

УДК 616.314-001.4 -084-08

**І.М. Ткаченко**

## **АНАЛІЗ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКІВ МОРФОЛОГІЧНОЇ БУДОВИ І МІКРОЕЛЕМЕНТНОГО СКЛАДУ ЕМАЛІ ЗУБІВ ПРИ НАДМІРНІЙ І ФІЗІОЛОГІЧНІЙ СТЕРТОСТІ**

Вищий державний навчальний заклад України «Українська медична стоматологічна академія»

Емаль зубів закладається на ембріональному рівні. У цей же період відбувається первинна і вторинна її мінералізація на білковому матриці. Емаль - це міцна, гіпермінералізована тканина, не здатна до регенерації. Найтовща вона в місцях найсильнішого тертя [1-3] і побудована за принципом мікроструктурної ієрархії [4].

У напрямку від зовнішньої поверхні до дентину концентрація мінеральних сполук знижується, а органічних – підвищується [5-7], що має пов'язуватися з особливостями морфології як емалі, так і дентину.

Фізичні властивості емалі залежать не тільки від концентрації в ній мінеральних речовин, а і від структурної організації в емалі кристалів гідроксилапатиту.

На підставі принципу системного вивчення, сукупності елементів системи, пов'язаних між собою, які реагують на зміни навколишнього середовища як єдине ціле, ми спробували встановити взаємозв'язки між морфологією емалі та її хімічним складом, базуючись на отриманих даних, оброблених статистично. При цьому вивчали морфологію і мікроелементний склад, узагальнюючи отримані результати з двох дослідних груп.

Характеристики емалі зубів, що вивчаються, на нашу думку, мають купіруватися, оскільки вони виникають у рамках сформованих взаємин, взаємовпливів і взаємозв'язків.

**Метою нашого дослідження** стало вивчення взаємозв'язку морфології та мікроелементного складу емалі при фізіологічній і надмірній стертості.

### **Об'єкти і методи дослідження**

Ми проводили дослідження за допомогою растрового електронного мікроскопа (SEM) "Mira 3 LMU" («Tescan», Чехія) з максимальним дозволом 1 нм і максимальним збільшенням 1000000. Елементний склад локальної ділянки визначали за допомогою енергодисперсійного спектрометра «X-max 80mm2» («Oxford Instruments», Великобританія), який був інтегрований у растровий електронний мікроскоп. Дослідження проводили на базі Інституту ім. Є.О.Патона, відділення наномедтехнології (м. Київ). Загальний вигляд пристрою, що застосовувався, показано на рис. 1.



*Рис. 1. Загальний вигляд растрового електронного мікроскопа (SEM) "Mira 3 LMU" («Tescan», Чехія) з інтегрованим енергодисперсійним спектрометром «X-max 80mm2» («Oxford Instruments», Великобританія)*

Дослідженню підлягали 23 зуби, видалені за терапевтичними й ортопедичними показаннями: з фізіологічною (9 зубів) і з надмірною стертістю (14 зубів).

Запропонована нами система дослідження дозволила визначити мікроструктуру емалі без традиційної для зразків-діелектриків процедури покриття поверхні тонким шаром провідного матеріалу (С, Au, Pt). Запобігти заряду поверхні стало можливим завдяки значному зниженню струму зонда та високій чутливості детекторів. Відмова від запилення поверхні провідним матеріалом дозволила уникнути можливого спотворення результатів досліджень. Дослідження елементного складу за допомогою енергодисперсійного спектрометра дозволяє виявити в складі зразка хімічні елементи з атомними номерами від 4 до 92 і кількісно визначити їхній склад.

Видалені для дослідження зуби промивали в проточній воді, очищували від зубного нальоту, висушували за допомогою фільтрувального паперу і подрібнювали за допомогою лещат, після чого вибирали уламки з відповідної частини зуба з поверхні, яка має необхідний переріз емалі. З кожного зуба отримували два зразки емалі: зразок – горбик і зразок – екватор.

Для аналізу і порівняння структури, складу і характеристик зразків був розроблений алгоритм

їх оцінки, однаковий як для зразків у ділянці жувальної поверхні, так і для зразків із ділянки екватора зубів із фізіологічною стертістю та зубів, які мають надмірну стертість. Методика охоплювала:

1. Вибір досліджуваної ділянки і дослідження структури емалевих призм та розмірів міжпризмового простору.

