

DOI: 10.37988/1811-153X_2024_4_54

[Т.В. Гайворонская](#)¹,

д.м.н., профессор, зав. кафедрой хирургической стоматологии и челюстно-лицевой хирургии

[А.В. Арутюнов](#)¹,

д.м.н., профессор, зав. кафедрой общей стоматологии

[Ф.С. Аюпова](#)¹,

к.м.н., доцент кафедры детской стоматологии, ортодонтии и челюстно-лицевой хирургии

[В.В. Волобуев](#)¹,

к.м.н., доцент кафедры детской стоматологии, ортодонтии и челюстно-лицевой хирургии

[Т.И. Мурашкина](#)²,

д.т.н., профессор кафедры «Приборостроение»

[Ю.А. Васильев](#)¹,

ассистент кафедры общественного здоровья, здравоохранения и истории медицины

[Е.А. Бадеева](#)²,

д.т.н., доцент кафедры «Радиотехника и радиоэлектронные системы»

[Е.Ю. Плотникова](#)³,

врач-неонатолог отделения новорожденных № 1

[А.В. Оленская](#)¹,

старший преподаватель кафедры общественного здоровья, здравоохранения и истории медицины

[Д.В. Волобуев](#)⁴,

студент

¹ КубГМУ, 350063, Краснодар, Россия² ПГУ, 440026, Пенза, Россия³ Родильный дом г. Краснодар, 350063, Краснодар, Россия⁴ КубГУ, 350040, Краснодар, Россия

Волоконно-оптические системы для диагностики стоматологической патологии (обзор литературы). Часть II

Аннотация. Волоконно-оптические датчики и системы электрически пассивные, их применяют для измерений деформации, температуры, смещения, давления, электрических токов, магнитных полей, других свойств материалов и окружающей среды. Данные системы обладают рядом преимуществ перед своими электрическими аналогами: высокой пропускной способностью, небольшими размерами и весом, коррозионной стойкостью, геометрической гибкостью. Их можно стерилизовать тепловым паром, излучением или сухим газом, что важно для безопасности применения в медицинских целях. **Цель исследования** — количественный обзор литературы с систематизацией данных (систематических обзоров, метаанализа данных, исследовательских статей) об использовании волоконно-оптической аппаратуры для диагностики стоматологической патологии. Поиск источников за последние 20 лет проводили в международных электронных базах библиотек PubMed, MEDLINE, Google Scholar, ResearchGate, the Cochrane Library, опубликованных на всех языках, а также в российских научных электронных библиотеках КиберЛенинка и eLibrary по ключевым словам: optical fiber, optical fiber sensors, diagnostic, dentistry, волоконная оптика, волоконно-оптическая аппаратура, волоконно-оптические датчики, диагностика, стоматология. Для данного обзора отобрано 25 публикаций. Анализ литературы показал перспективность применения портативных селективных волоконно-оптических систем/датчиков для своевременной диагностики и лечения кариеса и его осложнений (применение волоконно-оптической трансиллюминации), выявления трещин эмали в условиях первичной ежедневной медико-санитарной помощи, иных поврежденных зубов, тканей пародонта, взаимосвязи зубочелюстных аномалий и постуральных нарушений. Недорогие и простые в эксплуатации системы открывают новые возможности для улучшения общественного здравоохранения и решения социально значимых проблем широкого международного сообщества.

Ключевые слова: волоконно-оптические системы, стоматология, диагностика

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Гайворонская Т.В., Арутюнов А.В., Аюпова Ф.С., Волобуев В.В., Мурашкина Т.И., Васильев Ю.А., Бадеева Е.А., Плотникова Е.Ю., Оленская А.В., Волобуев Д.В. Волоконно-оптические системы для диагностики стоматологической патологии (обзор литературы). Часть II. — *Клиническая стоматология*. — 2024; 27 (4): 54—60. DOI: 10.37988/1811-153X_2024_4_54

[T.V. Gayvoronskaya](#)¹,

Doctor of Science in Medicine, full professor of the Oral and maxillofacial surgery Department

[A.V. Arutyunov](#)¹,

Doctor of Science in Medicine, full professor of the General Dentistry Department

[F.S. Ayupova](#)¹,

PhD in Medical Sciences, associate professor of the Pediatric dentistry, orthodontics and maxillofacial surgery Department

[V.V. Volobuev](#)¹,

PhD in Medical Sciences, associate professor of the Pediatric dentistry, orthodontics and maxillofacial surgery Department

Fiber-optic systems for the diagnosis of dental pathology (literature review). Part II

