

DOI: 10.18481/2077-7566-2026-22-3-54-58

УДК 616.314-06

ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДЕНТИНА ЗУБОВ У ПАЦИЕНТОВ С СИНДРОМОМ ШЕГРЕНА

Григорьев С. С.¹, Плотников А. С.¹, Габдулвалиева Н. А.¹, Перескокова К. И.²,
Зайцев Д. В.², Гайнетдинов М. Р.¹, Чагай А. А.¹, Козьменко А. Н.¹

¹ Уральский государственный медицинский университет, г. Екатеринбург, Россия

² Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия

Аннотация

Цель — сравнение физических свойств дентина в его корневой и коронковой части при механическом сжатии в зубах у пациентов с синдромом Шегрена и пациентов без данного заболевания.

Материалы и методы. В работе проведена сравнительная оценка деформационного поведения коронкового и корневого дентина в зубах, удаленных по медицинским показаниям у пациентов с синдромом Шегрена, со свойствами дентина зубов пациентов без синдрома Шегрена в условиях одноосного сжатия.

Результаты. Микроскопическая аттестация вертикальных срезов зубов выявила участки склерозированного дентина в зубах у пациентов с синдромом Шегрена. Механические испытания продемонстрировали, что прочностные характеристики дентина зубов в коронковой и корневой части зубов у пациентов с синдромом Шегрена не отличались от таковых у пациентов без данного заболевания. Однако, микротвердость дентина в корневой части зуба у пациентов, страдающих синдромом Шегрена, выше на 20 %, чем в зубах у пациентов без данного заболевания, что может быть связано с процессом склерозирования, как частичным, так и полным.

Выводы. При потере твердых тканей зубов у пациентов с синдромом Шегрена и коронковый, и корневой дентин могут быть использованы в качестве основы для реставрации. При этом у пациентов, страдающих синдромом Шегрена, следует отдавать предпочтение реставрационным материалам, чьи механические свойства приближены к таковым в склерозированном дентине зубов у пациентов с синдромом Шегрена.

Ключевые слова: дентин, микроструктура, деформация, твердость, разрушение, синдром Шегрена

Авторы заявили об отсутствии конфликта интересов

Сергей Сергеевич ГРИГОРЬЕВ ORCID ID 0000-0002-8198-0615

д.м.н., профессор, заведующий кафедрой терапевтической стоматологии и пропедевтики стоматологических заболеваний, Уральский государственный медицинский университет, г. Екатеринбург, Россия
sergeygrig28@gmail.com

Александр Сергеевич ПЛОТНИКОВ ORCID ID 0000-0001-7055-0284

к.м.н., доцент кафедры стоматологии детского возраста и ортодонтии, Уральский государственный медицинский университет, г. Екатеринбург, Россия
alexplotnikov96@list.ru

Надежда Андреевна ГАБДУЛВАЛИЕВА ORCID ID 0009-0005-3917-3421

ассистент кафедры терапевтической стоматологии и пропедевтики стоматологических заболеваний, Уральский государственный медицинский университет, г. Екатеринбург, Россия
nadezhda.gri@mail.ru

Ксения Игоревна ПЕРЕСКОКОВА ORCID ID 0009-0004-8316-1850

старший преподаватель кафедры физики, Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия
kseniya_pereskokova@mail.ru

Дмитрий Викторович ЗАЙЦЕВ ORCID ID 0000-0002-8045-5309

д.ф.-м.н., доцент, заведующий кафедрой физики, Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия
dmitry.zaytsev@urfu.ru

Максим Ринатович ГАЙНЕТДИНОВ ORCID ID 0009-0009-9302-5269

ассистент кафедры терапевтической стоматологии и пропедевтики стоматологических заболеваний, Уральский государственный медицинский университет, г. Екатеринбург, Россия
maxim.gai0000@gmail.com

Андрей Анатольевич ЧАГАЙ ORCID ID 0000-0003-3351-7869

к.м.н., доцент кафедры терапевтической стоматологии и пропедевтики стоматологических заболеваний, Уральский государственный медицинский университет, г. Екатеринбург, Россия
79226086649@yandex.ru

