

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ СЛИЗИСТОЙ ПОЛОСТИ РТА И ПАРОДОНТА

С. М. Геращенко¹, А. В. Демидов²

^{1, 2} Пензенский государственный университет, Пенза, Россия
¹sgerash@mail.ru, ²demidandrey@gmail.com

Аннотация. *Актуальность и цели.* Целью работы является обзор и анализ современных методов оценки состояния слизистой полости рта и пародонта. *Материалы и методы.* С целью выбора перспективных методов оценки состояния слизистой полости рта и пародонта была разработана классификация методов на основе физического принципа, лежащего в их основе. Был проведен анализ этих методов с точки зрения измеряемого параметра, инвазивности, экспрессности метода и возможности его применения на доклинической стадии заболевания. *Результаты.* Ранняя диагностика заболеваний слизистой полости рта и пародонта в доклинической стадии вследствие обратимости процессов увеличивает шансы полного выздоровления. Это актуально ввиду высокого риска злокачественного перерождения поврежденных мягких тканей слизистой на фоне воспалительных заболеваний. *Выводы.* Выявлены преимущества электрохимических методов диагностики.

Ключевые слова: диагностика пародонтита, хронический генерализованный пародонтит, слизистая оболочка полости рта, конусно-лучевая компьютерная томография, лучевые методы диагностики, ранняя диагностика, инструментальные методы диагностики в стоматологии

Для цитирования: Геращенко С. М., Демидов А. В. Современные методы оценки состояния слизистой полости рта и пародонта // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2023. № 2. С. 154–171. doi: 10.21685/2227-8486-2023-2-10

MODERN METHODS FOR ASSESSING THE CONDITION OF THE MUCOSUS CAVITY OF THE MOUTH AND PERIODONT

S.M. Gerashchenko¹, A.V. Demidov²

^{1, 2} Penza State University, Penza, Russia
¹sgerash@mail.ru, ²demidandrey@gmail.com

Abstract. *Background.* The aim of the work is to review and analyze modern methods for assessing the condition of the oral mucosa and periodontium. *Materials and methods.* In order to select promising methods for assessing the condition of the oral mucosa and periodontium, a classification of methods was developed based on the underlying physical principle. An analysis of these methods was also carried out in terms of the measured parameter, invasiveness, rapidity of the method and the possibility of its use at the preclinical stage of the disease. *Results.* Early diagnosis of diseases of the oral mucosa and periodontal disease in the preclinical stage, due to the reversibility of processes, increases the chances of complete recovery. This is relevant due to the high risk of malignant degeneration of damaged

soft tissues of the mucosa against the background of inflammatory diseases. *Conclusions.* The advantages of electrochemical methods of diagnostics are revealed.

Keywords: diagnosis of periodontitis, chronic generalized periodontitis, oral mucosa, cone-beam computed tomography, radiation diagnostic methods, early diagnosis, instrumental diagnostic methods in dentistry

For citation: Gerashchenko S.M., Demidov A.V. Modern methods for assessing the condition of the mucous cavity of the mouth and periodont. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve* = *Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*. 2023;(2):154–171. (In Russ.). doi: 10.21685/2227-8486-2023-2-10

Введение

В современном мире наблюдается значительное улучшение здоровья населения ряда стран, однако в общественном здравоохранении все еще остаются нерешенные проблемы. Одной из таких проблем является высокая распространенность воспалительных заболеваний слизистой оболочки полости рта (СОПР) и пародонта [1].

На сегодняшний день пародонтит тяжелой степени тяжести встречается у 5–20 % лиц молодого возраста. Признаки поражения пародонтальных тканей выявлены у 41 % подростков, а число лиц в возрасте от 35 до 44 лет, имеющих здоровые ткани пародонта, составило всего 19 % [2].

Многочисленные исследования указывают на то, что несвоевременная диагностика ранних поражений слизистой оболочки полости рта и тканей пародонта приводит к различным системным заболеваниям. Изменения в этих тканях служат индикатором общего состояния организма и зачастую являются ранним признаком системной патологии [3].

Позднюю диагностику заболеваний слизистой оболочки полости рта связывают с недостаточной внимательностью врачей-стоматологов при сборе анамнеза, не всегда выясняются факторы риска, а при непосредственном осмотре полости рта врачи не всегда акцентируют внимание на состоянии мягких тканей (цвет, рельеф, целостность).

