволило підвищити точність визначення ділянок ЮАОЧ на томографічних зрізах (скорочено кількість випадків наявності зайвих та неврахованих ділянок);
- удосконалено метод візуалізації об'ємних даних на основі оптичної моделі за рахунок використання для візуалізації судинних масок зрізів досліджуваних тканин, що дозволило проводити відображення зон васкуляризації пухлини в тривимірному просторі;
- введено поняття судинної маски для зображення зрізу пухлини, яка на основі

мультимодальних томографічних даних надає як візуальну, так і кількісну інформацію щодо ділянок васкуляризації досліджуваних тканин ЮАОЧ;

- вперше запропоновано кількісне дослідження кровопостачання тканин пухлини за даними КТ-зображень з використанням статистичних характеристик, що описують форму гістограм розподілу частот першого та другого порядку та ґрунтуються на визначенні розподілу імовірностей для вокселів тривимірної анатомічної моделі пухлини; доведено адекватність розв'язків поставленої задачі за результатами експериментального підтвердження залежності значень показників статистичних характеристик тривимірної анатомічної моделі тканин ЮАОЧ від відносної судинної частки об'єму пухлини.

Практичне значення отриманих результатів. Запропонована в дисертації методика отримання комплексних даних оцінювання кровопостачання тканин є основою для розробки і створення високоінформативної діагностичної системи розрахунку інтраопераційної крововтрати при проведенні хірургічних оперативних втручань. Така можливість реалізується за рахунок отримання даних щодо кровопостачання тканин вздовж всього об'єму пухлини та врахування проблеми комплексної залежності крововтрати від виду операції, техніки виконання оперативного втручання, місцевих і загальних особливостей організму кожного конкретного пацієнта.

Отримані в дисертаційній роботі теоретичні та практичні результати мають суттєву діагностичну цінність для дослідження кровопостачання тканин за допомогою рентгенівської комп'ютерної томографії з контрастним посиленням тканин, що полягає в розширенні зони покриття на весь об'єм пухлини в порівнянні з даними перфузійної комп'ютерної томографії або її аналогів та в відсутності необхідності проведення додаткових діагностичних обстежень.

Метод сегментації зображень комп'ютерної томографії із використанням зрізів з контрастним посиленням тканин, метод візуалізації об'ємних даних із використанням судинних масок зрізів досліджуваних тканин, статистичний аналіз тривимірних анатомічних моделей з їх програмно-алгоритмічними реалізаціями можуть бути використані для підтримки прийняття рішень стосовно стану хворого в медичних експертних системах та для проведення доопераційного планування і моделювання ходу майбутньої операції видалення пухлини в системах планування хірургічного лікування.

Результати дисертаційної роботи впроваджені в практику наукової роботи Інституту отоларингології ім. проф. О.С.Коломійченка АМН України (акт впровадження від 20 червня 2011 р.), а також використовуються в навчальному процесі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» при підготовці фахівців за спеціальністю «Інформаційні управляючі системи та технології» (акт впровадження від 8 листопада 2011 р.).

Особистий внесок здобувача. Усі основні результати, що складають сутність дисертаційної роботи і знайшли відображення в пунктах новизни, теоретичного та практичного значення, отримано автором самостійно і достатньо повно викладено, насамперед, у роботах, що опубліковано одноосібно [1, 4, 11, 17-19]. У роботах, написаних у співавторстві з колегами, що природно для тематики, особистий внесок

здобувача полягає в наступному: в роботі [2] надано обґрунтування стану проблеми розрахунку перфузійних характеристик тканин за допомогою одного з найбільш використовуваних методів обробки даних перфузійної комп'ютерної томографії – методу моментів; в роботі [3] проаналізовано стан розвитку перфузійної комп'ютерної томографії та основні тенденції застосування цього методу в онкології, визначені технічні особливості проведення перфузійної комп'ютерної томографії та її можливості щодо візуалізації та розрахунку показників для оцінювання кровопостачання тканин пухлин; в роботі [5] проведено порівняння різних підходів до побудови тривимірної візуалізації тканин пухлин за даними комп'ютерної томографії, розроблено алгоритм візуалізації об'ємних даних для дослідження тканин ЮАОЧ в тривимірному просторі з підтримкою відображення зон васкуляризації пухлини; в роботі [6] надано обґрунтування нового способу кількісного оцінювання кровопостачання пухлин за допомогою проведення статистичного аналізу їх тривимірних анатомічних моделей, а також проаналізовано результати експериментальних досліджень із встановленням залежності між показниками статистичних характеристик тривимірної анатомічної моделі та значенням відносної судинної частки об'єму тканин ЮАОЧ; в роботі [7] здобувачу належать розробка та реалізація алгоритмічного, програмного і технічного забезпечення; в роботі [8] розроблено підхід для дослідження ЮАОЧ за допомогою проведення кольорового моделювання сірошкальних КТ-зображень пухлини на основі картування різних ступенів васкуляризації її тканин; в роботі [9] обґрунтовано доцільність використання даних рентгенівської комп'ютерної томографії для побудови тривимірних анатомічних моделей пухлин в задачі дослідження їх кровонаповнення; проаналізовано процес проведення сегментації тканин ЮАОЧ на етапі побудови тривимірної анатомічної моделі зазначеної пухлини та запропоновано використання мультимодальних зображень для покращення результатів сегментації; в роботі [10] запропоновано алгоритм підготовки КТ-зображень ЮАОЧ для проведення текстурного аналізу томограм; в роботі [12] досліджено можливості аналізу комп'ютерних томограм з позиції проведення кольорового моделювання зображень; в роботі [13] виконано моделювання комп'ютерних томограм ЮАОЧ, розроблено градієнтну карту RGB-моделі для інтуїтивно зрозумілого лікареві відображення зон васкуляризації пухлини; в роботі [14] наведено сучасний стан проблеми дослідження васкуляризації пухлин за допомогою методу перфузійної комп'ютерної томографії, визначені переваги та недоліки його використання в онкології; в роботі [15] проведено класифікацію та аналіз можливостей найбільш поширених методів сегментації медичних зображень, отриманих за даними рентгенівської комп'ютерної томографії; в роботі [16] запропоновано ідею та обґрунтовано доцільність використання тривимірної анатомічної моделі за даними рентгенівської комп'ютерної томографії з контрастним посиленням тканин для розширення зони покриття дослідження кровопостачання тканин ЮАОЧ на весь об'єм пухлини; в роботі [20] надано обґрунтування вимог до сучасного програмного забезпечення та виконано їх аналіз з точки зору можливості використання тривимірної візуалізації пухлин для проведення планування хірургічного лікування; в роботі [21] визначено