Анастасия Николаевна КОЗЬМЕНКО ORCID ID 0000-0003-2745-4240

к.м.н., доцент, доцент кафедры терапевтической стоматологии и пропедевтики стоматологических заболеваний, Уральский государственный медицинский университет, г. Екатеринбург, Россия
power2030@yandex.ru

Адрес для переписки: Максим Ринатович ГАЙНЕТДИНОВ

620028, г. Екатеринбург, ул. Токарей, д. 29а
+7 (950) 652-77-36
maxim.gai0000@gmail.com

Образец цитирования:

Григорьев С. С., Плотников А. С., Габдулвалиева Н. А., Перескокова К. И., Зайцев Д. В., Гайнетдинов М. Р., Чагай А. А., Козьменко А. Н.
ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДЕНТИНА ЗУБОВ У ПАЦИЕНТОВ С СИНДРОМОМ ШЕГРЕНА. Проблемы стоматологии. 2026; 3: 54-58.

© Григорьев С. С. и др., 2026

DOI: 10.18481/2077-7566-2026-22-3-54-58

Поступила 08.06.2026. Принята к печати 06.09.2026

DOI: 10.18481/2077-7566-2026-22-3-54-58

STUDY OF PHYSICAL PROPERTIES OF DENTIN IN PATIENTS WITH SJÖGREN'S SYNDROME

Grigoryev S.S.¹, Plotnikov A.S.¹, Gabdulvalieva N.A.¹, Pereskokova K.I.²,
Zaytsev D.V.², Gainetdinov M.R.¹, Chagai A.A.¹, Kozmenko A.N.¹¹ Ural State Medical University, Ekaterinburg, Russia² Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia

Abstract

The aim of the study was to compare the physical properties of root and coronal dentin under mechanical compression in teeth from patients with Sjögren's syndrome and patients without the disease.

Materials and methods. This study presents a comparative assessment of the deformation behavior of coronal and root dentin — derived from teeth extracted for medical reasons from patients with Sjögren's syndrome — against that of dentin from patients without the syndrome, under conditions of uniaxial compression.

Results. Microscopic examination of vertical sections of teeth revealed areas of sclerosed dentin in the teeth of patients with Sjögren's syndrome. Mechanical testing demonstrated that the strength characteristics of coronal and radicular dentin in patients with Sjögren's syndrome did not differ from those in patients without the disease. However, the microhardness of radicular dentin in patients with Sjögren's syndrome was 20 % higher than in patients without the disease; this may be attributed to the process of sclerosis, whether partial or complete.

Conclusions. In patients with Sjögren's syndrome who have lost hard dental tissue, both coronal and root dentin can be used as a base for restoration. At the same time, in patients suffering from Sjögren's syndrome, preference should be given to restoration materials whose mechanical properties are close to those in the sclerosed dentine of teeth in patients with Sjögren's syndrome.

Keywords: dentin, microstructure, deformation, hardness, fracture, Sjögren's syndrome

The authors declare no conflict of interest

Sergey S. GRIGORIEV ORCID ID 0000-0002-8198-0615

PhD, MD, DSc, Professor, Head of the Department of Therapeutic Dentistry and Propaedeutics of Dental Diseases, Ural State Medical University, Ekaterinburg, Russia

sergeygrig28@gmail.com

Alexander S. PLOTNIKOV ORCID ID 0000-0001-7055-0284

PhD, Associate Professor of the Department of Pediatric Dentistry and Orthodontics, Ural State Medical University, Ekaterinburg, Russia

alexplotnikov96@list.ru

Nadezhda A. GABDULVALIEVA ORCID ID 0009-0005-3917-3421

Assistant of the Department of Therapeutic Dentistry and Propaedeutics of Dental Diseases, Ural State Medical University, Ekaterinburg, Russia

nadezhda.gri@mail.ru

Ksenia I. PERESKOKOVA ORCID ID 0009-0004-8316-1850

Senior Lecturer at the Department of Physics, Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia

