

БИОКОМПОЗИТЫ И БИОМИНЕРАЛЫ КАК ОСНОВА НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ РЕСТОРАТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СТОМАТОЛОГИИ

Кабанова А.В.,¹ Панфилов П.Е.¹, Занг Ц.², Кисельникова Л.П.³

¹*Институт естественных наук и математики, УрФУ, г. Екатеринбург, gerbers13@mail.ru, peter.panfilov@urfu.ru*

²*Институт материаловедения им. Э. Шмида, г. Леобен, Австрия, zaoli.zhang@oew.ac*

³*Московский государственный медико-стоматологический университет, г. Москва, lpkiselnikova@mail.ru*

В настоящее время подходы и методы, используемые в различных областях знания, тесно взаимосвязаны. В химии широко применяются физические методы исследования строения вещества, в биологии – методы химического анализа биологических тканей, а в медицине – методы физического материаловедения, такие как томография, рентгенография, микроскопия. Междисциплинарные исследования требуют «согласования» терминологии и подходов, принятых в разных областях знания, а в случае, когда объектом изучения является живой организм, к этому добавляются еще и этические нормы. Междисциплинарность может быть продемонстрирована на примере стоматологии – области медицины, имеющей дело с «прочностными свойствами» челюстно-лицевого аппарата. В лечебной практике стоматологам приходится зачастую решать те же задачи, что и инженерам-технологам по конструкционным материалам – поддерживать требуемый уровень прочностных свойств (зубов / деталей конструкций), необходимый для жизнедеятельности / функционирования (человека / конструкции). Отдельным направлением в стоматологии является разработка ресторативных материалов, заменяющих утраченные твердые ткани, которое получило название стоматологическое материаловедение [Вотяков и др., 2017].

Твердые биологические ткани включают в себя биоорганическую и неорганическую составляющие. Дентин, который представляет собой твердую основу зуба человека, обладает наиболее простым строением среди живых твердых тканей. Возможно, это связано с тем, что в его биологическую функцию, в отличие от костей, не входит регенерация. Клиническая практика показывает, что утраченный дентин может быть замещен синтетическими пломбными материалами с простой структурой, например, полиметилметакрилатом или эвтектиками на основе серебра. Возникает вопрос, насколько можно «упростить» структуру дентина, чтобы получить оптимальный тканеэквивалентный ресторативный материал для стоматологии или насколько следует «усложнить» структуру синтетического ресторативного материала,

чтобы его свойства были близки к свойствам твердых тканей зуба [Meysers et al., 2008; Wegst et al., 2014].

В настоящее время базовой тенденцией в здравоохранении является персональная медицина. Наибольшего прогресса в этом направлении удалось достичь при разработке лекарственных препаратов и их доставке к очагу патологии. Другим направлением персональной медицины является создание тканеэквивалентных материалов, заменяющих утраченные биологические ткани и, в перспективе, органы. Разработка тканеэквивалентных ресторативных материалов для стоматологии подразумевает учет возрастных особенностей челюстно-лицевого аппарата пациентов. Действительно, как показывает клиническая практика, физико-механические свойства зубов, как и свойства составляющих их твердых тканей, зависят от возраста. Для этого необходимо иметь детальную информацию о взаимосвязи строения дентина и его физико-механических свойств в зависимости от возраста пациента или для выделенных возрастных групп, которая позволит определить, как следует «упростить» структуру дентина, чтобы получить ресторативный материал с нужными характеристиками и который можно производить в промышленных масштабах в рамках коммерчески обоснованной технологии. В такой постановке данная медицинская проблема может решаться с привлечением методов физического материаловедения, когда изучается структура материала на разных масштабных уровнях и устанавливается ее взаимосвязь с прочностными (макроскопическими) свойствами.

Дентин зубов человека представляет собой биоорганическую матрицу, наполненную частицами неорганической фазы. Физико-механические свойства дентина зависят от количественного соотношения между этими составляющими. При увеличении концентрации неорганической компоненты повышается механическая прочность дентина, но одновременно снижается его стойкость к коррозии в агрессивной среде полости рта, как это происходит в дентине зубов пациентов зрелого возраста по сравнению с подростковым [Кабанова и др., 2016; Панфилов и др.,

2018]. С похожей ситуацией сталкиваются материаловеды-технологи при решении задач, связанных с коррозионной стойкостью металлических материалов. Дентин обладает развитой иерархической структурой, в которой можно выделить несколько масштабных уровней, Критерием выбора масштабов структуры могут служить методы наблюдения. Макроскопический уровень (увеличение до $\times 10$) доступен для наблюдения невооруженным глазом. Микроскопический уровень исследуют методами оптической микроскопии в режиме «на просвет» и «на отражение» (увеличение до $\times 1000$). На этом уровне можно изучать канальную структуру дентина: взаимное расположение, размер каналов, их ориентация. Самый мелкий масштабный уровень, который можно выделить – нано-уровень. Исследования на таких масштабах проводятся методами просвечивающей электронной микроскопии. Это прямой метод для наблюдения структуры. Тонкие фольги во время подготовки к такому исследованию претерпевают повреждения, но другого метода, позволяющего напрямую наблюдать структуру твердой ткани просто нет. Деформационное поведение на разных масштабных уровнях различно. Так на микро- и нано-масштабах поведение дентина определяется свойствами вязко-упругой дентинной матрицы. В то время как деформационное поведение дентина под действием растягивающих нагрузок на макроуровне, например, при диаметральном сжатии, является хрупким, независимо от температуры испытания. В этом случае, деформационное поведение дентина определяется наличием в нем дентинных каналов, тогда как свойства дентинной матрицы влияют на его поведение значительно меньше [Зайцев и др., 2017].

Это может быть полезно стоматологам как с точки зрения создания ресторативных материалов, так и понимания процессов, которые протекают в тканях.

Работа выполняется при финансовой поддержке РФФИ №18-38-20097.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вотяков С.Л., Мандра Ю.В., Киселева Д.В., Григорьев С.С., Ронь Г.И., Панфилов П.Е., Зайцев Д.В., Ивашов А.С., Сайпеев К.А., Абдулина Ю.Н. Минералогическая стоматология как междисциплинарная область исследований: некоторые итоги и перспективы развития // Проблемы стоматологии. 2017. Т. 13. № 1, С. 3-16.
2. Зайцев Д.В., Григорьев С.С., Панфилов П.Е. Природа прочности дентина и эмали зубов человека, Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2017. 173 с.
3. Кабанова А.В., Панфилов П.Е., Занг З., Кисельникова Л.П., Шевченко М.А. Изучение строения дентина в постоянных интактных зубах у детей // Институт стоматологии. 2016. № 3. С. 84-86.
4. Панфилов П.Е., Кабанова А.В., Иванов Ю.П., Занг З., Кисельникова Л.П., Шевченко М.А. Особенности минерализации дентина в интактных постоянных зубах у детей // Стоматология детского возраста и профилактика. 2018. №5. С. 6–11.
5. Meyers M., Chen Po-Yu, Yu-Min Lin A., Seki Y. Biological materials: Structure and mechanical properties // Progress in Materials Science. 2008. Vol. 53. P. 1–206.
6. Wegst U.G.K., Bai H., Saiz E., Tomsia A.P., Ritchie R.O. Bioinspired structural materials // Nature materials. 2014. P. 23–36.