**Разработка и основные характеристики реминерализующих стоматологических композитов, содержащих наночастицы гидроксиапатита**

**Введение**

Кислоты, продуцируемые ацидогенными бактериями биопленки, снижают уровень pH полости рта и вызывают деминерализацию тканей зуба, то есть потерю ионов Ca2+ и PO43-, увеличивая риск повторного развития кариеса зубов, и тем самым ставя под угрозу клиническую долговечность реставраций [1\*]. В данном процессе важная роль отводится S.mutans [2\*]. Клинические данные показывают, что стоматологические композиты подвергаются большему накоплению биопленки на своей поверхности, чем другие реставрационные биоматериалы [3\*]. Таким образом, модификация базового состава стоматологических композитов биоактивными компонентами, способными нейтрализовать кислоты бактерий и/или реминерализовать кариозные поражения на их начальной стадии, является передовой технологией в разработке новых биоактивных реставрационных материалов.

Одним из наиболее распространенных подходов к созданию биоактивных стоматологических композитов, обладающих такими возможностями, является включение «умных частиц», способных выделять высокие уровни Ca2+, PO43- и F-, когда уровень pH полости рта падает ниже критического значения 5,5 [4\*]. Для разработки стоматологических композитов с реминерализующими свойствами были использованы частицы фосфата кальция различных размеров, от нано до микрометров 60 нм –100 мкм [5\*], способные выделять ионы Ca2+ и PO43- при падении значений pH [6\*]. Кроме того, частицы фосфата кальция также способны вызывать осаждение кристаллов апатита [8\*], что благоприятно влияет на реминерализацию эмали. Оба механизма способствуют укреплению твердой ткани зуба и противостоят воздействию ацидогенных бактерий.

Благодаря свойствам биосовместимости, биоактивности, сродству к биополимерам и остеогенному потенциалу [9\*], гидроксиапатит, включающий в себя кальций и фосфаты, был использован при разработке биоматериалов широкого применения для регенерации тканей [10\*]. В настоящее время современные технологии позволяют производить синтетические наночастицы гидроксиапатита (HApNP) такой формы, как сфера [11\*], волокно [12\*], стержень [13\*] и проволока [14\*]. Кроме того, благодаря своей морфологии и высокой кристалличности, наночастицы гидроксиапатита ведут себя подобно натуральным кристаллам апатита эмали, что использовалось для создания реминерализующих зубных паст [15\*] и растворов [16\*].

Недавнее исследование продемонстрировало, что инфильтранты на основе смол с добавлением наностержней гидроксиапатита увеличивают устойчивость эмали к деминерализации за счет изменения уровня pH [17\*]. Несмотря на то, что инфильтранты на основе смол обладают чрезвычайно низкой вязкостью, они приравнены к стоматологическим композитам.

**Цель**

Целью настоящего исследования было создание и определение характеристик стоматологических композитов, содержащих различные концентрации наночастиц гидроксиапатита.

**Материалы и методы**

Из органической матрицы (70 % Bis-GMA и 30% TEGDMA) были изготовлены четыре стоматологических композитных материала с частичной заменой частиц BaBSi (65%) на наночастицы гидроксиапатита (HApNP) в следующих концентрациях (%): E10 (10), E20 (20) и E30 (30) и E0 (0) - контрольный образец без включения HApNP. При помощи атомно-эмиссионной спектроскопии с индуцированной микроволнами азотной плазмой исследовалось высвобождение ионов кальция (Ca2+) и фосфата (PO43-) в растворах с различными значениями pH (4, 5,5 и 7). Потенциал реминерализации эмали оценивали на кариесоподобных поражениях эмали, индуцированных биопленкой S.mutans, с использованием микрокомпьютерной томографии. Исследовались: степень конверсии, микротвердость, прочность на изгиб, модуль упругости и полупрозрачность.

**Результаты**

Увеличение содержания HApNP приводило к увеличению высвобождения ионов Ca2+ и PO43. На высвобождение ионов влиял уровень pH (4>5,5>7). Все композитные материалы, содержащие наночастицы гидроксиапатита (HApNP), способствовали реминерализации эмали (E30=E20> E10). Восстановления потери минералов эмали у композита без HApNP (E0) не наблюдалось. Самая высокая степень конверсии наблюдалась в группах E0 и E10. Самая низкая степень конверсии наблюдалась в образцах E20 и E30. При добавлении HApNP были снижены микротвердость и прочность на изгиб. Включение HApNP не повлияло на модуль упругости. Полупрозрачность композита E10 была аналогична композиту E0. Увеличение содержания HApNP (Е20 и Е30) снижало прозрачность.

**Вывод**

Включение наночастиц гидроксиапатита (HApNP) в стоматологические композиты способствовало реминерализации эмали при потенциально кариесогенных значениях pH ниже 5,5, сохраняя при этом их физико-механические свойства.

\*Список литературы:

[1] Abou Neel et al., 2015; Cheng et al., 2012; Gonzalez Cabezas, 2010

[2] Eriksson et al., 2018; Johansson et al., 2016

[3] Kusuma Yulianto et al., 2019

[4] Reis et al., 2019; Weir et al., 2017

[5] Al-Dulaijan et al., 2018; Besinis et al., 2014; Zhang et al., 2016

[6] Abou Neel et al., 2015

[7] Xu et al., 2006, 2007, 2007, 2009, 2011

[8] Aljabo et al., 2015; Dorozhkin, 2010

[9] Elkassas и Arafa, 2017

[10] Dai et al., 2019; Han et al., 2019; Ohba et al., 2019

[11] Sadat-Shojai et al., 2013

[12] Chen et al., 2011

[13] Andrade Neto et al., 2016

[14] Ai et al., 2017

[15] Tschoppe et al., 2011

[16] Huang et al., 2009, 2011; Memarpour et al., 2019; Yamagishi et al., 2005

[17] Andrade Neto et al., 2016