

логія зразків змінюється залежно від природи похідних аніонів. Пластинки, голки і рівновісні частинки можна пояснити різними видами взаємодії аніонів вихідних солей з гідроксилапатитом.

Висновки. В результаті експериментальних досліджень були виявлені наноструктури стронцію гідроксилапатиту з похідних аніонів (хлорид, нітрат, ацетат). Мікроскопічні дослідження показали, що вони складаються з пластин, голок і рівноосних частинок з розмірами від 19,4 до 35 нм, що підтверджується рентгенівськими дослідженнями, дослідженнями мікроскопії та мікроскопічними дослідженнями.

Ключові слова: наночастки на основі гідроксилапатиту стронцію; мінеральна щільність кісткової тканини; будова емалі; морфологічні особливості будови твердих тканин зубів.

©I. M. Tkachenko, A. I. Sidorova, I. Y. Marchenko, Z. Y. Nazarenko

Ukrainian Medical Stomatological Academy, Poltava

The use of strontium hydroxyapatite nanoparticles for the prevention and treatment of high abrasion of teeth (laboratory studies)

Summary. The paper describes a method for strontium hydroxyapatite nanoparticles for the prevention and treatment of high abrasion of teeth with minimum size of the primary particles with a high degree of aggregation and the penetration of nanoparticles into the crystal lattice of the tooth enamel, which is provided by increasing the density of the enamel layer the effectiveness of treatment and prevention of high abrasion of teeth.

The aim of the study – development of several derivatives of strontium salts having different structure of nanoparticles for the purpose of their further integration into the enamel layer to increase the enamel strength.

Materials and Methods. On the basis of the proposed method we designed research protocol samples of teeth with increased abrasion to assess the penetration and fixation of nanoparticles on the surface of the tooth enamel. The use of the proposed method in a dental practice would improve the effectiveness of treatment and prevention of high abrasion of teeth due to inclusion in the complex treatment in the form of applications, ointments and gels.

Results and Discussion. We obtained nanoparticles synthesized from strontium nitrate in the form of prisms measuring from 30 nm to 34 nm in size obtained by precipitation from strontium chloride.

Conclusions. As a result of experimental research, strontium hydroxyapatite nanostructures from anion derivatives (chloride, nitrate, acetate) were discovered. Microscopic investigation showed that they consisted of plates, needles and equiaxed particles with dimensions from 19.4 to 35 nm, which is confirmed by X-ray, trace studies and microscopic studies

Key words: nanoparticles on the basis of strontium hydroxyapatite; mineral density of bone tissue; structure of enamel; morphological features of the structure of solid dental tissues.

Введение. Актуальность проблемы профилактики и лечения повышенной стираемости зубов обусловлена тем, что при данной нозологии происходят нарушения, связанные с изменением морфологии самих зубов, толщины эмалевого слоя и структуры эмали, что, в последующем, приводит к уменьшению высоты коронковой части зубов, нарушению функционирования височно-нижнечелюстных суставов, изменению миостатических рефлексов и уменьшению высоты центральной окклюзии.

Возможность восстановления структуры эмали, которая потеряна за счет функции, профилактики ее потери или приостановка патологического процесса, на уровне его обнаружения, является наиболее перспективным и актуальным направлением в стоматологии [3].

В большинстве случаев изучается возможность в экспериментальных условиях биометрического роста кристаллов на поверхности зубного дентина при различных способах его обработки [1, 2]. Основная трудность заключается в невозможности соединения и проникновения предлагаемых материалов в эмаль с целью ее упрочнения. В качестве материала для лечения повышенной стираемости зубов мы предлагаем использовать наночастицы. Уменьшение частиц до нанометровых размеров приводит к проявлению в них так называемых квантовых размерных эффектов.

В настоящее время уникальные физические свойства наночастиц, возникающие за счет поверхностных или квантово-размерных

эффектов, является объектом интенсивных исследований [4, 5].

Оценивая микроэлементы, которые можем применять в стоматологической практике, мы обратили свое внимание на такой элемент как стронций, который является активным агентом для повышения плотности зубной эмали. Комбинированные эффекты распределения стронция в костной ткани и повышенная, по данным рентгенографии, абсорбция стронция по сравнению с кальцием, приводят к повышению минеральной плотности костной ткани (МПКТ), которая измеряется путем двухфотонной рентгеновской абсорбциометрии [2, 3].

Исходя из вышеперечисленного, наночастицы, производные стронция и родственные ионам кальция, по нашему мнению, могут абсорбироваться на поверхности апатита или замещать данным анионом фосфат или гидроксид-ион в решетке гидроксилапатита, встраиваться в эмалевые призмы.

Цель исследования – разработать несколько производных солей стронция, имеющих различную структуру наночастиц с целью дальнейшей интеграции их в эмалевый слой для повышения прочности эмали.

Материалы и методы. Прототипом по получению наночастиц со стронцием стала работа Ю. Д. Третьякова (2007) по методике химического синтеза наночастиц с гидроксилапатитом кальция [2].

