

ПРИЛАДИ І СИСТЕМИ БІОМЕДИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

УДК 621:54.08

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК БІОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ МЕТОДАМИ АТОМНО-СИЛОВОЇ ТА РАСТРОВОЇ ЕЛЕКТРОННОЇ МІКРОСКОПІЇ

¹⁾Антонюк В. С., ¹⁾Фіалковський П. О., ²⁾Бондаренко М. О., ¹⁾Філіппова М. В.

¹⁾Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна; ²⁾Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси, Україна

Розглянуто застосування методу атомно-силової та растрової електронної мікроскопії для дослідження біологічних об'єктів. Проведено дослідження морфології та пружних властивостей біологічних об'єктів.

Досліджено механічні і трибологічні властивості суглобових, м'язових тканин і суглобового хряща, його структура на різних рівнях організації тканини.

Здійснено порівняння результатів дослідження характеристик біологічних об'єктів методами атомно-силової та растрової електронної мікроскопії, в результаті яких відзначено переваги методу атомно-силової мікроскопії

Ключові слова: атомно-силова мікроскопія, біологічний об'єкт, морфологія, пружні властивості тканин.

Вступ. Постановка задачі

Процес пізнання будови і властивостей біологічних об'єктів та структур нерозривно пов'язаний з можливістю візуалізації параметрів, які їх описують, з максимально можливою їх просторовою і часовою роздільною здатністю. Серед методів, які активно використовуються при дослідженні будови і властивостей таких структур на нанометричному рівні, слід відзначити методи електронної та зондової мікроскопії [1].

Електронна мікроскопія найпоширеніший серед відомих методів дослідження поверхонь об'єктів, у тому числі й біологічних, завдяки можливості отримувати інформацію про будову і склад поверхні в режимі реального часу, а також можливості реалізації експериментів безпосередньо в процесі дослідження тощо.

Проте цей метод має й окремі обмеження в дослідженні та діагностиці поверхні, наприклад: неможливість дослідження високопружних і рідких біологічних об'єктів і систем; неможливість дослідження великих зразків; неможливість досягнення атомарної роздільної здатності в критичних для поверхні умовах, коли енергія пучка електронів досягає величини 300 кеВ.

На сучасному етапі розвитку з'явилася технічна можливість збільшити роздільну здатність вимірювальних і виконуючих інструментів для застосування їх в субмікронній і нанометровій областях розмірів, що й створило передумови розвитку вимірювальної нанотехніки та її інструментарію. До методів, які дозволяють здійснити таку можливість, відносяться методи скануючої зондової мікроскопії. Особливої популярності серед методів скануючої зондової мікро-

скопії набув метод атомно-силової мікроскопії (АСМ).

Таким чином, дослідження можливостей методу АСМ, а також вивчення впливу зовнішніх чинників на точність вимірювання характеристик поверхні біологічних об'єктів методом АСМ є питанням актуальним і поки що мало вивченим.

Метою роботи є дослідження характеристик біологічних об'єктів методами атомно-силової та растрової електронної мікроскопії та надання рекомендацій щодо підвищення точності та повторюваності процесу дослідження.

Порядок проведення дослідження

Дослідження об'єктів здійснювалось із застосуванням наступних приладів і матеріалів: атомно-силовий мікроскоп “NT-206” (“Микротестмашины”, м.Гомель, Республіка Білорусь), растровий електронний мікроскоп (РЕМ) «РЕМ-100», пінцет, ексикатор, шафа пилозахисна ШЗА, спирт етиловий, бязь технічна. Для візуалізації об'єкта дослідження при збільшенні до 100 разів використано оптичну камеру “Logitech”, поле огляду якої становить $1 \times 0,75 \text{ мм}^2$.

Чутливим елементом АСМ є кантилевер, відхилення якого при контакті з поверхнею детектується за допомогою лазерного променя. Позиціонування вимірюваної поверхні під кантилевером здійснюється з допомогою високоточних крокових двигунів (у площині X-Y із кроком 2,5 мкм, вздовж осі Z із кроком 200 нм).

