

НАНОТВЕРДОСТЬ ЭМАЛИ ПОСТОЯННЫХ ЗУБОВ У ДЕТЕЙ НА ЭТАПЕ ВТОРИЧНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ

Сороченко Григорий Валериевич

Доктор медицинских наук, профессор

Национальный медицинский университет имени А.А. Богомольца

Украина, Киев

ntu.dts@gmail.com

Хоменко Лариса Александровна

Доктор медицинских наук, профессор

Национальный медицинский университет имени А.А. Богомольца

Украина, Киев

ntu.dts@gmail.com

Остапко Елена Ивановна

Доктор медицинских наук, профессор,

Национальный медицинский университет имени А.А. Богомольца,

Украина, Киев.

ntu.dts@gmail.com

Биденко Наталья Васильевна

Доктор медицинских наук, профессор,

Национальный медицинский университет имени А.А. Богомольца,

Украина, Киев.

ntu.dts@gmail.com

Голубева Инна Николаевна

Кандидат медицинских наук, доцент,

Национальный медицинский университет имени А.А. Богомольца,

Украина, Киев.

ntu.dts@gmail.com

В данной статье впервые приведены результаты определения нанотвердости незрелой эмали постоянных зубов на этапе вторичной минерализации. Установлены достоверные различия нанотвердости эмали в пришеечной области, зонах бугорка и экватора на различной глубине. Максимальные значения нанотвердости и модуля упругости незрелой эмали постоянных зубов зафиксированы в поверхностном и подповерхностном ее слоях в области экватора и бугорка. Минимальные значения этих показателей выявлены в пришеечной области, что свидетельствует о низком уровне кариесрезистентности и высоком риске развития кариеса.

Ключевые слова: *эмаль; вторичная минерализация; нанотвердость.*

**ENAMEL NANOHARDNESS OF PERMANENT TEETH
AT THE SECONDARY MINERALIZATION STAGE IN CHILDREN**

Sorochenko Grigoriy V.

DD, Professor

Department of pediatric and preventive dentistry

Bogomolets national medical university

Ukraine, Kyiv

nmu.dts@gmail.com

Larisa Khomenko

DD, Professor

Department of pediatric and preventive dentistry

Bogomolets national medical university

Ukraine, Kyiv

nmu.dts@gmail.com

Olena Ostapko

DD, Professor

Department of pediatric and preventive dentistry

Bogomolets national medical university

Ukraine, Kyiv

nmu.dts@gmail.com

Natalia Bidenko

DD, Professor

Department of pediatric and preventive dentistry

Bogomolets national medical university

Ukraine, Kyiv

nmu.dts@gmail.com

Inna Golubeva

PhD, Associate Professor

Department of pediatric and preventive dentistry

Bogomolets national medical university

Ukraine, Kyiv

nmu.dts@gmail.com

Enamel nanohardness of immature permanent teeth at the stage of secondary mineralization was evaluated during this research for the first time. Significant differences in enamel nanohardness in the cervical area, zones of the cusps and equator at various depth were presented. The maximum values of immature enamel nanohardness and elastic modulus of permanent teeth are recorded in its superficial and sub superficial layers in the area of the equator and cusps. The minimum values

of these indicators were detected in the cervical area, which indicates a low level of caries resistance and a high caries risk

Tags: enamel; secondary mineralisation; nanohardness.

Изучение показателей нанотвердости эмали является информативным количественным методом оценки состояния твердых тканей зубов [1]. На сегодняшний день наиболее точным, теоретически и экспериментально подтвержденным методом исследования физических характеристик материалов признан метод определения нанотвердости путем наноидентирования. Микро- и наноидентирование используются отечественными и зарубежными учеными в стоматологии [2-6]. Однако, сведения о результатах изучения механических свойств незрелой эмали постоянных зубов в литературе отсутствуют.

Цель исследования – изучение *in vitro* механических свойств эмали постоянных зубов непосредственно после их прорезывания.

Материалы и методы исследования. Для проведения исследования использованы 15 образцов эмали удаленных по ортодонтическим показаниям премоляров не позднее 6 месяцев после их прорезывания.

Образцы эмали для исследования получены путем крестовидного распила коронковой части зубов с помощью алмазного диска толщиной 0,2 мм. Полученные фрагменты фиксировали в акриловой пластмассе и изготавливали шлифы путем полирования замшей и алмазным порошком, последовательно снижая его дисперсность. Перед исследованием поверхность образцов обрабатывали 96 % этанолом для удаления загрязнений.

