

6. Кельцев В. А., Гребенкина Л. И., Моисеева Е. Д. Сравнительная оценка эффективности и безопасности лечения адалимумабом в комбинации с метотрексатом и монотерапии метотрексатом у детей с полиартикулярным ювенильным идиопатическим артритом в сочетании с увеитом. *Вопросы современной педиатрии*. 2014. № 13 (6). С. 66–72.

7. Клініка Вілла. Діагностика і лікування очних хвороб / за ред. Дугласа Каллома та Бенджаміна Чанга. Львів: Медицина світу, 1999. 504 с.

8. Кошиц И. Н., Светлова О. В. Развитие теории Гельмгольца по результатам исследований исполнительных механизмов аккомодации. *Вестник Российской Академии медицинских наук*. 2003. № 5. С. 3–9.

9. Обменный плазмаферез с озонированием клеточной массы при лечении эндогенных увеитов / А. Л. Онищенко, А. В. Колбаско, А. Д. Чернышева и др. *Вестник офтальмологии*. 2011. Т. 127, № 6. С. 32–35.

10. Панченко Н. В. Состояние клеточного иммунитета при эндогенных увеитах, осложненных увеальной катарактой. *Офтальмологический журнал*. 2000. № 2. С. 54–57.

11. Панченко М. В., Дурас І. Г., Кудіна Т. О. Результати лікування ендогенних увеїтів, ускладнених гіпотонією. *Клінічна фармація*. 2007. Т. 11, № 1. С. 4–6.

12. Панченко М. В., Кудіна Т. О., Внукова К. О., Панченко О. М. Принципи та результати корекції вторинних імунодефіцитних станів при ускладнених формах увеїтів. *Клінічна фармація*. 2007. Т. 11, № 1. С. 15–17.

13. Аккомодация в молодом возрасте. Норма и патология / Ю. З. Розенблюм и др. *Вестник Российской Академии медицинских наук*. 2003. № 5. С. 10–15.

14. Рудковская О. Д. Концепция этиопатогенеза первичной открытоугольной глаукомы и близорукости / О. Д. Рудковская. *Новое в офтальмологии*: тези наук.-практ. конф. з

міжнародною участю, присв. 130-річчю з дня народження акад. В. П. Філатова. Одеса, 13 травня 2005. С. 136–137.

15. Рудковська О. Д. Хірургічне моделювання природних компенсаторних реакцій при глаукомі. *Сучасні медичні технології*. 2012. № 2. С. 235.

16. Рудковская О. Д. Рефракционно-аккомодационные факторы в этиопатогенезе глазных болезней: сб науч. статей. Saarbrücken, Deutschland: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. 75 p.

17. Сидорова М. В., Кондратюк В. Є., Бичкова Н. Г. Імунні механізми виникнення та клінічні особливості перебігу неінфекційного увеїту. *Офтальмологический журнал*. 2015. № 5. С. 58–67.

18. Смирнов В. А. Зрачки в норме и при патологии. Москва: Медицина, 1953. 232 с.

19. Структурные основы адаптации и компенсации нарушенных функций / под ред. акад. Д. С. Саркисова. Москва: Медицина, 1987. 448 с.

20. Ушакова С. А., Ашеулова Н. Л., Конева Л. Н., Халидулина О. Ю. Эффективность применения моноклональных антител к TNF-α — адалимумаба — как препарата переключения у пациента с ювенильным идиопатическим полиартритом и увеитом. *Педиатрическая фармакология*. 2014. Т. 11, № 6. С. 66–72.

21. Шамшинова А. М., Волков В. В. Функциональные методы исследования в офтальмологии. Москва: Медицина, 1999. 415 с.

22. Rudkovskaya O. Weakness of Accommodation is a Trigger for Eye Diseases. Saarbrücken, Deutschland: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017. 85 p.

