

УДК: 611.314.001.57

© Ковешников В.Г., Маврич В.В., Болгова Е.С., Возный В.Б., 2009

БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭМАЛИ И ДЕНТИНА В ПРЕДЕЛАХ ОДНОГО ЗУБА НА ГОРИЗОНТАЛЬНОМ ШЛИФЕ**Ковешников В.Г., Маврич В.В., Болгова Е.С., Возный В.Б.***Ауганский государственный медицинский университет*

Ковешников В.Г., Маврич В.В., Болгова Е.С., Возный В.Б. Биомеханические свойства эмали и дентина в пределах одного зуба на горизонтальном шлифе // Украинський морфологічний альманах. – 2009. – Том 7, №3. – С. 37-40.

Целью данного исследования было выявить особенности микротвердости и модуля упругости (по Oliver и Pharr, 1992) эмали и дентина в пределах одного зуба. Исследование было проведено на горизонтальном шлифе первого верхнего премоляра человека изготовленном на уровне средней трети коронки. В общей сложности было проведено 45 испытаний на микротвердость. Обнаружено, что прочностные характеристики эмали и дентина различны в зависимости от места исследования на горизонтальном шлифе зуба: микротвердость и модуль упругости эмали прогрессивно снижаются от поверхности эмали (200 мкм = $423,9 \pm 23,0$ кг/мм² и $79,6 \pm 4,0$ ГПа) к дентиноэмалевой границе, где происходит их резкое падение при переходе к дентину (800 мкм = $161,2 \pm 10,1$ кг/мм² и $33,6 \pm 1,8$ ГПа). Прочностные характеристики дентина также снижаются от центральной зоны (1000 мкм = $165,4 \pm 29,6$ кг/мм² и $34,4 \pm 5,2$ ГПа) по направлению к полости коронки (2000 мкм = $138,0 \pm 14,3$ кг/мм² и $29,5 \pm 2,5$ ГПа).

Ключевые слова: премоляры, микротвердость, модуль упругости

Ковешников В.Г., Маврич В.В., Болгова Е.С., Возный В.Б. Біомеханічні властивості емалі та дентину у межах одного зуба на горизонтальному шліфу // Український морфологічний альманах. – 2009. – Том 7, №3. – С. 37-40.

Метою даного дослідження було виявити особливості микротвердості та модуля пружності (по Oliver и Pharr, 1992) емалі та дентину у межах одного зуба. Дослідження проведено на горизонтальному шліфу першого верхнього премоляру людини виготовленому на рівні середньої третини коронки. Загалом було проведено 45 випробувань на микротвердість. З'ясовано що міцнісні властивості емалі та дентину різні в залежності від міста дослідження на горизонтальному шліфу зуба: микротвердість та модуль пружності емалі прогресивно знижуються від поверхні емалі (200 мкм = $423,9 \pm 23,0$ кг/мм² и $79,6 \pm 4,0$ ГПа) до дентиноемалевої межі, де відбувається їх різке падіння при переході до дентину (800 мкм = $161,2 \pm 10,1$ кг/мм² и $33,6 \pm 1,8$ ГПа). Міцнісні властивості дентину також знижуються від центральної зони (1000 мкм = $165,4 \pm 29,6$ кг/мм² и $34,4 \pm 5,2$ ГПа) у напрямці до порожнини коронки (2000 мкм = $138,0 \pm 14,3$ кг/мм² и $29,5 \pm 2,5$ ГПа).

Ключові слова: премоляри, микротвердість, модуль пружності

Koveshnikov V.G., Mavrych V.V., Bolgova E.S., Voznyj V.B. Biomechanical properties of enamel and dentin within one tooth on horizontal section // Український морфологічний альманах. – 2009. – Том 7, №3. – С. 37-40.

The purpose of this research was to reveal features of microhardness and elasticity module (method of Oliver and Pharr, 1992) of enamel and dentine within one tooth. Research was done on horizontal section of the first superior human premolar on the level of the crown middle 1/3. 45 tests for microhardness have been done totally.