Annotation. Fiber optic sensors and systems are electrically passive, they are used to measure deformation, temperature, displacement, pressure, electric currents, magnetic fields and various other properties of materials and the environment. These systems have a number of advantages over their electrical counterparts — high throughput, small size, light weight, corrosion resistance, geometric flexibility. They can be sterilized with thermal steam, radiation or dry gas, which is important for the safety of medical use. **The purpose of the study** is a quantitative review of the literature with the systematization of data (systematic reviews, meta-analysis of data, research articles) on the use of fiber-optic equipment for the diagnosis of dental pathology. Over the past 20 years, the search for sources has been carried out in the international electronic databases of the libraries PubMed, MEDLINE, Google Scholar, ResearchGate, the Cochrane Library, published in all languages, as well as the Russian scientific electronic libraries CyberLeninka and eLibrary by keywords: optical

T.I. Murashkina²,

Doctor of Science in Engineering, full professor of the "Instrumentation" Department

Yu.A. Vasiliev¹,

assistant at the General health, public health and the history of medicine Department

E.A. Badeeva²,

Doctor of Science in Engineering, associate professor of the "Radio engineering and radioelectronic systems" Department

E.Yu. Plotnikova¹,

neonatologist at the neonatal ward no. 1

A.V. Olenskaya¹,

senior lecturer at the General health, public health and the history of medicine Department

D.V. Volobuev⁴,

student

¹ Kuban State Medical University,
350063, Krasnodar, Russia

² Penza State University,
440026, Penza, Russia

³ Maternity Hospital of Krasnodar,
350063, Krasnodar, Russia

⁴ Kuban State University,
350040, Krasnodar, Russia

fiber, optical fiber sensors, diagnostic, dentistry, fiber optics, fiber-optic equipment, fiber-optic sensors, diagnostics, dentistry. Twenty five publications have been selected for this review. An analysis of the literature has shown the prospects of using portable selective fiber-optic systems/sensors for the timely diagnosis and treatment of caries and its complications (the use of fiber-optic transillumination), the detection of enamel cracks in primary daily health care, other damage to teeth, periodontal tissues, the relationship of dental anomalies and postural disorders. Inexpensive and easy-to-operate systems open up new opportunities for improving public health and solving socially significant problems of the wider international community.

Key words: fiber-optic systems, dentistry, diagnostics

FOR CITATION:

Gayvoronskaya T.V., Arutyunov A.V., Ayupova F.S., Volobuev V.V., Murashkina T.I., Vasiliev Yu.A., Badeeva E.A., Plotnikova E.Yu., Olenskaya A.V., Volobuev D.V. Fiber-optic systems for the diagnosis of dental pathology (literature review). Part II. *Clinical Dentistry (Russia)*. 2024; 27 (4): 54—60 (In Russian). DOI: 10.37988/1811-153X_2024_4_54

ВВЕДЕНИЕ

Волоконно-оптические датчики активно внедряются в повседневную медицинскую практику. Они достаточно тонкие, гибкие, являются диэлектриками, химически инертные, нетоксичные и легкие. Благодаря всем этим качествам данные приборы обладают рядом преимуществ перед своими электрическими аналогами: высокой пропускной способностью, минимальными размерами, небольшим весом, коррозионной стойкостью, геометрической гибкостью и врожденной устойчивостью к электромагнитным помехам. Волоконно-оптические датчики не только обладают исключительной чувствительностью, но и являются электрически пассивными, что важно для безопасности в некоторых областях применения, таких как медицинское применение. Их легко стерилизовать с использованием стандартных медицинских методов.

В первой части нашего исследования был проведен количественный обзор литературы с систематизацией данных (систематических обзоров, метаанализа данных, исследовательских статей) об использовании волоконно-оптической аппаратуры в диагностических медицинских целях. Особое внимание уделяли литературным данным по применению данных методов в стоматологической практике. Были описаны методики использования данной аппаратуры в саливадиагностике соматических заболеваний (определение уровня мочевины и кортизола в слюне), в донозологической диагностике кариеса зубов (для количественного и качественного

анализа микробной нагрузки с использованием датчиков FOCS (fiber-optic chemical sensors) и FOBS (fiber-optic biological sensors)), при диагностике кариеса зубов (с использованием методики волоконно-оптической трансиллюминации, fibre-optic transillumination, FOTI), а также перспектив использования разработанного авторами волоконно-оптического датчика для определения давления силы мышц языка на окружающие ткани полости рта. В данной, заключительной, публикации проведен обзор имеющейся литературы, посвященной использованию волоконно-оптической аппаратуры для диагностики патологии твердых тканей зубов (трещины), эндодонтии, пародонтологии, взаимосвязи стоматологических нарушений и постуральных изменений.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ТРЕЩИН ЭМАЛИ ЗУБА

Трещины эмали могут иметь травматическое происхождение и прогрессирующее течение. Линия перелома может увеличиваться только в пределах эмали, проходя параллельно расположению призм, или расти в продольном направлении и распространяться в дентин.

