

УДК 611.781:616.594.1

## **ЕЛЕКТРОННО-МІКРОСКОПІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ УЛЬТРАСТРУКТУРИ ЛЮДСЬКОГО ВОЛОСА В НОРМІ ТА ПРИ ПАТОЛОГІЇ**

**В. Гавриляк**

*Інститут біології тварин УААН  
вул. В. Стуса, 38, Львів 79034, Україна  
e-mail: havvita@ukr.net*

Досліджували поверхню та поперечні зрізи людського волосся за допомогою скануючої (SEM) і трансмісійної електронної мікроскопії (ТЕМ). Ідентифікували такі клітинні структури волоса, як його кортекс і кутикулу, а також такі тонкі субламелярні компоненти останньої, як А-шар, екзо-, ендокутікула та клітинно-мембранні комплекси (КМК). Установлено деструктивні зміни поверхні волоса за певних патологій і, зокрема, за його посиленого випадання.

*Ключові слова:* волос, ультраструктура, кутикула, кортекс, патологія.

Волос у широкому розумінні цього слова віддавна привертає увагу дослідників, об'єднаних інтересами розвитку тих напрямів, у яких вони конкретно працюють.

Біохіміків, зокрема, цікавить структура й окремі стадії синтезу одного з найбільш хімічно стійких внутрішньоклітинних білків — кератину, що набуває характерної кристалоподібної організації. Медичні та ветеринарні працівники, досліджуючи волос, мають змогу діагностувати різні захворювання. Недарма дослідження складу і динаміки «метаболізму волоса» нині перетворилося на особливу галузь лабораторної діагностики [5, 7].

У контексті викладеного вище необхідно відзначити, що особливо вагомим успіхом у вивченні структури волоса досягнуто за останні десятиріччя минулого століття завдяки застосуванню електронної мікроскопії [6, 10, 11]. Саме електронно-мікроскопічні дослідження є тим потужним засобом вивчення особливостей волоса та його структурних компонентів на мікро/нанорівні, що не лише збагачує наші уявлення про це нанокондитне волокно, але й несе важливу інформацію, необхідну для діагностики його різноманітних захворювань і пошкоджень.

У даній роботі представлено результати дослідження ультраструктури людського волоса в нормі та при деяких патологіях, які характеризуються посиленням його випаданням.

### **Матеріали та методи**

Об'єктом досліджень були зразки волосся, отримані на умовах анонімності від 10 жінок 35–40 річного віку, – пацієток обласного комунального шкірно-венеричного диспансеру. Усі вони скаржилися на посилене випадання чи дифузне порідіння волосся. Як контроль використовували волосся умовно здорових жінок (10 осіб).

Поверхню волосся досліджували за допомогою скануючого електронного мікроскопа JEOL JSM-T 220A, а поперечні зрізи – за допомогою трансмісійного електронного мікроскопа ПЕМ-100.

Зразки відібраного волосся промивали у нейтральному мийному розчині, ретельно споліскували, висушували і потім знежирювали у суміші спирт-ефіру. Для роботи відбирали пучки по 10-20 штук паралельно розміщених волосин довжиною 8–10 мм.

Для отримання зображень зразки фіксували за допомогою осмієвого фіксатора (1,5%-ний розчин чотириокису осмію в 0,2 н какодилатному буфері (рН 7,2) протягом 24 год за кімнатної температури, потім промивали та зневоднювали за загальноприйнятою схемою [2].

Для забезпечення стікання заряду для скануючої мікроскопії зразок напиляли міддю за допомогою установки ВУП-5.

Для отримання зображень в електронному трансмісійному мікроскопі зневоднені препарати заливали в епоксидну смолу EPON 812 і MNA. **Перед заливанням зразок просочували заливним середовищем, розведеним оксидом пропілену у співвідношенні 1:1, а потім – у чистому заливному середовищі протягом 12 год за кімнатної температури.**

Полімеризацію блоків проводили в термостаті при 60°C протягом 48 год. Із отриманих блоків готували зрізи на ультратомі УМТП 6М за допомогою алмазного ножа фірми «Diatome» (Швейцарія). **Ультратонкі зрізи контрастували цитратом свинцю й ураніл-ацетатом і використовували для перегляду та фотографування.** У роботі використовували оксид осмію фірми «Sigma», а решту реактивів – фірми «Fluka».