Надійшла до редакції 01.03.2018

*Рецензент д-р мед. наук, проф. Р. С. Вастьянов,
дата рецензії 02.03.2018*

УДК 611.018

А. В. Тодорова, д-р мед. наук,
В. О. Ульянов, д-р мед. наук, проф.,
В. Є. Бреус,
О. В. Горностай

ОСОБЛИВОСТІ МІКРОТВЕРДОСТІ ЗУБНОЇ ЕМАЛІ У ТОПОГРАФІЧНО РІЗНИХ ЗОНАХ КОРОНКИ ПОСТІЙНИХ МОЛЯРІВ ЛЮДИНИ ТА ЇХ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК ІЗ ВНУТРІШНЬОЮ БУДОВОЮ ЕМАЛІ

Одеський національний медичний університет, Одеса, Україна

УДК 611.018

А. В. Тодорова, В. О. Ульянов, В. Є. Бреус, О. В. Горностай
**ОСОБЛИВОСТІ МІКРОТВЕРДОСТІ ЗУБНОЇ ЕМАЛІ У ТОПОГРАФІЧНО РІЗНИХ
ЗОНАХ КОРОНКИ ПОСТІЙНИХ МОЛЯРІВ ЛЮДИНИ ТА ЇХ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК
ІЗ ВНУТРІШНЬОЮ БУДОВОЮ ЕМАЛІ**

Одеський національний медичний університет, Одеса, Україна

Метою даного дослідження є визначення числових показників мікротвердості зубної емалі у різних ділянках коронки постійних молярів людини, які характеризуються різними варіантами ходу емалевих призм.

У результаті проведеного дослідження було встановлено взаємозв'язок між внутрішньою будовою зубної емалі та її мікротвердістю, який полягає в тому, що у тих зонах коронки зуба, де хід емалевих призм є дугоподібним, показники мікротвердості вищі, ніж у зонах коронки, де емалеві призми

розташовуються прямолінійно. Із цього випливає, що дугоподібний хід емалевих призм, причому незалежно від напрямку вершини дуги, є більш оптимальним для забезпечення твердості зубної емалі порівняно з прямолінійним.

Ключові слова: мікротвердість, зубна емаль, коронки постійних молярів.

UDC 611.018

A. V. Todorova, V. O. Ulyanov, V. Ye. Breus, O. V. Gornostai

THE FEATURES OF THE DENTAL ENAMEL MICROHARDNESS IN THE DIFFERENT ZONES OF THE CROWN OF THE HUMAN PERMANENT MOLAR TEETH AND CORRELATION BETWEEN THE LATTER AND THE INTERNAL STRUCTURE OF THE ENAMEL

The Odessa National Medical University, Odessa, Ukraine

The dental enamel is the unique biological material, which is ideally adopted to resist mechanical loads. Moreover, the mechanical properties of enamel differ not only in the different layers of the latter, but also at the different surfaces and different parts of the tooth crown. It is suggested that such phenomenon can be explained by the anisotropy of the internal structure of the enamel, particularly by the differences in the arrangement of enamel rods.

The aim of the current research is to measure the microhardness values of the dental enamel in the different regions of the crown of the human permanent molar tooth, which are characterized by the different patterns of the enamel rods pathways.

The correlations between the pathways of the enamel rods and the mechanical behavior of the tooth enamel were estimated. The zones of the crown characterized by the arc-shape pathways of the enamel rods demonstrated notably higher microhardness values that those characterized by the straight-line pathways of the rods. It means that the arc-shaped pathway of the enamel rods contributes to the higher values of the enamel microhardness.

Key words: microhardness, dental enamel, crown of permanent molars.

Вступ

Зубна емаль людини є унікальним біологічним матеріалом, ідеально пристосованим для витримки механічних навантажень, пов'язаних з актом жування. Вона поєднує у собі три механічні характеристики: твердість, жорсткість і резистентність до утворення тріщин [1–5]. Довгий час механічні властивості емалі пов'язували лише з високим вмістом у ній неорганічних сполук (до 96 %), переважно у вигляді кристалів гідроксіапатиту. Проте наразі значна увага приділяється також внутрішній організації цих кристалів, що розташовуються паралельно один до одного, утворюють скупчення, які дістали назву емалевих призм [6; 7].