It was found, that biomechanical properties of enamel and dentin are different and depend of specific place on horizontal section of a tooth: microhardness and elasticity module of enamel progressively decrease from an enamel surface (200 microns = 423.9 ± 23.0 kg/mm² and 79.6 ± 4.0 GPa) to DEJ where there were dramatically decrease (800 microns = 161.2 ± 10.1 kg/mm² and 33.6 ± 1.8 GPa). Biomechanical properties of dentin also decrease from the central zone (1000 microns = 165.4 ± 29.6 kg/mm² and 34.4 ± 5.2 GPa) in a direction to a crown cavity (2000 microns = 138.0 ± 14.3 kg/mm² and 29.5 ± 2.5 GPa).

Key words: premolars, microhardness, elasticity module

Цель и задачи исследования. Имеется значительное количество сообщений о широком диапазоне механических свойств зубов [1, 4]. Некоторые работы свидетельствуют об изменениях прочностных свойств материала в зависимости от местоположением индентора в одном и том же самом зубе [2, 3, 5, 6]. Таким образом вполне вероятно, что механические свойства зуба зависят от местоположения точки испытания. Поэтому нами были предпринято систематическое исследование биомеханических свойств главных элементов зуба - эмали и дентина в различных точках (зависимости от положения и ориентации на срезе.

Зубы обычно рассматривают как анизотропный материал [8, 9, 10]. Как конструкция, зуб состоит из более чем одного компонента. Эмаль и дентин поддерживают друг друга и ведут себя как высоко ориентируемые тела в пределах формы зуба. У каждого компонента есть позиционные различия, и следовательно их биомеханические свойства являются несходными [7]. У эмали и дентина есть их собственные отличительные внутренние структуры, которая прослеживается по всему зубу с немногими незначительными изменениями в некоторых определенных областях. Эмалевые призмы и дентиновые трубочки, простираю-

шейся от центра зуба (от пульпы), к внешней поверхности.

Зуб (и его структуры - эмаль или дентин) может быть распилен в трех главных плоскостях и соответственно может иметь разные механические свойства.

Цель данного исследования состояла в том, чтобы определить, имеются ли достоверные различия в прочностных свойствах эмали и дентина в пределах того же самого зуба или нет.

Работа выполнена в соответствии с планом научных исследований Луганского государственного медицинского университета и является составной частью научно-исследовательской темы кафедры нормальной анатомии человека № 0103U006652 "Особенности морфогенеза кистковой, иммунной та эндокринной систем під впливом екологічних чинників".

Материал и методы. На горизонтальном шлифе первого верхнего премоляра с помощью микротвердомера ПМТ-3 определялась микротвердость эмали и дентина в различных точках методом вдавливания в испытываемый материал алмазного наконечника Виккерса с квадратным основанием четырехгранной пирамиды, обеспечивающей геометрическое и механическое подобие отпечатков по мере углубления индентора под действием нагрузки в соответствии с «Методом определения микротвердости, допускающие приближение отпечатка от вдавливания алмазной пирамиды (ГОСТ 9450-76)».

Используя метод Oliver и Pharr [4] мы определяли микротвердость образца (H) и модуль упругости (E). Рисунок 1 показывает схематическую диаграмму глубины смещения индентора в зависимости от приложенной нагрузки, полученной при испытании на микротвердость.

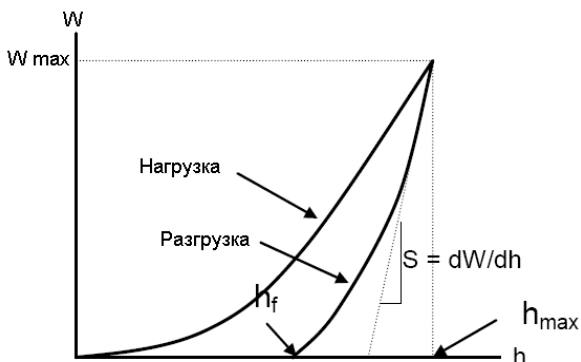


Рисунок 1. Схематическая диаграмма глубины смещения индентора от приложенной нагрузки: по оси x (h) - глубина смещения индентора; по оси y (W) - приложенная сила

Схематическое представление процесса углубления индентора показано на рисунке 2. Глубина, измеренная во время углубления h, является суммированием h_s (смещение из-за

упругого деформация) и h_c (контактной глубины или глубина индентора в контакте с образцом под нагрузкой), h_f представляет заключительную глубину остаточного углубления, когда индентор полностью извлечен. S – контактная жесткость является начальным отрезком наклона кривой нагружения (dW/dh). W_{max} и h_{max} - максимальная нагрузка и смещение, соответственно.