2. Вибір досліджуваної ділянки і позначення ділянок мікроаналізу.

3. Елементний аналіз у обраних ділянках.

4. Вивчення загального вигляду досліджуваної ділянки з позначенням характерної товщини емалі.

При дослідженні емалі зубів на рахунок мікроелементного складу за наведеним вище алгоритмом отримали серію цифрових знімків емалі з різними ступенями збільшення. Для достовірності результатів ми роздруковували на паперовому носії кілька знімків емалі зуба, що вивчається, отриманих із різних позицій. За масштабною міткою за розробленою методикою на кожному знімку підраховували кількість емалевих призм і переводили їх кількість на 100 мкм. Потім обчислювали середнє значення емалевих призм на 100 мкм для кожного досліджуваного сколу емалі та вносили ці дані для аналізу у зведену таблицю. Кількість призм на одиницю площі характеризувала щільність емалі, від якої, як було зазначено раніше, залежать проникність, твердість, стійкість тканин на злам, вигин, скол і модуль пружності.

### Результати дослідження та обговорення

Досліджуючи морфологію емалі, виявили зворотний тип кореляції кількості призм із кількістю проміжків (при  $p=0,00039$ ) та прямий тип кореляції з товщиною емалі (при  $p=0,0055$ ). Кількість призм (при  $p=0,005$ ), проміжки між ними корелюють із товщиною емалі. Тобто збільшення кількості призм у емалі буде зумовлювати її товщину, а їх зменшення буде призводити до збільшення зазорів між ними. Між товщиною емалі та проміжками між призмами також спостерігається зворотний зв'язок із довірчим коефіцієнтом ( $p=0,035$ ).

Пов'язуючи кількість призм із кількістю мікроелементів у різних ділянках емалі, можна помітити зворотний тип кореляції з кількістю кисню на ділянці емаль-горбик (підповерхня) з коефіцієнтом достовірності ( $p=0,007$ ). На цій же ділянці позитивна кореляція з кальцієм і достовірністю ( $p=0,02$ ).

Достовірно встановлено відмінності в кількості фосфору в зубах із фізіологічною та надмірною стертістю на ділянці емаль-горбик-поверхня, що становила  $1,19 \pm 0,72$  (при  $p=0,032$ ). Достовірна різниця в кількості кальцію також виявлена на цій ділянці -  $3,24 \pm 2,37$  (при  $p=0,023$ ).

На ділянці емаль-горбик (підповерхня) достовірна різниця виявлена між показниками кисню -  $2,77 \pm 1,91$  при ( $p=0,004$ ) та кальцію - з різницею  $4,84 \pm 2,16$  при достовірності ( $p=0,003$ ).

У зоні емаль-екватор (поверхня) достовірну різницю між показниками зубів із фізіологічною та надмірною стертістю встановлено між показника-

ми кисню, яка склала  $5,32 \pm 2,33$  при достовірності ( $p=0,038$ ), натрію з різницею  $0,164 \pm 0,05$  при ( $p=0,006$ ) та кальцію з розбіжністю  $4,78 \pm 2,1$  при ( $p=0,04$ ).

На площі емаль-екватор (підповерхня) достовірна відмінність установлена між киснем -  $5,77 \pm 1,97$  при ( $p=0,004$ ), кальцієм із різницею  $5,32 \pm 2,187$  при достовірності відхилень ( $p=0,027$ ). Прямий тип залежності встановлено на ділянці емаль-екватор (підповерхня) між киснем ( $p=0,042$ ) та натрієм із коефіцієнтом достовірності ( $p=0,0007$ ).

У співвідношенні мікроелементів Ca/P та Na/Mg до кількості призм установлено прямий зв'язок із коефіцієнтами ( $p=0,042$  та  $p=0,0095$ ) на ділянках емаль-горбик (підповерхня) та емаль-екватор (підповерхня) відповідно.

Проміжки між призмами, за даними статистичної обробки, мають зворотний зв'язок із кількістю магнію при ( $p=0,035$ ) на ділянці емаль-екватор (підповерхня) та емаль-горбик (підповерхня) (при  $p=0,037$ ).