Профіль досліджуваної поверхні визначається шляхом сканування кантилевера у площині X-Y на ділянці розміром $13 \times 13 \text{ мкм}$ з допомогою п'єзокерамічного сканера з кроком до 1 нм. Переміщення кантилевера у вертикальній вісі здійснюється п'єзотрубкою з кроком 0,02 нм у діапазоні 3 мкм. Одержання зображення мікрорельєфу біологічної поверхні проводилось із застосування динамічного (безконтактного) режиму роботи АСМ.

У динамічному режимі на кантилевер накладаються коливання у вертикальній осі з частотою від 10 Гц до 400 кГц. Головними перевагами даного режиму є значно підвищена чутливість вимірювальної системи (теоретично можливо досягти атомарної точності) та забезпечення механічної цілісності зонду та зразка [4].

Обговорення результатів експерименту

В результаті проведених експериментів отримані зображення поверхонь радіальних зрізів і зображення цілісного суглоба методами АСМ та РЕМ. На цих поверхнях можна спостерігати тісно прилеглі один до одного виразні пучки колагенових волокон, орієнтовані паралельно поверхні суглоба. Розташування пучків цих волокон формують рельєф поверхні суглобового волокна, який має регулярну хвилястість, періодичні борозенки й виступи (рис. 1).

Для порівняння: АСМ – зображення виконані в мікро- (рис.1, а) і наномасштабі (рис.1, б). Як видно вище, АСМ - результати на мікромасштабі по суті повторюють РЕМ-результати.

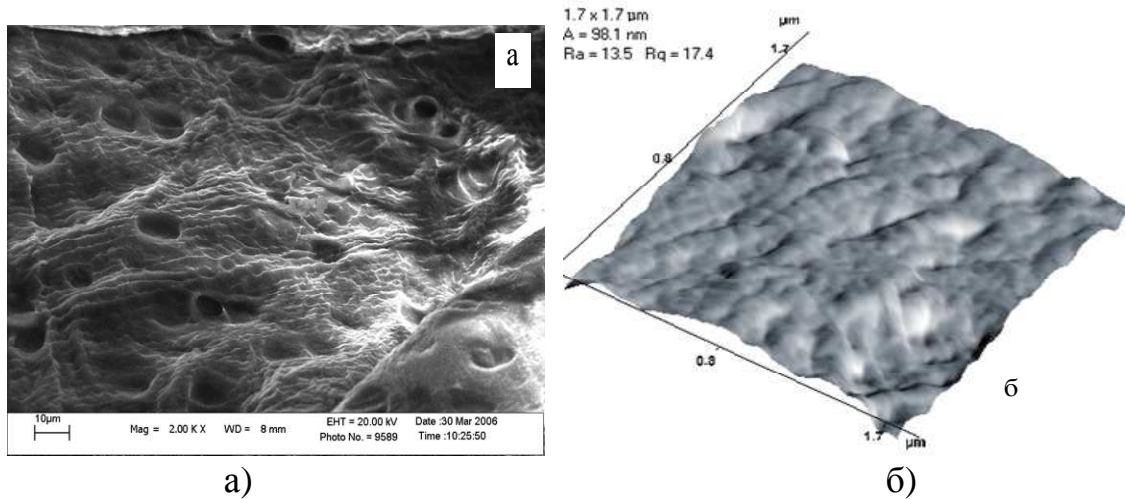


Рис. 1. Поверхня радіального зрізу волокна, отримана методом РЕМ (РЕМ-100) (а) та АСМ (NT-206) (б)

Отримані залежності модуля Юнга від глибини проникнення індентора для різних зрізів хряща і за допомогою різних інденторів. Як видно з рис.2, хід залежності модулів Юнга від глибини проникнення індентора для радіального зрізу суглобового волокна і хрящового волокна співпадають в межах похибки.