kseniya_pereskokova@mail.ru

Dmitry V. ZAYTSEV ORCID ID 0000-0002-8045-5309

PhD, DSc in Physics and Mathematics, Associate Professor, Head of the Department of Physics, Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia

dmitry.zaytsev@urfu.ru

Maxim R. GAINETDINOV ORCID ID 0009-0009-9302-5269

Assistant of the Department of Therapeutic Dentistry and Propaedeutics of Dental Diseases, Ural State Medical University, Ekaterinburg, Russia

maxim.gai0000@gmail.com

Andrey A. CHAGAY ORCID ID 0000-0003-3351-7869

PhD, Associate Professor of the Department of Therapeutic Dentistry and Propaedeutics of Dental Diseases, Ural State Medical University, Ekaterinburg, Russia

79226086649@yandex.ru

Anastasia N. KOZMENKO ORCID ID 0000-0003-2745-4240

PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Therapeutic Dentistry and Propaedeutics of Dental Diseases, Ural State Medical University, Ekaterinburg, Russia

power2030@yandex.ru

Correspondence address: Maxim R. GAINETDINOV

620028, Ekaterinburg, str. Tokarey, 29a

+7 (950) 652-77-36

maxim.gai0000@gmail.com

For citation:

Grigoryev S.S., Plotnikov A.S., Gabdulvalieva N.A., Pereskokova K.I., Zaytsev D.V., Gainetdinov M.R., Chagai A.A., Kozmenko A.N.

STUDY OF PHYSICAL PROPERTIES OF DENTIN IN PATIENTS WITH SJÖGREN'S SYNDROME. *Actual problems in dentistry*. 2026; 3: 54-58. (In Russ.)

© Grigoryev S.S. et al., 2026

DOI: 10.18481/2077-7566-2026-22-3-54-58

Received 08.06.2026. Accepted 06.09.2026

Актуальность

Синдром Шегрена — это системное заболевание, причина которого до сих пор не установлена. Его отличительной особенностью является формирование симптомокомплекса, включающего в себя поражение эпителиальных тканей, которое является причиной развития сухого кератоконъюнктивита и/или паренхиматозного сиалоаденита, развивающихся на фоне аутоиммунного процесса. При данном заболевании одним из основных стоматологических симптомов является развитие усиливающейся ксеростомии, что в свою очередь приводит к развитию системного кариозного процесса с вовлечением в процесс биологически важных иммунных зон [7].

Знание физических свойств твердых тканей зубов необходимо как для разработки материалов, восстанавливающих дефекты коронковых частей зубов, так и для понимания механизмов работы и поражений, лежащих в основе течения заболевания твердых тканей. Исследования, проведенные ранее, продемонстрировали, что корневой дентин у пациентов с синдромом Шегрена, наряду с идентичной здоровому дентину микроструктурой, обладает также схожей прочностью с дентином у пациентов без данного заболевания [12]. Эти результаты позволили рассматривать корневую часть зуба у пациентов с синдромом Шегрена как основу для ортопедических конструкций [10]. Для усиления структуры зуба предлагается восстанавливать коронковую часть при помощи эндоканальных штифтов, обеспечивающих дополнительную поддержку в процессе распределения жевательной нагрузки [2]. В современной стоматологической практике использование стекловолоконных штифтов — одно из распространенных решений восстановления утраченной части твердых тканей зуба. При выборе стекловолоконных штифтов возможно учитывать и совмещать физические свойства групп материалов [4].

Несмотря на высокую распространенность стоматологических заболеваний, существует лишь ограниченное количество исследований, характеризующих состояние полости рта у пациентов с синдромом Шегрена [8]. В условиях постоянной гипосаливации и быстро прогрессирующего кариеса зубов создается длительное химическое и бактериальное воздействие на сосудисто-нервный пучок зуба, что приводит к запуску защитных механизмов отложения минералов в дентинных каналах и создание высокоминерализованного слоя. Этот хрупкий защитный барьер представляет интерес исследования. Сканирующая электронная микроскопия позволяет изучить внутреннюю структуру на наноровне: дентин с синдромом Шегрена склерозирован, следов дентинных трубочек на рабочей поверхности нет, так как наблюдается их полная облитерация [3].

