

УДК 616.716.8-006.343-002.3-036.84-089.15-07-08

DOI 10.11603/2311-9624.2018.3.9262

©С. Т. Гаврильців

Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького
(gavriltivsivsol@gmail.com)

Застосування сучасних комп'ютерних технологій при гістоморфометричному дослідженні щелепних кісток, уражених радикальними кістами

Резюме. Гістоморфометрія кісткової тканини й надалі залишається важливим об'єктивним методом дослідження механізмів кісткового ремоделювання на тканинному та клітинному рівнях, що дозволяє достовірно вивчити структурні зміни в щелепних кістках при різних захворюваннях. Для обробки цифрових зображень гістологічних препаратів на даний час почали активно використовуватись сучасні комп'ютерні технології. При вивченні фахової літератури не виявлено публікацій, які були б присвячені гістоморфометричному дослідженню мікроархітектури щелепних кісток у ділянках, уражених радикальними кістами.

Мета дослідження – провести гістоморфометричні дослідження ділянок щелепних кісток, уражених радикальними кістами, із застосуванням сучасних комп'ютерних технологій.

Матеріали і методи. У наукові спостереження було задіяно 44 хворих віком від 20 до 75 років із радикальними кістами щелеп. У 23 пацієнтів одонтогенні пухлиноподібні новоутворення містилися на верхній щелепі, а у 21 – на нижній щелепі. Матеріали для гістоморфометричного дослідження отримували під час операційних втручань (цистектомій), проводили забір фрагментів кісткових тканин щелеп із ділянок прилеглих до оболонок радикальних кіст. Зразки інтактної кісткової тканини верхньої та нижньої щелеп для гістологічного дослідження брали з ділянок, які не зазнавали патологічного впливу з боку пухлиноподібних новоутворень, з маргінального краю вестибулярних поверхонь лунок видалених «причинних» зубів. Після напівавтоматичного переведення зображень гістопрепаратів у чорно-білий колір (у бінарні маски), за допомогою програмного забезпечення ImageJ оцінювали наступні морфометричні показники структури губчастої кістки: трабекулярний простір (%), міжтрабекулярний простір (%), площу перетину міжтрабекулярного простору (мкм²) та вираховували гістоморфометричний коефіцієнт щільності кістки за запропонованою нами формулою. Статистичну обробку отриманих результатів досліджень проводили за допомогою комп'ютерної програми статистичних обчислень Statistica 8.

Результати досліджень та їх обговорення. Під час гістоморфометрії кісткових біоптатів, взятих із ділянок щелеп, прилеглих до оболонок радикальних кіст малих та середніх розмірів, виявили більшу щільність трабекул у губчастій структурі порівняно з інтактними кістками. При порівнянні морфометричних показників, які отримано при дослідженні верхньощелепних кісток, уражених кістами великих розмірів, з такими у верхньощелепних кістках, прилеглих до кіст середніх та малих розмірів, виявлено тенденцію до ущільнення кісткової тканини у відповідь на зростальну компресію з боку цих пухлиноподібних новоутворень. Процес ущільнення кісткової тканини проходив інтенсивніше на нижніх щелепах. Порівняно з інтактними ділянками щелеп, спостерігали статистично достовірне зростання числа кісткових трабекул у ділянках, що зазнавали хронічного патологічного впливу з боку радикальних кіст. При порівнянні архітектури губчастої кістки в біоптатах нижньощелепних кісток, взятих із ділянок, прилеглих до кіст, великих розмірів, із даними, отриманими в кісткових тканинах, прилеглих до кіст менших розмірів, виявлено між ними статистично значиму різницю.

Ключові слова: архітектура щелеп; програмне забезпечення ImageJ; гістоморфометрія кісток; радикальна кіста.

©С. Т. Гаврильців

Львовский национальный медицинский университет имени Данила Галицкого

Применение современных компьютерных технологий при гистоморфометрическом исследовании челюстных костей, пораженных радикальными кистами

Резюме. Гистоморфометрия костной ткани и далее остается важным объективным методом изучения механизмов костного ремоделирования на тканевом и клеточном уровнях, позволяющим досто-

верно изучить структурные изменения в челюстных костях при разных заболеваниях. Для обработки цифровых изображений гистологических препаратов в настоящее время начали активно использоваться современные компьютерные технологии. При изучении специальной литературы не было обнаружено публикаций, посвященных современным методам гистоморфометрического исследования микроархитектуры челюстных костей в участках, пораженных радикулярными кистами.

Цель исследования – провести гистоморфометрические исследования участков челюстных костей, пораженных радикулярными кистами, с применением современных компьютерных технологий.

Материалы и методы. В научные исследования было задействовано 44 больных в возрасте от 20 до 75 лет с радикулярными кистами челюстей. У 23 пациентов одонтогенные опухолеподобные образования находились на верхней челюсти, а в 21 – на нижней челюсти. Материалы для гистоморфометрического исследования получали во время оперативных вмешательств (цистэктомий), забор фрагментов костных тканей челюстей проводили с участков прилегающих к оболочкам радикулярных кист. Образцы интактной костной ткани верхней и нижней челюстей для исследования брали из участков, которые не подвергались патологическому влиянию со стороны опухолевидных образований, из маргинального участка вестибулярных поверхностей лунок удаленных «причинных» зубов. После полуавтоматического перевода изображений гистопрепаратов в черно-белый цвет (в бинарные маски), с помощью программного обеспечения ImageJ изучали следующие морфометрические показатели структуры губчатой кости: трабекулярное пространство (%), междутрабекулярное пространство (%), площадь сечения междутрабекулярного пространства (мкм²) и подсчитывали гистоморфометрический коэффициент плотности кости по предложенной нами формуле. Статистическую обработку полученных результатов исследований проводили с помощью компьютерной программы Statistica 8.