В качестве стронцийсодержащей соли в работе были использованы нитрат, хлорид и ацетат стронция. Выбор данных анионов можно объяснить довольно значительной растворимостью их в воде. Рентгенографическое исследование полученных образцов проводили на дифрактометре (ДРОН-7М), при $U = 30\text{kV}$, $I = 20\text{ mA}$, $\delta = 0,004$ град и $\tau = 3\text{ c}$. В зависимости от методики получения наночастиц, их производная форма также отличалась.

Результаты исследований и их обсуждение. Мы исследовали наночастицы, синтезированные из нитрата стронция в виде призм размером от 30 нм и палочковидных наночастиц размером от 34 нм, полученных методом осаждения из хлорида стронция (рис. 1–3). Таким образом, методом осаждения из водных растворов солей стронция было синтезировано порошки гидроксилапатита стронция с размером первичных частиц от 19,8 нм с высокой степенью агрегации.

Морфология полученных образцов изменяется в зависимости от природы производных

анионов (хлорид, нитрат, ацетат). Пластинки, иглы и равноосные частицы можно объяснить различными видами взаимодействия анионов исходных солей с гидроксилапатитом.

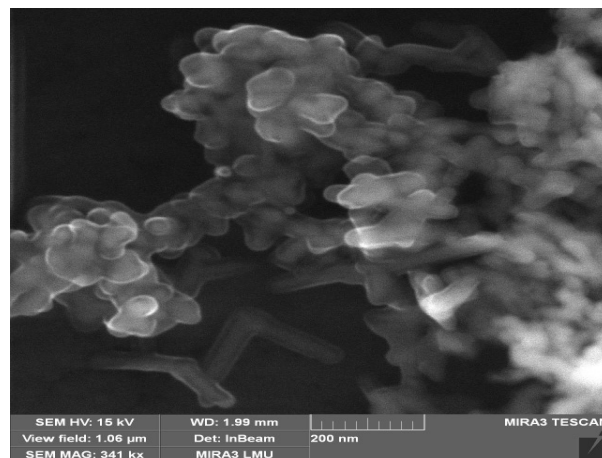


Рис. 1. Микрофотография наночастиц кристаллов стронциевого гидроксилапатита, полученного методом осаждения из хлорида стронция.

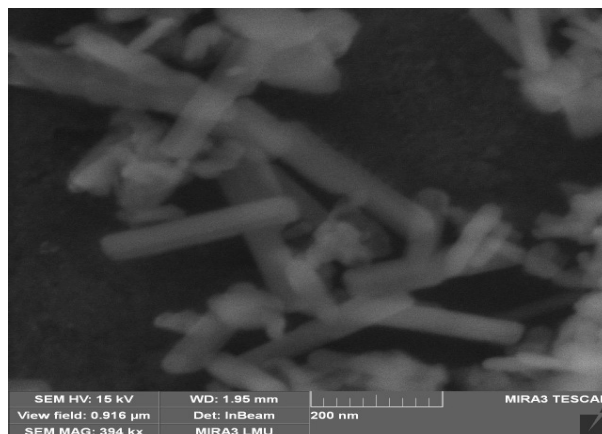


Рис. 2. Микрофотография наночастиц кристаллов стронциевого гидроксилапатита, полученного методом осаждения из нитрата стронция.

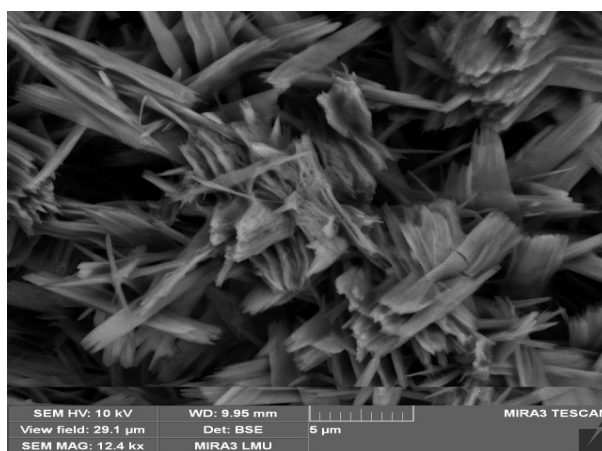


Рис. 3. Микрофотография наночастиц кристаллов стронциевого гидроксилапатита, полученного из хлорида стронция, осажденного оксиэтилэндифосфоновой кислотой (ОЭДФ).

После протравливания поверхности эмали исследуемых зубов 30 % ортофосфорной кислотой с целью очистки поверхностного слоя эмали и выбора точек для микроанализа для нанесения разработанных наночастиц проводили химический микроанализ эмали (рис. 4, 5).