специфіку побудови тривимірних моделей тканин ЮАОЧ на рахунок можливості використання отриманих за допомогою сучасного програмного забезпечення даних для проведення планування хірургічного лікування; в роботі [22] запропоновано загальні принципи застосування статистичного аналізу тривимірних анатомічних моделей пухлин до задачі диференціації ЮАОЧ відносно структурної характеристики її тканин; в роботі [23] розроблено алгоритм сегментації КТ-зображень на основі використання зрізів з контрастним посиленням тканин для визначення на томограмах ділянок, які належать тканинам ЮАОЧ; в роботі [24] проведено дослідження можливості воксельного рендерінгу для тривимірного моделювання новоутворень та запропоновані основні принципи побудови тривимірних моделей ЮАОЧ; в роботі [25] здобувачу належать ідея використання мультимодальних зображень та обґрунтування доцільності їх застосування до задачі сегментації тканин ЮАОЧ на КТ-зображеннях; в роботі [26] узагальнено алгоритмічні основи аналізу КТ-зображень для можливості прогнозування крововтрати під час хірургічного лікування ЮАОЧ; в роботі [27] запропоновано загальні підходи до можливості оцінки за даними комп'ютерної томографії ступеня кровонаповнення ЮАОЧ на основі градієнтних ознак зображень пухлини; в роботі [28] здобувачу належать дослідження, порівняльний аналіз та класифікація сучасних методів проведення сегментації медичних зображень; дослідження та порівняльний аналіз підходів до процесу створення та візуалізації зображень об'ємних даних для медичних потреб; дослідження геометричних перетворень з метою суміщення анатомічних орієнтирів під час отримання мультимодальних медичних зображень; дослідження та формалізація алгоритмів комп'ютерної графіки та засобів об'єктно-орієнтованого програмування в задачах створення віртуальних інформаційних моделей медичних об'єктів.

Апробація результатів. Основні теоретичні та практичні результати роботи доповідались на наступних 18-ти міжнародних та регіональних наукових конференціях: науково-практичній конференції з міжнародною участю «Гострі та хронічні захворювання вуха. Сучасні технології діагностики та лікування» (Миргород, 2007 р.); 2-й та 3-й конференціях з міжнародною участю «Актуальні проблеми біомедичної інженерії, інформатики, кібернетики і телемедицини» (Київ, 2007 р., 2010 р.); щорічній традиційній весняній конференції українського наукового медичного товариства лікарів-оториноларингологів (Черкаси, 2008 р.; Одеса, 2011 р.); 21st International CODATA Conference «Scientific Information for Society – from Today to the Future» (Kyiv, 2008); 15-й Міжнародній конференції «ІНФОРМОТЕРАПІЯ: теоретичні аспекти та практичне застосування» (Київ, 2009 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні напрямки теоретичних та прикладних досліджень» (Одеса, 2010 р., 2011 р.); 6-й Міжнародній конференції «Телемедицина – досвід@перспективи» (Донецьк, 2010 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Перспективні інновації в науці, освіті, виробництві і транспорті '2010» (Одеса, 2010 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Наукові дослідження і їх практичне застосування. Сучасний стан і шляхи розвитку '2010» (Одеса, 2010 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні проблеми і шляхи їх вирішення в науці, транспорті, виробництві і освіті '2010»

(Одеса, 2010 р.); 2-й Міжнародній конференції «Біомедична інженерія і технологія» (Київ, 2011 р.); 3-й конференції молодих вчених «Прикладна математика та комп'ютеринг – ПМК'2011» (Київ, 2011 р.); 9-й Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Теоретичні і прикладні проблеми фізики, математики та інформатики» (Київ, 2011 р.); конференції з міжнародною участю «Медична та біологічна інформатика і кібернетика: віхи розвитку» (Київ, 2011 р.); Міжнародній науково-технічній конференції SAIT 2011 «Системний аналіз та інформаційні технології» (Київ, 2011 р.).

Публікації. На тему дисертаційної роботи опубліковано 28 друкованих робіт, у тому числі 6 статей у наукових фахових виданнях, 2 статті у медичних виданнях; 18 статей у збірках праць науково-технічних конференцій та симпозіумів; 1 методичні вказівки; отримано 1 деклараційний патент України на корисну модель.

Структура і обсяг роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаної літератури із 145 джерел і 5 додатків. Загальний обсяг дисертації становить 175 сторінок, основного тексту (без додатків) – 154 сторінок, ілюстрацій – 42, таблиць – 2.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, визначено мету і завдання досліджень, наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, наведено відомості про особистий внесок автора, апробації та публікації.

У **першому розділі** проведено аналітичний огляд діагностичних методів у галузі візуалізації та розрахунку кількісних показників для оцінювання кровопостачання тканин, який показав широке застосування для цих цілей в країнах Європи та в США методу перфузійної комп'ютерної томографії. Порівняльний аналіз найбільш використовуваних методів визначення перфузійних характеристик (методу моментів, компартментного аналізу та методу деконволюції) показав, що перфузійна комп'ютерна томографія, як загалом й інші діагностичні методи для оцінювання кровопостачання тканин, на сьогодні не можуть забезпечувати оцінювання об'єму можливої крововтрати при проведенні таких хірургічних втручань, як видалення ЮАОЧ. Це пов'язано з тим, що на сьогодні немає надійного аналізуючого програмного забезпечення з підтвердженням статистичним апаратом для оцінки гетерогенності судинної щільності всієї пухлини, а також те, що отримувані в такий чин діагностичні дані не враховують проблему комплексної залежності крововтрати від виду операції, техніки виконання оперативного втручання, місцевих і загальних особливостей організму пацієнта.

Усе перераховане вище визначило напрямок наукового дослідження – оцінювання кровопостачання досліджуваних тканин ЮАОЧ за результатами адаптивної обробки та аналізу зображень, отриманих діагностичним методом візуалізації, що широко використовується в нашій країні при обстеженні хворих з наведеною патологією, – методом рентгенівської комп'ютерної томографії.

Сформульовано методику розв'язання задачі отримання комплексних даних

оцінювання кровопостачання тканин ЮАОЧ, яка складається з виконання наступних етапів:

- проведення сегментації оригінальних томограм для отримання зображень, що безпосередньо характеризують лише тканини пухлини;
- проведення візуалізації об'ємних даних для дослідження зон васкуляризації тканин ЮАОЧ в тривимірному просторі;
- проведення статистичного аналізу КТ-зображень, що характеризують тканини пухлини вздовж її об'єму, для дослідження кількісних показників кровопостачання ЮАОЧ.

У другому розділі проаналізовано особливості сегментації тканин ЮАОЧ на КТ-зображеннях за допомогою поширених в медицині методів проведення сегментації. Встановлено, що ділянки КТ-зображень, на яких присутні тканини ЮАОЧ, не є однорідними на рівні характерних ознак, використовуваних при проведенні сегментації. Визначено, що для досягнення вдалих результатів сегментації тканин ЮАОЧ необхідне врахування додаткової інформації, використання якої зможе покращити процес сегментації за рахунок диференціації ділянок КТ-зображень щодо їх структурного компонента.

Було встановлено, що комбінація двох зображень, які відповідають отриманим на одному рівні КТ-зрізам без контрасту та з контрастним посиленням тканин, надає можливість використання додаткової інформації щодо щільності досліджуваних тканин з метою компенсування недоліків процесу отримання сегментів ЮАОЧ на КТ-зображеннях. Як результат, було отримано характеристику КТ-зображень щодо зон васкуляризації присутніх на них тканин. Для формалізації в рамках як візуальної, так і кількісної оцінки цієї характеристики введено поняття судинної маски – двовимірної різницевої матриці, яка надає інформацію щодо ділянок васкуляризації досліджуваних на КТ-зображенні тканин.

