
НАНОТВЕРДОСТЬ И МОДУЛЬ ЮНГА ЗУБНОЙ ЭМАЛИ

**И.Ю. Лебеде́нко, С.Д. Арутюнов,
С.А. Муслов**

МГМСУ

*ул. Делегатская, 20/1, Москва, Россия, 127473
тел. +79114636467, эл. почта: somvoz@live.ru, muslov@mail.ru*

А.С. Усеинов

ТИСНУМ

*ул. Центральная, 7а, Троицк, Московская обл., 142190
тел. +79114636467, эл. почта: somvoz@live.ru*

Исследованы механические свойства эмали зубов на наноуровне. Получены карты значений нанотвердости и модуля Юнга интактных и кариозных зубов человека.

Ключевые слова: зуб, эмаль, кариес, нанотвердость, модуль упругости Юнга, шероховатость.

Известно, что твердость зубных тканей является одним из факторов патогенеза в развитии кариеса зубов и различных некариозных поражений [1]. Однако до сих пор все исследования твердости эмали и дентина, описанные в отечественной литературе, касались измерений только микротвердости этих тканей. В данной работе исследованы твердость, а также модуль упругости Юнга и шероховатость эмали интактных (группа I) и пораженных кариесом зубов (группа II) на наноуровне. Исследовались здоровые и кариозные (caries superficialis) зубы (резцы), удаленные по стоматологическим показаниям у пациентов в возрасте от 25 до 55 лет.

Измерение нанотвердости (H) и модуля упругости Юнга (E) эмали проводили путем сканирующей зондовой микроскопии на нанотвердомере «НаноСкан-3D» методом динамического наноиндентирования. Основным отличием «НаноСкан-3D» является применение в качестве зондового датчика пьезорезонансного кантилевера камертонной конструкции с высокой изгибной жесткостью консоли (до $2,0 \times 10^4 \cdot \text{Н/м}$). Исследовались нанометровые приповерхностные слои толщиной от единиц до сотен нанометров в диапазоне нагрузок от 1 до 10 мН, что позволило существенно повысить достоверность оценки твердости и упругости малых объемов эмали и визуализировать структурные особенности ее поверхности с нанометровым пространственным разрешением.

В результате исследований определены параметры шероховатости (R_a) и получены трехмерные изображения рельефа поверхности эмали, а также 3D карты значений нанотвердости и модуля Юнга обоих типов образцов. Определены зависимости значений H и E от глубины внедрения алмазного наконечника. Установлено, что ультраструктура поверхности зубов, пораженных кариесом, значительно

отличается от таковой у здоровых. В частности, признаки призматических структур отсутствуют, а шероховатость выше. Картографирование наномеханических свойств твердости и модуля Юнга показало, что для образцов группы I величина твердости эмали увеличивается в среднем от $4,4 \pm 0,2$ ГПа при 50 нм, достигает значения $6,6 \pm 0,1$ ГПа при 540 нм и далее с глубиной почти до 1100 нм практически не меняется. Модуль упругости при 50 нм составляет $86,4 \pm 11,2$ ГПа и достигает значения $102,5 \pm 7,1$ ГПа при глубине примерно 900 нм. У образцов группы II твердость и модуль Юнга эмали несколько больше зависят от глубины проникновения индентора, значения твердости в 3—4 раза, а значения модуля упругости в 2—3 раза ниже, чем у образцов группы I.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Зырянов Б.Н. и др. Микротвердость зубных тканей в патогенезе кариеса зубов у населения Крайнего Севера Западной Сибири // Новое в стоматологии. — 2001. — № 10. — С. 94—95.

NANOHARDNESS AND YOUNG'S MODULUS OF TOOTH ENAMEL

**I.Yu. Lebedenko, S.D. Arutyunov,
S.A. Muslov**

MSMSU

Delegatskaya str., 20/1, Moscow, Russia, 127473
tel. +79114636467, email: somvoz@live.ru, muslov@mail.ru

A.S. Useinov

TISNCM

Tsentralnaya str., 7a, Troitsk, Moscovskaya obl., 142190
tel. +79114636467, email: somvoz@live.ru

The nanomechanical properties and roughness of tooth enamel are investigated.

Key words: tooth, enamel, caries, nanohardness, Young's modulus of elasticity, roughness.