Существует неопределенность относительно того, претерпевает ли коронковый дентин какие-либо изменения при синдроме Шегрена. В связи с этим возникает потребность в проведении дальнейших научных исследований, направленных на определение механических характеристик коронкового дентина в зубах у пациентов с синдромом Шегрена. В течение жизни основной меха-

нической нагрузкой, приходящейся на зубы, является сжатие. Таким образом, применение данной модели деформации для исследования механических свойств дентина представляется наиболее целесообразным, поскольку оно наилучшим образом имитирует реальные условия. С другой стороны, микроиндентирование позволяет оценить механические свойства локально, что позволит оценить твердость дентина зуба по длине корня с разрешением 150 мкм. На показатели микротвердости твердых тканей зубов существенно влияют как местные факторы, так и системные заболевания. Современное состояние вопроса о показателях микротвердости твердых тканей зубов при различных фоновых заболеваниях показывает тенденцию к их снижению [5]. Синдром Шегрена является примером заболеваний, оказывающих как непосредственно местное влияние на состояние полости рта, так и общесистемное влияние на организм человека [6].

Цель исследования — сравнение физических свойств дентина в его корневой и коронковой части при механическом сжатии в зубах у пациентов с синдромом Шегрена и пациентов без данного заболевания.

Материалы и методы

Для проведения исследования использовали четыре резца (по 2 в основной группе (пациенты с синдромом Шегрена) и группе сравнения (пациенты без синдрома Шегрена)), которые удалены по медицинским показаниям. Далее образцы зубов были разрезаны по длинной оси на две равные части с помощью алмазной пилы с водяным охлаждением для предотвращения перегрева зуба и повреждения органического матрикса. Проведено сканирование срезов зубов с использованием Epsom Perfection V750 Pro. После этого из частей зубов изготавливали кубовидные образцы с сечением 2×2 мм² и толщиной 0,7 мм [1]. Для приготовления образцов срезы зубов шлифовали на алмазной чашке с использованием абразивной бумаги, а полученные пластины разрезали на образцы толщиной 0,01 мм. Таким образом, получено по 10 образцов основной группы и группы сравнения. При этом образцы изготавливались и из коронкового, и из корневого дентина, идентичного по структуре [9, 11].

Измерения микротвердости выполняли при помощи микротвердомера Shimadzu HMVG30D. Значение микротвердости для каждого образца определяли при нагрузке 100 г и выдержке 10 с. Измерение микротвердости проводилось на корневой части зуба из основной группы и группы сравнения, от вершины зуба с шагом 250 мкм. Для этого поверхность половинки корневой части зуба обеих групп полировали с помощью абразивных бумаг с постепенным уменьшением размера зерна до 3000. Для измерения предельной микротвердости использовался показатель «Е» (упругий модуль), измеряющийся в ГПа.

Изучение механических свойств дентина на одноосное сжатие проведено на тех же образцах с помощью Shimadzu AG-X50kN с постоянной скоростью нагружения 0,1 мм/мин. После достижения максимального напряжения в образце и возникновении перегиба на кривой деформации, соответствующего началу растре-

скивания/разрушения образца, испытание завершалось [11, 12]. Для оценки предела прочности использовался показатель « σ », измеряющийся в МПа. Показатель деформации оценивался с помощью показателя « δ » в процентах.

Полученные данные изучены и обработаны статистически: определялось среднее значение и среднеквадратическое отклонение, с помощью критерия Манна-Уитни оценивалась достоверность различий, проверка на нормальность распределения оценивалась с помощью критерия Колмогорова-Смирнова, уровень значимости принимался равным 0,05.