Встановлено, що в силу анатомічного розташування ЮАОЧ та наявності в пухлині тканин із значною васкуляризацією значення судинних масок можуть виступати в якості маркерів, які уточнюють визначення границь сегмента пухлини в районах значної зміни яскравості для однорідних ділянок з критерієм однорідності сусідніх пікселів за градієнтними ознаками. За рахунок цього отримав подальшого розвитку метод сегментації зображень рентгенівської комп'ютерної томографії на основі нарощування ділянок.

Як і класичні алгоритми методу сегментації на основі нарощування ділянок, так і при використанні зрізів -з контрастним посиленням тканин, так би мовити, «виращують» ділянку аж до її границі, використовуючи критерій однорідності сусідніх пікселів. При цьому сегменти R_1, R_2, \dots, R_n зображення R , що відповідають однорідним ділянкам за певним критерієм P , мають такі властивості:

$$1) \bigcup_{i=1}^n R_i = R;$$

$$2) R_i \in \text{зв'язною областю для будь-якого } i = 1, 2, \dots, n;$$

$$3) R_i \cap R_j = 0, \forall i \neq j;$$

$$4) P(R_i) = TRUE, \forall i = 1..n;$$

$$5) P(R_i \cup R_j) = FALSE, \forall i \neq j.$$

Сегментація на основі нарощування ділянок із використанням зрізів з контрастним посиленням тканин полягає у виконанні декількох кроків: визначення відповідних одне одному КТ-зображень без контрастного посилення (рис. 1, *a*) та з введеним контрастом (рис. 1, *б*), які були отримані на одному рівні вздовж об'єму пухлини; встановлення просторової відповідності через інтерактивне визначення контрольних точок на зображеннях без контрастного посилення (рис. 1, *в*) та з введеним контрастом (рис. 1, *г*); проведення необхідного геометричного перетворення даних ділянки КТ-зображення з контрастним посиленням (рис. 1, *г*) з метою суміщення контрольних точок зображень (рис. 1, *в*) та (рис. 1, *г*); одержання значень різницевої матриці (рис. 1, *д*) через проведення попіксельного віднімання даних КТ-зображення без контрастного посилення (рис. 1, *a*) від даних модифікованого КТ-зображення з контрастним посиленням тканин (рис. 1, *г*); усунення недоліків суміщення та одержання значень різницевої матриці, які характеризують судинну маску тканин пухлини (рис. 1, *е*); знаходження шуканої ділянки пухлини в її дійсних границях (рис. 1, *е*) на КТ-зрізах без контрастного посилення (рис. 1, *a*) після маркування цільового зображення значеннями судинної маски тканин пухлини (рис. 1, *е*).

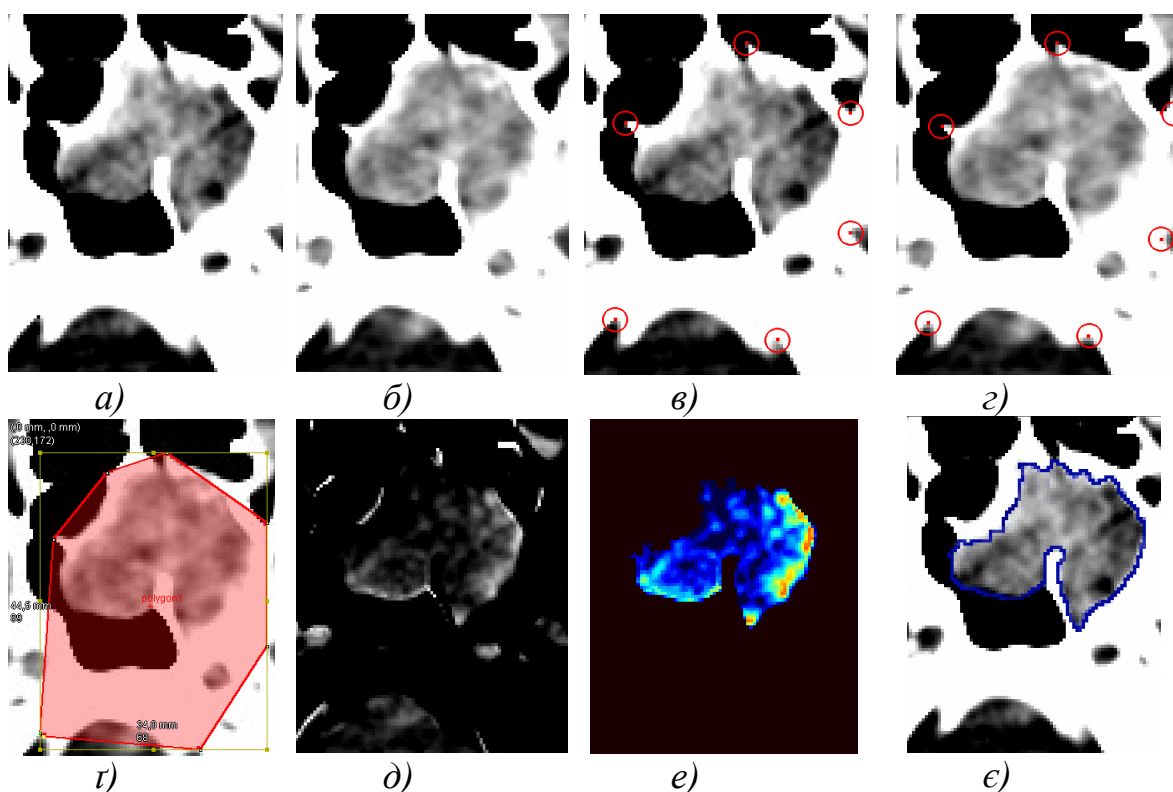


Рис. 1. Сегментація на основі нарощування ділянок із використанням зрізів з контрастним посиленням тканин

Експериментально показано, що застосування методу на основі нарощування ділянок із використанням зрізів з контрастним посиленням тканин значно знизило час виконання сегментації КТ-зображень ЮАОЧ в порівнянні з методами інтерактивної сегментації та дозволило мінімізувати ступень втручання зі сторони

користувача через необхідність визначення лише наборів контрольних точок анатомічних орієнтирів в порівнянні з необхідністю візуального контролю точності визначення всієї границі ЮАОЧ. Час виконання сегментації КТ-зображень ЮАОЧ на основі теорії графів варіював від 11,02 до 35,57 с. з медіаною 17,84 с. (інтерквартильний розмах – від 14,54 до 25,42 с.), а на основі нарощування ділянок з використанням зрізів з контрастним посиленням – від 8,92 до 19,53 с. з медіаною 11,37 с. (інтерквартильний розмах – від 10,58 до 15,05 с.). Разом з тим, виконання автоматичної сегментації проходило швидше: час виконання сегментації на основі пошуку границь варіював від 0,53 до 1,27 с. з медіаною 0,57 с. (інтерквартильний розмах – від 0,56 до 1,18 с.), на основі пошуку однорідних ділянок – від 0,05 до 2,98 с. з медіаною 0,43 с. (інтерквартильний розмах – від 0,24 до 0,88 с.).

За рахунок застосування методу на основі нарощування ділянок із використанням зрізів з контрастним посиленням тканин підвищено точність визначення ділянок (скорочено кількість випадків наявності зайвих та неврахованих ділянок) КТ-зображень, що характеризують тканини ЮАОЧ, а отже, і значущість діагностичних ознак кровопостачання досліджуваних тканин пухлини. При цьому усереднена якість результатів сегментації за п'ятибальною шкалою склала 4,9 бали з наявністю лише у 20% / 50% випадків зайвих / неврахованих ділянок відповідно в порівнянні з 3,77 балами та 86,7% / 56,7% для результатів сегментації на основі пошуку границь, 2,67 балами та 56,7% / 93,3% для результатів сегментації на основі пошуку однорідних ділянок, 3,87 балами та 96,7% / 63,3% для результатів сегментації на основі теорії графів відповідно.