Фотографії в електронному трансмісійному мікроскопі отримували за допомогою цифрової фотокамери «Sony H 9» при збільшенні 8000–10 000.

#### Результати і їхнє обговорення

Результати досліджень поверхні людського волоса, отримані за допомогою SEM, представлені на рис. 1. Як видно з цього рисунка, кутикулярний або поверхневий шар побудований із рогових лусочок, розташованих черепицеподібно у напрямку від кореня до кінчика волоса. Уздовж лусок від основи до вершини спостерігаються борізки, що вказують на орієнтацію структурних елементів лусок уздовж осі волокна. Така поверхня, утворена за допомогою виступаючих країв клітин, забезпечує краще зчеплення їх між собою і таким чином захищає основну частину волоса, тобто його кортекс, від негативних впливів фізичних та хімічних чинників. Оптичний край волоса є зазубрений, а самі зубці переважно повернуті до верхівки волоса. За характером зазубреності вільних країв клітин, щільності розташування та наближеності їх один до одного розрізняють простий і складний малюнки кутикули. Особливості малюнка кутикули дають змогу визначити видову приналежність, що, природно, має застосування у судовій і ветеринарній експертизі [1].

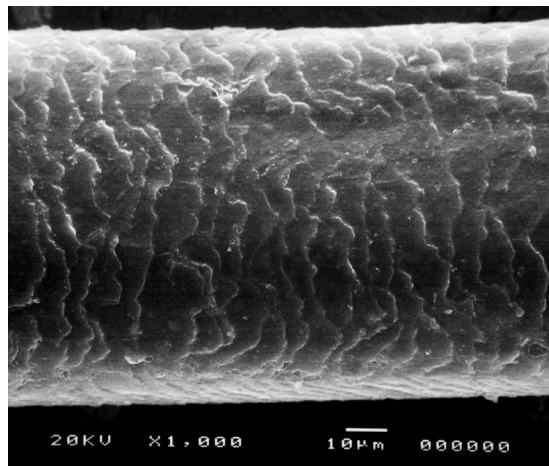


Рис. 1 Зображення зовнішньої поверхні людського волоса, отримане за допомогою SEM.

Пошкодження волоса, незалежно від природи чинників, які його викликали, насамперед проявляється в деструктивних змінах поверхні самого стрижня волоса, а іноді й кортексу. Як показали наші дослідження (рис. 2–3), клітини кутикули пошкодженого волоса при цьому відповідним чином загинаються і нерівномірно надриваються, що, очевидно, є результатом передусім механічної дії тертя волокон. Воно може призвести до оголення ділянок волоса, який у результаті залишається без цілісної кутикули.

На підставі одержаних нами даних важко говорити про механізм виникнення деструктивних явищ на поверхні хворого волосся. Можливо, у пацієнтів із таким волоссям цей механізм полягає в порушенні тканинного метаболізму сально-волосяного апарату, на що вказують деякі автори [3].