Результаты исследований и их обсуждение. Во время гистоморфометрии костных биоптатов, взятых из участков челюстей, расположенных около оболочек радикулярных кист малых и средних размеров, обнаружили большую плотность трабекул в губчатой структуре по сравнению с интактными костями. При сравнении морфометрических показателей, полученных при исследовании верхнечелюстных костей, пораженных кистами больших размеров, с верхнечелюстными костями, расположенными возле кист средних и малых размеров, наблюдается тенденция к дальнейшему уплотнению костной ткани в ответ на возрастающую компрессию со стороны этих опухолевидных новообразований. Процесс уплотнения костной ткани был более интенсивным на нижних челюстях. Наблюдался статистически достоверный рост числа костных трабекул в участках, испытывающих хроническое патологическое воздействие со стороны радикулярных кист. При сравнении архитектуры губчатой кости в биоптатах нижнечелюстных костей, взятых из участков расположенных возле кист больших размеров, с данными, полученными в костных тканях, находящимися возле кист меньших размеров, выявлено между ними статистически значимую разницу.

Выводы. Применение современных компьютерных технологий при гистоморфометрических исследованиях челюстных костей упрощает работу при анализе гистопрепаратов. В ответ на патологическое влияние радикулярных кист, независимо от их размеров и локализации, происходит адаптационно-компенсаторная перестройка челюстных костей, которая морфологически проявляется уплотнением их трабекулярной структуры.

Ключевые слова: архитектура челюстей; программное обеспечение ImageJ; гистоморфометрия костей; радикулярная киста.

©S. T. Havryltsiv

Danylo Halytskyi Lviv National Medical University

Application of modern computer technologies during histomorphometric study of jaw bones affected by radicular cysts

Summary. Histomorphometry of bone tissue is still an important method for an objective evaluation of mechanisms of remodeling at the level of cells and tissues, which allows us to reliably study morphological manifestations in jaw bones in various diseases. For evaluation of morphological changes in jaw bones in these pathological conditions modern computer technologies are often used. However, in the analysis of professional literature, we have not found data about the features of microarchitecture of jaw bones located in areas affected by radicular cysts.

The aim of the study – to conduct a histomorphometric study of jawbone areas affected by radicular cysts by using modern computer technologies.

Materials and Methods. 44 patients (29 males and 15 females) aged 20 to 70 years with radicular jaw cysts who were on an outpatient treatment were examined. In 23 patients, tumor-like neoplasms were located on

the upper jaw, and in 21 – on the lower jaw. Histological materials for histomorphometric study were obtained during radicular bone removal (cystectomy). For the morphometric analysis, ImageJ v.1.48u software was used. Each shot was investigated three times, the average area value for each shot was calculated. After semi-automatic image transfer of histoparticles into black and white (binary masks), using the ImageJ software, the following parameters were measured: trabecular space, intertrabecular space, the area of the cross-section between the trabecular space (μm^2) and the histomorphometric coefficient of bone density. Statistical processing of the obtained research results was carried out with the help of the computer program of statistical calculations «Statistica 8».

Results and Discussion. In histomorphometric studies of bone biopsies taken from intact jaw sections it was found that the density of bone tissue in the mandible statistically significantly differs from the upper jaws. In the patients during histomorphometry of bone biopsy samples taken from the jaw sections adjacent to the shells of small and medium sized radicular cysts, we found in them a significantly greater trabecular density in the spongy structure compared with intact bones. When comparing the morphometric indices obtained during the study of the maxillary bones affected by large cysts with those in the maxillary bones adjacent to the cysts of medium to small size, a tendency towards further consolidation of bone tissue in response to increasing compression on the side of these tumor-like neoplasms was found. The process of bone tissue sealing was more intense on the lower jaw. Compared to intact bones, there was a statistically significant increase in the number of bone trabeculae in jaw regions undergoing chronic pathological effects from radicular cysts. When comparing the architecture of the spongy bone in the biopsy of the mandibular bones taken from the areas adjacent to the cysts of big sizes, with the data obtained in the study of bone tissues adjacent to smaller cysts, a statistically significant difference was established between them.

Conclusions. In response to the pathological effects of radicular cysts, irrespective of their size, an adaptive-compensatory reconstruction of the jaw bones occurs that morphologically manifests as a sealing of their trabecular structure, and the decrease of the intertrabecular space.

Key words: microarchitecture of jaw; ImageJ software; histomorphometry of bone; radicular cysts.

Вступ. У сучасній клінічній стоматологічній практиці для оцінки морфологічних змін в щелепних кістках при різних патологічних станах найчастіше застосовуються рентгенологічні методи дослідження [1–3]. В останні роки з'явилася нова галузь променевої діагностики – цифрова рентгенографія, яка являє собою не стільки самостійний метод рентгенодіагностики, оскільки прогресивну модифікацію трансформації енергії рентгенівського променя. Комп'ютерна обробка інформації дозволяє поліпшити якість зображення шляхом маніпуляцій із контрастністю, яскравістю, чіткістю, розмірами, шляхом усунення технічних погіршень, виділенням зон інтересу. Принцип цифрової обробки інформації використовують також у комп'ютерній, магнітно-резонансній томографії та при деяких режимах ультразвукової діагностики. В даний час цифрова рентгенографія стала провідним методом променевої діагностики [4, 5]. На цифрових ортопантомограмах визначаються спеціальні кісткові індекси [6–8], проводяться вимірювання оптичної щільності щелеп [9, 10]. За допомогою відповідних комп'ютерних програм розраховуються параметри (фрактальні розміри), що представляють морфометричні характеристики трабекулярної структури щелепних кісток [11–15]. Водночас, гістоморфо-