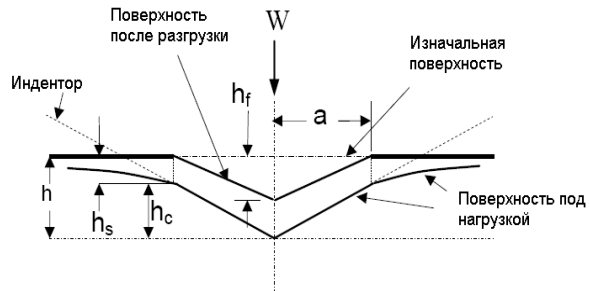


Рисунок 2. Схематическое представление процесса углубления индентора.

Твердость образца может быть получена, как отношение силы нагружения к площади отпечатка индентора. Таким образом это давление, которое материал выдерживает под нагрузкой. Из диаграммы нагружения твердость может быть получена по формуле:

$$H = \frac{W_{max}}{A}$$

где W_{max} - максимальная нагрузка; A – площадь отпечатка при максимальной нагрузке. Модуль упругости образца по Oliver и Pharr [4] определяется по формуле:

$$E_s = \frac{1 - \nu_s^2}{2 \sqrt{\frac{\pi}{A} - \frac{1 - \nu_i^2}{E_i}}}$$

где E_i – модуль упругости индентора; ν_s и ν_i – коэффициенты Пуассона образца и индентора, соответственно. Данная формула подразумевает однородность и изотропность материала образца.

Для исследования биомеханических свойств эмали и дентина в пределах одного зуба нами были приготовлена горизонтальная секция первого верхнего премоляра в средней трети высоты коронки, ее рабочая поверхность была отшлифована в соответствии с требованиями ГОСТ 9450-76 и подвергнута испытаниям на микротвердость.

Вдоль каждой из 5 параллельных рядов, проведенных от внешней границы эмали до пульповой камеры были проведены 9 испытаний (всего 45), три точки из них приходились на эмаль и 6 - на дентин (рис. 3).

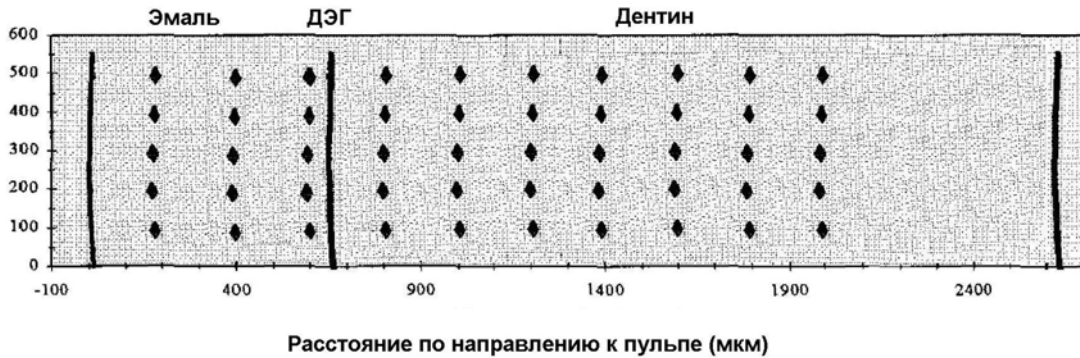


Рисунок 3. Схема расположения отпечатков индентора по мере продвижения от внешней поверхности эмали до пульпы: ДЭГ – дентиноэмалевая граница.

Зарегистрированные данные о микротвердости и модуле упругости для различных точек горизонтального шлифа первого верхнего премоляра затем подверглись параметрическому, корреляционному и регрессионному анализам.