Отже, чим більші проміжки між призмами, тим менша впливість магнію в емалі, що своєю чергою буде впливати на стійкість емалі до жувального навантаження. Ця залежність установлена на ділянці, розташованій ближче до дентину, що може бути пов'язане з первинною і вторинною мінералізацією. Проміжки між призмами також мають зворотний тип кореляції з кількістю фосфору в ділянці емаль-екватор (підповерхня) (при  $p=0,02$ ) та емаль-горбик (поверхня) зі значенням ( $p=0,01$ ). Досить чітко і сильно проявляється зворотний зв'язок між кількістю і розмірами проміжків між призмами з кількістю і розташуванням вуглецю в ділянці емаль-екватор (підповерхня) зі значенням ( $p=0,0008$ ).

Зворотна кореляція простежується між кількістю і розмірами проміжків зі співвідношенням Ca/P (при  $p=0,038$ ) у ділянці емаль-горбик (поверхневий шар) та Ca/Mg (при  $p=0,04$ ) на ділянці емаль-горбик (підповерхня).

Товщина емалі має пряму залежність від кількості фосфору при ( $p=0,047$ ) та зворотну від кількості кальцію при ( $p=0,006$ ) у ділянці емаль-горбик (підповерхня).

Отже, чим більша кількість цих елементів у емалі, тим товща емаль. Це підтверджується і прямою залежністю товщини від співвідношення Ca/P (при  $p=0,02$ ) у ділянці емаль-горбик (підповерхня) (при  $p=0,02$ ) на ділянці емаль-екватор (підповерхня).

Оцінюючи взаємовідношення між елементами, встановили відповідні зв'язки до кількості основних мікроелементів, розташованих на ділянці емаль-горбик-поверхня.

Кількість вуглецю має пряму залежність від кількості магнію, розташованого в ділянці емаль-горбик-підповерхня, зі значенням при ( $p=0,024$ ) та зворотну залежність від кількості кальцію і хлору, розташованих у ділянці емаль-горбик-поверхня, з коефіцієнтами ( $p=0,00012$  та  $p=0,006$ ) відповідно.

Зворотну залежність також встановлено до таких мікроелементів як кальцій та фосфор, розташованих у ділянці емаль-горбик-підповерхня при ( $p=0,003$  та  $p=0,0028$ ), та фосфору, розташованого в ділянці емаль-екватор-підповерхня, при значенні ( $p=0,002$ ).

Щодо співвідношення мікроелементів також встановлено зворотний зв'язок до співвідношення Ca/P, розташованих у ділянці емаль-горбик-поверхня та емаль-горбик (підповерхня), зі значеннями 0,34 і 0,407 та ( $p=0,0215$  та  $p=0,006$ ) відповідно. Також зворотний зв'язок виявлено до співвідношення Ca/Mg на ділянці емаль-горбик (поверхня) з показником 0,407 та ( $p=0,006$ ).

Кількість кисню має зворотну кореляцію з фосфором і кальцієм, які містяться в ділянці емаль-горбик (підповерхня) та емаль-екватор (підповерхня), при ( $p=0,002$ ,  $p=0,003$ ) та ( $p=0,002$  та  $p=0,003$ ) відповідно.

Кисень має зворотний зв'язок зі співвідношенням Ca/P на ділянці емаль-горбик (поверхня) при ( $p=0,021$ ) та емаль-горбик (підповерхня) ( $p=0,006$ ). До співвідношення Ca/Mg та Na/Mg наявний зворотний тип кореляції на ділянці емаль-горбик (поверхня) при ( $p=0,006$  та  $p=0,032$ ) відповідно.

Кількість натрію прямо залежить від значень магнію в ділянці емаль-горбик (поверхня) при ( $p=0,016$ ). Зворотний тип кореляції виявлено до співвідношення Ca/P при ( $p=0,035$ ).

Розглядаючи основні елементи емалі, зокрема фосфор, встановлено пряму залежність концентрації цього елемента між поверхневим і підповерхневими шарами емалі на ділянці горбика та емалі при ( $p=0,0001$ ) і ( $p=0,007$ ) відповідно.

Співвідношення мікроелементів також пов'язане зі змінами в кількості фосфору в поверхневій ділянці емалі. Так, співвідношення Ca/P у ділянці емаль-горбик (поверхня) та емаль-горбик (підповерхня) становить відповідно при ( $p=0,0007$  та  $p=0,0005$ ), а Ca/Mg у ділянці емаль-горбик (поверхня) при ( $p=0,004$ ).