Механічні властивості емалі є неоднорідними, зокрема твердість її зменшується у напрямку від зовнішніх шарів до емалево-дентинної межі, що логічно пояснюється зменшенням концентрації фтору у відповідному напрямку [8]. Проте без відповіді досі залишається питання: чому механічні властивості емалі відрізняються не лише у різних її шарах, а й на різних поверхнях та у різних частинах коронки зуба? Як морфологи, так і матеріалознавці припускають, що цей феномен можна пояснити анізотропією внутрішньої будови емалі, а саме неоднаковим взаєморозташуванням емалевих призм, що завдяки утворенню складних білково-мінеральних взаємодій створює умови для оптимального розподілу механічної енергії по всьому об'єму емалі [9–11].

Наші попередні дослідження присвячені вивченню внутрішньої будови емалі постійних молярів людини на рівні світлової мікроскопії.

Було проведено низку досліджень, у результаті яких з'ясовано, що зубна емаль постійних молярів характеризується структурною анізотропією, тобто відрізняється неоднаковими варіантами розташування своїх структурних одиниць (емалевих призм) не лише на різних поверхнях коронки зуба, а й у різних частинах однієї його поверхні. Було встановлено, що в цілому трапляються три варіанти розташування, або так званого ходу емалевих призм у товщі емалі: відносно прямолінійний, дугоподібний із верхівкою, спрямованою у сторону жувальної поверхні коронки, та дугоподібний із верхівкою, спрямованою у сторону кореня зуба [12; 13]. Слід зазначити, що з моменту отримання даних, представлених у попередніх роботах, було проведено кілька уточнювальних досліджень, які показали, що емалеві призми як у верхній, так і нижній третині коронки постійних молярів характеризуються дугоподібним ходом.

Наступним етапом дослідження стало визначення, чи дійсно хід емалевих призм є тим фактором, що певною мірою зумовлює механічні властивості емалі, а саме її мікротвердість, та чи справді одні варіанти ходу емалевих призм є, з механічної точки зору, більш оптимальними, аніж інші. Виявлення таких закономірностей може створити підґрунтя для того, щоб класифікувати ділянки коронки зуба відповідно до величини ризику виникнення у них тріщин та інших видів механічного пошкодження.

Метою даного дослідження є визначення числових показників мікротвердості зубної емалі у різних ділянках коронки постійних молярів людини, які характеризуються різними варіантами ходу емалевих призм, а також взаємозв'язків між

ходом емалевих призм і мікротвердістю зубної емалі у конкретних ділянках коронки зуба.

Матеріали та методи дослідження

Шліфи постійних молярів людини, виконані у вестибулярно-оральному напрямку, вздовж бокових поверхонь коронки, а також у діагональному напрямку, підготовлені за розробленими нами методиками [14; 15]. Зразки поміщали у форму з порошком і піддавали термічній обробці за температури 180 °С для отримання заготовок. Потім заготовки шліфувалися на кругах із різною фракцією наждачного паперу, під час останнього шліфування використовувався круг із пастою ДОІ. Вимірювання проводилися на приладі Polyvar MET із застосуванням методу Віккерса.

На кожний шліф за допомогою алмазної пірамідки наносили по 30 відбитків, по 3 у кожній зоні вимірювання. Зони для вимірювання були обрані відповідно до тих, що використовувалися для вивчення розташування емалевих призм у попередніх дослідженнях, тобто коронкова частина кожного шліфа була умовно поділена на три зони — верхню, середню та нижню третини [12; 13]. Відбитки наносили під навантаженням 50 г і часом експозиції навантаження 10 с.

Дослідження проводилося на базі ДП «Міжнародний центр електронно-променевих технологій» Інституту електрозварювання ім. Є. О. Патона.

Результати дослідження та їх обговорення

Середні значення мікротвердості зубної емалі у різних зонах коронки постійних молярів людини наводяться у табл. 1.

У середній третині коронки постійних молярів на всіх поверхнях середні показники мікротвердості емалі статистично не відрізняються та не перевищують 440 HV.

На вестибулярній, бокових та оральній поверхнях коронки середні показники мікротвердості зубної емалі у верхній та нижній її частинах (у межах однієї поверхні) статистично не відрізняються, проте є вищими, ніж у середній частині коронки.