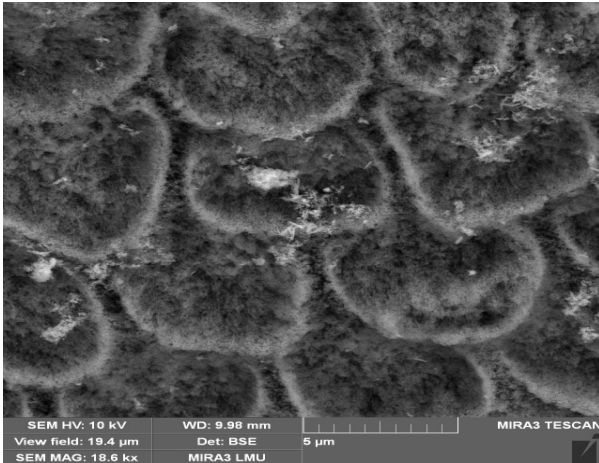


Рис. 4. Электронное изображение исследуемой зоны эмали (образец № 16, зона 2) с явлениями повышенной стираемости после протравливания с фиксированными наночастицами стронциевого гидроксилапатита, осажденного из азотистых солей, увеличение $\times 1160$, масштабная метка – 5 мкм.

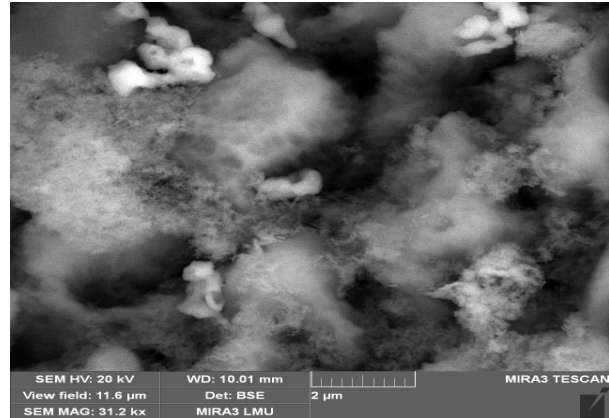


Рис. 5. Электронное изображение исследуемой зоны эмали (образец № 16, зона 2) с явлениями повышенной стираемости после протравливания с фиксированными наночастицами стронциевого гидроксилапатита, осажденного из азотистых солей, увеличение $\times 3760$, масштабная метка – 2 мкм.

Выводы. Включение в структуру кальциевого гидроксилапатита, которым представлена эмаль зуба, наночастиц из стронция позволит повысить плотность и прочность эмали как на этапах профилактики повышенной стираемости, так и на этапах лечебных мероприятий, которые в состоянии, по нашему мнению, повысить резистентность эмали к повышенным функциональным нагрузкам.

Список литературы

1. Гусев А. И. Наннокристаллические материалы / А. И. Гусев, А. А. Ремпель. – М. : Физматлит, 2000. – 224 с.
2. Третьяков Ю. Д. Влияние анионов NO_3 , CH_3COO , Cl на морфологию кристаллов гидроксилапатита кальция / Ю. Д. Третьяков, А. А. Степук, А. Г. Вересов // Доклады академии наук. – 2007. – Т. 412, № 2. – С. 211–215.
3. Ткаченко І. М. Концептуальні основи профілактики та лікування підвищеної стертості твердих тканин зубів : дис. ... д. мед. наук : 14.01.22 «Стоматологія» І. М. Ткаченко. – Полтава, 2013. – 311 с.

References

1. Gusev, A.I. & Rempel, A.A. (2000). *Nannokristallicheskiye materialy [Nanocrystalline materials]*. Moscow: Fizmatlit [in Russian].
2. Tretyakov, Yu.D., Stepuk, A.A. & Veresov, A.G. (2007). Vliyaniye anionov NO_3 , CH_3COO , Cl na morfologiyu kristallov gidroksilapatita kaltsiya [Effect of NO_3 , CH_3COO , Cl anions on the morphology of calcium hydroxylapatite crystals]. *Doklady akademii nauk – Reports of the Academy of Sciences*, 412, 2, 211–215 [in Russian].
3. Tkachenko, I.M. (2013). Kontseptualni osnovy profilaktyky ta likuvannya pidvyshchenoi stertosti tverdykh tkanyn zubiv [Conceptual bases of prophylaxis and treatment of high erosion of hard tissues of teeth].

4. Liu H. Efficacy of a commercial dentifrice containing 2 % strontium chloride and 5% potassium nitrate for dentin hypersensitivity: a 3-day clinical study in adults in China / H. Liu, D. Hu // *Clin. Ther.* – 2012. – Vol. 34 (3). – P. 614–622. PMID: 22385928
5. Parkinson C. R. A comparative in vitro study investigating the occlusion and mineralization properties of commercial toothpastes in a four-day dentin disc model / C. R. Parkinson, R. J. Willson // *J. Clin. Dent.* – 2011. – Vol. 22 (3). – P. 74–81. PMID: 21905401.

Doctor's thesis. Poltava [in Ukrainian].

4. Liu, H. & Hu, D. (2012). Efficacy of a commercial dentifrice containing 2 % strontium chloride and 5 % potassium nitrate for dentin hypersensitivity: a 3-day clinical study in adults in China. *Clin. Ther.*, 34 (3), 614–622. PMID: 22385928
5. Parkinson, C.R. & Willson R.J. (2011). A comparative in vitro study investigating the occlusion and mineralization properties of commercial toothpastes in a four-day dentin disc model. *J. Clin. Dent.*, 22 (3), 74–81. PMID: 21905401.

Отримано 06.03.18