Ввиду высокой распространенности (34—74%) и большого разнообразия форм клиническая симптоматика трещин эмали довольно скудная, однако могут возникать различные симптомы, которые часто связаны с болевыми раздражителями при механическом и химическом воздействии. В тяжелых случаях в результате бактериального воздействия могут поражаться ткани

пульпы с сопутствующими симптомами необратимого пульпита, некроза пульпы или периодонтита. В конечном итоге некоторые трещины могут привести к полному перелому зуба [1, 2].

На ранних стадиях диагностика травматических поражений затруднена ввиду бессимптомного течения, и трещину невозможно увидеть без использования дополнительных диагностических инструментов. Чаще всего (до 51%) трещины локализируются на окклюзионной, вестибулярной и оральной поверхностях, нежели на апроксимальных, реже (до 36%) затрагивают две и более области [1]. Ряд исследований также показал высокую эффективность метода волоконно-оптической трансиллюминации в диагностике трещин эмали [3, 4].

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ЭНДОДОНТИИ

Визуализация корневых каналов играет все более важную роль в эндодонтической хирургии, поскольку методика повышает точность манипуляций и улучшает результат эндодонтического лечения. Цель успешного эндодонтического лечения — тщательная механическая и химическая очистка всей системы корневых каналов с их последующей полной obturацией пломбирочным материалом. Наиболее широко используется для визуализации эндодонтический операционный микроскоп; его внедрение помогло облегчить выполнение ранее невозможных/сложных процедур для клиницистов. Однако высокой эффективности хирургии корневых каналов по-прежнему препятствуют определенные ограничения. К ним относятся относительные неудобства при использовании аппаратуры из-за размера и стоимости оборудования. Кроме того, использование современного оборудования часто сопряжено с проблемами эргономики, которые требуют тщательного позиционирования врача-стоматолога.

Для решения проблем, связанных с размером и удобством использования оборудования в эндодонтических целях, также применяются эндоскопы. С. Око и соавт. (2016) разработали портативное беспроводное устройство для точной визуализации корневого канала во время эндодонтических манипуляций — пульпоскоп. Прибор был разработан с использованием пучка из 15 000 когерентных волокон, при этом диаметр сердцевинки каждого волокна составлял 4,5 мкм. Зуб освещается источником света, изображение передается на датчик, который пересылает изображение на устройство просмотра. Это сочетание качеств эндоскопа с возможностями беспроводной передачи данных дает пульпоскопу преимущество перед существующими системами. В настоящее время авторы находятся на следующем этапе трансляционной разработки, которая направлена на миниатюризацию, снижение веса, увеличение времени автономной работы и дальнейшее улучшение эргономики. Повышение разрешения может быть достигнуто за счет регулировки параметров линзы на кончике датчика. Кроме того, возможность изменять

освещенность небольшого и мощного источника света, например с помощью ручки, обеспечит пользователю необходимый контроль для получения адекватного изображения [5].

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИ РЕСТАВРАЦИИ ЗУБОВ

В стоматологии успешная реставрация сильно зависит от точного отображения формы и анатомии зуба. Для этой цели часто используется методика снятия слепков оттисковыми материалами, но последний может деформироваться в результате хранения, приводя к дефектам в процессе работы. Кроме того, для работы требуются квалифицированные зубные техники, способные изготавливать точные реставрации по слепкам, полученным при изготовлении оттисков. В свете этих ограничений возникает потребность в системе и способе оцифровки поверхностей зуба, которые можно использовать для реставраций в зуботехнической лаборатории.