У ділянці переходу між боковою поверхнею коронки та вестибулярною/оральною середні показники мікротвердості емалі статистично не відрізняються між собою у середній та нижній третині (440 HV в обох третинах). При цьому середній показник мікротвердості емалі у верхній третині ділянки переходу між боковою поверхнею та вестибулярною/оральною становить 370 HV, що є найнижчим серед показників, зафіксованих у всіх ділянках коронок постійних молярів.

Найвищі середні показники мікротвердості зубної емалі визначаються у верхній та нижній третинах оральної частини коронки постійних молярів.

Якщо порівняти отримані дані з варіантами ходу емалевих призм у відповідних зонах коронки, то видно, що на вестибулярній, оральній та бокових поверхнях коронки, у тих її зонах, які характеризуються прямолінійним ходом емалевих призм, середні показники мікротвердості емалі не тільки не відрізняються статистично один від одного, але є меншими, ніж у тих ділянках коронки, у яких хід емалевих призм є дугоподібним.

Така тенденція не простежується у ділянці переходу між боковими поверхнями та вестибулярною/оральною, яка характеризується дугоподібним ходом призм, оскільки там середній показник мікротвердості зубної емалі у середній третині коронки статистично не відрізняється від таких у середній третині вестибулярної, оральної та бокових поверхонь, де хід призм є прямолінійним. Більше того, у нижній третині ділянки переходу між боковими поверхнями та вестибулярною/оральною, у якій відмічається дугоподібний хід емалевих призм, середній показник мікротвердості емалі статистично відрізняється — є меншим від таких у нижній третині вестибулярної, оральної та бокових поверхонь, де хід призм також є дугоподібним. Проте у верхній третині цієї ділянки коронки, де хід призм є прямолінійним, показник мікротвердості найменший серед усіх досліджуваних частин коронки.

Це дозволяє зробити припущення про те, що ділянка переходу між боковими поверхнями та вестибулярною/оральною загалом характеризується найменшою мікротвердістю емалі. Проте

Таблиця 1

Середні значення мікротвердості зубної емалі у топографічно різних зонах коронки постійних молярів людини, $M \pm m$, $n=30$, HV

Частина коронки	Поверхня коронки		
	Верхня	Середня	Нижня
Вестибулярна	483±20	412±14*1, 3	474±11
Бокова	468±17	418±10*1, 3	452±13
Оральна	603±19*4, 5, 7	429±12*1, 3	617±22*4, 5, 7
Перехід між боковою поверхнею та вестибулярною/оральною	370±15*2, 3, 4, 5, 6	440±11	440±18

Примітка. Відмінності достовірні ($p < 0,05$): *1 — порівняно з верхньою частиною однойменної поверхні коронки; *2 — порівняно з середньою частиною коронки; *3 — порівняно з нижньою частиною коронки; *4 — порівняно з вестибулярною поверхнею однойменної частини коронки; *5 — порівняно з боковою поверхнею однойменної частини коронки; *6 — порівняно з оральною поверхнею однойменної частини коронки; *7 — порівняно з ділянкою переходу між боковою поверхнею та вестибулярною/оральною однойменної частини коронки.

ЛІТЕРАТУРА

той факт, що навіть у тих третинах коронки, які характеризуються дугоподібним ходом емалевих призм, показники мікротвердості виявилися статистично вищими, ніж у третині з прямолінійним ходом призм, підтверджує, що напрямок ходу емалевих призм є одним із факторів, які впливають на механічні властивості зубної емалі.

Ті випадки, коли значна різниця показників мікротвердості (близько 200 HV) виявляється навіть серед ділянок, які характеризуються однаковим, а саме дугоподібним ходом призм, цілком можливо, можна пояснити різницею хімічного складу емалі таких ділянок, проте ця гіпотеза має бути доведена у ході подальших досліджень.

Висновки

У результаті проведених досліджень були встановлені такі особливості механічних властивостей зубної емалі у різних ділянках коронки зуба:

1. На вестибулярній, бокових та оральній поверхнях коронки постійних молярів людини середня третина коронки відзначається статистично нижчими показниками мікротвердості емалі, ніж верхня та нижні її третини.

2. Найвищі середні показники мікротвердості відмічаються на оральній поверхні коронки, особливо у її верхній та нижній третинах.

