

*І. Г. Савка*Буковинський державний медичний
університет, м. Чернівці**СУЧАСНІ УЯВЛЕННЯ ПРО СТРУКТУРНУ
ОРГАНІЗАЦІЮ КІСТКОВОЇ ТКАНИНИ
ТА ЇХ ПРИКЛАДНЕ ЗНАЧЕННЯ
В СУДОВІЙ МЕДИЦИНІ****Ключові слова:** мінеральна речовина, органічна речовина, кісткова тканина.**Резюме.** На основі аналізу даних наукової літератури розкрито сучасні рівні організації кісткової тканини, а також індивідуальні механічні та функціональні властивості кісток скелета людини при вирішенні судово-медичних експертних завдань.

Кісткова тканина (КТ) за своїми морфологічними особливостями найбільш тривалий час зберігає ряд ідентифікаційних ознак, сліди травматичних ушкоджень, наслідки дій різних фізичних факторів. Вплив різноманітних чинників зовнішнього середовища, зумисне знищення слідів злочину часто призводять до того, що єдиним джерелом інформації та об'єктом судово-медичних досліджень є кістки скелета людини [1–4].

Окрім того, як вказують ряд дослідників, аналіз механізму виникнення перелому включає вивчення всіх його складових із урахуванням конструкції кістки, її внутрішньої структури та особливостей мікроархітекtonіки [5–7].

Все це зумовлює постійний інтерес до КТ, як до об'єкту судово-медичних досліджень, а сучасні відомості про її будову на мікрорівні дозволяють розширити уявлення про макро- та мікроструктурні особливості кісток, підвищити об'єктивність та обґрунтованість експертних висновків.

Кістка є живою тканиною, в якій постійно відбуваються процеси внутрішньої руйнації та відновлення структурних компонентів. Фізіологічні властивості кісток змінюються залежно від віку, діяльності залоз внутрішньої секреції, умов харчування, екологічної ситуації у місці проживання та інших факторів.

Як і більшість біологічних тканин, КТ складається із клітин та міжклітинної речовини. Міжклітинна речовина КТ складається із органічного матриксу – 25% (колагенові волокна та зв'язуюча речовина), неорганічного матриксу – 70% (мінеральні солі) та води (5%) [8–10].

Зв'язуюча (цементуюча) речовина, в основному, складається з кислих мукополісахаридів (хондроїтинсульфат А, Б, кератосульфат). Включає вона також і значну кількість ШИК-позитивних речовин (полісахариди, глікопротеїди, ліпіди, фосфоліпіди, білково-мукополісахаридні комплекси).

У міжклітинній речовині кісткової тканини є невеликі овальні порожнини, розмірами від 4х9 до 22х55 мкм, зв'язані між собою тоненькими канальцями. В них розташовані кісткові клітини. Розрізняють три види клітин КТ: остеобласти, остецити, остеокласти.

Остеобласти – це клітини, які формують кісткову тканину. Вони розташовуються на поверхні кістки, щільно прилягають до сусідніх клітин і приймають активну участь у контролі обміну електrolітів, мінералізації КТ. Остеобласти підрозділяють на активні та, які знаходяться у спокої.

Активні остеобласти – це великі клітини кубічної або циліндричної форми діаметром 20–40 мкм, що покривають 2–8% поверхні кістки. Вони мають короткі мікроворсинки, базифільну цитоплазму та ексцентрично розташоване ядро з великою кількістю РНК. Основна функція активних остеобластів – синтез і секреція компонентів органічного матриксу кістки (колагенових і неколагенових білків), продукція матриксних міхурців, що приймають участь у мінералізації, цитокінів і факторів росту. В активних остеобластах синтетична діяльність може знижуватися і вони переходять у стан спокою, або на певній стадії розвитку стають ізольованими у міжклітинній речовині, втрачають здатність до розмноження і перетворюються в остецити. Період життя остеобластів людини складає до 8 тижнів, протягом яких вони збільшують остеоїд на 0,5–1,5мм за день [8, 10, 11].

Остеобласти у стані спокою – це клітини, що знаходяться на поверхні КТ, формують своєрідний прошарок, який відіграє важливу роль у забезпеченні бар'єру кров-кістка, але у формуванні кістки участі не приймають. Ці клітини мають видовжену або сплюснену форму, велику кількість цитоплазматичних відростків, що формують контакти з відростками інших остеоцитів.

Остеоцити – високодиференційовані клітини КТ, що походять від остеобластів, оточені мінералізованим кістковим матриксом і розташовуються в остеоцитарних лакунах, які заповнені колагеновими фібрилами. Вони менші у розмірах, містять меншу кількість органел синтетичного апарату, для них характерно велике ядерно-цитоплазматичне співвідношення.

