

А. П. Гасюк, В. І. Доценко, *П. А. Гасюк

ЕМАЛЬ ЗУБА ЯК ОСОБЛИВИЙ СТАН РІДКИХ КРИСТАЛІВ

ВДНЗУ «Українська медична стоматологічна академія», м. Полтава

*Тернопільський державний медичний університет ім. І. Я. Горбачевського

Рідкі кристали – це особливий склад речовини, яка перебуває в проміжному стані між твердим і рідким станом. Саме рідкокристалічні індикатори стали основою сучасних комп'ютерів, портативних Notebook's, плоских телевізорів і багатьох сучасних електронно-технічних та побутових приладів [1, 2, 3].

Не менш цікаві рідкі кристали з точки зору біології та процесів життєдіяльності [4].

Так, функціонування клітинних мембран ДНК [5] мієлінових волокон і фоторецепторів [6] пов'язані з міжмолекулярною взаємодією складових компонентів рідких кристалів.

Слід згадати пророчі слова видатного англійського фізика Джона Бернара [7], який ще 70 років тому спробував розглядати окремі внутрішньоклітинні структури й органи як особливі рідкокристалічні системи.

Рідкі кристали залежно від фізико-хімічних особливостей поділяються на ліотропні та термотропні. Останні при нагріванні або дії магнітного й електричного поля здатні змінювати свій колір (анізотропія) завдяки різному розташуванню молекул. При цьому слід розрізняти їхню холестеричну, нематичну і смектичну структуру, яка чітко виявляється в поляризаційному світлі. Крім того, термотропні рідкі кристали у вакуумному середовищі здатні утворювати певну текстуру, тобто переважну орієнтацію кристалічних зерен у полікристалах –

ниткоподібну, конфокальну або сходишко подібну – завдяки щільності їх дислокацій.

Метою дослідження є вивчення в поляризованому світлі, а також за допомогою сканувальної та трансмісійної електронної мікроскопії різних ділянок емалі для зв'язування її рідкокристалічної будови.

Матеріал і методи дослідження

Матеріалом для дослідження слугували 12 зубів різних класів (4 малі, 5 великих кутніх і 3 різці), видалених за ортодонтичними показаннями без виражених каріозних і некаріозних патологічних процесів їхніх коронок у межах емалі.

Залежно від методів морфологічного дослідження весь матеріал поділили на 2 групи.

У першій групі після фіксації матеріалу в 10% нейтральному формаліні на спеціально сконструйованому приладі виготовляли тонкі шліфи (до 15 мкм), які забарвлювали ШИК-альціановим синім і досліджували в поляризованому світлі за допомогою призми Ніколя різні ділянки емалі: пучки, призми, лінії Ретціуса при схрещенні призм на 90° та фотографували мікрофотом «Олімпус».

Дослідження в другій групі проводили після фіксації в 4% глютаральдегіді. Після фіксації механічно відокремлювали коронку від кореня і розколювали її в різних напрямках. Дослідний зразок наклеювали електропровідним клеєм, поміщали у вакуумну уста-

новку та напиляли золотом. Напилену поверхню зразка вивчали за допомогою сканувального електронного мікроскопа «Novoscan 30». З поверхні емалі тих же зубів готували вугільні репліки, які вивчали в трансмісійному електронному мікроскопі «Tesla-B 5-613». Електронограми емалевих пучків, призм і ліній Ретціуса порівнювали з фотографіями цих структур, одержаних за допомогою поляризаційної мікроскопії.

Результати дослідження та їх обговорення

Установлено, що на малому збільшенні мікроскопа при вивченні в поляризаційному світлі тонких шліфів, забарвлених ШИК-альціановим синім, пучки емалевих призм у пришийковій ділянці коронки мають трохи звивистий хід і різнокольорову гаму відтінків. Так, виявляються два види пучків емалевих призм. Перший із них у поляризованому світлі забарвлюється в жовто-червоний колір, йде від кутикули до емалево-дентинної межі. Другий вид пучків емалевих призм вужчий і представлений темними смужками, які поблизу екватора коронки зуба поступово зникають (рис. 1). Сканувальна електронна мікроскопія свідчить, що пучки емалевих призм у ділянці шийки коронки зуба мають поздовжній хід і без чітких меж переходять один у інший. Проте емалеві призми утворюють дві зони: центральну і периферичну. Центральна зона складається переважно з емалевих призм із паралельним ходом.