Результаты

Микроскопический анализ шлифов зубов (резцов) у пациентов с синдромом Шегрена и у пациентов без данной патологии не выявил существенных морфологических отличий при увеличении в 50 раз. Однако, у пациентов с синдромом Шегрена были обнаружены участки склерозированного (прозрачного) дентина, охватывающие как коронковую, так и корневую части зуба. Эти изменения усиливались от центра к периферии. Склерозирование дентина происходит из-за сужения дентинных канальцев вследствие избыточного отложения перитубулярного дентина, что приводит к одинаковому показателю преломления света для канальцев, их содержимого и межклеточного вещества [12]. Это делает дентин прозрачным (рис. 1). В корневом канале наблюдается большое количество дентинных канальцев. В структуре образца, особенно вблизи корневого канала, визуальное определяется глобулярный дентин (dentinum globulare) в виде сливающихся белесоватых линий [13]. В коронковой части зубов пациентов без синдрома Шегрена склероз отсутствует, но наблюдается в области апикальной трети в виде участка прозрачного дентина, образование которого может быть связано с возрастными изменениями.



Рис. 1. Внешний вид и срез зуба пациента с синдромом Шегрена
Fig. 1. Appearance and tooth section of a patient with Sjögren's syndrome

На рисунке 2 представлены типичные кривые деформации при сжатии, отражающие среднее поведение образцов. Важно отметить, что образцы дентина, полученные из зубов пациентов с синдромом Шегрена, демонстрируют схожую кривую деформации с образцами из зубов пациентов без данного заболевания. В начале

испытания на сжатие наблюдается нелинейная зависимость между нагрузкой и деформацией. Это явление объясняется естественными несовершенствами образцов и характерно для тестирования небольших образцов. Далее, до достижения уровня напряжения примерно в 300 МПа, зависимость становится линейной. После этого порога кривая снова приобретает нелинейный характер, что типично для упруго-пластичных твердых тел. Механические свойства для обеих групп образцов приведены в таблице. Видно, что прочностные свойства дентина зубов пациентов с синдромом Шегрена практически не отличаются от свойств дентина пациентов без этого заболевания с учетом погрешности измерений.

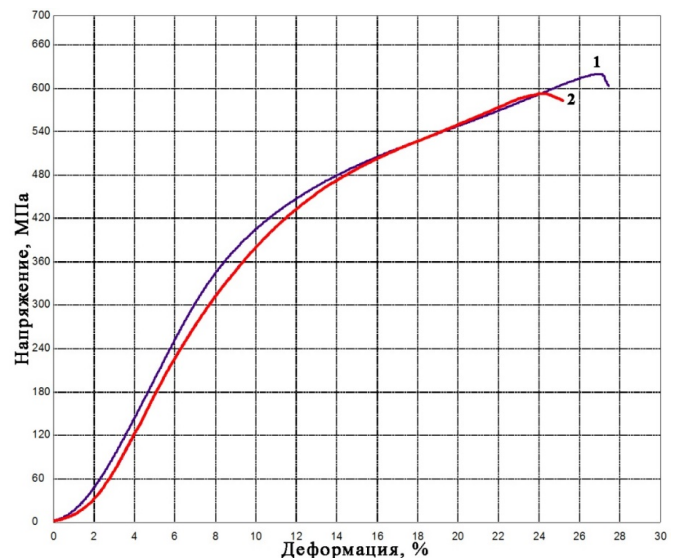


Рис. 2. Деформационные кривые сжатия образцов дентина:
кривая 1 — зуб пациента основной группы;
кривая 2 — зуб пациента группы сравнения

Fig. 2. Deformation compression curves of dentin samples:
curve 1 — tooth of the patient of the main group;
curve 2 — tooth of the patient of the comparison group

Таблица

Механические свойства образцов дентина,
полученные при испытании на сжатие
Table. Mechanical properties of dentin samples obtained by
compression testing

Группа	Упругий модуль (E), ГПа	Предел прочности (σ), МПа	Деформация (δ), %
Основная	5,33 $\pm$ 0,24	623 $\pm$ 37	27,5 $\pm$ 2,3
Сравнения	5,24 $\pm$ 0,29	596 $\pm$ 22	25,5 $\pm$ 1,6

Изучив результаты микротвердости в корневой части зубов в обеих группах, нами выявлено, что она возрастает по мере удаления от вершины зуба. В вершине корня зуба при синдроме Шегрена определено увеличение твердости, что возможно говорит о микроструктурных изменениях на расстоянии 1,5 мм от вершины зуба. В целом твердость корневого дентина в основной группе (с синдромом Шегрена) выше на 20 %, чем в группе сравнения (рис. 3). Это, по нашему мнению, связано с процессом

склерозирования, как частичным, так и полным. Механические свойства реставрационных материалов должны быть близки к свойствам заменяемой ткани — дентину зубов. В противном случае, на границе соединения ткани и реставрационного материала будут возникать напряжения, которые могут привести к началу разрушения конструкции и, как следствие, к уменьшению сроков ее эксплуатации. Поэтому, твердость материалов, используемых при реставрации зубов у пациентов, страдающих синдромом Шегрена, должны быть выше.