метрія кісткової тканини й надалі залишається важливим об'єктивним методом вивчення механізмів кісткового ремоделювання на тканинному та клітинному рівнях, що дозволяє достовірно вивчити структурні зміни в зубощелепній системі при її захворюваннях [16–18]. Для обробки цифрових зображень гістологічних препаратів дослідники стали активно використовувати сучасні комп'ютерні технології [19–21]. Автоматичні алгоритми в морфометрії здобули популярність завдяки можливості швидко та з високою точністю аналізувати гістологічний матеріал. При роботі з препаратами із використанням рутинних методів фарбування, зокрема гематоксиліном та еозином, виникає багато технічних перешкод для використання повністю автоматизованих алгоритмів, що пов'язане із наявністю великої кількості анатомічних утворень, які фарбуються з однаковою інтенсивністю та артефактів, що утворюються при виготовленні препаратів, що унеможливило об'єктивну оцінку морфологічного стану щелепних кісток. За допомогою спеціальних комп'ютерних програм аналізують мікроархітектуру кісткової тканини шляхом автоматичного переведення зображення гістопрепарату в бінарну маску з наступним швидким заміром виділених структурних компонентів кісткової тка-

нини [20, 21]. Однак ці програми є обмежені в доступі для широкого користування ними. Тому нашу увагу привернула комп'ютерна програма ImageJ v.1.48u., яку розробили в 2007 р. National Institutes of Health (Канада), й може бути використана для аналізу гістологічних препаратів [22]. При вивченні фахової літератури, ми не виявили публікацій, які були б присвячені гістоморфометричному дослідженню мікроархітектури щелепних кісток у ділянках, уражених радикулярними кістами із застосуванням сучасних комп'ютерних технологій.

Метою дослідження було провести гістоморфометричне дослідження щелепних кісток, уражених радикулярними кістами із застосуванням сучасних комп'ютерних технологій.

Матеріали і методи. У наукові спостереження було задіяно 44 хворих (29 чоловіків та 15 жінок) віком від 20 до 75 років із радикулярними кістами щелеп. У 23 пацієнтів вказані одонтогенні пухлиноподібні новоутворення були на верхній щелепі, а у 21 – на нижній щелепі.

Матеріали для гістоморфометричного дослідження отримували під час операційних втручань – видалення радикулярних кіст (цистектомій): після трепанації кісткових стінок над пухлиноподібними новоутвореннями

проводили забір фрагментів кісткових тканин щелеп з ділянок прилеглих до оболонок радикулярних кіст розміром 7×5 мм, що містили кортикальну пластинку та губчасту частину кістки. Зразки інтактної кісткової тканини верхньої та нижньої щелеп для гістологічного дослідження брали з ділянок, які не зазнавали патологічного впливу збоку пухлиноподібних новоутворень, – з маргінального краю вестибулярних поверхонь лунок видалених «причинних» зубів. Кісткові біоптати фіксували в 10 % – нейтральному розчині формаліну, при фіксації формаліном проводили промивання проточною водою протягом 24–48 год. Для зневоднення використовували спирти зростаючих концентрацій. Перед заливкою шматочків матеріалу в парафін його проводили через проміжні розчинники (абсолютний спирт, ксилол, хлороформ, толуол). Далі шматочки занурювали на 1 год в суміш розплавленого парафіну і ксилолу (при температурі 37 °С), потім на 1–3 год у розплавлений парафін (при температурі 56 °С). Після цього шматочки вміщували у паперові форми і заливали розплавленим парафіном. Застиглі парафінові блоки закріплюють на дерев'яні бруски. Парафінові зрізи товщиною 4–5 мк фарбували гематоксином та еозином (рис. 1).

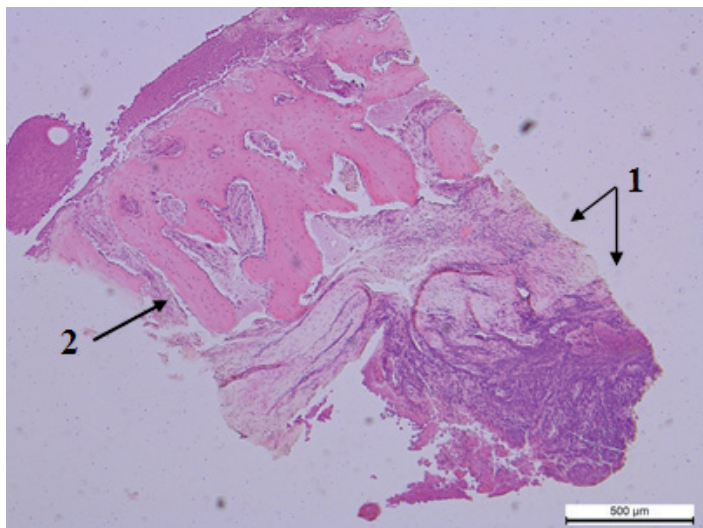


Рис. 1. Зображення гістопрепарату кісткової тканини нижньої щелепи, прилеглої до радикулярної кісти. Забарвлення гематоксином та еозином, ×50 (стрілками показано: 1 – оболонка та вміст радикулярної кісти, 2 – кісткова тканина, прилегла до оболонки радикулярної кісти).