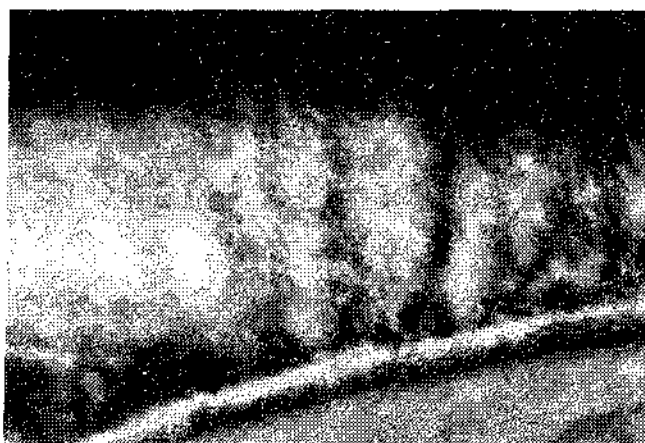


Рис. 1 Поляризаційна мікроскопія пучків емалевих призм в ділянці шийки коронки зуба. 36. x100.

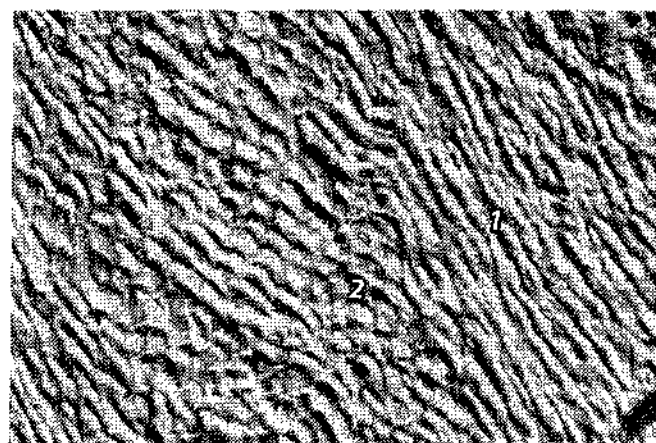


Рис. 2 Паралельні тї косі пучки емалевих призм. Скануюча електронна мікроскопія. 36. x1000.

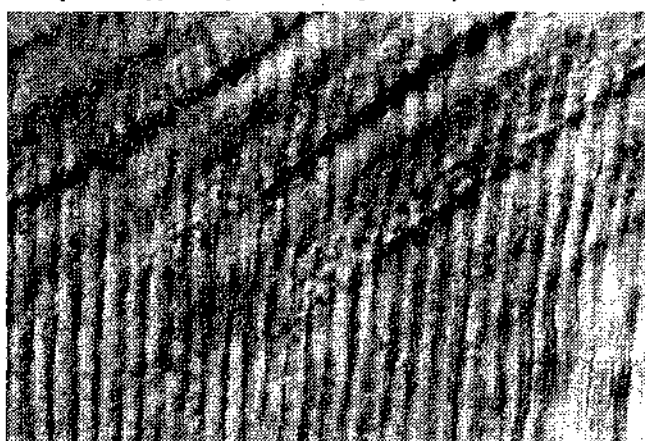


Рис. 3 Лінії біомінералізації Ретціуса та призми емалі. Заб. ШИК-альціановим синім. Поляризаційна мікроскопія. 36. x1000.

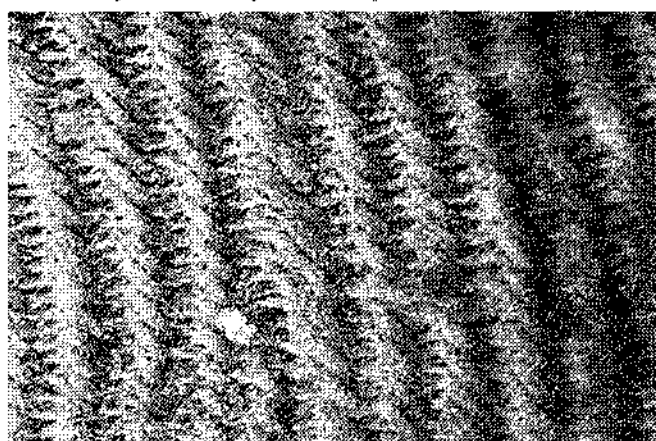


Рис. 4 Головки та хвости емалевих призм. Скануюча електронна мікроскопія. 36. x4500.



Рис. 5. Нематичний тип розташування головок та хвостів емалевих призм. Електроннограма. 36. x10000.