У зрілому скелеті людини остеоцити складають 90%. Клітини мають витягнуту форму, розмір біля 15х45мкм, від їх тіл відходять довгі (50–60мкм) цитоплазматичні відростки, товщиною 5–6мкм, що розташовуються в канальцях та утво-

рюють анастомози із сусідніми клітинами. Основна функція остеоцитів – забезпечення обміну води, білків та іонів у КТ [12].

Біосинтетична активність остеобластів та остеоцитів залежать від величини і напрямку вектора навантаження та величини гормональних впливів. У зв'язку з цим КТ – це лабільна структура, яка інтенсивно змінюється протягом життя.

Остеокласти – високоспеціалізовані, міграційні, багатоядерні та поляризовані клітини, що несуть в собі необхідний арсенал лізосомальних ферментів. В результаті секреції їх літичних ензимів утворюються резорбційні бухти, розташовані під клітинами і проявляється головна функція остеокластів – резорбція повністю мінералізованої кістки.

Це клітини куполоподібної форми, розміром 150–180 мкм, містять від 4 до 20 ядер і мають чітку диференціацію на 4 зони: гофрований край, світлу, везикулярну і базальну зони.

Колагенові волокна органічного матриксу міжклітинної речовини КТ складають від 84 до 96% загального вмісту органічних речовин, 2/3 з них складають гліцин, пролін, гідроксипролін. Поліпептидний ланцюг колагена (первинна структура) складається із 1000 амінокислот і має форму спіралі, що закручена вліво, утворюючи таким чином вторинну структуру. Три поліпептидні ланцюги, але закручені вже спіралью вправо – складають третинну структуру у вигляді макромолекули тропоколагена, з молекулярною вагою близько 300 000, довжиною 2800 Å і діаметром 14 Å. Тропоколаген формує фібрили, в яких макромолекули тропоколагена одна відносно іншої зміщені по довжині на 1/4 внаслідок взаємодії функціональних груп поліпептидних ланцюгів. Це створює необхідні умови для кристалізації на них солей [11, 13–15].

Неорганічний матрикс міжклітинної речовини КТ – це, в основному, різні солі кальцію. Так, свіжа кісткова тканина містить 60% $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, 5,9% – CaCO_3 і 1,4% $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$. Кристали неорганічних речовин у кістці утворюють складний мінерал, який відноситься до класу апатитів. Встановлено, що це кристали гідроксиapatита із формулою $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$, які зв'язані певним чином із колагеном, причому довгі осі кристалів орієнтовані паралельно осям фібрил. Наявні вони також і всередині фібрил. Кристали гідроксиapatита мають гексагональну форму із розмірами у поперечнику 4,5x4,5 нм і довжиною 100 нм. На поверхні кристалів гідроксиapatиту адсорбовані у великій кількості іони, що приймають активну участь в обміні з іонами оточуючого середовища. Недостатність ряду мікроелементів (алюміній, кобальт, свинець, мідь, ванадій, стронцій, марганець) порушує процес дозрівання колагена та його просторову агрегацію, а також спотворює диференціювання остеобластів [16, 17].

Таким чином, з позиції біомеханіки кістка виглядає як природний композитний матеріал, де мінеральна частина забезпечує твердість та міцність, а органічна – пружність та в'язкість кісткової тканини.

Кістками, що сприймають основне опорне навантаження тіла людини є довгі трубчасті кістки нижніх кінцівок. У довгих трубчастих кістках розрізняють два види кісткової тканини: грубоволокнисту, яка у свою чергу поділяється на компактну та губчасту і пластинчасту. Основним елементом, що сприймає навантаження є саме компактна речовина КТ, утворена кістковими пластинками, які щільно укладені у певному порядку і з'єднані мукоїдними речовинами. Кісткові пластинки (ламели) формують 4-й структурний рівень організації кісткової тканини та складаються із колагенових волокон із різною орієнтацією розташування, причому у кожній ламелі можна розрізнити один напрямок армування, що переважає. У сусідніх ламелах ці напрямки можуть бути взаємно ортогональними чи кут між ними може постійно змінюватися. Окрім орієнтації армування в сусідніх ламелах може бути різним і вміст колагену: в одних ламелах більше колагену, в інших – неорганічних солей і зв'язуючої речовини.

П'ятим рівнем організації кісткової тканини є остеони, що являють собою кісткову трубку від 20 до 300 мкм, у центральному каналі якої лежить живильна судина та локалізовані остеобласти й остеокласти; навколо центрального каналу концентрично розміщуються кісткові пластинки [13–15].