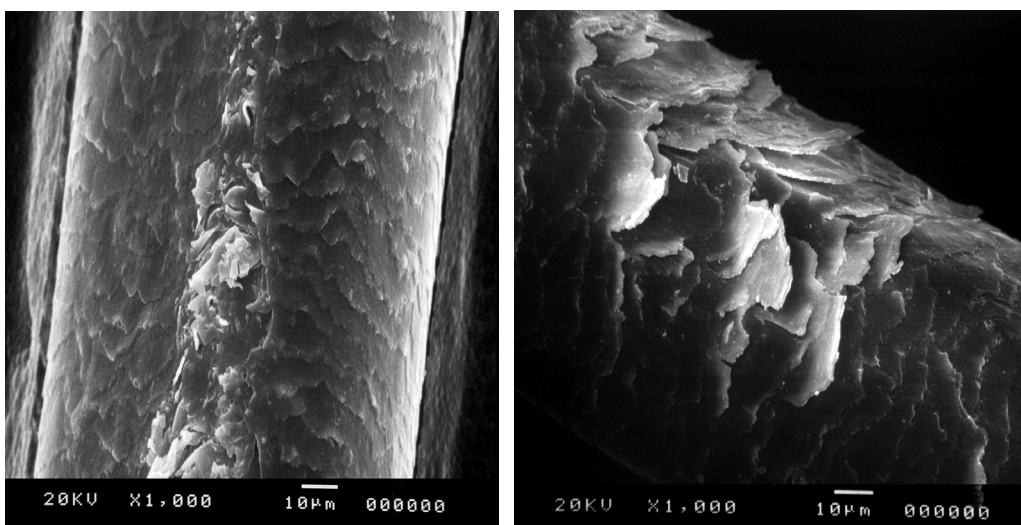


Рис. 2–3. Дефекти кутикули.

Сучасні електронно-мікроскопічні дослідження свідчать про складну структуру кутикулярного шару. Як видно із рис. 4–5, кутикула людського волоса складається не з одного, а з декількох, як правило, 6–8 шарів сплюснених клітин товщиною приблизно 4 мкм, які, у свою чергу, складаються із різних субламелярних шарів – епікутикули, А-шару, екзо- і ендоктикули та клітинно-мембранного комплексу (КМК).

Епікутикула, або зовнішній шар кутикули – тонкий гідрофобний шар, який за наявними даними містить 18-метилейкозенову кислоту, зв'язану із протеоліпідною мембраною, яка також багата на цистин (приблизно 12%) [8].

Під епікутикулою розташований А-шар і екзокутикула, які, подібно до кортексу, відзначаються високим вмістом цистину та гідрофобним характером [8]. Ці шари забезпечують механічну міцність і хімічну стійкість волоса. Ендоктикула складається із некератинового матеріалу, який у більшості випадків розчинний у воді. Існує думка, що ці мембраноподібні елементи з нечіткою структурою є залишками цитоплазматичних структур [4]. Лінія з'єднання цих шарів має неправильну форму. Усі структурні компоненти кутикули розділені між собою за допомогою КМК. Останні, як і ендоктикула, – це головні шляхи дифузії різних речовин усередину волоса [9].

Варто зауважити, що КМК містить мало білка і складається головним чином із ліпідів і полісахаридів. Основна функція КМК – забезпечення міжклітинних контактів між