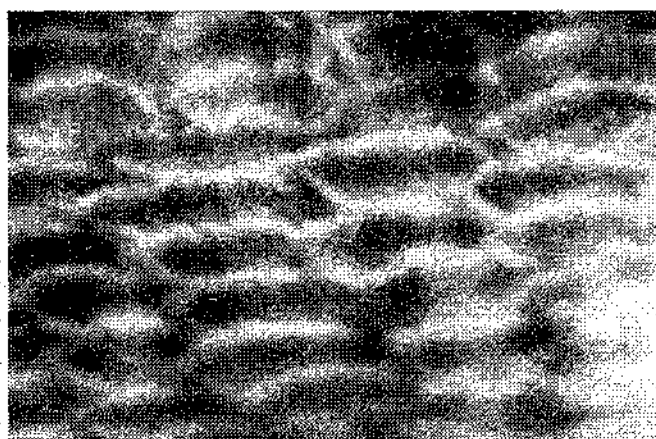


Рис. 6. Сметичний тип розташування головок емалевих призм. Електроннограма. 36. x15000.

Натомість на периферії емалевого пучка розташовані призми, які мають косий напрямок. Завдяки цьому вони переплітаються із сусідніми пучками і утворюють уздовж ходу спіралеподібні, холестеричні структури рідких кристалів (рис. 2). Останні мають високий ступінь анізотропії в поляризованому світлі і відповідають кольоровим смужкам пучків емалевих призм.

При поляризаційній мікроскопії гістохімічно забарвлених шліфів ШИК-альціановим синім у

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧНИЙ

емалевих призмах слід розрізняти два типи морфологічних структур: призми з вираженою поперечною посмугованістю і лінії біомінералізації Ретціуса (рис. 3).

Перший тип представлений тонкими (6-8 мкм) паралельними призмами, які забарвлюються або в голубуватий, або в бузковий колір. Вони між собою відокремлюються гомогенною міжпризмовою речовиною темно-голубого кольору.

У ділянках емалі ліній Ретціуса виявляються паралельні смужки темно-фіолетового кольору, що йдуть під кутом 60° до поздовжнього ходу емалевих призм і

контактують із міжпризмовою речовиною.

Подальше вивчення окремих ділянок емалевих призм провели на сканувальному електронному мікроскопі. Виявлено, що вони становлять собою паралельні структури, в яких виявляються голівки і хвости. Голівки призм мають вигляд чітко відмежованих паралелепіпедів, а хвости розташовані в міжпризмових просторах у вигляді «клиноподібних» структур, які оточують кожен сусідню голівку (рис. 4).

Проведеним трансмісійним електронно-мікроскопічним дослідженням виявлено, що голівки і хвости емалевих призм та ліній

Ретціуса мають різне гістотопографічне розташування: нематичного або смектичного типу.

Установлено, що поперечна посмугованість призм зумовлена наявністю в них голівок, оточених світлою оболонкою, яка без чітких меж переходить у хвости призм. Великі діаметри голівок утворюють паралельні умовні лінії, тоді як малі діаметри, а також центри голівок знаходяться на різних рівнях відносно ходу емалевих призм. Таке розташування характерне для нематичної будови рідких кристалів (рис. 5).

Крім того, в ділянках ліній Ретціуса спостерігається особливе смектичне розташування голівок

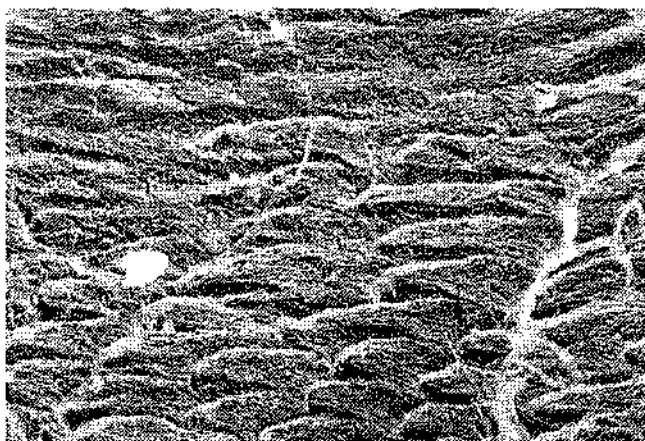


Рис. 7. Ниткоподібна текстура нематичного розташування емалевих призм. Електроннограма. 36. x1000.