У третьому розділі визначено специфіку проведення тривимірної візуалізації тканин ЮАОЧ на рахунок можливості використання отриманих даних для дослідження зон васкуляризації тканин пухлини в тривимірному просторі, а отже, для оцінювання лікарем особливостей проведення оперативного втручання при певній техніці виконання операції для кожного окремого пацієнта на предмет можливості виникнення масивної інтраопераційної крововтрати.

Проведений аналіз підходів до візуалізації об'ємних даних медичних об'єктів показав, що вокселний рендерінг надає переваги в отриманні корисної інформації від візуалізації об'ємних даних за рахунок можливості отримання зрізів тривимірних моделей в довільній площині. Таким чином, було встановлено, що розгляд людського організму як тривимірної моделі з використанням вокселного рендерінгу може надавати можливості не тільки для визначення просторового розташування ЮАОЧ, але й для візуальної оцінки в просторі зон васкуляризації новоутворення. Аналіз процесу візуалізації об'ємних даних ЮАОЧ при використанні пакетів, наявних на сучасному ринку програмного забезпечення, виявив два суттєвих недоліки щодо можливості їх застосування з метою проведення операцій хірургічного видалення пухлини: по-перше, через підтримку лише класичних методів сегментації візуалізація тривимірної моделі ЮАОЧ можлива лише при завантаженні попередньо відсегментованих томографічних зображень пухлини; та, по-друге, підтримуване кольорове моделювання тривимірних моделей не дає можливості працювати з судинним компонентом тканин ЮАОЧ для візуалізації зон васкуляризації в бажаному обсязі.

Маскування зон досліджуваного об'єкта на оригінальних томографічних зрізах дозволяє згенерувати на основі оптичної моделі його об'ємне тривимірне подання, не виконуючи безпосереднє визначення геометричної форми поверхні та роблячи доступним дослідження внутрішньої структури об'єкта та структури прилеглих до нього тканин. При використанні оптичної моделі для проведення тривимірної візуалізації зображення створюються шляхом відбору та накопичення властивостей окремих дискретних елементів об'єму вздовж всіх променів в площині перегляду. Об'ємне тривимірне подання досліджуваного об'єкта в площині перегляду апроксимується наступним чином:

$$L = \sum_{i=1}^N \left(A_i C_i \cdot \prod_{j=1}^i (1 - A_j) \right),$$

де A_i визначає непрозорість окремого дискретного елемента об'єму i , а C_i визначає колір в цьому ж елементі, при цьому для визначення кінцевого кольору та коефіцієнта непрозорості при створенні тривимірного зображення виконується N ітерацій. Це дає можливість ітеративно розраховувати в заданому наперед напрямку значення кольору та непрозорості, використовуючи для накопичення даних окремі формули апроксимації кольорової компоненти $C = \sum_{i=1}^N C_i \prod_{j=1}^{i-1} (1 - A_j)$ і коефіцієнта

непрозорості $A = 1 - \prod_{j=1}^N (1 - A_j)$. Метод тривимірної візуалізації томографічних даних на основі оптичної моделі було вдосконалено за рахунок використання для проведення об'ємної візуалізації судинних масок зрізів новоутворення (рис. 2).

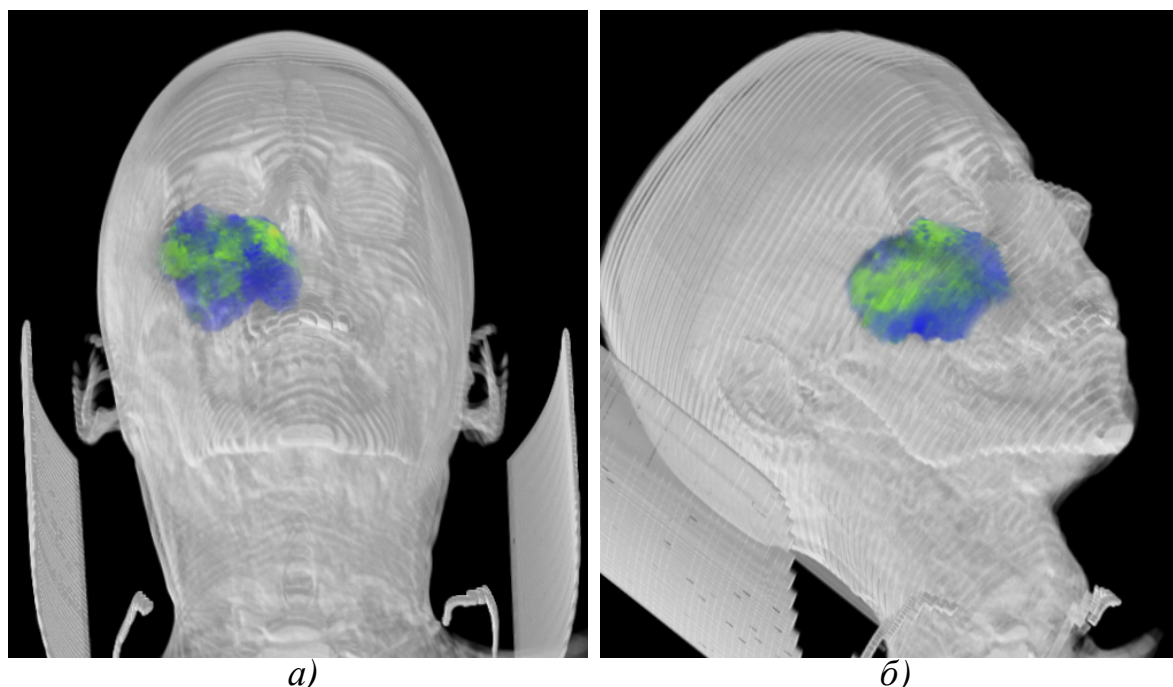


Рис. 2. Візуалізація об'ємних даних анатомії голови хворого з координатним накладенням тривимірної моделі ЮАОЧ на основі оптичної моделі із використанням судинних масок зрізів досліджуваних тканин пухлини: а – рендерінг за початковими даними; б – візуалізація операції обертання тривимірної моделі

Експериментально показано, що застосування методу на основі оптичної моделі із використанням судинних масок зрізів досліджуваних тканин ЮАОЧ дозволило проводити відображення зон васкуляризації пухлини в тривимірному просторі. При цьому усереднена якість результатів тривимірної візуалізації томографічних даних для дослідження тканин ЮАОЧ за п'ятибальною шкалою склала 4,73 бали в порівнянні з 2 балами для результатів візуалізації стандартними пакетами, які постачаються разом з томографами, 1,55 балами для результатів візуалізації спеціалізованим для обробки медичних зображень програмним забезпеченням, 2,64 балами для результатів візуалізації професійним програмним забезпеченням.