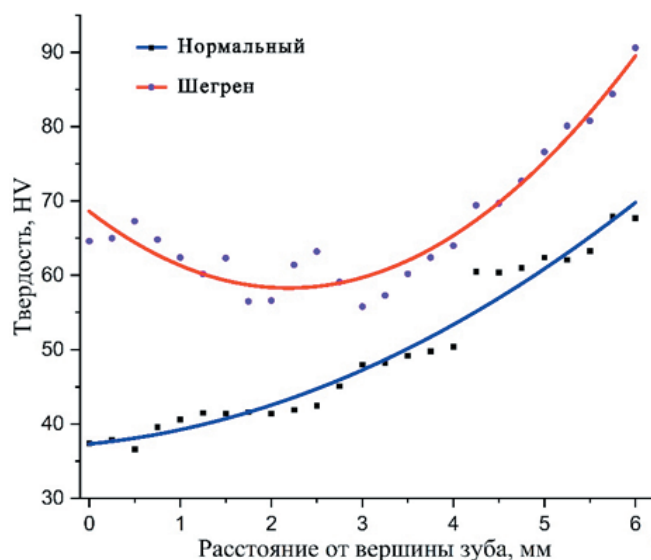


Рис. 3. Микротвердость корневой части дентина зубов основной группы и зубов группы сравнения

Fig. 3. Microhardness of root dentin in teeth of the main group and the comparison group

У пациентов с синдромом Шегрена перед нами стоит задача максимально продлить срок службы собственных твердых тканей зубов, сохраняя корни зубов как опору последующей реставрации. Исследования морфологии твердых тканей, основанные на комплексном материаловедческом подходе, выявили, что дентин корневой части зуба у пациентов с синдромом Шегрена обладает высокой упругостью. Это позволяет использовать его как опору при восстановлении коронковой части зуба. Изучение физических и прочностных свойств дентина зубов пациентов с синдромом Шегрена открывает перспективы для использования коронковой и корневой части зуба. Поэтому в таких зубах возможно проведение прямых реставраций пломбировочным материалом или восстановление зубов с использованием стекловолоконных штифтов.

Заключение

Полученные данные показывают, что, несмотря на наличие участков склерозированного дентина в зубах у пациентов с синдромом Шегрена, свойства коронкового и корневого дентина при сжатии не отличаются от таковых у пациентов без синдрома Шегрена. Следовательно, коронковая часть зуба, подобно корневой, может быть успешно использована при реставрации и служить основой для ортопедических конструкций.

Микротвердость дентина в корневой части зуба у пациентов с синдромом Шегрена на 20 % выше, чем у пациентов без данного заболевания. Исходя из этого, следует отдавать предпочтение материалам с повышенной твердостью, которые применяются у таких пациентов для реставрации зубов.