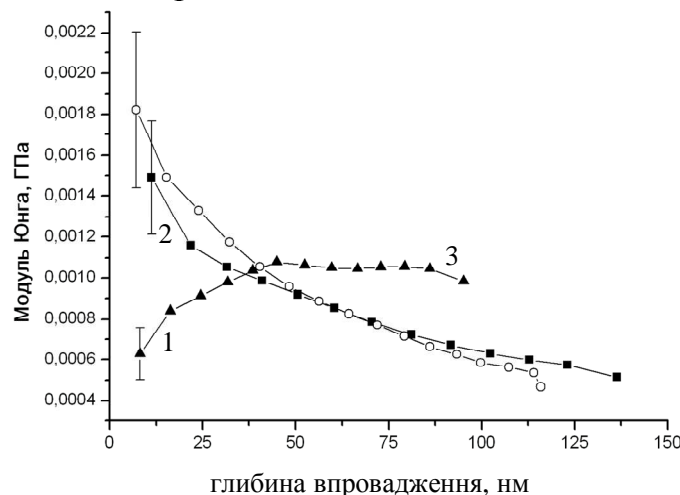


Рис. 2. Залежності модуля Юнга від глибини проникнення вістря АСМ зонда: апроксимовані дані для суглобового волокна (1), хряща (2) і м'язового волокна (3), ▲, ■ - експериментальні точки.

Модуль Юнга залежить від напрямку волокон, оскільки тангенціальне розташування волокон забезпечує рівномірний розподіл зовнішнього тиску по поверхні та велику податливість при їх деформації на вигин.

Також важливо розрахувати модуль Юнга поверхні суглобової тканини, отримані гострою голкою, коли вістря АСМ-зонда дає можливість оцінити модуль Юнга окремих її компонентів.

Як видно з рис.2, модуль Юнга при індентуванні голкою на АСМ вище, ніж модуль Юнга при індентуванні кулькою механічним ідентуванням. Можливо, в цьому випадку вістря АСМ локалізоване на окремому волокні. Проте немає

єдиної думки щодо цього, наприклад в роботі [2] отримані такі результати для модуля Юнга: на мікрорівні модуль Юнга на два порядки більший ($E = 2,6 \pm 0,05$ МПа), ніж на нанорівні ($E = 0,027 \pm 0,003$ МПа). Значення модуля Юнга, отримане кулькою, майже постійно, тоді як значення модуля Юнга, оцінене на нанорівні, значно зменшується з глибиною проникнення.

Це може бути пов'язано з двома причинами: на мікрорівні тиск перерозподіляється більш рівномірно, а також воно сприймається всією системою волокон, яка перешкоджає стрибкоподібній зміні навантаження; на нанорівні істотнішими виявляються процеси реологій, пов'язані з в'язкопружною поведінкою волокна, для яких важливий час навантаження індентора.

Можна прийняти, що тільки при сумісному розгляді ролі всіх компонентів структури волокна можна пояснити унікальну його поведінку по відношенню до зовнішнього навантаження.

Під час досліджень також були оцінені трибологічні властивості природного цілісного хряща, які проводилися на макрорівні [3].

Поява екстремумів і швидке зменшення сили тертя в процесі подальшого навантаження свідчить, ймовірно, про витискування води з об'єму хряща, що і приводить до зменшення сили тертя. Проте при подальшому ході експерименту зразок висихав, і колагенові волокна в області тертя втрачали свою еластичність і руйнувалися, внаслідок цього потрібний вже менший тиск, щоб відбулося витискування інтерстиціальної води і починався процес зниження сили тертя. Відповідно при більшому руйнуванні приповерхневого шару максимум спостерігатиметься при менших навантаженнях.

Висновки

Отже, на основі проведених досліджень, зроблено наступні висновки.