Результаты исследования и их обсуждение. Согласно нашим данным микротвердость эмали на горизонтальном шлифе первого премоляра проведенном через среднюю треть коронки определялась в интервале $378,3 \div 457,7$ кг/мм², средние значения ее достоверно снижались от $423,9 \pm 23,0$ кг/мм² до $387,9 \pm 13,1$ кг/мм² по направлению от поверхности зуба к пульпе (рис. 4) при $r = -0,66$ ($p < 0,01$).

Значения микропрочности для дентина были намного ниже чем у эмали и регистрировались в интервале $118,3 \div 203,4$ кг/мм². На границе дентиноэмалевого перехода в микротвердость среднем составила $161,2 \pm 10,1$ кг/мм², в центральной зоне дентина - $165,4 \pm 29,6$ кг/мм² - $166,4 \pm 21,1$ кг/мм², а на границе с пульпарной полостью микротвердость дентина существенно снижается: $145,1 \pm 20,8$ кг/мм² - $138,0 \pm 14,3$ кг/мм².

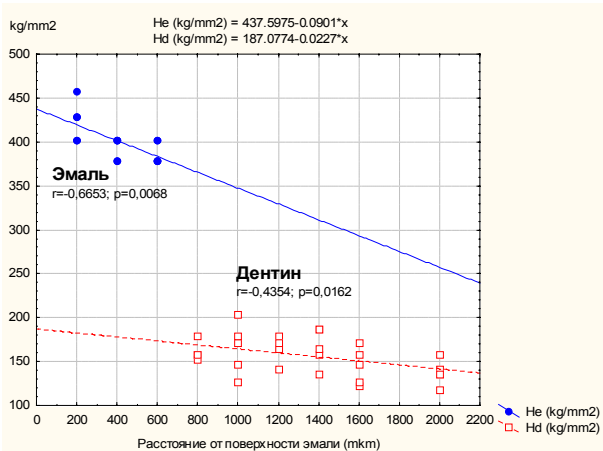


Рисунок 4. Точечная диаграмма рассеивания значений микротвердости для испытаний проведенных на различном расстоянии от поверхности эмали.

Корреляционный анализ подтвердил статистически значимую зависимость микротвердости дентина от точки исследования: $r = -0,43; p < 0,05$.

В результате регрессионного анализа были получены формулы зависимости микротвердости эмали и дентина от расстояния от поверхности зуба для первого верхнего премоляра человека:

$$H_e = 437,6 - 0,0901 \cdot L$$

$$H_d = 187,1 - 0,00227 \cdot L$$

где H_e – микротвердость эмали в кг/мм²; H_d – микротвердость дентина в кг/мм²; L – расстояние от поверхности эмали по направлению к пульпе в мкм.

Анализ полученных значений для модуля упругости показал в целом сходные результаты (рис. 5).

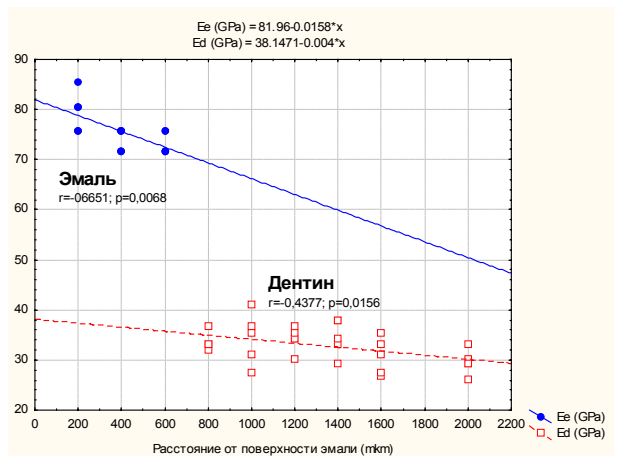


Рисунок 5. Точечная диаграмма рассеивания значений модуля упругости для испытаний проведенных на различном расстоянии от поверхности эмали.