Литература/References

1. Пермякова А. В., Николаев А. И. Исследование прочностных характеристик композитного реставрационного материала российского производства. Прикладные информационные аспекты медицины. 2020;23(2):64–69. [Permyakova A. V., Nikolaev A. I. Research of strength characteristics of composite restoration material of Russian production. Applied Information Aspects of Medicine. 2020;23(2):64–69. (In Russ.)]. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43844624>
2. Силин А. В., Сатыго Е. А., Марьянович А. Т. Эмаль и дентин зубов человека. Усталостная прочность. Вестник Северо-Западного государственного медицинского университета им. И. И. Мечникова. 2023;15(4):19–29. [Silin A. V., Satygo E. A., Maryanovich A. T. Enamel and dentin of human teeth. Fatigue strength. HERALD of North-Western State Medical University named after I. I. Mechnikov. 2023;15(4):19–29. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17816/mechnikov624120>
3. Егина Д. В., Максуюков С. Ю., Нектаревская И. Б. Механические свойства эмали и дентина зуба после травления лимонной кислотой с различной концентрацией с помощью наноиндентирования. Стоматология для всех. 2023;(2):12–15. [Egina D. V., Maksyukov S. Yu., Nektarevskaya I. B. Mechanical properties of tooth enamel and dentin after etching with citric acid with different concentrations using nanoindentation. Stomatology for All / Int. Dental Review. 2023;(2):12–15. (In Russ.)]. [https://doi.org/10.35556/idr-2023-2\(103\)12-15](https://doi.org/10.35556/idr-2023-2(103)12-15)
4. Колодкина В. И., Арутюнов А. В. Морфологическая структура эмали, дентина зубов и композитных пломбировочных материалов in vitro. Российский стоматологический журнал. 2018;22(4):176–179. [Kolodkina V. I., Arutyunov A. V. Morphological structure of enamel, dentine of teeth and composite forming materials in vitro. Russian Journal of Dentistry. 2018;22(4):176–179. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.18821/1728-2802-2018-22-4-176-179>
5. Reckelkamm S. L., Alayash Z., Holtfreter B., Nolde M., Baumeister S. E. Sjogren's Disease and Oral Health: A Genetic Instrumental Variable Analysis. Journal of dental research. 2024;103(3):263–268. <https://doi.org/10.1177/00220345231218903>
6. Pelkas C., Franke K. B., Vincent F. B., Rischmueller M. Novel therapies in Sjögren's disease: A systematic review of the literature. Best practice & research. Clinical rheumatology. 2025;39(4):102084. <https://doi.org/10.1016/j.berh.2025.102084>
7. Daneshparvar H., Esfahanizadeh N., Vafadoost R. Dental Implants in Sjogren Syndrome. European journal of translational myology. 2020;30(2):8811. <https://doi.org/10.4081/ejtm.2019.8811>
8. Gomez G. G.F., Wang M., Siddiqui Z. A., Gonzalez T., Capin O. R., Willis L. et al. Longevity of dental restorations in Sjogren's disease patients using electronic dental and health record data. BMC Oral Health. 2024;24(1):203. <https://doi.org/10.1186/s12903-024-03957-9>
9. Leinonen J., Vähäniikkilä H., Raninen E., Järvelin L., Näpänkangas R., Anttonen V. The survival time of restorations is shortened in patients with dry mouth. Journal of dentistry. 2021;113:103794. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2021.103794>
10. Zaytsev D. Correction of some mechanical characteristics of human dentin under compression considering the shape effect. Materials Science and Engineering: C. 2015;49:101–105. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2014.12.080>
11. Yin H., Liu X., Sun H. Research progress on the mechanical compatibility of restorative materials with dental tissue. Journal of Prevention and Treatment for Stomatological Diseases. 2024;32(4):315–320. <https://doi.org/10.12016/j.issn.2096-1456.2024.04.011>
12. Argunova T. S., Gudkina Z. V., Gutkin M. Yu., Zaytsev D. V., Kalmykov A. E., Myasoedov A. V. et al. Third International Conference «Physics for Life Sciences»: Study of Structural Features of Dentin Using Computer Microtomography and Transmission Electron Microscopy. Technical Physics. 2020;65:1391–1402. <https://doi.org/10.1134/S1063784220090054>
13. Аргунова Т. С., Гудкина З. В., Гуткин М. Ю. Модель развития микротрещин в дентине человеческого зуба с использованием данных микротомографии. Письма в журнал технической физики. 2020;46(10):46–50. [Argunova T. S., Gudkina Z. V., Gutkin M. Y. A Model of Microcrack Development in Human Tooth Dentin Using Data of Microtomography. Technical Physics Letters. 2020;46(10):46–50. (In Russ.)]. <http://dx.doi.org/10.21883/PJTF.2020.10.49433.18268>