За рахунок застосування методу на основі оптичної моделі із використанням судинних масок зрізів досліджуваних тканин ЮАОЧ отримано переваги щодо одержання візуальних даних для оцінювання кровопостачання тканин ЮАОЧ та розуміння внутрішньої структури пухлини та структури прилеглих до неї тканин в тривимірному просторі, а отже, як результат, і одержання даних для оцінювання лікарем особливостей проведення оперативного втручання при певній техніці виконання операції для кожного окремого пацієнта.

У четвертому розділі розглянуто можливість проведення статистичного аналізу тривимірної анатомічної (воксельної) моделі (ТАМ) ЮАОЧ для дослідження кількісних показників кровопостачання тканин пухлини. Побудова тривимірної анатомічної моделі ЮАОЧ на основі зображень лише тканин пухлини за даними всіх пласкопаралельних КТ-зрізів проведеного томографічного сканування надала змогу досліджувати гетерогенність судинної щільності тканин вздовж всього об'єму ЮАОЧ.

Розподіл частот, що характеризує розподіл значень яскравості першого порядку для моделі пухлини з діапазоном значень яскравості від 0 до M , визначається формулою:

$$P(v_k) = n_k / N,$$

де v_k – це k -й рівень яскравості з інтервалу $[0, M]$, n_k – кількість вокселів моделі пухлини, рівень яскравості яких дорівнює v_k , N – загальне число вокселів моделі пухлини. Статистичні характеристики та формули для їх розрахунку, що описують форму гістограм розподілу частот першого порядку, наступні:

- математичне сподівання $\alpha_1(v) = \sum_{k=1}^M v_k \cdot P(v_k)$;
- дисперсія $\mu_2(v) = \sum_{k=1}^M (v_k - \alpha_1(v))^2 \cdot P(v_k)$;
- середньоквадратичне відхилення $\sigma(v) = \sqrt{\mu_2(v)}$;
- коефіцієнт асиметрії $\gamma_1(v) = \frac{1}{\sigma^3(v)} \sum_{k=1}^M (v_k - \alpha_1(v))^3 \cdot P(v_k)$;
- коефіцієнт ексцесу $\gamma_2(v) = \frac{1}{\sigma^4(v)} \sum_{k=1}^M (v_k - \alpha_1(v))^4 \cdot P(v_k) - 3$;
- ентропія $H(v) = \sum_{k=1}^M P(v_k) \cdot \log_2(P(v_k))$;

$$\text{- енергія } U(v) = \sum_{k=1}^N (P(v_k))^2 .$$

Статистичні характеристики, що описують форму гістограм розподілу частот другого порядку, ґрунтуються на визначенні спільного розподілу імовірностей для пар вокселів тривимірної моделі пухлини. Розподіл частот, що характеризує спільний розподіл значень яскравості для пар вокселів тривимірної моделі пухлини з діапазоном значень яскравості від 0 до M (розподіл другого порядку), визначається формулою:

$$P(v_k, v_l) = n_{k,l} / N ,$$

де v_k – це k -й рівень яскравості з інтервалу $[0, M]$, v_l – це l -й рівень яскравості з інтервалу $[0, M]$, $n_{k,l}$ – кількість випадків, коли з пари вокселів моделі пухлини рівень яскравості одного воксела дорівнює v_k , а другого – v_l , N – загальне число вокселів моделі пухлини.

Статистичні характеристики та формули для їх розрахунку, що описують форму гістограм розподілу частот другого порядку, наступні:

$$\text{- автокореляція } R(v, v) = \sum_{k=1}^M \sum_{l=1}^M v_k \cdot v_l \cdot P(v_k, v_l) ;$$

$$\text{- коваріація } \text{cov}(v, v) = \sum_{k=1}^M \sum_{l=1}^M (v_k - \alpha_1(v)) \cdot (v_l - \alpha_1(v)) \cdot P(v_k, v_l) ;$$

$$\text{- момент інерції } J(v, v) = \sum_{k=1}^M \sum_{l=1}^M (v_k - v_l)^2 \cdot P(v_k, v_l) ;$$

$$\text{- середня абсолютна різниця } AD(v, v) = \sum_{k=1}^M \sum_{l=1}^M |v_k - v_l| \cdot P(v_k, v_l) ;$$

$$\text{- зворотна різниця } ID(v, v) = \sum_{k=1}^M \sum_{l=1}^M P(v_k, v_l) / (1 + (v_k - v_l)^2) ;$$

$$\text{- ентропія } H(v, v) = \sum_{k=1}^M \sum_{l=1}^M P(v_k, v_l) \cdot \log_2(P(v_k, v_l)) ;$$

$$\text{- енергія } U(v, v) = \sum_{k=1}^M \sum_{l=1}^M (P(v_k, v_l))^2 .$$

Встановлено значення розглянутих статистичних характеристик для створення класу ознак КТ-зображень щодо васкуляризації тканин пухлини.

Залежність значень показників статистичних характеристик тривимірної анатомічної моделі ЮАОЧ від значення відносної судинної частки об'єму (ВСЧО) пухлини була підтверджена в двох експериментах, проведених із взаємопротилежною зміною значень ВСЧО. У першому експерименті статистичні характеристики ТАМ ЮАОЧ розраховувалися для випадків обробки зображень ангіофіброми за даними двох КТ-обстежень з контрастним посиленням тканин та за умови їх проведення до та після емболізації судин, що живлять пухлину; а в другому – за даними КТ-обстеження з контрастним посиленням тканин та за умови отримання при цьому обстеженні двох серій КТ-зрізів після введення контрастної

речовини (дані другої серії КТ-зрізів після введення контрастної речовини були отримані на дві хвилини пізніше, ніж перша серія з контрастним посиленням). Теоретичне припущення про зміну значень статистичних характеристик ТАМ ЮАОЧ в запропонованих експериментах було обґрунтовано тим, що в даному просканованому об'ємі тканини V_{BCO} в тканині BV виражається формулою:

$$BV = \frac{V_{vasc}}{V_{vasc} + V_{interstitium} + V_{cells}} = \frac{V_{vasc}}{V},$$

де V_{vasc} , $V_{interstitium}$, V_{cells} – об'єми, що займають судини, інтерстицій та клітини тканини відповідно. Після введення болюсу контрастної речовини в судинне русло середня концентрація індикатора в тканині $c_t(t)$, яка безпосередньо відстежується через КТ-інтенсивність при скануванні тканини, буде менша, ніж внутрісудинна концентрація $c_{BV}(t)$, відповідно до формули:

$$c_t(t) = BV \cdot c_{BV}(t).$$

Таким чином, КТ-інтенсивність була використана для відстеження змін в досліджуваному об'ємі тканини, що розглядався як рідинна система. Внаслідок проведення емболізації судин, що живлять тканини пухлини, V_{BCO} в пухлині зменшувалася, що призводило до зменшення відповіді системи за сталого об'єму введеної під час дослідження контрастної речовини, в той час як при зменшенні концентрації контрастної речовини з часом відповідь системи збільшувалася для досягнення сталості показників. Адекватна динаміка зміни значень показників статистичних характеристик ТАМ ЮАОЧ в проведених експериментах підтвердила їх залежність від V_{BCO} тканин пухлини.