1. За допомогою розробленої методики було проведено дослідження морфології та пружних властивостей біологічних об'єктів (на прикладі елемента суглоба) методом атомно-силової мікроскопії.
2. Досліджені механічні і трибологічні властивості суглобових, м'язових тканин і суглобового хряща, його структура на різних рівнях організації тканини. Відмічено, що для хрящової тканини механічні властивості значно відрізняються від решти видів суглобових тканин залежно від масштабу дослідження.
3. Встановлено, що трибологічні властивості хряща істотно залежать від наявності рідини в поверхневих шарах.
4. Здійснено порівняння результатів дослідження характеристик біологічних об'єктів методами АСМ та РЕМ, в результаті яких відзначено переваги методу АСМ.

Подальшими перспективами розвитку методу АСМ в даному напрямку на наш погляд, є:

- розробка нових методик дослідження біологічних об'єктів та їх властивостей (хімічної активності поверхні, пошарової топографії зразка, пористості мембранних структур тощо);

- удосконалення допоміжного устаткування атомно-силової мікроскопії в плані збільшення робочих діапазонів сканування, що визначають роздільну здатність приладу, точність і повторюваність процесу сканування.

Література

1. Дубровская Г. Н. Примеры применения физических методов исследования структуры поверхности / Г. Н. Дубровская, Н. И. Божко, М. А. Бондаренко, Г. В. Канашевич и др.; под ред. проф. Г. Н. Дубровской, Черкасы: ЧДТУ, 2007. – 248 с.
2. Stolz M. Dynamic elastic modulus of porcine articular cartilage determined at two different levels of tissue organization by indentation-type Atomic Force Microscopy / M. Stolz, R. Raiteri, A. U. Daniels, M.R. VanLandingham, etc. // Bioph. J. 2004. Vol. 86. Pp. 3269–3289.
3. Burnham N. A. Measuring the nanomechanical properties and surface forces of materials using an atomic force microscope / N. A. Burnham, R. J. Colton // J. Vac. Sci. Technol. A.7, 4 (1989), 2906 – 2913.
4. Билоконь С. А. Повышение точности и срока эксплуатации зондов для атомно-силовой микроскопии / С. А. Билоконь, О. В. Свиридова, В. С. Антонюк, М. А. Бондаренко и др. // Наноинженерия. – М.: Машиностроение, 2013. – № 1. – С. 10 – 13.

Надійшла до редакції
04 березня 2014 року

© Антонюк В. С., Фіалковський П. О., Бондаренко М. О., Філіппова М. В., 2014

УДК 621.384.3

МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ПРОСТОРОВОЇ РОЗДІЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ МЕДИЧНОГО ТЕПЛОВІЗОРА

¹⁾ Аль-Мзіраві Ахмед Малік Лазім, ²⁾ Колобродов М. С., ²⁾ Пінчук Б. Ю.
¹⁾ Басра Університет, м. Басра, Ірак; ²⁾ Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

Стаття присвячена вирішенню проблеми узгодження аберацій об'єктива і геометричних параметрів матричного приймача випромінювання (МПВ). На базі профілакторію НТУУ «КПІ» проведено оцінку впливу радіуса кружка розсіювання об'єктива і періоду матриці приймача випромінювання на якість тепловізійного зображення, розглядаючи узгодження модуляційної передавальної функції (МПФ) об'єктива і матричного приймача випромінювання.

Було розглянуто два критерії узгодження МПФ об'єктива і МПВ для медичного тепловізора. Для порівняння якості тепловізійного зображення було запропоновано використовувати ефективну просторову смугу пропускання тепловізора. Відповідно до критерію узгодження, було виявлено, що ефективним є використання в тепловізорі об'єктива, що дифракційно обмежений замість абераційного об'єктива. А також показано, що суттєвим є використання в тепловізорі мікроболометричної матриці з меншим періодом пікселів.

Ключові слова: медичний тепловізор, критерії узгодження, просторова смуга пропускання, МПФ.

Вступ

Сучасні тепловізори в якості приймача випромінювання використовують мікроболометричні матриці, які працюють без систем охолодження [1, 2]. Такі