На этапе осмотра полости рта следует проводить оценку состояния мягких тканей в соответствии с их топографической зоной, так как в зависимости от местоположения могут различаться архитектура и цветовая гамма.

Тип воспаления и клинические поражения в виде поражений красного, белесоватого оттенков или их сочетаний могут характеризовать конкретное заболевание слизистой оболочки при учете предполагаемой этиологии [4]. Однако поражения зачастую идентичны при различных заболеваниях СОПР, а причины их развития являются многофакторными [5].

Из-за высокого риска злокачественного перерождения поврежденных мягких тканей полости рта на фоне воспалительного процесса требуется разработка методов обнаружения ранних клинических проявлений патологий СОПР и пародонта [6].

В литературный обзор по теме «Современные методы оценки состояния слизистой полости рта и пародонта» были включены статьи за 2013–2022 гг. Поиск происходил по следующим ключевым словам: «диагностика пародонтита», «хронический генерализованный пародонтит», «слизистая оболочка полости рта», «конусно-лучевая компьютерная томография», «лучевые методы диагностики», «ранняя диагностика», «инструментальные методы

диагностики в стоматологии». Всего было проанализировано 112 статей. Из них были отобраны наиболее соответствующие тематике литературного обзора, имеющие полнотекстовые версии. Таким образом, в литературный обзор вошли 52 статьи. Была составлена классификация методов диагностики исходя из физических принципов, лежащих в их основе (рис. 1).

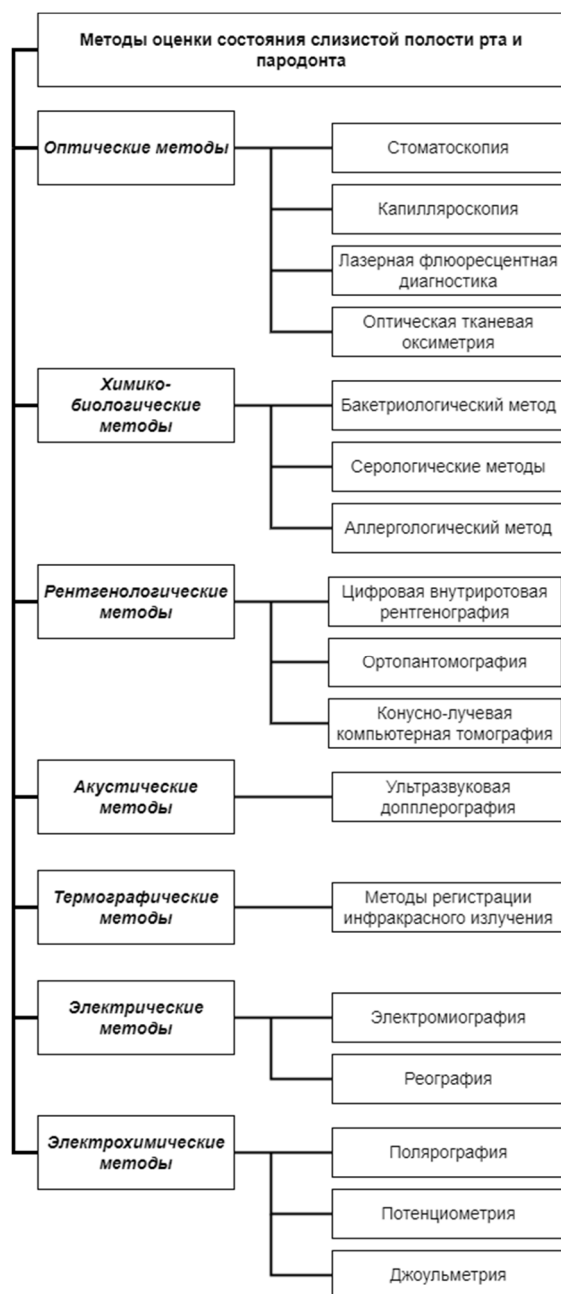


Рис. 1. Классификация методов диагностики слизистой полости рта и пародонта

Клинические методы диагностики в рамках данной работы рассматриваться не будут.

Анализ литературы показал тенденцию к востребованности разработки методов диагностики данных патологий, обладающих такими важными качествами, как возможность доклинической диагностики, минимальная инвазивность при исследовании, а также возможность получения результатов исследования в ходе одного приема у стоматолога.