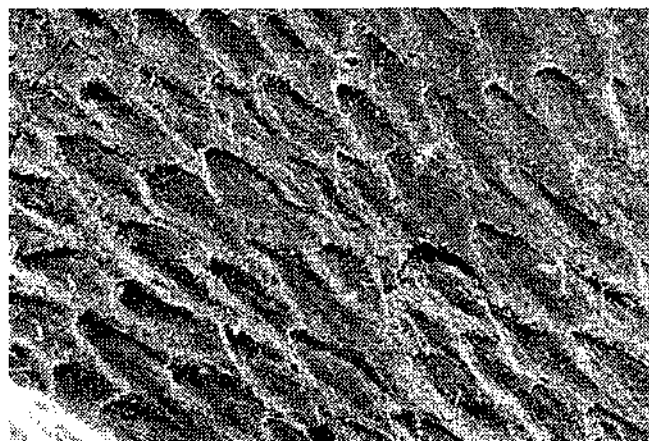


Рис. 8. Конфокальна текстура смектичного розташування емалевих призм. Електроннограма. 36. x10000.



Рис. 9. Сходинкоподібна текстура холестеричного розташування емалевих призм. Електроннограма. 36. x15000.



Рис. 10. Емалеві снопики, лінії Ретціуса та сходинкоподібні структури. Заб. ШИК-альціановим синім. Епімікроскопія. 36. x1000.

і хвостів емалевих призм. При цьому голівки сплющуються, а їхні оболонки частково руйнуються. Проте напротивагу нематичній будові в лініях Ретціуса спостерігається паралельна орієнтація емалевих призм – як вертикально за великим діаметром, так і горизонтально за малим діаметром. Це відбувається за рахунок сплющення хвостів призм, які зливаються з міжпризмовими просторами (рис. 6).

Отже, складові морфологічні компоненти емалі (пучки, призми і лінії Ретціуса) ультраструктурно нагадують будову відповідно холестеричного, нематичного та смектичного типу рідких кристалів, які зумовлюють анізотропію в поляризаційному світлі. Ефект анізотропії термотропних рідких кристалів пов'язаний із текстурою, тобто орієнтацією зерен у монокристалах. При цьому зовнішніми вакуумними впливами отримані репліки різної текстури кристалів у окремих ділянках емалі: ниткоподібна, конфокальна і сходинкоподібна. Ниткоподібна текстура проявляється S-подібними дисинклінаціями. Це лінії розриву оптичної неперервності між окремими емалевими призмами, що характерно здебільшого для нематичного типу рідкого кристала (рис. 7). Смектичні рідкі кристали у вакуумному середовищі утворюють конфокальну текстуру монокристалів (рис. 8). Саме завдяки цьому на нативних тонких шліфах лінії Ретціуса утворюють паралельні матово-непрозорі смужки. Нарешті, холестеричні рідкі кристали мають сходинкоподібну текстуру (рис. 9), яка змінює свій колір (анізоморфізм) у поляризованому світлі. Різна текстура емалі утворюється при третинній мінералізації шляхом епітаксального нарощування, тобто орієнтованим

ростом одного кристала на поверхні (основі) іншого. Епітаксія легко відбувається, якщо різниця параметрів обох решіток кристалів не перевищує 10%.

При цьому частина площини однієї з решіток кристала не має продовження в другій, і виникають так звані дислокації невідповідності. Як показують результати проведених епімікроскопічних досліджень поверхонь шліфів емалі, забарвлених ШИК-альціановим синім, виявлено три типи щільності дислокацій у вигляді: 1) емалевих снопиків; 2) ліній Ретціуса; 3) сходинок.

Емалеві снопики мають «гілкоподібні» вирости, що йдуть від ламел і оповивають поверхню окремих пучків призм. Завдяки незначній мінералізації вони мають світлий колір. На відміну від них лінії Ретціуса – це темні лінії, що йдуть під кутом 60° відносно ходу емалевих призм із посиленим малюнком мінералізації. Нарешті, третій тип дислокації емалі – це сходинкоподібні структури, що у вигляді темних смужок ідуть під кутом 30° до ходу емалевих призм у вигляді паралельних смужок. Вони мають чіткіші контури в центральній частині пучка емалевих призм і згладжуються на його периферії.

У деяких ділянках лінії Ретціуса між сходинками утворюють чіткі ромбоподібні структури, характерні і для твердих кристалів, у середині яких розміщуються окремі емалеві призми (рис. 10). Цей факт свідчить про те, що холестерична текстура в певних умовах може з рідкої переходити у тверду форму кристала.

Отже, на основі проведених комплексних морфологічних досліджень можна стверджувати, що окремі структури емалі становлять собою певні нематичні,

смектичні та холестеричні термотропні типи рідких кристалів.