Пофарбовані препарати досліджували за допомогою мікроскопа Meiji MT4300 LED з об'єктивом x20, окуляр x10. Фотографували гістологічні зразки камерою Canon EOS 550D з перехідником MA150/50 та адаптером MA986 із збільшенням x1,9, калібрування для прове-

дення морфометрії проводили за допомогою слайду Meiji MA285 з визначенням коефіцієнта співвідношення пікселя до мікрметра. Всі подальші морфометричні дослідження проводили виключно із первинними, непередагованими фотографіями формату Jpeg роздільною

здатністю 5184*3456 із однаковими калібрувальними даними для кожного збільшення. Для проведення морфометричного аналізу гістопрепаратів було використане програмне забезпечення ImageJ v.1.48u. Кожен знімок досліджували по три рази, обраховували середнє значення площі для кожного знімка. Для підрахунку досліджуваних показників було застосовано напівавтоматичну методику, для цього здійснено наступну послідовність команд (рис. 2): 1. Window/level до максимального контрасту зображення, визначається візуально; 2. Розділення на канали кольору функцією Split channel та вибір зеленого каналу; 3. Використання функції Threshold для напівавтоматичного виділення максимальної ділянки із кістковою тканиною та переведенням зображення в бінарну маску; 4. Замір фрагмента тканини, що виділений. Перші два пункти були оформлені у вигляді макроса (порядок дій, які треба запам'ятати для повторного виконання, щоб досягти певної мети) для оптимізації процесу. Однак функція Threshold не виконується автоматично через попередньо налаштований макрос, а її параметри визначаються індивідуально до кожного знімка дослідником. Після цього можливе використання цілого ряду додаткових функцій програми ImageJ для більш точного відокремлення кісткової тканини. Зокрема, використання функції – Fill Holes для заповнення дрібних просвітлених ділянок на

поверхні перерізу кісткової тканини, використання функції Erode для зменшення кількості дрібних артефактів (переважно сформованими сполучною тканиною) в проміжках між ділянками кісткової тканини та зменшення точок контакту артефактних ділянок із кістковою тканиною, використання функції Dilate для заповнення недостатньо пофарбованих проміжків у глибині кісткової тканини. Крім того, використовували вибіркове виділення фрагментів за допомогою інструмента – Wand tool та в окремих випадках для видалення артефактів використовували Paintbrush tool. Після напівавтоматичного переведення зображень гістопрепаратів у чорно-білий колір (в бінарні маски) за допомогою програмного забезпечення ImageJ оцінювали наступні морфометричні показники структури губчастої кістки: трабекулярний простір (%) – площа чорного кольору, що відповідає площі усіх візуалізованих на гістопрепараті кісткових балок; міжтрабекулярний простір (%) – площа білого кольору, що відповідає площі міжбалкових просторів; площу перетину міжтрабекулярного простору (мкм²) та вираховували гістоморфометричний коефіцієнт щільності кістки (ГММ ШК) за запропонованою нами формулою: коефіцієнт ГММ ШК = трабекулярний простір % / міжтрабекулярний простір %.

Статистичну обробку отриманих результатів досліджень проводили за допомогою

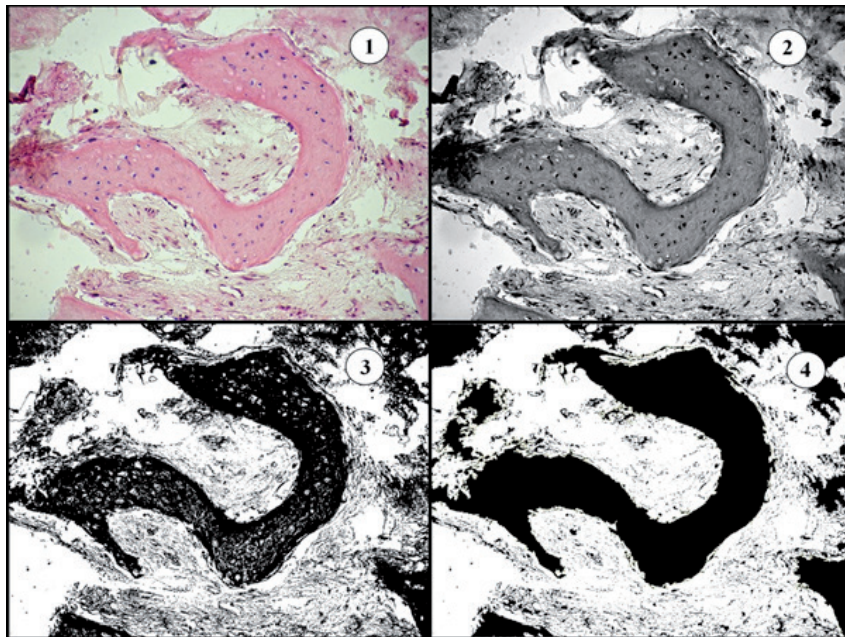


Рис. 2. Методика морфометричного аналізу гістологічного препарату кісткової тканини при застосуванні програмного забезпечення ImageJ v.1.48u (1–4 – поступові зміни зображення в процесі обробки інструментами програми ImageJ).

комп'ютерної програми статистичних обчислень Statistica 8.

Результати досліджень та їх обговорення. При гістоморфометричних дослідженнях кісткових біоптатів, взятих з інтактних ділянок щелеп, виявлено, що щільність кісткових тканин нижніх щелеп статистично достовірно різниться від верхніх щелеп. Гістоморфометричний коефіцієнт щільності кісток нижніх щелеп становить $(3,13 \pm 0,71)$ ум. од., а верхніх щелеп – $(2,26 \pm 0,82)$ ум. од., що є більше від останнього показника у середньому в 1,38 рази ($p < 0,01$). Під час гістоморфометрії кісткових біоптатів, взятих із ділянок щелеп, прилеглих до оболонки радікулярних кіст малих та середніх розмірів, виявлено значно більшу щільність трабекул у губчастій структурі, порівняно з інтактними кістками: розмір трабекулярного простору становив $(75,54 \pm 1,29)$ %, розмір міжтрабекулярного простору – $(24,46 \pm 1,71)$ %, від-