В настоящее время большинство сканирующих устройств полости рта для восстановительной стоматологии основаны на бесконтактных оптических технологиях и принципах. Однако часть из них все еще находятся на стадии клинических испытаний. Некоторые современные сканирующие устройства используют основные принципы конфокальной микроскопии и технику активной триангуляции. Система обеспечивает системы стабилизации изображения и требует менее минуты для сканирования поверхности зуба. Несмотря на преимущества поверхность зуба необходимо покрывать специальными порошками из диоксида титана перед каждым этапом сканирования. Другие методики используют параллельный метод конфокальной визуализации и не требуют нанесения покрытий на поверхность зуба из-за включения цветового круга внутри блока сбора данных, что приводит к увеличению размера головки сканера по сравнению с другими системами. В последних сканирующих системах (CAD/CAM, Cerec) используется иной метод, основанный на принципе активной выборки волнового фронта со структурированной световой проекцией. Используется очень сложная оптическая система, состоящая из 22 линзовых систем и 192 светодиодных ячеек синего цвета. Системы позволяют моделировать данные в режиме реального времени [6].

Каждая вышеупомянутая система имеет свои недостатки, заключающиеся в дороговизне устройств, что препятствует их широкому использованию, особенно в развивающихся странах.

Н.А. Rahman и соавт. (2012) разработали методику использования системы сканирования поверхности зуба волоконно-оптическим датчиком смещения с модуляцией интенсивности (fiber optic bathless dissolution system, FODS) для визуализации полости. Авторы продемонстрировали, что датчики этого типа эффективны в различных областях применения. Они недороги и просты в эксплуатации, а это открывает возможности для

усовершенствования восстановительной стоматологии для более широкого международного сообщества [7].

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ПАРОДОНТОЛОГИИ

Пародонтит — хроническое воспалительное заболевание тканей пародонта, возникающее в результате взаимодействия бактериальной инфекции и реакции хозяина с модифицирующим действием окружающей среды, приобретенных факторов риска и генетической предрасположенности. Патология представляет собой наиболее частую причину потери зубов у взрослых в промышленно развитых странах с потенциальными значительными последствиями для функции жевания, эстетики, а также для общего состояния организма [8]. Недавние исследования показали взаимосвязь пародонтита и системных заболеваний [9]. В частности, пародонтит коррелирует с низкодифференцированным воспалением, системным состоянием хронической субклинической выработки провоспалительных агентов, которое представляет собой скрытый фактор риска развития ряда многих заболеваний, таких как диабет, сердечно-сосудистые, цереброваскулярные, нейродегенеративные и даже онкологические заболевания [10].

В то же время в доступной литературе имеются доказательства корреляционной связи между началом или обострением пародонтита и присутствием в десневой жидкости и в слюне специфических биомолекул, связанных с воспалительным статусом, которые напрямую связаны с проявлением окислительного стресса в тканях пародонта [11]. В настоящее время диагностика пародонтита является преимущественно клинической и рентгенологической, что подразумевает выявление заболевания только после возникновения биологического повреждения с очевидными ограничениями в плане точности и способности идентифицировать начальные формы или оценить активность заболевания и риск дальнейшего прогрессирования. В этом смысле использование биомаркеров слюны в качестве вспомогательного средства для диагностики окислительного стресса в тканях пародонта позволяет идентифицировать дебют заболевания до появления клинических и рентгенологических признаков повреждения тканей и может представлять собой многообещающий подход к более точной диагностике и индивидуальной терапии, охватывающий современные концепции прецизионной и персонализированной медицины [12].

Матриксная металлопротеиназа-8 (ММП-8), также известная как коллагеназа-2 или коллагеназа нейтрофильных клеток, является одним из наиболее документированных кандидатов для определения различий между здоровым пародонтом и патологией. ММП-8 играет ключевую роль в деструкции мягких и твердых тканей пародонта, происходящих во время физиологического ремоделирования, а также при необратимом патологическом разрушении. Минимальный уровень этой коллагеназы выполняет физиологические функции,

включая (но не ограничиваясь этим) переработку факторов роста и защитных эндогенных ингибиторов протеиназы, и, как было показано, проявляет противовоспалительные свойства [13].

Биомаркеры слюны, включая ММП-8, в основном выявляются с помощью лабораторных анализов, таких как иммуноферментный или иммунофлуорометрический. Однако данные анализы дорогостоящи, требуют длительного времени для получения результата. Кроме того, их проведение возможно только в условиях лаборатории. В качестве альтернативы разработка малогабаритных систем анализа биосенсоров, а именно тестов на месте оказания медицинской помощи, способных проводить немедленный и недорогой анализ непосредственно на месте оказания медицинской помощи пациенту, позволяет отслеживать быстрое изменение состояния здоровья пародонта, способствуя немедленной постановке правильного диагноза и плана лечения.