Проведений кореляційний аналіз залежності показників статистичних характеристик від питомої крововтрати під час проведених операцій по видаленню ЮАОЧ показав можливість використання статистичного аналізу тривимірних анатомічних моделей новоутворення за даними КТ з контрастним посиленням тканин в задачі прогнозування ризику масивної крововтрати під час видалення ЮАОЧ. Кореляція середньої сили (від 0,5 до 0,7) була отримана для показників середньоквадратичного відхилення, коефіцієнта ексцесу, моменту інерції, середньої абсолютної різниці, зворотної різниці та енергії другого порядку; помірна кореляція (від 0,2 до 0,5) була отримана для показників математичного сподівання, коефіцієнта асиметрії, автокореляції, коваріації та ентропії другого порядку; слабка кореляція (від 0,09 до 0,19) була отримана лише для показників ентропії та енергії першого порядку.

Оцінка значимості коефіцієнтів кореляції за двостороннім варіантом критерію Стюдента (число ступенів свободи 9) та з критичним рівнем значимості 0,05 показала, що статистично значимі зв'язки утворюються між об'ємом інтраопераційної крововтрати під час проведених операцій по видаленню ЮАОЧ та наступними показниками статистичних характеристик: середньоквадратичним відхиленням ($r_{xy} = 0,66$; $t_r = 3,54$; $\rho < 0,01$), коефіцієнтом ексцесу ($r_{xy} = -0,65$; $t_r = 3,42$; $\rho < 0,01$), середньою абсолютною різницею ($r_{xy} = -0,58$; $t_r = 2,59$; $\rho < 0,05$) та зворотною різницею ($r_{xy} = 0,55$; $t_r = 2,39$; $\rho < 0,05$).

У **висновках** викладено основні результати дисертаційної роботи, розкрито їх

наукову та практичну цінність.

У **додатках** наведено результати експертної оцінки та обробки клінічних даних відділення патології дитячого віку Інституту отоларингології ім. проф. О.С.Коломійченка АМН України, дані кореляційного аналізу залежності між об'ємом інтраопераційної крововтрати під час проведених операцій по видаленню ЮАОЧ та показниками статистичних характеристик, а також акти впровадження результатів дисертації.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота спрямована на вирішення питань отримання комплексних даних для оцінювання кровопостачання досліджуваних тканин ЮАОЧ за результатами адаптивної обробки та аналізу КТ-зображень для кожного конкретного хворого, що має важливе значення для підвищення вірогідності прогнозування ризику масивної крововтрати під час хірургічного видалення зазначеної пухлини. Найбільш суттєві наукові та практичні результати дисертаційної роботи полягають у наступному:

1. Проведено порівняльний аналіз існуючих діагностичних методів візуалізації та розрахунку кількісних показників для оцінювання кровопостачання тканин і покладених в їх основу методів визначення перфузійних характеристик.
2. Розроблено методику отримання комплексних даних, які можуть бути використані для аналізу як візуальної, так і кількісної складової оцінювання кровопостачання досліджуваних тканин за результатами обробки та аналізу зображень рентгенівської комп'ютерної томографії. Це забезпечило підвищення вірогідності прогнозування ризику масивної інтраопераційної крововтрати, яка залежить від виду операції, техніки виконання оперативного втручання, місцевих (перфузійні характеристики тканин, що безпосередньо піддаються дії оперативного втручання) і загальних (показники гемодинаміки, стан системи гемостазу і т. ін.) особливостей організму кожного конкретного хворого.
3. Подальшого розвитку отримав метод сегментації зображень рентгенівської комп'ютерної томографії на основі нарощування ділянок за рахунок використання зрізів з контрастним посиленням тканин, що дозволило підвищити точність визначення ділянок ЮАОЧ на томографічних зрізах (скорочено кількість випадків наявності зайвих до 50% та неврахованих ділянок до 20% відповідно). Отримано формалізований опис сегмента пухлини щодо зон васкуляризації – судинну маску тканин пухлини. Це надало можливість отримувати як візуальну, так і кількісну інформацію про судинний компонент пухлини у контексті анатомічної картини.
4. Удосконалено метод візуалізації об'ємних даних на основі оптичної моделі за рахунок використання для візуалізації судинних масок зрізів новоутворення, що дозволило підтримувати відображення зон васкуляризації пухлини в тривимірному просторі. Це розширило можливості тривимірної візуалізації для визначення даних щодо проведення візуального дослідження кровопостачання тканин ЮАОЧ в тривимірному просторі при оцінюванні лікарем особливостей

проведення оперативного втручання при певній техніці виконання операції для кожного окремого пацієнта.

- Запропоновано використовувати результати проведення одновимірного та двовимірного статистичного аналізу тривимірних анатомічних (вокселних) моделей за даними рентгенівської КТ для визначення даних щодо кількісного дослідження кровопостачання ЮАОЧ при оцінюванні перфузійних характеристик пухлини. Експериментально підтверджено залежність значень показників статистичних характеристик тривимірної анатомічної моделі ЮАОЧ від відносної судинної частки об'єму пухлини. Показано статистично значимі зв'язки між об'ємом інтраопераційної крововтрати та показниками статистичних характеристик, що доводить об'єктивність їх використання для кількісного дослідження кровопостачання тканин ЮАОЧ за результатами обробки та аналізу КТ-зображень.

Запропонована в дисертації методика обробки та аналізу рентгенівських томограм для отримання комплексних даних оцінювання кровопостачання досліджуваних тканин може бути адаптована для розробки та створення високоінформативної діагностичної системи розрахунку інтраопераційної крововтрати при проведенні різних хірургічних оперативних втручань для кожного окремого пацієнта.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

- Алхімова С. М. Застосування компартментного аналізу для розрахунку тканинної перфузії / С. М. Алхімова // Наукові вісті НТУУ “КПІ”. – 2010. – № 5. – С. 119–125. ISSN 1810-0546.
- Алхімова С. М. Розрахунок перфузійних характеристик за допомогою методу моментів (огляд) / С. М. Алхімова, В. П. Яценко // Клиническая информатика и Телемедицина. – 2010. – Т. 6., Вып. 7. – С. 64–68. ISSN 1812-7231.
- Алхімова С. М. Огляд методу перфузійної комп'ютерної томографії та його застосування в онкології / С. М. Алхімова, В. П. Яценко // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2011. – №1. – С. 119-125. ISSN 1681-6048.
- Алхімова С. М. Алгоритм сегментації зображень комп'ютерної томографії на основі використання зрізів з контрастним посиленням тканин / С. М. Алхімова // Наукові вісті НТУУ “КПІ”. – 2011. – № 1. – С. 33–41. ISSN 1810-0546.
- Алхімова С. М. Візуалізація об'ємних даних з метою планування операцій видалення ювенільної ангіофіброми основи черепа людини / С. М. Алхімова, В. П. Яценко // Адаптивні системи автоматичного управління. – 2011. – № 18(38). – С. 3-17. ISSN 1560-8956.
- Алхімова С. М. Проведення статистичного аналізу тривимірної моделі ювенільної ангіофіброми основи черепа людини з метою планування хірургічного видалення пухлини / С. М. Алхімова, В. П. Яценко // Електроніка та зв'язок. – 2011. – №.5 – С. 55-61. ISSN 1811-4512.
- Яценко В. П. Пат. 66116 України, МПК⁷ G 06 T 7/40, A 61 B 6/03. Спосіб

використання зрізів з контрастним посиленням тканин для проведення сегментації зображень комп'ютерної томографії / В.П. Яценко, С.М. Алхімова; заявник і патентовласник: Національний Технічний Університет України «Київський Політехнічний Інститут»; заявл. 27.05.2011; опубл. 26.12.2011, Бюл. №24.