повідно індекс щільності кісткової тканини зріс до $(3,09 \pm 0,75)$ ум. од. ($p < 0,05$). При порівнянні морфометричних показників, які отримано при дослідженні верхньощелепних кісток, уражених кістами великих розмірів, із такими у верхньощелепних кістках, прилеглих до кіст середніх та малих розмірів, виявлено тенденцію до подальшого ущільнення кісткової тканини у відповідь на зростальну компресію збоку цих пухлиноподібних новоутворень: збільшувався розмір трабекулярного простору до $(76,71 \pm 1,17)$ % ($p > 0,05$), водночас, зменшувалась площа міжтрабекулярного простору – з $(1614,5 \pm 4,3)$ мкм² до $(1537,27 \pm 6,2)$ мкм² ($p > 0,05$), відповідно дещо зростав гістоморфометричний коефіцієнт щільності кістки – з $(3,09 \pm 0,75)$ ум. од. до $(3,29 \pm 0,86)$ ум. од. ($p > 0,05$) (табл. 1). Процес ущільнення кісткової тканини проходив інтенсивніше на нижніх щелепах (табл. 2). Порівняно з інтактними ділянками щелеп, спостеріга-

Таблиця 1. Гістоморфометричні показники кісткових біоптатів верхніх щелеп хворих із радікулярними кістами

Гістоморфометричні показники верхньощелепних кісток	Ділянки виокремлення кісткових біоптатів		
	інтактні ділянки (n=9)	ділянки, прилегли до кіст малих та середніх розмірів (n=12)	ділянки, прилегли до кіст великих розмірів (n=11)
Площа перетину міжтрабекулярного простору (мкм ²)	1110,57±5,4	1614,54±4,3 $p < 0,05^{**}$	1537,27±6,2 $p > 0,05^*$
Трабекулярний простір (%)	69,30±1,94	75,54±1,29 $p < 0,05^{**}$	76,71±1,17 $p > 0,05^*$
Міжтрабекулярний простір (%)	30,7±2,06	24,46±1,71 $p < 0,05^{**}$	23,29±1,83 $p > 0,05^*$
Гістоморфометричний коефіцієнт щільності кістки (ум. од.)	2,26±0,82	3,09±0,75 $p < 0,05^{**}$	3,29±0,86 $p > 0,05^*$

Примітки: 1) * – статистичну достовірність різниці показників порівнювали в одній дослідній групі;
2) ** – статистичну достовірність різниці показників кісткових тканин, прилеглих до кіст малих та середніх розмірів, порівнювали з показниками інтактних кісткових тканин.

Таблиця 2. Гістоморфометричні показники кісткових біоптатів нижніх щелеп хворих із радікулярними кістами нижніх щелеп

Гістоморфометричні показники нижньощелепних кісток	Ділянки виокремлення кісткових біоптатів		
	інтактні ділянки (n=9)	ділянки, прилегли до кіст малих та середніх розмірів (n=11)	ділянки, прилегли до кіст великих розмірів (n=10)
Площа перетину міжтрабекулярного простору (мкм ²)	876,52±9,91 $p < 0,01^*$	749,16±4,5 $p < 0,01^{**}$	650,82±3,1 $p < 0,05^*$
Трабекулярний простір (%)	75,77±2,32 $p < 0,01^*$	83,29±2,17 $p < 0,01^{**}$	86,14±1,95 $p < 0,05^*$
Міжтрабекулярний простір (%)	24,23±1,68 $p < 0,01^*$	16,71±1,83 $p < 0,01^{**}$	13,86±1,82 $p < 0,05^*$
Гістоморфометричний коефіцієнт щільності кістки (ум. од.)	3,13±0,71 $p < 0,01^*$	4,98±0,65 $p < 0,01^{**}$	6,21±0,59 $p < 0,05^*$

Примітки: 1) * – статистичну достовірність різниці показників порівнювали в одній дослідній групі;
2) ** – статистичну достовірність різниці показників кісткових тканин, прилеглих до кіст малих та середніх розмірів, порівнювали з показниками інтактних кісткових тканин.

ли статистично достовірне ($p < 0,01$) зростання числа кісткових трабекул у ділянках, що зазнають хронічного патологічного впливу збоку радикулярних кіст.

При порівнянні архітектури губчастої кістки в біоптатах нижньощелепних кісток, взятих із ділянок, прилеглих до кіст великих розмірів, із даними, отриманими в кісткових тканинах, прилеглих до кіст менших розмірів, виявлено між ними статистично значиму різницю: розмір трабекулярного простору зростає із $(83,29 \pm 2,17) \%$ до $(86,14 \pm 1,95) \%$, водночас, зменшувалась площа міжтрабекулярного простору – з $(749,16 \pm 4,5) \text{ мкм}^2$ до $(650,82 \pm 3,1) \text{ мкм}^2$ ($p < 0,05$), відповідно гістоморфометричний коефіцієнт щільності кістки збільшувався з $(4,98 \pm 0,65) \text{ ум. од.}$ до $(6,21 \pm 0,59) \text{ ум. од.}$ ($p < 0,05$).