Команда ученых под руководством L. Guida и D. Bencivenga разработала биосенсоры (surface plasmon resonance plastic optical fiber, SPR-POF), направленные на обнаружение общего количества ММП-8 с высокой селективностью и очень низкими значениями предела обнаружения. Ключевую роль в такой высокой эффективности сыграло моноклональное антитело против ММП-8, используемое для функционализации чувствительной поверхности оптического волокна. Действительно, широкий спектр анализируемых веществ может быть обнаружен при использовании подходящего монослоя антител для функционализации биосенсора, что обеспечивает высокую универсальность настоящего устройства [14].

В настоящее время в этом направлении проводятся дальнейшие исследования для проверки возможности модификации этого биосенсора, повышения его селективности в отношении активной формы ММП-8 и клинического подтверждения его способности обнаруживать и количественно определять этот биомаркер в слюне пациентов с пародонтитом, что потенциально открыло бы возможность корреляции уровней таких биомаркеров с активностью и скоростью прогрессирования пародонтита, а также с оценкой тяжести пародонтита. Кроме того, обнаружение биомаркеров в низких дозах позволит выявлять предпатологические состояния с воспалением низкой степени выраженности, которые, как упоминалось, могут связывать пародонтит с системными заболеваниями, такими как диабет, сердечно-сосудистые, цереброваскулярные и нейродегенеративные патологии.

Обнаружение другого биомаркера пародонтита — малонового диальдегида (МДА) — в жидкостях полости рта может способствовать оценке степени повреждения тканей, связанных с окислительным стрессом, точной диагностике и оценке последующей динамики течения заболевания [15]. Согласно недавнему метаанализу, у пациентов с пародонтитом значительно повышен уровень МДА как в десневой жидкости, так и в слюне [16]. Повышенный уровень МДА не только

отражает напрямую уровень окислительного стресса в тканях пародонта, но и предполагает наличие активного воспалительного процесса. Патогенетически данное проявление может быть вызвано образованием супероксид-аниона при взаимодействии патогенов или их метаболитов с нейтрофилами в тканях пародонта. Исходя из этого уровня МДА в слюне потенциально можно использовать в качестве индикатора повреждения пародонта, зависящего от выраженности окислительного стресса [17]. Точнее, МДА наряду с продуктами иммунного ответа организма, такими как воспалительные интерлейкины-1 β и ИЛ-6 и факторы, связанные с деградацией внеклеточной ткани (ММП-8), считаются наиболее надежными биомаркерами пародонтита. Авторы установили прямую корреляционную связь между началом или прогрессированием пародонтита и присутствием в десневой жидкости и в слюне этих биомолекул, связанных с воспалением. Обнаружение МДА в ротовой жидкости в сочетании с ММП-8 и ИЛ-6 может быть наиболее эффективным для диагностики пародонтита и мониторинга индивидуального ответа на терапию, особенно у пациентов, имеющих тяжелое течение заболевания и сопутствующую соматическую патологию [18].

Описанный ранее датчик SPR-POF также может быть соответствующим образом модифицирован для выявления множества биомаркеров пародонтита и значительного расширения, при необходимости, диапазона определения концентраций. Использование этой технологии действительно может обеспечить повышенную чувствительность и специфичность для выявления пациентов с пародонтитом в популяции [19]. Авторы выделяют основные преимущества системы биосенсора SPR-POF:

- высокая чувствительность и чрезвычайно низкие пределы обнаружения, которые способствуют обнаружению изменений показателя преломления на границе раздела между пленкой, покрытой слоем благородного металла (золота), и диэлектрической средой (т.е. раствором анализируемого вещества);
- высокая специфичность обнаружения, обусловленная взаимодействием антиген—антитело, которое, в зависимости от антитела, выбранного для покрытия, может быть чрезвычайно специфичным;
- высокая универсальность, что дает соответствующие преимущества, такие как небольшие размеры (позволяющие миниатюризацию), электробезопасность (благодаря диэлектрической природе), низкое затухание сигнала и решение проблем хрупкости;
- очень короткое время, необходимое для анализа (инкубация в течение 5 минут), без необходимости обработки образцов.

Более того, комбинация с очень простой установкой, состоящей из источника белого света и миниатюрного спектрофотометра, позволяет использовать его непосредственно на стоматологическом приеме [14].

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ДИАГНОСТИКЕ ПОСТУРАЛЬНЫХ НАРУШЕНИЙ

На протяжении последних десятилетий взаимосвязь между морфологическим строением лица и системой осанки была постоянным предметом интереса специалистов здравоохранения. Поза человека является результатом положения тела и пространственных отношений между его анатомическими сегментами, находящихся в равновесии с движением и гравитацией. К этому добавляются корректировки осанки — небольшие изменения, которые происходят в позе, вызванные поступлением зрительных, вестибулярных и соматосенсорных стимулов, интегрированных в сложную регулируемую систему (Bolmont В. и соавт., 2002).