3. У ділянці переходу між боковою поверхнею коронки та вестибулярною/оральною середні показники мікротвердості емалі статистично не відрізняються між собою у середній та нижній третинах, проте є статистично меншими у верхній третині коронки.

4. Існує взаємозв'язок між внутрішньою будовою зубної емалі та її мікротвердістю, який полягає у тому, що у тих зонах коронки зуба, де хід емалевих призм є дугоподібним, показники мікротвердості є вищими, ніж у зонах коронки, де емалеві призми розташовуються прямолінійно. Із цього випливає, що дугоподібний хід емалевих призм, причому незалежно від напрямку вершини дуги, є більш оптимальним для забезпечення твердості зубної емалі порівняно з прямолінійним.

Ключові слова: мікротвердість, зубна емаль, коронки постійних молярів.

1. Nanci A. Ten Cate's oral histology. Development, structure and function, 7th edn. [Text]. St Louis, MO: Mosby, 2007.
2. Kishen A., Ramamurthy U., Asundi A. Experimental studies on the nature of property gradients in the human dentine. *J Biomed Mater Res.* 2000. № 51 (4). P. 650–659.
3. Chen Z. Q., Zhang M., Zhang J. K. Oral materials [4th ed.]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2008. P. 18–19.
4. Baumgart F. (2000). "Stiffness — an unknown world of mechanical science?" *Injury.* Elsevier.
5. "Toughness", NDT Education Resource Center, Brian Larson, Editor, 2001–2011, The Collaboration for NDT Education, Iowa State University.
6. Human enamel rods presents anisotropic nanotribological properties / Y. R. Jeng et al. *Mech behave biomed.* 2011. № 4 (4). P. 515–522.
7. A natural functionally graded biocomposite coating — human enamel / Z. J. Cheng et al. *Acta Biomater.* 2013. № 9 (5). P. 6330–6337.
8. Roy S., Basu B. Mechanical and tribological characterization of human tooth. *Mater Charact.* 2008. № 59. P. 747–756.
9. Zhang Y.-R., Du W., Zhou X.-D., Yu H.-Y. Review of research on the mechanical properties of the human tooth. *International Journal of Oral Science.* 2014. № 6 (2). P. 61–69.
10. Загорский В. А., Макеева И. М., Загорский В. В. Функционирование твердых тканей зуба. Часть III. *Российский стоматологический журнал.* 2014. № 1. С. 12–15.
11. Xu H. H. K., Smith D. T., Jahanamir S. Indentation damage and mechanical properties of human enamel and dentin. *J Dent Res.* 1998. № 77. P. 472–480.
12. Тодорова А. В., Бреус В. Є., Ульянов В. О. Особливості розташування емалевих призм на різних поверхнях коронки постійних молярів людини. *Одеський медичний журнал.* 2016. № 3. С. 54–58.
13. Тірон О. І., Бреус В. Є., Тодорова А. В. Особливості гістоархітекtonіки емалі постійних молярів людини на оклюзійній поверхні коронки та в місцях переходу її бокових поверхонь на вестибулярну та оральну. *Запорізький медичний журнал.* 2017. Т. 19, № 5 (104). С. 663–667.
14. Бреус В. Є., Ульянов В. О. Спосіб гістологічної оцінки стану емалі зубів людей та тварин: пат. 51804 Україна, МПК (2009): А61В10/00 / заявник та патентовласник Одеський державний медичний університет. № u201003859; заявл. 06.04.2010; опубл. 26.07.2010, Бюл. № 14. 2 с.
15. Бреус В. Є., Тодорова А. В., Ульянов В. О. Спосіб виготовлення поздовжніх шліфів молярів для гістологічного дослідження жувальної поверхні їх коронки: пат. 115215 Україна, МПК (2017.01) G01N 1/00, А61С 1/00, G01N 33/48 / заявник та патентовласник Одеський національний медичний університет. № u201610201; заявл. 07.10.2016; опубл. 10.04.2017, Бюл. № 7.

Надійшла до редакції 26.02.2018

Рецензент д-р мед. наук, проф. Р. С. Вастьянов,
дата рецензії 27.02.2018