Таким чином, як показали результати власних гістоморфометричних досліджень, кісткові тканини, прилеглі до радикулярних кіст, за своєю архітектурою відрізняються від інтактних ділянок щелеп, що зумовлює неоднорідну щільність цих анатомічних структур. Це узгоджується з даними наших попередніх рентгенологічних досліджень з вивчення оптичної щільності щелепних кісток [23]. У літературних джерелах міститься суперечлива інформація щодо щільності кісток у ділянках уражених одонтогенними пухлиноподібними новоутвореннями [24, 25]. Одні автори [24] вважають, що під впливом радикулярних кіст відбувається розрідження прилеглої кісткової

тканини, інші, що вона ущільнюється [25]. Ми підтримуємо думку останнього із згаданих авторів, що однією з причин зміни морфологічної структури губчастої речовини щелепової кістки – її ущільнення, є компенсаторна перебудова, яка відбувається у відповідь на підвищення тиску зростального обсягу кістозного вмісту, що є морфологічним проявом місцевої адаптаційної реакції організму. Зазначена закономірність є підтвердженням закону Вольфа (J. Wolff, 1892), або «концепції адаптаційного кісткового моделювання та ремоделювання», згідно з якою кісткова тканина прагне набути структури, яка краще пристосована до протидії впливам, яких вона зазнає [26]. Під дією навантаження, що перевищує адаптаційну можливість кісткової тканини, відбуваються патологічні зміни її структури. В кінцевому рахунку ознаки порушення структури змінюються неспецифічними ознаками компенсаторної реакції, що супроводжуються порушенням функцій вже не окремих елементів, а організму в цілому.

Висновки. Застосування сучасних комп'ютерних технологій під час гістоморфометричних досліджень щелепних кісток дозволяє спростити роботу з аналізу гістопрепаратів. У відповідь на патологічний вплив радикулярних кіст, не залежно від їх розмірів та локалізації, відбувається адаптаційно-компенсаторна перебудова щелепних кісток, що морфологічно проявляється ущільненням їх трабекулярної структури.

Список літератури

1. Васильев А. Ю. Лучевая диагностика в стоматологии / Васильев А. Ю. – М. : ГЭОТАР- Медиа, 2010. – 288 с.
2. Бондаренко Н. Н. Измерение оптической плотности костной ткани альвеолярного отростка челюстей при заболеваниях пародонта с помощью трёхмерной компьютерной томографии / Н. Н. Бондаренко, Е. В. Балахонцева // Казанский медицинский журнал. – 2012. – Т. 93, № 4. – С. 660–662.
3. Рентгенівська денситометрія в оцінці структурно-функціонального стану кісткової тканини в пацієнтів із недосконалим остеогенезом / Ю. М. Гук, О. Г. Гайко, А. М. Зима [та ін.] // Журнал «Боль, суставы, позвоночник». – 2014. – № 31–32. – С. 42–46.
4. Коробейнікова Ю. Л. Порівняльна характеристика сучасних рентгенологічних методів діагностики в стоматології / Ю. Л. Коробейнікова // Вісник ВДНЗУ «Українська медична стоматологічна академія». – 2015. – Т. 13, вип. 3(43). – С. 44–46.
5. Нестуля К. І. Променева діагностика переломів нижньої щелепи / К. І. Нестуля // Променева діагностика, променева терапія. – 2016. – № 1. – С. 51–55.
6. A computer-aided diagnosis system to screen for osteoporosis using dental panoramic radiographs / T. Nakamoto, A. Taguchi, M. Ohtsuka [et al.] // Dentomaxillofacial Radiology. – 2008. – No 37. – P. 274–281.
7. Yasar F. The effects of image compression on quantitative measurements of digital panoramic radiographs / F. Yasar, B. Apaydin, H. H. Yilmaz // Med. Oral Patol. Oral Cir. Bucal. – 2012. – P. 1074–1081.
8. Pankaj Bodade R. Panoramic radiography for screening postmenopausal osteoporosis in India: A pilot study / R. Bodade Pankaj, N. Mody Rajendra // OHDM. – 2013. – Vol. 12, No. 2. – P. 65–72.
9. Interdental alveolar bone density in bruxers, mild bruxers, and non-bruxers affected by orthodontia and impaction as influencing factors / S. Shokry, G. Rahman, H. Kandil, H. Hakeem // J. Oral Res. – 2015. – No. 4 (6). – P. 378–386.
10. Geiger M. Evaluation of image for relative bone density measurement and clinical application / M. Geiger, G. Blem, A. Ludwig // J. Oral Health Craniofac. Sci. – 2016. – No. 1. – P. 12–21.