Исследования эмали постоянных зубов методом наноидентирования проводили на приборах "Микрон-гамма" и Nano Indenter G200 (Nano Instrument Innovation Center, Oak Ridge, TN, USA) путем непрерывного вдавливания в поверхность твердого индентера (алмазной 3-гранной пирамиды Берковича) с регистрацией в автоматизированном режиме глубины его проникновения (*h*) и вдавливающей силы (*P*) по методу DSI (Depth Sensing Indentation) в соответствии со стандартом ISO 14577-4. Результаты получали в виде графических диаграмм внедрения (ДВ), которые определяют зависимость силы нагрузки (*P*) от глубины проникновения (*h*). Значения нанотвердости (*H*) и модуля упругости (*E*) определяли по методу Оливера и Фара [7].

Наномеханические исследования эмали проводили в пришеечной области, в участке экватора и щечного бугорка на всю глубину с шагом 50 мкм при нагрузке на индентер в 1 г (10 мН) и в 10 г (10 сН). Скорость индентирования была стандартной, и составляла, соответственно, 0,1 и 1 г/сек.

Статистическую обработку результатов лабораторных и клинических исследований проводили с использованием программ МЕДСТАТ.

Результаты исследования. Результаты исследования наномеханических свойств незрелой эмали постоянных зубов методом наноидентирования представлены в таблице.

Согласно полученным результатам среднее показателя нанотвердости незрелой эмали постоянных зубов составляет $3,3 \pm 0,41$ ГПа, что достоверно ниже в

сравнении с аналогичными показателями (3,[-4,9 ГПа) зрелой эмали постоянных зубов [3-5].

Таблица 1 – Нанотвердость и модуль упругости различных участков незрелой эмали постоянных зубов

Участок коронковой части зуба	Параметр исследования	
	H, (твердость по Мейеру), ГПа	E, (модуль упругости), ГПа
Пришеечная область	3,15±0,25	61,2±7,3
Экватор	3,38±0,22	67,5±6,8
Бугорок	3,35±0,31	72,4±8,2

Полученные результаты подтверждают взаимосвязь степени минерализации и механических свойств твердых тканей зубов [1-3,5,6]. Они свидетельствуют о недостаточном уровне минерализации эмали постоянных зубов, которые недавно прорезались [8].

Максимальные средние значения нанотвердости эмали были выявлены в области экватора зуба – 3,38±0,22 ГПа. В участке бугорка этот показатель был на 0,9% ниже и составлял 3,35±0,31 ГПа. В пришеечной области средние значения нанотвердости эмали оказались минимальными – 3,15±0,25 ГПа (6,8%). Достоверной разницы между полученными показателями нанотвердости незрелой эмали постоянных зубов в исследуемых участках выявлено не было ($p>0,05$).

Нами установлены изменения значений нанотвердости в различных участках эмали недавно прорезавшихся постоянных зубов в зависимости от глубины исследования. Толщина исследуемой эмали в области бугорка была максимальной и колебалась в пределах от 1,45 мм до 1,81 мм. В участке экватора ее параметры были равны 0,67 – 1,3 мм, в пришеечной области – 0,26 – 0,35 мм.

Наивысшее среднее значение нанотвердости поверхностного слоя эмали недавно прорезавшихся постоянных зубов было зарегистрировано в области бугорка – 3,76±0,42 ГПа и в участке экватора – 3,71±0,38 ГПа. В области бугорка максимальные показатели нанотвердости выявлены на глубине до 450 мкм от поверхности (3,73 – 3,9 ГПа). Начиная с глубины 500 мкм, наблюдалось постепенное снижение значений, и на глубине 1200-1500 мкм показатель нанотвердости не превышал 2,73 – 2,82 ГПа.

Максимальные параметры нанотвердости в области экватора зуба были зафиксированы на глубине 50 мкм от поверхности (3,76 – 3,86 ГПа). На глубине от 100 до 1000 мкм их значения колебались в пределах от 3,32 ГПа до 3,65 ГПа. На глубине более 1100 мкм отмечалось достоверное снижение значений нанотвердости до 2,51 – 2,75 ГПа ($p<0,05$). Полученные нами результаты могут быть обусловлены наличием в области экватора зуба участков эмали с

недостаточной минерализацией (эмалевые пучки) или глубоким проникновением дентина в эмаль (нанотвердость – 1,2 – 1,8 ГПа).