Считается, что нарушения осанки у детей в 90% случаев сочетаются с аномалиями окклюзии. Изученные данные литературы об основных видах нарушений осанки, причинах их возникновения предполагают взаимосвязь между изменениями осанки и аномалиями прикуса. Современные способы и средства выявления нарушений указывают на трудности в широком применении существующих методов выявления нарушений осанки, подтверждая актуальность усовершенствования известных и создания новых диагностических средств [20].

В доступной литературе встречается несколько исследований, в которых пытались связать неправильный прикус зубов с нарушениями осанки, но большинство авторов столкнулись с рядом ограничений в своих исследованиях, таких как малочисленность испытуемых или очень неравные группы, неполные описания выборки и ограниченное количество тестируемых параметров и/или состояний.

D. Różańska-Perlińska и соавт. (2023) выявили значительное соответствие между неправильным прикусом и патологическими ортопедическими находками, включая не только положение головы и шеи, но и дистальную мускулатуру, а также ориентацию конечностей в равновесии с движением и гравитацией. Это исследование доказало, что существует корреляция между наличием стоматогнатического расстройства и параметрами цикла походки (положение нижней челюсти по отношению к верхней влияет на ритм походки, продолжительность цикла походки и время выполнения правильного шага) [21].

A.J. Pérez-Belloso и соавт. (2020) в своем исследовании продемонстрировали сильную корреляцию между структурами, составляющими биомеханику нижней конечности: бедра, колена и стопы. Однако, с другой стороны, прямой взаимосвязи между стоматогнатической системой и структурами нижней конечности не обнаружилось. При этом авторы выявили преобладание переднего расположения центра тяжести у пациентов с дистальной окклюзией [22].

Проведенный авторами анализ 58 источников отечественной и иностранной литературы показал, что постуральными нарушениями страдает значительное

количество здоровых детей и подростков, в том числе входящих в организованные группы. Широкое распространение нарушений осанки у детей и подростков подтверждает актуальность изучения патологии опорно-двигательного аппарата. Известные современные диагностические устройства (КТ, МРТ) для выявления патологии опорно-двигательного аппарата имеют ограниченные показания, особенно у детей. По мнению S. Schmidt и соавт. (2014), «не хватает информации в области биомеханики и эргономики для разработки научно обоснованных и объективно определенных “оптимальных” углов суставов», что, без сомнения, требует создания и внедрения в практику эффективных способов и доступных диагностических устройств на основе достижений современной науки и техники [23]. Наряду с этим другие исследователи подчеркивают важность формирования у населения потребности в здоровом образе жизни и активного внедрения здоровьесберегающих технологий во все сферы жизни населения [24].

Таким образом, немногочисленные работы отечественных авторов подтверждают взаимосвязь патологии височно-нижнечелюстного сустава и, как следствие, окклюзии с наличием постуральных проблем у пациентов [25, 26].

Ввиду клинического воздействия, которое может оказать корреляция между патологической окклюзией зубов и положением тела, и скудной информации, доступной по данной тематике, дополнительные исследования такой взаимосвязи являются актуальными и перспективными.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оптические волокна (и фотонные технологии в целом) представляют собой набор очень мощных и универсальных технологий, позволяющих создавать медицинские устройства, контрольно-измерительные приборы и методы диагностики для терапевтического и хирургического применения. В условиях растущего населения, нуждающегося в медицинской помощи и во все более сложных диагностических инструментах, клиницисты во всем мире все больше полагаются на передовые биомедицинские приборы и датчики как на необходимые и эффективные инструменты для диагностики, мониторинга, лечения и ухода за пациентами.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Грант № 22-15-20069 Российского научного фонда и Кубанского научного фонда.

FUNDING

Grant no. 22-15-20069 from the Russian Science Foundation and the Kuban Science Foundation.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов.