Губчаста КТ складається із кісткових пластинок, які утворюють розміщені під кутом одна до одної трабекули з формуванням характерної специфічної просторово-організованої пористої конструкції. При цьому ламели у балках кісткової речовини розташовуються таким чином, що максимальні навантаження проектується паралельно поверхні пластинки. Трабекули відходять від поверхні компактною кістки під кутом 26–45°. Вони зорієнтовані у такому порядку, щоб максимально рівномірно розсіювати навантаження на можливо більшу площу. Губчаста КТ виповнює метаепіфізарні частини трубчастих кісток. У порожнинах, що утворюють трабекули, міститься червоний кістковий мозок. Розміри трабекул коливаються у межах 0,025–0,07 мм, а діаметр проміжних просторів – 0,1–1,0 мм.

Середня відносна густина трабекулярної кістки – 1,08, кортикальної – 1,85. Відношення повного об'єму губчастої кістки до кортикальної складає 1:4, а маса трабекулярної тканини – 10% загальної маси кістки.

Кістки виключно раціонально відповідають відповідним структурним потребам. При мінімальній вазі, як порожнисті трубки, вони забезпечують високу стійкість проти осьових сил стиснен-

ня. Максимальна межа міцності кістки на розрив наближується до заліза, а їх здатність до поглинання і вивільнення енергії вдвічі більша, ніж у деревини з дуба. При цьому вага кістки відповідає 1/3 ваги сталі [18, 19].

Запас механічної міцності кісток досить значний. Механічні властивості визначаються вмістом мінеральних речовин і води у КТ, співвідношенням компактною та губчастою речовин, орієнтацією колагенових волокон і рядом багатьох інших чинників [20–22].

Слід відмітити, що існують індивідуальні коливання параметрів міцності КТ, які залежать від віку, фізіологічного стану організму, конституції, видів трудової діяльності, захворювань, умов харчування та проживання [23, 24]. Все це необхідно враховувати при дослідженні стану кісткової тканини та її травматичних ушкоджень у судово-медичній практиці.

Висновки

1. Кісткова тканина є одним із важливих об'єктів судово-медичних досліджень, а сучасні уявлення про її структурну організацію на мікро- та субмікроскопічному рівнях значно доповняють об'єм знань практичних експертів.

2. При розв'язанні експертних завдань необхідно враховувати вид кісткової тканини, закономірності її структурної організації, біомеханічні та функціональні особливості кісток, індивідуальні властивості організму, що досліджується.

Література. 1. Капустин А. В. Актуальные вопросы идентификации тупых предметов по причиненным ими повреждениям / А. В. Капустин, В. А. Клевно // Судебно-медицинская экспертиза. – 2006. – Т. 49, № 3. – С. 13–17. 2. Кононов Р. В. Судебно-медицинская идентификация орудия при травме тупыми твердыми предметами / Р. В. Кононов, В. А. Клевно // Перспективы развития и совершенствования судебно-медицинской науки и практики : Мат. VI всеросс. съезда суд. медиков (посвящ. 30-летию всеросс. общества суд. медиков). – Москва-Тюмень, 2005. – С. 160. 3. К вопросу о повреждениях тупыми предметами / [Е. Д. Кузьменко, В. И. Матвеев, Т. В. Петренко и др.] // Актуальні питання та перспективи розвитку судової медицини та криміналістики : Мат. міжнар. наук.-практ. конф.: (Харків, 14-16 вересня 2005р.). – Х. : Гриф, 2005. – С. 118-119. 4. Голубович П. Л. Судово-медичний аспект дослідження губчастої речовини кісток / П. Л. Голубович // Український суд. мед. вісник. – 2000. – № 1(9). – С. 22-24. 5. Пиголкин Ю. И. Судебно-медицинская оценка переломов костей / Ю. И. Пиголкин, М. Н. Нагорнов // Судебно-медицинская экспертиза. – 2005. – Т. 48, № 6. – С. 39–42. 6. Янковский В. Э. Судебно-медицинская оценка переломов диафизов костей в детском возрасте / В. Э. Янковский, М. П. Филиппов // Судебно-медицинская экспертиза. – 2007. – Т. 50, № 5. – С. 14–17. 7. Бабенко В. П. Параметры малолоберцовой кости в судебно-медицинском отношении / В. П. Бабенко, Ю. В. Зазулин // Перспективы развития и совершенствования судебно-медицинской науки и практики : Мат. VI всеросс. съезда суд. медиков (посвящ. 30-летию всеросс. общества суд. медиков). – Москва-Тюмень, 2005. – С. 38–39. 8. *Руководство по гистологии* / [Ахмаев И. Г., Афанасьев Ю. И., Бобова Л. П. и др.] : под ред. Р. К. Данилова и В. Л. Быкова. – [Т. 1]. – СПб. : Спецлит, 2001. – С. 302-336. 9. *Гистоморфометрия та клітинний склад регенерату великогомілкових кісток шурів* / [В. З. Сікора, В. І. Бумейстер, М. В. Погорелов, Г. Ф. Ткач] // Вісник морфології. – 2007. – Т. 13, № 2. – С. 275–278. 10. Пикалюк В. С. Современные представления о биологии и функции костной ткани / В. С. Пикалюк, С. О. Мостовой // Таврический медико-биологический вестник. – 2006. – Т. 9, № 3 (Ч.