В пришеечной области незрелой эмали постоянных зубов минимальные показатели нанотвердости были зарегистрированы на поверхности ($3,09 \pm 0,37$ ГПа) и на глубине 50 мкм ($3,07 \pm 0,43$ ГПа). Это может свидетельствовать о том, что пришеечный участок эмали постоянных зубов в период вторичной минерализации является одним из наименее минерализованных, потому требует наибольшего внимания и нуждается в назначении кариеспрофилактических средств.

Значение модуля упругости эмали недавно прорезавшихся постоянных зубов составило $66,5 \pm 9,11$ ГПа и находилось в пределах параметров, полученных другими исследователями [6,9]. Максимальное среднее значение модуля упругости было выявлено в области бугорка – $72,4 \pm 8,2$ ГПа. Результаты определения данного показателя в участке экватора ($67,5 \pm 6,8$ ГПа) и в пришеечной области ($61,2 \pm 7,3$ ГПа) были ниже на 6,8% и на 15,2% соответственно, однако разница оказалась статистически недостоверной ($p > 0,05$). Полученные данные позволяют предположить, что модуль упругости эмали постоянных зубов зависит от толщины эмали и, соответственно, от функциональной нагрузки.

Выводы. Нанотвердость эмали недавно прорезавшихся постоянных зубов составляет $3,3 \pm 0,41$ ГПа, модуль упругости – $66,5 \pm 9,11$ ГПа. Установлена зависимость показателей нанотвердости и модуля упругости незрелой эмали постоянных зубов от участка коронковой части зуба (бугорок, экватор, пришеечная область) и глубины исследования. Максимальные значения нанотвердости и модуля упругости незрелой эмали постоянных зубов выявлены в поверхностном и подповерхностном слоях в области бугорка и экватора, а минимальные – в участке шейки зуба. Относительно низкие показатели нанотвердости незрелой эмали постоянных зубов на этапе вторичной минерализации, особенно в пришеечной области, могут свидетельствовать о недостаточном уровне кариесрезистентности и высоком риске возникновения кариеса. Для предупреждения развития кариозных поражений твердых тканей зубов после их прорезывания целесообразно применять минерализующие средства, которые будут способствовать повышению степени минерализации, нанотвердости и кариесрезистентности эмали.

Список литературы:

1. Цимбалистов, А. В. Новые методические возможности исследования плотностных характеристик твердых тканей зубов / А. В. Цимбалистов, О. Л. Пихур, Ю.В. Плоткина [и др.] // Российский стоматологический журнал. – 2005. – № 5. – С. 8-9.
2. Kodaka, T. Correlation between microhardness and mineral content in sound human enamel / T. Kodaka, K. Debari, M. Yamada [et all] // Caries Res. – 1992. – №26. – P. 139-141.

3. Ярова, С. П. Анализ показателей микротвердости эмали при различном состоянии твердых тканей и глубины микротрещин / С. П. Ярова, И. И. Заболотная // Запорожский медицинский журнал. – 2013. – № 4(79). – С.117 – 120.
4. Возний, В. Б. Мікротвердість емалі та дентину в різних зонах на сагітальних шліфах перших верхніх премолярів у осіб різних вікових груп / В. Б. Возний // Український медичний альманах. – 2009. – Том 12, № 4. – С. 41-43.
5. Habelitz , S. Mechanical properties of human dental enamel on the nanometer scale / S. Habelitz, S.J. Marshall, G.W.Jr. Marshall [et all] // Arch. Oral. Biol. – 2001. – V. 46(2). – P. 173-183.
6. Дуб, С.Н. Исследование механических свойств твердых тканей зуба методом наноиндентирования / С.Н. Дуб, А.В. Борисенко, К.Е. Печковский [и др.] // Современная стоматология. – № 1(41). – 2008. – С. 25-29.
7. Oliver, W.C. Measurement of hardness and elastic modulus by instrumented indentation: Advances in understanding and refinements to methodology / W. C. Oliver, G.M. Pharr // J.Mater.Res. – 2004. – V.19 (N. 1). – P. 341-351.
8. Григоренко, Г.М. Дослідження in vitro поверхневого шару емалі постійних зубів в період вторинної мінералізації / Г.М.Григоренко, Л.О.Хоменко, Г.В.Сороченко [и др.] // Український стоматологічний альманах. – 2015. – № 1. – С. 11-15.
9. Meredith, N. Measurement of the microhardness and Young's modulus of human enamel and dentin using an indentation technique / N. Meredith, M. Sheriff, D.J. Setchell [et all] // Arch. Oral. Biol. – 1996 (41). – P. 539-545.