Поступила: 20.03.2023 **Принята в печать:** 05.10.2024

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

Received: 20.03.2023 **Accepted:** 05.10.2024

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES:

- Hilton T.J., Funkhouser E., Ferracane J.L., Gordan V.V., Huff K.D., Barna J., Mungia R., Marker T., Gilbert G.H., National Dental PBRN Collaborative Group Associations of types of pain with crack-level, tooth-level and patient-level characteristics in posterior teeth with visible cracks: Findings from the National Dental Practice-Based Research Network. — *J Dent.* — 2018; 70: 67—73. [PMID: 29289728](#)
- Hasan S., Singh K., Salati N. Cracked tooth syndrome: Overview of literature. — *Int J Appl Basic Med Res.* — 2015; 5 (3): 164—8. [PMID: 26539363](#)
- Kim J.H., Eo S.H., Shrestha R., Ihm J.J., Seo D.G. Association between longitudinal tooth fractures and visual detection methods in diagnosis. — *J Dent.* — 2020; 101: 103466. [PMID: 32882335](#)
- Hausdörfer T., Harms L., Kanzow P., Hülsmann M. Three visual-diagnostic methods for the detection of enamel cracks: An in vitro study. — *J Clin Med.* — 2023; 12 (3): 973. [PMID: 36769621](#)
- Okoro C., Vartanian A., Toussaint K.C. Jr Development of a hand-held smart dental instrument for root canal imaging. — *J Biomed Opt.* — 2016; 21 (11): 114002. [PMID: 27851855](#)
- Marques S., Ribeiro P., Falcão C., Lemos B.F., Ríos-Carrasco B., Ríos-Santos J.V., Herrero-Climent M. Digital impressions in implant dentistry: A literature review. — *Int J Environ Res Public Health.* — 2021; 18 (3): 1020. [PMID: 33498902](#)
- Rahman H.A., Che Ani A.I., Harun S.W., Yasin M., Apsari R., Ahmad H. Feasibility of fiber optic displacement sensor scanning system for imaging of dental cavity. — *J Biomed Opt.* — 2012; 17 (7): 071308. [PMID: 22894469](#)
- Kinane D.F., Stathopoulou P.G., Papapanou P.N. Periodontal diseases. — *Nat Rev Dis Primers.* — 2017; 3: 17038. [PMID: 28805207](#)
- Kapila Y.L. Oral health's inextricable connection to systemic health: Special populations bring to bear multimodal relationships and factors connecting periodontal disease to systemic diseases and conditions. — *Periodontol 2000.* — 2021; 87 (1): 11—16. [PMID: 34463994](#)
- Martínez-García M., Hernández-Lemus E. Periodontal Inflammation and Systemic Diseases: An Overview. — *Front Physiol.* — 2021; 12: 709438. [PMID: 34776994](#)
- Arias-Bujanda N., Regueira-Iglesias A., Balsa-Castro C., Nibali L., Donos N., Tomás I. Accuracy of single molecular biomarkers in gingival crevicular fluid for the diagnosis of periodontitis: A systematic review and meta-analysis. — *J Clin Periodontol.* — 2019; 46 (12): 1166—1182. [PMID: 31444912](#)
- Akalin F.A., Baltacioğlu E., Alver A., Karabulut E. Lipid peroxidation levels and total oxidant status in serum, saliva and gingival crevicular fluid in patients with chronic periodontitis. — *J Clin Periodontol.* — 2007; 34 (7): 558—65. [PMID: 17555410](#)