Полученный интервал значений для модуля упругости у эмали был от 71,6 ГПа до 85,5 ГПа. Средние значения модуля упругости у эмали прогрессивно снижались от поверхности к центру зуба от $79,6 \pm 4$ ГПа до $73,3 \pm 2,3$ ГПа ($r = -0,66; p < 0,01$). При переходе через дентиноэмалевую границу значения модуля

упругости резко падают до $33,6 \pm 1,8$ ГПа. В зоне центрального дентина они несколько повышаются опять: $34,1 \pm 2,5 - 34,5 \pm 3,7$ ГПа, а в зоне прилежащей к пульпарной камере снижаются снова: $30,8 \pm 3,6 - 29,5 \pm 2,5$ ГПа. В целом для дентина интервал полученных значений колебался от 26,1 ГПа до 41 ГПа. Корреляционный анализ (как и для эмали) показал значимую отрицательную зависимость для модуля упругости дентина по отношению к расстоянию от поверхности зуба.

В результате регрессионного анализа были получены формулы зависимости модуля упругости для эмали и дентина от расстояния от поверхности зуба для первого верхнего премоляра человека:

$$E_e = 81,96 - 0,0158 \times L$$

$$E_d = 38,15 - 0,004 \times L$$

где E_e – модуль упругости эмали в ГПа; E_d – модуль упругости дентина в ГПа; L – расстояние от поверхности эмали по направлению к пульпе в мкм.

Таким образом, нами обнаружено, что прочностные характеристики эмали и дентина различны в зависимости от места исследования на горизонтальном шлифе зуба: микротвердость и модуль упругости эмали прогрессивно снижаются от поверхности эмали (200 мкм = $423,9 \pm 23,0$ кг/мм² и $79,6 \pm 4,0$ ГПа) к дентиноэмалевой границе, где происходит их резкое падение при переходе к дентину (800 мкм = $161,2 \pm 10,1$ кг/мм² и $33,6 \pm 1,8$ ГПа). Прочностные характеристики дентина также снижаются от центральной зоны (1000 мкм = $165,4 \pm 29,6$ кг/мм² и $34,4 \pm 5,2$ ГПа) по направлению к полости коронки (2000 мкм = $138,0 \pm 14,3$ кг/мм² и $29,5 \pm 2,5$ ГПа).

В дальнейших наших исследованиях мы планируем исследовать прочностные особенности эмали и дентина на различных точках сагиттальных шлифов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Fusayama T. Total etch technique and cavity isolation // J Esthet Dent – 1992 (4). – P. 105-109.
2. Fusayama T, Maeda T. Effect of pulpectomy on dentin hardness // J Dent Res – 1969 (48). – P. 452-460.
3. Johnsen D.C. Comparison of primary and permanent teeth // Oral development and histology. Avery JK, editor. Baltimore: Williams & Wilkins -1987. - P. 180-191.
4. Oliver W.C., Pharr, G.M. An Improved Technique for Determining Hardness and Elastic Modulus Using Load and Displacement Sensing Indentation Experiments // J Materials Res – 1992 (6), P. 1564-1583.
5. Kodaka T., Debari K., Yamada M., Kuroiwa M. Correlation between microhardness and mineral content in sound human enamel // Caries Res – 1992 (26). - P. 139-141.
6. Meredith N., Sheriff M., Setchell D.J., Swanson S.A. Measurement of the microhardness and Young's modulus of human enamel and dentin using an indentation technique // Arch Oral Biol – 1996 (41). – P. 539-545.
7. Rasmussen S.T., Patchin R.E. Fracture properties of human enamel and dentin in an aqueous environment // J Dent Res – 1984 (63). - P. 1362-1368.
8. Rasmussen S.T., Patchin R.E., Scott D.B. Fracture properties of human enamel and dentin // J Dent Res – 1976 (55) – P. 154-164.
9. Van Noort R., Howard I.C. Cardew G.E. Why is enamel structurally anisotropic? J Dent Res – 1991 (70) – P. 455.
10. Spears I.R. A three-dimensional finite element model of prismatic enamel: a re-appraisal of the data on the Young's modulus of enamel // J Dent Res – 1997 (76) – P. 1690-1697.

Надійшла 21.04.2009 р.
Рецензент: проф. В.І.Лузін