11. Pixel intensity and fractal analyses: detecting osteoporosis in perimenopausal and postmenopausal women by using digital panoramic images / G. M. Tosoni, A. G. Lurie, A. E. Cowan, J. A. Burlison // *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*. – 2006. – Vol. 102, No. 2. – P. 235–241.
12. A prospective study of mandibular trabecular bone to predict fracture incidence in women: A lowcost screening tool in the dental clinic / G. Jonasson, V. Sundh, M. Ahlqwist [et al.] // *Bone*. – 2011. – No. 49 (4). – P. 873–879.
13. Fractal analysis of mandibular trabecular bone: optimal tile sizes for the tile counting method / H. Kyung-Hoe, B. Jee-Seon, Yi Won-Jin [et al.] // *Imaging Sci. Dent*. – 2011. – No. 41 (2). – P. 71–78.
14. Analysis of bone quality on panoramic radiograph in osteoporosis research by fractal dimension / A. J. Camargo, A. R. G. Côrtes, E. M. Aoki [et al.] // *Applied Mathematics*. – 2016. – No. 7. – P. 375–386.
15. Celso Souza de Assis A. Hormone replacement therapy affects mandibular bone architecture in postmenopausal women: a fractal dimension assessment / A. Celso Souza de Assis, T. de Oliveira Gamba, M. Eli Leonelli de Moraes // *Rheumatol. Orthop. Med*. – 2017. – Vol. 2, No. 1. – P. 1–4.
16. Войтович А. В. Взгляд на остеопороз с позиций костной морфометрии (компьютерное гистоморфометрическое исследование) / А. В. Войтович, Л. О. Анисимова, В. В. Кормилченко // *Остеопороз и остеопатии*. – 2001. – № 1. – С. 1–4.
17. Effects of risedronate on cortical and trabecular bone of the mandible in glucocorticoid-treated growing rats / Y. Fujita, K. Watanabe, Sh. Uchikanbori, K. Maki // *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. – 2011. – Vol. 139, Is. 3. – P. e267–e277.
18. Поворознюк В. В. Вплив системного остеопорозу на репаративну регенерацію кісткової тканини / В. В. Поворознюк, А. В. Макогончук // *Травма*. – 2013. – № 14 (2). – С. 59–62.
19. BoneJ: Free and extensible bone image analysis in ImageJ / M. Doube, M. M. Klosowski, I. Arganda-Carreras [et al.] // *Bone*. – 2010. – No. 47(6). – P. 1076–1079.
20. Computerized quantification of bone tissue and marrow in stained microscopic images / S. Lin, L. Shangping, W. Defeng [et al.] // *Cytometry Part. A*. – 2012. – No. 81A. – P. 916–921.
21. Ильина Р. Ю. Новые методы диагностики снижения костной плотности челюстных костей / Р. Ю. Ильина, Р. А. Дзамуков, Р. В. Лексин // *Практическая медицина*. – 2015. – Т. 2, № 4 (89). – С. 50–53.
22. Schneider C. A. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis / C. A. Schneider, W. S. Rasband, K. W. Eliceiri // *Nat. Meth.* – 2012. – No. 9 (7). – P. 671–675.
23. Гаврильців С. Т. Вивчення оптичної щільності щелепових кісток у хворих із радикулярними кістами на тлі остеопорозу та без порушень мінерально-го обміну / С. Т. Гаврильців // *Клінічна стоматологія*. – 2017. – № 3. – С. 29–36.
24. Николаюк В. И. Денситометрия в диагностике патологии челюстно-лицевой области / В. И. Николаюк, А. А. Кабанова, Е. А. Карпенко // *Вестник ВГМУ*. – 2015. – Т. 14, № 5. – С. 114–120.
25. Интраочаговая решетчатая остеотомия при хирургическом лечении радикулярной кисты челюсти / Г. А. Гребнев, И. И. Бородулина, В. В. Чернегов [и др.] // *Инфекции в хирургии*. – 2014. – Т. 12, № 1. – С. 5–7.
26. Размышления о возможности адаптации и регенерации челюстной кости в экстремальных клинических условиях / В. Н. Трезубов, В. Р. Вебер, Ю. В. Паршин [и др.] // *Институт стоматологии*. – 2017. – № 2. – С. 64–65.

References

1. Vasilyev, A.Yu. (2010). *Luchevaya diagnostika v stomatologii [Radiation diagnostics in stomatology]*. Moscow: GEOTAR - Media [in Russian].
2. Bondarenko, N.N. & Balakhontseva, Ye.V. (2012). *Izmereniye opticheskoy plotnosti kostnoy tkani alveolyarnogo otrostka chelyustey pri zabolovaniyakh parodonta s pomoshchyu trokhmernoy kompyuternoy tomografii [Measurement of the optical density of the bone tissue of the alveolar process of the jaws in case of periodontal diseases with the help of a three-dimensional computed tomography]*. *Kazanskiy meditsinskiy zhurnal – Kazan Medical Journal*, 4, 660 – 662 [in Russian].
3. Huk, Yu.M., Haiko, O.H., Zyma, A.M., Kincha-Polishchuk, T.A. & Zotia A.V. (2014). *Renthenivska densytometriia v otsyntsi strukturno-funktsionalnoho stanu kistkovoї tkany v patsientiv iz nedoskonalym osteohenezom [X-ray densitometry in the evaluation of structural and functional status of bone tissue in patients with imperfect osteogenesis]*. *Zhurnal «Bol, sustavy, pozvonochnik» – Journal of Pain, Joints, Spine*, 31 (2), 42–46 [in Ukrainian].
4. Korobeinikova, Yu.L. (2015). *Porivnialnakharakterystyka suchasnykh renthenolohichnykh metodiv diahnostryky v stomatolohii [Comparative characteristics of modern X-ray methods of diagnostics in dentistry]*. *Visnyk VDN-ZU «Ukrainska medychna stomatolohichna akademiia» – Journal of Higher State Medical Institution «Ukrainian Medical Stomatological Academy»*, 3 (43), 44–46 [in Ukrainian].
5. Nestulia, K.I. (2016). *Promeneva diahnostryka perelomiv nyzhnoi shchelypy [Radiation diagnostics of fractures of the lower jaw]*. *Promeneva diahnostryka, promeneva terapiia – Radiation Diagnostics, Radiation Therapy*, 1, 51–55 [in Ukrainian].
6. Nakamoto, T., Taguchi, A., Ohtsuka, M., Sueti, Y., Fujita, M., Tsuda, M., Sanada, M., Kudo, Y., Asano, A. & Tanimoto K. (2008). *A computer-aided diagnosis system to screen for osteoporosis using dental panoramic radiographs*. *Dentomaxillofacial Radiology*, 37, 274–281.
7. Yasar, F., Apaydin, B. & Yilmaz, H.H. (2012). *The effects of image compression on quantitative measurements of digital panoramic radiographs*. *Med. Oral Patol. Oral Cir. Bucal*, 17 (6), e1074–e1081.
8. Pankaj Bodade, R. & Mody Rajendra, N. (2013). *Panoramic Radiography for Screening Postmenopausal Osteoporosis in India: A Pilot Study*. *OHDM*, 12, 65–72.