8. Дослідження можливостей аналізу КТ ангіофібром основи черепа із застосуванням методу RGB-модулювання зображень / С. М. Алхімова, В. П. Яценко, С. П. Чубко, Г. Е. Тімен // Серцево-судинна хірургія: Щорічник наукових праць Асоціації серцево-судинних хірургів України. – 2009. – №17. – С. 16-20. ISSN 1996-35-64.
9. Алхімова С. М. Створення тривимірних анатомічних моделей пухлин як перший етап дослідження кровонаповнення ювенільних ангіофібром / С. М. Алхімова, В. П. Яценко // Український журнал телемедицини та медичної телематики. Том 8. – 2010. – №1. – С. 26-29. ISSN 1728-936X.
10. Сравнительный анализ текстурной характеристики КТ видеоизображений ювенильной ангиофибромы основания черепа до и после эмболизации сосудов, питающих опухоль / Г. Э. Тимен, В. П. Яценко, В. Н. Писанко, С. П. Чубко, С.Н. Алхимова, Ю.П. Терницкая // Журнал вушних, носових і горлових хвороб. – 2007. – №5-с. – С. 132-133. ISSN 0044-4650.
11. Алхімова С. М. Структурний та математичний аналіз КТ відеозображень ювенільної ангіофіброми / С. М. Алхімова // II конференція з міжнародною участю «Актуальні проблеми біомедичної інженерії, інформатики, кібернетики і телемедицини»: Тез. доп. – Київ, 2008. – С. 32.
12. Морфометрический подход к разработке показателя прогнозирования риска послеоперационного кровотечения при операциях удаления ювенильной ангиофибромы основания черепа / Г. Э. Тимен, В. П. Яценко, В. Н. Писанко, С. П. Чубко, С. Н. Алхимова // Журнал вушних, носових і горлових хвороб. – 2008. – №3-с. – С. 210-211. ISSN 0044-4650.
13. Alkhimova S. M. Colorimetric analysis of CT-images as new approach to definition of Nasopharyngeal Angiofibroma blood filling / S. M. Alkhimova, V. P. Yatsenko, S. P. Chubko // Proc. of the 21st International CODATA Conference «Scientific Information for Society - from Today to the Future». – Kyiv (Ukraine), 2008. – P. 131-136. ISBN 966-8993-86-0.
14. Алхімова С. М. Метод перфузійної комп'ютерної томографії та його застосування в онкології / С. М. Алхімова, В. П. Яценко // 15 Міжнародна конференція «ІНФОРМОТЕРАПІЯ: теоретичні аспекти та практичне застосування»: Тез. доп. – Київ, 2009. – С. 26-27.
15. Алхімова С. М. Сегментація КТ-зображень при створенні 3D-моделей новоутворень / С. М. Алхімова, В. П. Яценко // III конференція з міжнародною участю «Актуальні проблеми біомедичної інженерії, інформатики, кібернетики і телемедицини»: Тез. доп. – Київ, 2010. – С. 8-11.
16. Алхімова С. М. Тривимірна анатомічна модель ювенільної ангіофіброми в оцінюванні її кровонаповнення / С. М. Алхімова, В. П. Яценко, С. П. Чубко, Г. Е. Тімен // Современные направления теоретических и прикладных

- исследований '2010 : Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции. – Одесса : Черноморье, 2010. – Т. 2. – С. 53-57. ISBN 966-555-192-2.
17. Алхімова С. М. Використання зрізів з контрастним посиленням тканин при сегментації КТ-зображень пухлин / С. М. Алхімова // Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте '2010 : Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции. – Одесса : Черноморье, 2010. – Т. 4. – С. 16-20.
 18. Алхімова С. М. Мультиmodalьні перетворення медичних зображень / С. М. Алхімова // Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте '2010 : Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции. – Одесса : Черноморье, 2010. – Т. 15. – С. 5-10.
 19. Алхімова С. М. Статистичний аналіз тривимірних анатомічних моделей новоутворень / С. М. Алхімова // Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития '2010 : Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции. – Одесса : Черноморье, 2010. – Т. 2.– С. 57-60.
 20. Алхімова С. М. Аналіз сучасного програмного забезпечення для отримання 3D-візуалізації пухлин / С. М. Алхімова, Е. О. Мартіросян // Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании '2010 : Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции. – Одесса : Черноморье, 2010. – Т. 4.– С.33-35.
 21. Мартіросян Е. О. 3D-моделювання ювенільної ангіофіброми основи черепа людини / Е. О. Мартіросян, С. М. Алхімова, В. П. Яценко // Матеріали II міжнародної конференції «Біомедична інженерія і технологія» : зб.матеріалів. – К. : НТУУ «КПІ», 2011. – С. 119-120.
 22. Алхімова С. М. Статистичний аналіз КТ-зображень ювенільної ангіофіброми основи черепа людини / С. М. Алхімова, М. С. Коваленко, Р. В. Трохимець // Современные направления теоретических и прикладных исследований '2011 : Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции. – Одесса, 2011. – Т. 3. – С. 6-9.
 23. Яценко В. П. Сегментація зображень комп'ютерної томографії ювенільної ангіофіброми основи черепа людини / В. П. Яценко, С. М. Алхімова, Д. Є. Шмурак // «Прикладна математика та комп'ютинг ПМК-2011», Третя наукова конференція магістрантів та аспірантів, Київ, 13-15 квіт. 2011 р. : Зб. тез доп. / редкол.: І.А.Дичка [та ін.]. – К. : Просвіта, 2011. – С.374-378.
 24. Алхімова С. М. Воксельний рендерінг тривимірних моделей новоутворень / С. М. Алхімова, Е. О. Мартіросян // Теоретичні і прикладні проблеми фізики, математики та інформатики : Збірка тез доповідей учасників IX Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених. Частина 1. – К. : НТУУ «КПІ», 2011. – С. 60-61.
 25. Алхімова С. М. Створення мультиmodalьних зображень для дослідження ювенільної ангіофіброми основи черепа людини // С. М. Алхімова, С. О. Бутенко

- // Системний аналіз та інформаційні технології: матеріали Міжнародної науково-технічної конференції SAIT 2011, Київ, 23-28 травня 2011 р. / ННК «ІПСА» НТУУ «КПІ». – К. : ННК «ІПСА» НТУУ «КПІ», 2011. – С. 411.
26. Інформаційне та алгоритмічне забезпечення аналізу КТ-зображень основи черепа хворих на ангіофіброму носової порожнини / В. П. Яценко, Г. Е. Тімен, С. П. Чубко, С. М. Алхімова // Матеріали конференції з міжнародною участю «Медична та біологічна інформатика і кібернетика: віхи розвитку». – К. : НМАПО імені П.Л.Шупика, 2011. – С. 116. ISBN 978-966-391-065-9.
27. Алгоритм прогнозування крововтрати при хірургічному лікуванні ангіофіброми основи черепа / Г. Є. Тімен, В. П. Яценко, В. М. Писанко, С. П. Чубко, С. М. Алхімова // Журнал вушних, носових і горлових хвороб. – 2011. – №3-с. – С. 218-219. ISSN 0044-4650.
28. Розробка графічних програмних додатків медичного спрямування [Текст]: метод. вказівки до викон. лаборатор. робіт з дисципліни «Віртуальні інформаційні технології в медицині-1» для студ. спец. «Інформаційні управляючі системи та технології» / Укладачі: В. П. Яценко, С. М. Алхімова. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 48 с.