1). – С. 186–194. 11. Уровни организации минерального матрикса костной ткани и механизмы, определяющие параметры их формирования (аналитический обзор) / [А. С. Аврунин, Р. М. Тихилов, А. Б. Аболин, И. Г. Щербак] // Морфология. – 2005. – Т. 127, № 2. – С. 78–82. 12. Аврунин А. С. Гипотеза о роли клеточного остеогенеза переломов / В. Н. Крюков. – М. : Фолиум, 1995. – 232 с. 13. Крюков В. Н. Основы механо- и морфогенеза переломов / В. Н. Крюков. – М. : Фолиум, 1995. – 232 с. 14. *Наноразмерный механизм жесткости и прочности кости* / [А. С. Аврунин, Р. М. Тихилов, Л. К. Паршин и др.] // Травматология и ортопедия России. – 2008. – № 2. – С. 77–83. 15. *Ультроструктурная организация минерального компонента пластинчатой костной ткани у людей зрелого и старческого возраста* / [Ю. И. Денисов-Никольский, Б. А. Жилкин, А. А. Докторов, И. В. Матвейчук] // Морфология. – 2002. – Т. 122, № 5. – С. 79–83. 16. Бурчинська М. К. Метаболізм кости и возраст / М. К. Бурчинська // Журнал практичного лікаря. – 2005. – № 6. – С. 53–55. 17. Накоскин А. Н. Изменение состава костной ткани у людей пожилого возраста / Накоскин А. Н. // Клиническая рентгенология. – 2007. – Т. 13, № 2. – С. 24–26. 18. Колодченко В. П. Кісткова система людини та вік / В. П. Колодченко // Вісник ортопедії, травматології та протезування. – 2004. – № 3. – С. 53–58. 19. Сміян С. І. Проблема змін мінеральної щільності кісткової тканини у чоловіків з позиції статевого диморфізму. II. Клінічні аспекти / С. І. Сміян, О. М. Масик // Укр. ревматол. журнал. – 2001. – № 2(4). – С. 31–35. 20. Якименко О. О. Зміни щільності кісткової тканини у чоловіків залежно від віку / О. Якименко, В. Дець, Г. Грабовська // Одеський мед. журнал. – 2002. – № 1(69). – С. 100–102. 21. Генік І. Д. Особливості вікової динаміки мінерального складу кісткової тканини в осіб зрілого віку Прикарпатського регіону / І. Д. Генік, З. С. Масна, О. О. Адамович // Укр. морф. альманах. – 2008. – Т. 6, № 2. – С. 86–87. 22. Сафонова Ю. С. Методи визначення щільності кісткової тканини для оцінки її структурно-функціонального стану / Ю. С. Сафонова // Практична медицина. – 2008. – Т. 14, № 6. – С. 75–79. 23. Золотова-Гайдамака Н. В. Структурні перебудови в кістковій тканині й остеocyтах в умовах зниження опорного навантаження / Н. В. Золотова-Гайдамака // Ортопедія, травматологія і протезування. – 2008. – № 3. – С. 77–78. 24. Золотова-Гайдамака Н. В. Деякі особливості змін в кістковій тканині і остеocyтах в умовах зниження опорного навантаження / Н. В. Золотова-Гайдамака // Укр. морф. альманах. – 2008. – Т. 6, № 2. – С. 107–109.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О СТРУКТУРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ КОСТНОЙ ТКАНИ И ИХ ПРИКЛАДНОЕ ЗНАЧЕНИЕ В СУДЕБНОЙ МЕДИЦИНЕ

И. Г. Савка

Резюме. На основании анализа данных научной литературы раскрыты современные уровни организации костной ткани, а также индивидуальные механические и функциональные свойства костей скелета человека во время решения судебно-медицинских экспертных задач.

Ключевые слова: минеральное вещество, органическое вещество, костная ткань.

MODERN NOTIONS OF THE STRUCTURAL ORGANIZATION OF THE OSSEOUS TISSUE AND THEIR APPLIED SIGNIFICANCE IN FORENSIC MEDICINE

I. H. Savka

Abstract. On the basis of an analysis of the findings of scientific literature modern levels of the organization of the osseous tissue and individual mechanical and functional properties of the human skeletal bones, when solving forensic-medical expert tasks, have been disclosed.

Key words: mineral substance, organic substance, osseous tissue.

Bukovinian State Medical University (Chernivtsi)
Clin. and experim. pathol. - 2010. - Vol.9, №1 (31). - P.101-103.

Надійшла до редакції 25.02.2010
Рецензент – доц. Л. Я. Федонюк
© I. Г. Савка, 2010