9. Shokry, S., Rahman, G., Kandil, H. & Hakeem, H. (2015). Interdental alveolar bone density in bruxers, mild bruxers, and non-bruxers affected by orthodontia and impaction as influencing factors. *J. Oral Res.*, 4 (6), 378-386.
10. Geiger, M., Blem, G. & Ludwig, A. (2016). Evaluation of imageJ for relative bone density measurement and clinical application. *J. Oral Health Craniofac Sci.*, 1, 12-21.
11. Tosoni, G.M., Lurie, A.G., Cowan, A.E. & Burleson, J.A. (2006). «Pixel intensity and fractal analyses: detecting osteoporosis in perimenopausal and postmenopausal women by using digital panoramic images original». *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 2, 235 - 241.
12. Jonasson, G., Sundh, V., Ahlqvist, M., Hakeberg, M., Björkelund, C. & Lissner L. (2011). A prospective study of mandibular trabecular bone to predict fracture incidence in women: A lowcost screening tool in the dental clinic. *Bone*, 49 (4), 873-879.
13. Huh, K.H., Baik, J.S., Yi, W.J., Heo, M.S., Lee, S.S., Choi, S.C., Lee, S.B. & Lee, S.P. (2011). Fractal analysis of mandibular trabecular bone: optimal tile sizes for the tile counting method. *Imaging Sci. Dent.*, 41 (2), 71-78.
14. Jordão Camargo, A., Rodriguez Gonzalez Côrtes, A., Massaharu Aoki E., Gazzano Baladi M., Saito Arita E. & Christopher Aranha Watanabe P. (2016). Analysis of bone quality on panoramic radiograph in osteoporosis research by fractal dimension. *Applied Mathematics*, 7, 375-386.
15. Celso Souza de Assis, A., Oliveira de Gamba, T. & Eli Leonelli de Moraes, M. (2017). Hormone replacement therapy affects mandibular bone architecture in postmenopausal women: a fractal dimension assessment. *Rheumatol. Orthop. Med.*, 2, 1, 1-4.
16. Voytovich, A.V., Anisimova, L.O. & Kormilchenko, V.V. (2001). Vzgl'yad na osteoporoz s pozitsiy kostnoy morfometrii (Kompyuternoye gistomorfometrisheskoye issledovaniye) [A look at osteoporosis from the position of bone morphometry (Computer Histomorphometric Study)]. *Osteoporoz i osteopatii – Osteoporosis and Osteopathy*, 1, 1-4 [in Russian].
17. Fujita, Y., Watanabe, K., Uchikanbori, Sh. & Maki, K. (2011). Effects of risedronate on cortical and trabecular bone of the mandible in glucocorticoid-treated growing rats. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 139, 3, e267–e277.
18. Povorozniuk, V.V. & Makohonchuk, A.V. (2013). Vplyv systemnoho osteoporozu na reparatyvnu reheneratsiiu kistkovoï tkanyny [Influence of system osteoporosis on reparative regeneration of bone tissue]. *Travma – Trauma*, 14 (2), 59-62 [in Ukrainian].
19. Doube, M., Klosowski, M.M., Arganda-Carreras, I., Cordelières, F.P., Dougherty, R.P., Jackson, J.S., et al. (2010). BoneJ: Free and extensible bone image analysis in ImageJ. *Bone*, 47(6), 1076-1079.
20. Shi, L., Liu, S., Wang, D., Wong, H.L., Huang, W.H., Wang, Y.X., Griffith, J.F., Leung, P.C. & Ahuja A.T. (2012). Computerized quantification of bone tissue and marrow in stained microscopic images. *Cytometry Part. A.*, 81A, 916-921.
21. Ilyina, R.Yu., Dзамukov, R.A. & Leksin, R.V. (2015). Novyye metody diagnostiki snizheniya kostnoy plotnosti chelyustnykh kostey [New methods for diagnosing bone density reduction in the jaw bones]. *Prakticheskaya meditsina – Practical Medicine*, 4 (89), 50-53 [in Russian].
22. Schneider, C.A., Rasband, W.S. & Eliceiri, K.W. (2012). NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nat. Meth.*, 9 (7), 671-675.
23. Havryltsiv, S.T. (2017). Vychennia optychnoi shchilnosti shchelepovykh kistok u khvorykh iz radykulyarnymy kistamy na tli osteoporozu ta bez porushen mineralnoho obminu [The study of the optical density of the jaw bones in patients with radicular cysts against the background of osteoporosis and without disturbances in the mineral metabolism]. *Klinichna stomatohiia – Clinical Dentistry*, 3, 29-36 [in Ukrainian].
24. Nikolayuk, V.I., Kabanova, A.A. & Karpenko, Ye.A. (2015). Densitometriya v diagnostike patologii chelyustno-litsevoy oblasti [Densitometry in the diagnosis of maxillofacial pathology]. *Vestnik VGMU – Bulletin of VSMU*, 5, 114-120 [in Russian].
25. Grebnev, G.A., Borodulina, I.I., Chernegov, V.V., Tegza, N.V. & Yagubov G.M. (2014). Intraochagovaya reshchataya osteotomiya pri khirurgicheskom lechenii radikulyarnoy kisty chelyusti [Intra focal osteotomy in the surgical treatment of the radicular cyst of the jaw]. *Infektsii v khirurgii – Infections in Surgery*, 1, 5-7 [in Russian].
26. Trezubov, V.N., Veber, V.R., Parshin, Yu.V., Bulicheva, Ye.A., Volkovoy, O.A. & Konchakovskiy, A.V. (2017). Razmyshleniya o vozmozhnosti adaptatsii i regeneratsii chelyustnoy kosti v ekstremalnykh klinicheskikh usloviyakh [Reflections on the possibility of adaptation and regeneration of the jawbone in extreme clinical conditions]. *Institut stomatologii – Institute of Stomatology*, 2, 64-65 [in Russian].

Отримано 03.07.18