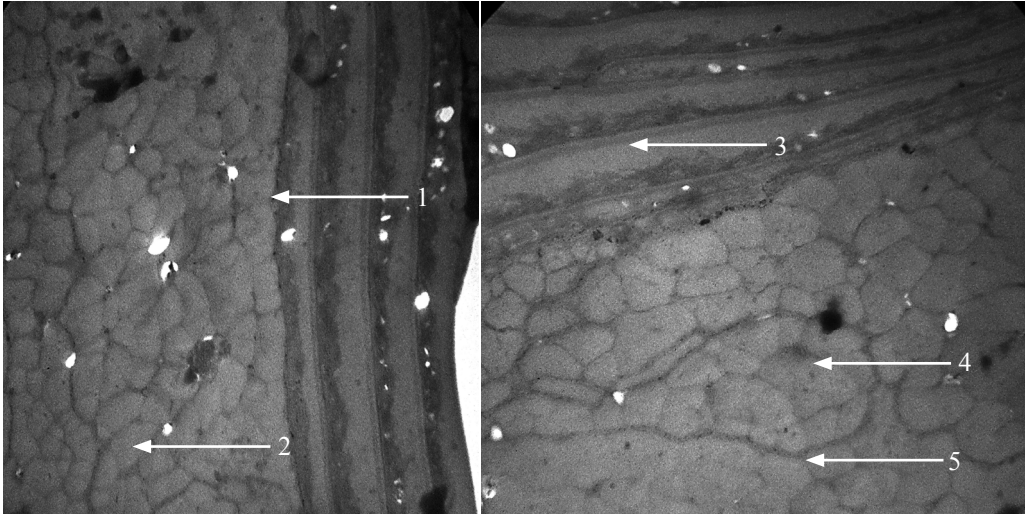


Рис. 4–5. Поперечні зрізи людського волоса (1—кутикула, 2—кортекс, 3—КМК, 4—паракортикальна клітина, 5—мембрана, X 8000 ).

такими структурними елементами волоса, як кутикула/кутикула, кутикула/кортекс, а за наявності у волоссі серцевини – кортекс/серцевина [11].

На рис. 4–5 зображені фрагменти поперечних зрізів людського волоса, на яких чітко виділяються дві морфологічно відмінні ділянки – кутикула і кортекс.

Кіркова речовина або кортекс займає основну частину волоса і є його найважливішою частиною, що зумовлює фізико-механічні та хімічні властивості. Клітини кортексу розміщені щільно й орієнтовані вздовж осі волоса. Дослідження поперечних зрізів волоса показують, що практично всі ці клітини мають на зрізі більш-менш округлу форму. Ті клітини, які безпосередньо прилягають до кутикули, переважно більше сплюснені у тому ж напрямку, що й сама кутикула. Як відомо [4], діаметр веретеноподібних клітин становить приблизно 6,5 мкм, а довжина сягає 100 мкм. У повністю зроговілих клітинах кортексу можна спостерігати лише залишки ядер. Ні хроматину, ні навіть мономерних елементів ДНК у них не виявлено [4].

Кожна кортикальна клітина містить тонкі волокна – мікрофібрили, діаметром приблизно 0,1–0,4 мкм, які формують більші агрегати – макрофібрили, що занурені в осміофільне середовище – матрикс, який міститься між кортикальними клітинами і виконує роль своєрідного міжклітинного цементу.

У людини кіркова речовина, як правило, складається із паракортикальних клітин (рис. 6), хоча існують дані

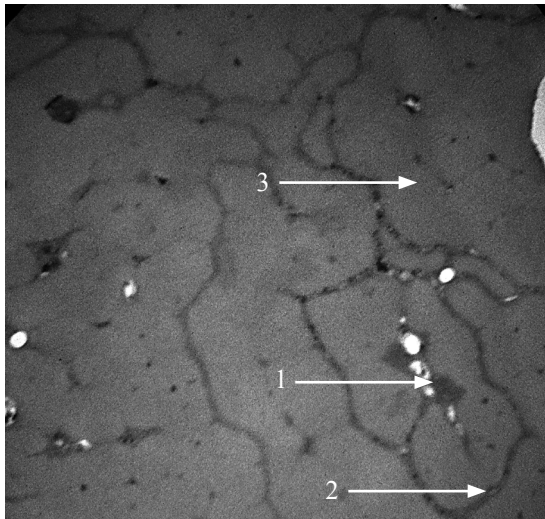


Рис. 6. Паракортикальні клітини кортексу людського волоса (1—залишки ядра, 2—міжклітинний цемент, 3—макрофібрила, X 10 000).

[8], що кортекс монголоїдного (прямого) та європеїдного волосся складається лише із паракортикальних клітин, а негроїдного (кучерявого) відзначається, як і вовна овець, білатеральною структурою, тобто складається із орто- і паракортикальних клітин.

Отже, електронно-мікроскопічні дослідження свідчать про те, що людський волос характеризується складною будовою і становить комплекс різних клітинних структур, які визначають його властивості.

Також показано деструктивні зміни поверхні волоса при його посиленому випаданні.