13. Cafiero C., Spagnuolo G., Marenzi G., Martuscelli R., Colamaio M., Leuci S. Predictive periodontitis: The most promising salivary biomarkers for early diagnosis of periodontitis. — *J Clin Med.* — 2021; 10 (7): 1488. [PMID: 33916672](#)
14. Bencivenga D., Arcadio F., Piccirillo A., Annunziata M., Della Ragione F., Cennamo N., Borriello A., Zeni L., Guida L. Plasmonic optical fiber biosensor development for point-of-care detection of malondialdehyde as a biomarker of oxidative stress. — *Free Radic Biol Med.* — 2023; 199: 177—188. [PMID: 36841362](#)
15. Baltacıoğlu E., Yuva P., Aydın G., Alver A., Kahraman C., Karabulut E., Akalin F.A. Lipid peroxidation levels and total oxidant/antioxidant status in serum and saliva from patients with chronic and aggressive periodontitis. Oxidative stress index: a new biomarker for periodontal disease? — *J Periodontol.* — 2014; 85 (10): 1432—41. [PMID: 24635543](#)
16. Baima G., Corana M., Iaderosa G., Romano F., Citterio F., Meoni G., Tenori L., Aimetti M. Metabolomics of gingival crevicular fluid to identify biomarkers for periodontitis: A systematic review with meta-analysis. — *J Periodontol Res.* — 2021; 56 (4): 633—645. [PMID: 33710624](#)
17. Chen M., Cai W., Zhao S., Shi L., Chen Y., Li X., Sun X., Mao Y., He B., Hou Y., Zhou Y., Zhou Q., Ma J., Huang S. Oxidative stress-related biomarkers in saliva and gingival crevicular fluid associated with chronic periodontitis: A systematic review and meta-analysis. — *J Clin Periodontol.* — 2019; 46 (6): 608—622. [PMID: 30989678](#)
18. Cennamo N., Piccirillo A., Bencivenga D., Arcadio F., Annunziata M., Della Ragione F., Guida L., Zeni L., Borriello A. Towards a point-of-care test to cover atto-femto and pico-nano molar concentration ranges in interleukin 6 detection exploiting PMMA-based plasmonic biosensor chips. — *Talanta.* — 2023; 256: 124284. [PMID: 36709711](#)
19. Guida L., Bencivenga D., Annunziata M., Arcadio F., Borriello A., Della Ragione F., Formisano A., Piccirillo A., Zeni L., Cennamo N. An optical fiber-based point-of-care test for periodontal MMP-8 detection: A proof of concept. — *J Dent.* — 2023; 134: 104553. [PMID: 37201775](#)
20. Аюпова Ф.С., Алексеенко С.Н., Гайворонская Т.В., Уварова И.В., Гусейнова А.А. Рациональная осанка как приоритет сохранения и укрепления здоровья детей. — *Стоматология детского возраста и профилактика.* — 2022; 3 (83): 224—235. [Ayupova F.S., Alekseenko S.N., Gayvoronskaya T.V., Uvarova I.V., Guseynova A.A. Rational posture as a priority for preserving and strengthening children's health. — *Pediatric Dentistry and Profilaxis.* — 2022; 3 (83): 224—235 (In Russian)]. [eLibrary ID: 49539089](#)
21. Pérez-Belloso A.J., Coheña-Jiménez M., Cabrera-Domínguez M.E., Galan-González A.F., Domínguez-Reyes A., Pabón-Carrasco M. Influence of dental malocclusion on body posture and foot posture in children: A cross-sectional study. — *Healthcare (Basel).* — 2020; 8 (4): 485. [PMID: 33202576](#)
22. Róžańska-Perlińska D., Jaszczur-Nowicki J., Kruczkowski D., Bukowska J.M. Dental malocclusion in mixed dentition children and its relation to podal system and gait parameters. — *Int J Environ Res Public Health.* — 2023; 20 (3): 2716. [PMID: 36768082](#)
23. Schmidt S., Amereller M., Franz M., Kaiser R., Schwirtz A. A literature review on optimum and preferred joint angles in automotive sitting posture. — *Appl Ergon.* — 2014; 45 (2): 247—60. [PMID: 23664245](#)
24. Аюпова Ф.С., Мурашкина Т.И., Гайворонская Т.В., Бадеева Е.А., Арутюнов А.В., Васильев Ю.А., Пономаренко Т.В., Габбасов А.Р. К вопросу о взаимосвязи патологий осанки и прикуса у детей и способах их выявления. — *Вопросы практической педиатрии.* — 2022; 6: 89—96. [Ayupova F.S., Murashkina T.I., Gayvoronskaya T.V., Badeeva E.A., Arutyunov A.V., Vasiliev Y.A., Ponomarenko T.V., Gabbasov A.R. Association between postural disorders and malocclusion and methods of their detection. — *Clinical practice in pediatrics.* — 2022; 6: 89—96 (In Russian)]. [eLibrary ID: 50398129](#)
25. Сорокина Н.Д., Перцов С.С., Гюева Ю.А., Селицкий Г.В., Зангиева А.С. Взаимосвязь постуральных нарушений с дисфункцией височно-нижнечелюстного сустава и состоянием других систем организма. — *Вестник новых медицинских технологий.* — 2019; 2: 47—52. [Sorokina N.D., Pertsov S.S., Goeva Yu.A., Selitsky G.V., Zangieva A.S. Relationship of postural disorders with temporomandibular joint dysfunction and state of other systems in the body. — *Journal of New Medical Technologies.* — 2019; 2: 47—52 (In Russian)]. [eLibrary ID: 38235315](#)
26. Жулев Е.Н., Ершов П.Э., Ершова О.А. Влияние дистального смещения нижней челюсти на развитие постуральной патологии. — *Стоматология.* — 2018; 5: 71—74. [Zhulev E.N., Ershov P.E., Ershova O.A. Influence of distal misalignment of the mandible on the development of postural pathology. — *Stomatology.* — 2018; 5: 71—74 (In Russian)]. [eLibrary ID: 36318508](#)