Таким образом, требуется провести анализ существующих методов диагностики слизистой полости рта и пародонта согласно разработанной классификации и оценить их с точки зрения инвазивности, экспрессности и возможности применения на доклинической стадии развития заболевания.

Оптические методы

Диагностика патологий слизистой полости рта, пародонта и твердых тканей зуба на основе только клинических данных может привести к недооценке распространенности и тяжести данных патологий.

В стоматологии в настоящий момент используют следующие оптические методы диагностики [7]:

- стоматоскопия;
- метод капилляроскопии;
- лазерная флюоресцентная диагностика;
- лазерная доплеровская флоуметрия;
- оптическая тканевая оксиметрия.

В основе люминесцентной стоматоскопии лежит различие в интенсивности и цвете флуорисцирующих тканей полости рта в норме и при патологии.

Данное исследование проводят в затемненной комнате, направляя на высушенную исследуемую поверхность пучок ультрафиолетовых лучей с расстояния 20–30 см.

Люминесцентную стоматоскопию используют в следующих случаях:

- определение краевого прилегания пломб;
- определение начальных поражений твердых тканей зуба;
- обнаружение поражений слизистой оболочки полости рта и пародонта;
- определение первых признаков онкологических изменений тканей полости рта и пародонта.

Одной из разновидностей данного метода является люминесцентно-гистологический метод. Для него применяются специализированные приборы и микроскопы, оборудованные кварцевой лампой с фильтром из темно-фиолетового стекла.

Капилляроскопия – это методика регистрации и расчета капиллярного кровотока [8]. Данный метод представляет собой компьютеризированную микроскопию с кратным увеличением 30–60×. Во время исследования можно увидеть состояние капилляров, а также рассчитать линейную и объемную скорости капиллярного кровотока, что актуально для диагностики начальных стадий патологий пародонта, начинающихся с расстройства регионального микрокапиллярного кровообращения. Недостатком метода является возможность изучения только поверхностного слоя ткани толщиной до 800 мкм.

Лазерная флюоресцентная диагностика основана на эффекте собственного излучения света тканями при поглощении световой волны определенной длины [9]. При этом длина волны собственного излучения будет смещена в область спектра с большей длиной волны. Присутствующие в полости рта продукты обмена веществ бактерий (главным образом молочные кислоты) при

воздействии ультрафиолетом имеют более сильное свечение по сравнению со слизистой полостью рта, тканями пародонта, а также твердыми тканями зуба. По данным, приведенным в работе [10], эффективность данного метода диагностики составляет 82 %.

Устройство для проведения лазерной флюорографии состоит из лазера с излучаемой длиной волны в 655 нм, фильтра, фотоэлемента, а также двух световодов. Фотоэлемент регистрирует интенсивность флуоресцентного излучения, по которому можно судить об активности обмена веществ у микроорганизмов на исследуемом участке.

Для оценки состояния и регуляции кровотока в микроциркуляторном русле возможно применение лазерной доплеровской флоуметрии [10]. Ведущую роль в патогенезе заболеваний пародонта отводят воспалительному процессу. Одним из ранних проявлений воспаления является расстройство микроциркуляции в пораженных тканях.

Суть метода заключается в освещении исследуемой ткани монохроматическим пучком света малой интенсивности. При этом в соответствии с эффектом Доплера движущиеся в сосудах эритроциты приводят к частотному сдвигу отраженного монохроматического света, который через приемный световод попадает на фотоприемник [11]. Далее полученный фототок пересчитывается в объем потока (мл/мин/100 г ткани) согласно алгоритму, приведенному в работе [12].

Преимуществами метода являются неинвазивность, объективность, возможность оценить состояние кровоснабжения пульпы и периодонта. Данный метод чаще всего применяется для оценки витальности пульпы после травмы или для оценки воздействия различных факторов на региональный кровоток [13]. Оценка активности воспаления и отслеживание динамики процесса затруднено при применении данного метода ввиду индивидуальной изменчивости показателей и неустойчивости измеряемой характеристики.

Оптическая тканевая оксиметрия применяется для оценки состояния микроциркуляторного русла биоткани на основе измерения уровня кислородной сатурации крови [14]. Оценка периферической капиллярной оксигенации (SpO₂) возможна из-за разницы оптических свойств оксигенированных и дезоксигенированных фракций гемоглобина, и в норме составляет 87 % и больше [15]. Для этого применяются два лазера, излучающие свет с длинами волн 0,53 мкм (зеленая область спектра) и 0,65 мкм (красная область спектра).