*Автор статті висловлює вдячність О.Р. Кулачківському за допомогу при проведенні електронно-мікроскопічних досліджень.*

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Коцюмбас Г. І., Коцюмбас І. Я., Щербетовська О. М. та ін. Морфологічні особливості шкіри та волоса різних видів тварин і людини в аспекті судово-ветеринарної експертизи. Львів: ТЗОВ ВФ «Афіша», 2010. 136 с.
2. Салига Ю. Т., Снітинський В. В. Електронна мікроскопія біологічних об'єктів. Львів: Світ, 1999. 152 с.
3. Самцов А. В., Божченко А. А. Андрогенетическая алопеция: некоторые аспекты нарушений тканевого метаболизма сально-волосного аппарата и современные подходы к их коррекции // Клиническая дерматология и венерология. 2007. № 4. С. 4–8.
4. Рук А., Даубер Р. Болезни волос и волосистой части головы. М.: Мир, 1985. 340 с.
5. Bhushan B. Nanoscale characteristics of human hair and hair conditioners // *Progress in Material Science*. 2008. Vol. 53. P. 585–710.
6. Gillen G., Roberson S., Stranick M. Elemental and molecular Imaging of Human Hair Using Secondary Ion Mass Spectrometry // *Scanning*. 1999. Vol. 21. P. 173–181.
7. Hintz H. F. Hair analysis as an indicator of nutritional status // *J. Equine Vet. Sci.* 2000. Vol. 21. P. 199.
8. Jones L. N., Rivetti D. E. The role of 18-methylsanoic acid in the structure and formation of mammalian hair fibers // *Micron*. 1997. Vol. 28. P. 469–485.
9. Kelch A., Wessel S., Will T. et al. Penetration of pathways of fluorescent dyes in human hair fibres investigated by scanning near-field optical microscopy // *J. of Microsc.* 2000. Vol. 200. P. 179–186.
10. LaTorre C., Bhushan B. Nanotribological characterization of human hair and skin using atomic force microscopy // *Ultramicroscopy*. 2005. Vol. 105. P. 75–155.
11. Smith J. R., Swift J. A. Lamellar subcomponents of the cuticular cell membrane complex of mammalian keratin fibres show friction and hardness contrast by AFM // *J. of Microsc.* 2002. Vol. 206. P. 182–193.

*Стаття: надійшла до редакції 28.02.11*

*доопрацьована 21.03.11*

*прийнята до друку 22.03.11*

**ELECTRON MICROSCOPY INVESTIGATION OF HUMAN HAIR  
ULTRASTRUCTURE UNDER NORM AND PATHOLOGY**

**V. Havrylyak**

*Institute of Animal Biology of the NAAS of Ukraine  
38, V. Stus St., Lviv 79034, Ukraine  
e-mail: havvita@ukr.net*

The surface and transverse sections of human hair using scanning (SEM) and transmission electron microscopy (TEM) were studied. The cellular structures such as hair cortex and cuticle and such sublamellar cuticle structure as A-layer, the exo-, endocuticle and cell-membrane complexes were identified. It was shown that physical and chemical characteristics of the cuticle determinate its function as a molecular sieve and chemical barrier against the action of various factors.

*Key words:* hair, ultrastructure, cuticle, cortex, pathology.

**ЭЛЕКТРОННО-МИКРОСКОПИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ  
УЛЬТРАСТРУКТУРЫ ВОЛОСА ЧЕЛОВЕКА В НОРМЕ И ПРИ ПАТОЛОГИИ**

**В. Гаєриляк**

*Институт биологии животных УААН  
ул. В. Стуса, 38, Львов 79034, Украина  
e-mail: havvita@ukr.net*

С помощью сканирующей и трансмиссионной микроскопии изучали поверхность и поперечные срезы волоса человека. Идентифицировали такие клеточные структуры волоса, как кортекс и кутикула, а также такие тонкие субламеллярные компоненты кутикулы, как А-слой, экзо- и эндокутикула и клеточно-мембранный комплекс. Показаны деструктивные изменения поверхности волоса при некоторых патологиях и, в частности, при его усиленном выпадении.

*Ключевые слова:* волос, ультраструктура, кутикула, кортекс, патология.