Нематичний тип характерний для окремих емалевих призм, у яких ультраструктурно чітко виражені їхні голівки і хвости. Перші з них своїм розташуванням голівок утворюють поперечну смугастість призм, які по своїх поздовжніх діаметрах утворюють паралельні лінії. Натомість поперечні діаметри розташовуються на різних рівнях. Таке розміщення за Брауне нагадує розташування олівців у пеналі, завдяки чому можуть змішуватися лише за поперечними діаметрами голівок призм. Завдяки сплюсненню голівок призм утворюється другий смектичний тип рідкого кристала з поздовжньою і горизонтальною симетрією, що характерно для ліній біомінералізації емалі Ретціуса. Смектичні рідкі кристали схильні до ковзання завдяки шаровому розташуванню.

Нарешті, в холестеричному типі спостерігається гвинтова орієнтація нематичних структур, і при цьому залежно від розкручування спіралі пучків емалевих призм у поляризаційному світлі виникає різна кольорова гама (анізотропія).

Завдяки одновірній (нематичній), двовірній (смектичній) або гвинтовій упорядкованості відповідно в емалевих призмах, лініях Ретціуса і пучках емалевих призм відбуваються як хімічні, так і складні біохімічні процеси біомінералізації. При цьому переміщення певних хімічних елементів може здійснюватися за лініями дислокацій невідповідності між окремими текстурами рідких кристалів. Завдяки цьому, очевидно, здійснюється трофіка емалі у фізіологічних умовах.

Висновки

1. Емаль зуба – це термотропний рідкий кристал із не-

матичними в емалевих призмах, смектичними в лініях Ретціуса та холестеричними в пучках призм структурами, що схильні до анізотропії.

2. Для кожної морфологічної структури емалі характерна певна текстура монокристалу: в призмах – «ниткоподібна», в лініях Ретціуса – конфокальна, в пучках

емалевих призм – «сходінкоподібна».

3. За рахунок різних ступенів дислокацій невідповідності між кристалами в емалевих призмах виникає поперечна посмугованість, зокрема, в лініях Ретціуса – ритмічні смужки, а навколо пучків призм – емалеві снопики, завдяки яким здійснюється трофіка емалі у фізіологічних умовах.

Перспективи подальших досліджень

Розроблені морфологічні еталони холестеричної, нематичної та смектичної структури відповідно пучків, ліній Ретціуса й емалевих призм можна використати в дослідженні стану емалі при каріозних і некаріозних ураженнях емалі коронки зуба.

Література

1. Шибаяев В. П. Необычные кристаллы или загадочные жидкости / В. П. Шибаяев // Соросовский образовательный журнал. – 1996. – №11. – С. 37-46.
2. Чандрасекар С. Жидкие кристаллы / С. Чандрасекар. – М.: Мир, 1980. – 344 с.
3. Пикин С. А. Жидкие кристаллы / Пикин С. А., Блинов Л. М. – М.: Наука, 1982. – 208 с.
4. Браун Г. Жидкие кристаллы и биологические структуры / Браун Г., Уолкен Д. – М.: Мир, 1982. – 198 с.
5. Wolken I. I. Photoprocesses / I. I. Wolken // Photoreceptors and Evolution Academic Press. – New York, 1975.
6. Уотсон Дж. Молекулярна біологія гена / Дж. Уотсон. – М.: Мир, 1967.
7. Bernal J. D. Lipid crystals and anisotropic melts / J. D. Bernal // Trans. Faraday Soc. – 1933. – № 29. – P. 1082.

Стаття надійшла
6.06.2012 р.

Резюме

Представлені результати поляризаційного й електронно-мікроскопічного дослідження емалі, що свідчать про її термотропну рідкокристалічну будову. Так, емалевим призмам властива нематична з ниткоподібною текстурою, лініям Ретціуса – смектична з конфокальною, а їхнім пучкам – холестерична зі сходінкоподібною текстурою дислокація кристалів.

Ключові слова: емаль, зуб, рідкий кристал.

Резюме

Представлены результаты поляризационного и электронно-микроскопического исследования эмали, свидетельствующие об ее термотропном жидкокристаллическом строении. Так, эмалевым призмам присуща нематичная с нитевидной текстурой, линиям Ретциуса – смектичная с конфокальной, а их пучкам – холестеричная со ступеневидной текстурой дислокация кристаллов.

Ключевые слова: эмаль, зуб, жидкий кристалл.

Summary

The results of polarized and submicroscopic enamel studies indicate its thermotropic and mesomorphic structure. Thus, enamel prisms usually have nematic fibriform texture, at Retzius links it is smectical with confocal, and at their fasciculi it is wholesteric with stair-like texture of crystals dislocation.

Key words: enamel, tooth, liquid crystal.