У ділянці емаль-горбик (підповерхня) встановлено достовірну різницю співвідношень Ca/P зі значенням  $0,244 \pm 0,07$  (при  $p=0,003$ ). Різниця між цими співвідношеннями також встановлена в ділянці емаль-екватор (поверхня)  $0,227 \pm 0,07$  при ( $p=0,009$ ) та емаль-екватор (підповерхня) зі значенням  $0,426 \pm 0,2$  при ( $p=0,046$ ).

Оцінюючи дані про співвідношення основних елементів Ca/P у ділянках, що вивчаються, можемо зазначити, що при дослідженні співвідношення як у зубах із фізіологічною стертістю, так і з надмірною, значення не знижувались менше ніж на 1,78 у ділянці емаль-горбик (поверхня) в зубах із надмірною стертістю і на 1,7 у зубах із фізіологічною стертістю, що свідчить, за даними багатьох авторів, про достатній ступінь мінералізації емалі зубів та досить високий рівень резистентності емалі до каріозного процесу.

Максимальне значення співвідношення Ca/P у зубах із фізіологічною стертістю склало 2,02 у ділянці емаль-горбик (підповерхня) та 2,04 для зу-

бів із надмірною стертістю в ділянці емаль-екватор (підповерхня).

Оцінюючи співвідношення Ca/P, можна помітити взаємозв'язок із цими ж показниками в ділянці емаль-горбик (підповерхня) та емаль-екватор (підповерхня) з відповідними значеннями 0,52 і 0,42 при статистичній достовірності ( $p=0,0002$  та  $p=0,0003$ ).

## Висновки

Отже, аналізуючи взаємозв'язки морфології та мікроелементного складу емалі зубів при надмірній і фізіологічній стертості, виявлено такі особливості:

1. Взаємозв'язок морфологічних структур емалі як при фізіологічній, так і при надмірній стертості.
2. Взаємозв'язок будови емалі при фізіологічній і надмірній стертості та її мікроелементного складу.
3. Неоднорідність мікроелементного складу емалі в досліджуваних ділянках емаль-горбик (поверхня), емаль-горбик (підповерхня), емаль-екватор (поверхня) та емаль-екватор (підповерхня), що, ймовірно, пов'язане з функцією зубної емалі в різних ділянках і дією на неї ротової рідини, особливостями мінералізації емалі та морфологією, що вирізняється між ділянками, які досліджуються.
4. Встановлено взаємозв'язок кількості й елементного складу мікроелементів залежно від стану емалі та розташування ділянок, що вивчаються. Стабільно висока мінералізація тканин зуба, пов'язана з необхідністю протистояти зовнішнім факторам і механічним навантаженням на зуб під час жування, проявляється в стабільно високому співвідношенні Ca/P, що свідчить про високий ефект мінералізації емалі при надмірному стирнанні.

## Перспективи подальших досліджень

Отримані результати вказують на потребу оптимізації процесів мінералізації емалі за допомогою мікроелементів, які можуть вибірково замінювати іони кальцію, вбудовуватися або проникати в міжпризмові проміжки чи вбудовуватися всередину призм. Крім того, вибір хімічного елемента має бути таким, щоб при застосуванні його в практичній медицині він міг змінювати хімічні та фізико-механічні показники емалі.

Думка про взаємозв'язок мінеральної компоненти і морфології залежно від карієсрезистентності емалі підтверджена у відповідних працях [8-10].

## Література

1. Луцик О.Д. Гістологія людини / О. Луцик, А. Іванова, К. Кабак. - Львів: Мир, 1992. - 398 с.
2. Козел О. А. Повышенное стирание твердых тканей зубов / О. А. Козел, О. А. Круглик // Современная стоматология. - 2008. - №2. - С. 21.
3. Шварцнау В. И. Нормализация минерального обмена в полости рта при лечении гиперестезии зубов / В. И. Шварцнау, О. А. Макаренко, О. В. Денга // Вісник стоматології. - 2005. - № 2. - С. 71-74.