АНОТАЦІЯ

Алхімова С. М. Адаптивна обробка та аналіз зображень комп'ютерної томографії ювенільних ангіофібром основи черепа. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.17 – біологічні та медичні прилади і системи. – Національний технічний університет України «КПІ», Київ, 2013.

Дисертація присвячена питанню підвищення вірогідності прогнозування ризику масивної крововтрати під час хірургічного видалення ювенільних ангіофібром основи черепа шляхом отримання комплексних даних оцінювання кровопостачання досліджуваних тканин за результатами адаптивної обробки та аналізу зображень рентгенівської комп'ютерної томографії для кожного конкретного хворого. В роботі подальшого розвитку отримав метод сегментації зображень рентгенівської комп'ютерної томографії на основі нарощування ділянок за рахунок використання зрізів з контрастним посиленням тканин. Удосконалено метод візуалізації об'ємних даних на основі оптичної моделі за рахунок використання для візуалізації судинних масок зрізів досліджуваних тканин. Вперше запропоновано та експериментально підтверджено використання статистичного аналізу тривимірних анатомічних (вокселних) моделей для отримання даних щодо кількісного дослідження кровопостачання тканин пухлини вздовж всього її об'єму. Запропонована в роботі методика має суттєву діагностичну цінність для дослідження кровопостачання тканин за допомогою методу рентгенівської комп'ютерної томографії з контрастним посиленням тканин та може бути адаптована для отримання даних, на основі яких можливе прогнозування ризику масивної крововтрати під час проведення будь-яких хірургічних втручань для кожного окремого пацієнта.

Ключові слова: інтраопераційна крововтрата, рентгенівська комп'ютерна

томографія, сегментація, статистичний аналіз зображень, тривимірна візуалізація, ювенільна ангиофіброма основи черепа.

АННОТАЦИЯ

Алхимова С. Н. Адаптивная обработка и анализ изображений компьютерной томографии ювенильных ангиофибром основания черепа. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности: 05.11.17 – биологические и медицинские приборы и системы. – Национальный технический университет Украины «КПИ», Киев, 2013.

Диссертация посвящена вопросу повышения достоверности прогнозирования риска массивной кровопотери во время хирургического удаления ювенильных ангиофибром основания черепа путем получения комплексных данных оценивания кровоснабжения исследуемых тканей по результатам адаптивной обработки и анализа изображений рентгеновской компьютерной томографии для каждого конкретного больного. В работе последующего развития получил метод сегментации изображений рентгеновской компьютерной томографии на основании наращивания участков за счет использования срезов с контрастным усилением тканей. Усовершенствован метод визуализации объемных данных на основании оптической модели за счет использования для визуализации сосудистых масок срезов исследуемых тканей. Впервые предложено и экспериментально подтверждено использование статистического анализа трехмерных анатомических (воксельных) моделей для получения данных относительно количественного исследования кровоснабжения тканей опухоли вдоль всего ее объема. Предложенная в работе методика имеет существенную диагностическую ценность для исследования кровоснабжения тканей с помощью метода рентгеновской компьютерной томографии с контрастным усилением тканей и может быть адаптирована для получения данных, на основании которых возможно прогнозирование риска массивной кровопотери во время проведения любых хирургических вмешательств для каждого отдельного пациента.

Ключевые слова: интраоперационная кровопотеря, рентгеновская компьютерная томография, сегментация, статистический анализ изображений, трехмерная визуализация, ювенільна ангиофіброма основи черепа.

THE SUMMARY

Alkhimova S.M. Adaptive CT-image processing and analysis of skull base Juvenile Angiofibromas. – Manuscript.

Thesis for a Technical Sciences Candidate's Degree on specialty 05.11.17 – Biological and Medical Devices and Systems. – National Technical University of Ukraine "KPI", Kyiv, 2013.

The dissertation is devoted to obtaining complex data of skull base Juvenile Angiofibromas blood filling estimation questions. It is based on adaptive CT-image processing and analysis and provides probabilities increasing of huge bleeding risks

prediction during Juvenile Angiofibromas surgery for each specific patient.

Analytical survey of diagnostic methods for blood filling visualization and its quantitative estimation showed the absence of universal, reliable, and available method for estimation of bleeding volume during the surgeries. Widespread methods of perfusion examination such as Perfusion CT can't be used for such purposes because of reliable analytic software absence for obtained data processing that has approved statistics.

New procedure of complex data obtaining for tissues blood filling estimation was proposed. It is based on common clinical analysis and on image processing and analysis data of widespread examination for patients with skull base Juvenile Angiofibromas (computed tomographic scanning). The procedure can be used for complex visual and quantitative analysis of blood filling. Therefore it resolves composite dependency of intraoperative bleeding from such several factors as operative technique, local, and general characteristics of patient's body. In addition it increases the examination area on whole tumor volume in comparison of Perfusion CT examination results.

Further developments of region growing segmentation method were proposed based on usage of CT-images with contrast enhancement. This improved the accuracy of Juvenile Angiofibromas segments obtaining on tomographic slices through decreasing in the number of wrong area presents. Therefore it improved the accuracy of more exact visual and quantitative data obtaining for tissues blood filling estimation.

It was obtained formalized description of tumor segments vascularization through vessel's masks for tumor tissues area. Vessel's masks are based on information from computed tomographic slices with contrast enhancement that provides additional information of tumor density. Usage of vessel's masks made it possible to obtain visual and quantitative information of tumor's vascular structures based on anatomical data for each specific patient.

3D visualization method based on optical model was improved with usage of vessel's masks for tumor slices. This made it possible to maintain the visualization of tumor's vascularization regions in 3D space and extended 3D visualization capabilities for blood filling investigation of Juvenile Angiofibromas tissues and for visual comprehension of tumors internal structure in 3D space. Therefore it gave the possibilities to see operative techniques by physicians in proper perspective of specific execution techniques.

For the first time 3D anatomical voxel models statistical analysis was proposed for tumor's tissues blood filling quantitative estimation based on data from CT-images. It was experimentally approved statistical characteristic's values dependence on relative blood portion of tumor volume. It was showed statistically significant relationships between intraoperative bleeding and values of statistical characteristics. This proved the objectivity of statistical characteristics usage for quantitative estimation of Juvenile Angiofibromas blood filling based on results of CT-images processing and analysis.

Segmentation method with using of contrast enhancement slices, 3D visualization method with using of vessel's masks for tumor slices, 3D anatomical voxel models statistical analysis, and their algorithm's realizations and implementations can be used for maintain decision making functionality in medical expert systems and for presurgical treatment planning and specific surgery modeling in surgery planning systems. Obtained results have important role for tissues blood filling diagnostic based on computed

tomographic scanning examinations with contrast enhancement. They can be adopted for obtaining diagnostic data that help to predict huge bleeding risks for each specific patient during any surgeries. Dissertation results were adopted to the practice of Otolaryngology Institute A.Kolomyichenko and to the education of National Technical University of Ukraine "KPI".

Keywords: 3D visualization, CT-images, image statistical analysis, intraoperative bleeding, scull base Juvenile Angiofibromas, segmentation.