4. Шинкевич В.І. Карієс зубів / В.І. Шинкевич, І.П. Кайдашев. – Полтава, 2010. – С. 8-39.
5. Вавилова Т.П. Биохимия тканей и жидкостей полости рта / Т.П. Вавилова. - М.: ГЭОТАР-Медиа, 2008. - 203 с.
6. Федоров Ю.А. Некариозные поражения, развившиеся после прорезывания зубов / Ю.А. Федоров, В.А. Дрожжина, Н.В. Рубежова // Новое в стоматологии. - 1997. - №10. - С. 67-120.
7. Физико-химические аспекты транспорта ионов через эмаль зуба / А.П. Коршунов, В.Г. Сунцов, А.Н. Пятаева [и др.] // Стоматология. – 2000. – Т. 79, №4. – С. 6-8.
8. Пахомов Г.Н. Рентгеноструктурный анализ эмали зубов человека в норме и патологии : автореф. дис. на соискание учен. степени канд. мед. наук: спец. 14.00.21 «Стоматология» / Г.Н. Пахомов. - Рига, 1968. - 18 с.
9. Скрипніков П.М. Розвиток та структурно-функціональні особливості емалі зубів людини: дис. ...доктора мед. наук: 14.03.01 / Петро Михайлович Скрипніков. - Полтава, 2003. - 326 с.
10. Фастовець О.О. Клініко-патогенетичне обґрунтування комплексного лікування патологічного стирання зубів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора мед. наук: спец. 14.01.22 «Стоматологія» / О.О. Фастовець. - К., 2008. - 35 с.

**Стаття надійшла  
15.07.2013 р.**

### Резюме

Изучена взаимосвязь между морфологией и химическим составом эмали у пациентов с чрезмерной и физиологической стираемостью твердых тканей зубов. С целью выявления особенностей развития чрезмерной стираемости зубов изучение проводили на различных участках эмали (зона поверхности и подповерхности эмали в области бугра и экватора). Исследованию подлежали 23 зуба, удаленные по терапевтическим и ортопедическим показаниям. По результатам исследования установлено взаимосвязь строения эмали при физиологической и чрезмерной стираемости и ее микроэлементного состава, неоднородность микроэлементного состава эмали в исследуемых участках эмаль-бугорок (поверхность), эмаль-бугорок (подповерхность), эмаль-экватор (поверхность) и эмаль-экватор (подповерхность), что, вероятно, связано с функцией зубной эмали в различных участках и воздействием на нее ротовой жидкости.

**Ключевые слова:** чрезмерная стираемость, микроэлементный состав, морфология эмали.

### Резюме

Вивчено взаємозв'язок між морфологією і хімічним складом емалі в пацієнтів із надмірною та фізіологічною стертістю твердих тканин зубів. З метою виявлення особливостей розвитку надмірної стертості зубів вивчення проводили на різних ділянках емалі (зона поверхні та підповерхні емалі в ділянці горбика й екватора). Дослідженню підлягали 23 зуби, видалені за терапевтичними й ортопедичними показаннями. За результатами дослідження встановлено взаємозв'язок будови емалі при фізіологічній і надмірній стертістю та її мікроелементного складу, неоднорідність мікроелементного складу емалі в досліджуваних ділянках емаль-горбик (поверхня), емаль-горбик (підповерхня), емаль-екватор (поверхня) і емаль-екватор (підповерхня), що, ймовірно, пов'язано з функцією зубної емалі в різних ділянках і дією на неї ротової рідини.

**Ключові слова:** надмірна стертість емалі, мікроелементний склад, морфологія емалі.

### Summary

The study of the relationship between morphology and chemical composition of enamel in patients with increased physiological and abrasion of hard dental tissues has been performed. In order to identify the characteristics of superior abrasion of teeth the study was carried out in different parts of the enamel (the zone of the surface and subsurface enamel of the hill and at the equator). Exploration involved 23 teeth, remote for therapeutic and orthopedic indications. The study found the relationship of the structure of enamel at the physiological and increased abrasion and its trace element composition, heterogeneity of trace element composition of the enamel in the investigated areas of enamel tubercle (surface), enamel-bump (subsurface), enamel-equator (the surface) and the enamel equator (subsurface) which is probably related to the function of tooth enamel in various areas and the impact of saliva.

**Key words:** high abrasion, trace element composition, morphology of enamel.