Расчет показателя SpO₂ происходит по формуле

$$SpO_2 = \frac{a_{02Hb}}{(a_{02Hb} + a_{HHb})} \cdot 100 \%, \quad (1)$$

где a_{02Hb} — доля света, поглощенная оксигенированным гемоглобином; a_{HHb} — доля света, поглощенная дезоксигенированным гемоглобином.

Достоинства и недостатки оптической тканевой оксиметрии схожи с лазерной доплеровской флоуметрией. Метод является неинвазивным, экспрессным, однако интерпретация измеряемого параметра с клинической точки зрения затруднена, особенно на доклинической стадии, ввиду неспецифичности параметра SpO₂.

Химико-биологические методы

В группу химико-биологических методов оценки состояния слизистой полости рта и пародонта входят методы идентификации возбудителя

заболеваний (бактериологический или биологический методы) или маркеров его присутствия (иммунологический и серологические методы) [16]. К ним можно отнести аллергологический метод.

Бактериологический метод исследования в стоматологии предполагает анализ микробной и грибковой флоры, полученной с участка поражения. Наиболее часто применяемый метод забора материала – мазок. Может применяться соскоб. Полученный материал исследуют с помощью бактериоскопии (метод визуальной идентификации микрофлоры после окрашивания). Кроме того, исследуют активность роста бактерий, чувствительность к лекарственным препаратам, может применяться заражение животных для исследования патогенной активности [17].

На сегодняшний день отсутствуют универсальные и высокоточные методы определения микрофлоры полости рта. В зависимости от топографии участка ротовой полости может меняться не только количественный, но и качественный состав микрофлоры. Большая часть «нормальной микрофлоры» представлена сапрофитами-комменсалами, которые не наносят вреда своему хозяину [18].

Выделение и идентификацию бактерий осуществляют при помощи аэробного и анаэробного культивирования [19]. Однако не все представители микрофлоры, которые присутствуют при воспалении тканей полости рта (особенно вирулентные штаммы пародонтопатогенных видов [20]), возможно выделить с помощью бактериологического метода. К таким видам можно отнести *Bacteroidesforsithus*, *Treponemadenticola* [21]. Их участие в патогенезе пародонтита получилось установить при помощи полимеразной цепной реакции.

К серологическим методам в стоматологии можно отнести методы определения антигенов микроорганизмов или тканей на основе реакций иммунитета (например, реакция связывания комплемента).

Полимеразная цепная реакция – один из молекулярно-биологических методов идентификации микроорганизмов [22]. Он позволяет обнаружить последовательности ДНК, являющиеся маркерами присутствия карисогенных и пародонтопатогенных микроорганизмов [23].

Аллергологический метод в стоматологии направлен на выявление повышенной чувствительности организма к определенным антигенам, которые характеризуют определенного возбудителя [24]. Данный метод основан на феномене гиперчувствительности I и IV типов. Его применяют при определении аллергической чувствительности к протезам и частям ортопедических конструкций [25, 26].

Наиболее распространенными являются накожные пробы. Однако результаты накожных проб еще не гарантируют наличие аллергии. По данным, приведенным в работе [16], часть пациентов, проявивших чувствительность к Cr и Ni, пользовались протезами из этих металлов без местных и общих патологических реакций. К тому же для развития аллергической реакции на слизистой полости рта требуется большая концентрация аллергена – в среднем в 5–12 раз [24].

Группу химико-биологических методов оценки состояния слизистой полости рта и пародонта можно охарактеризовать как высокоспецифичные и точные методы постановки окончательного диагноза. Однако их применение сопряжено со значительными временными затратами и они малоприменимы на доклинической стадии заболевания.

Рентгенологические методы

Рентгенологические методы в стоматологии применяются как для постановки диагноза и выбора врачебной тактики, так и для оценки эффективности проводимой терапии, оценки динамики течения заболевания, своевременного выявления осложнений [27]. Основными методами рентген-диагностики являются [28]: цифровая внутриротовая рентгенография, ортопантомография, конусно-лучевая компьютерная томография.

Прицельная внутриротовая рентгенограмма [29] и ортопантомограмма [30] являются двухмерными изображениями трехмерного объекта. Степень искажения пропорций и размеров исследуемого объекта у этих методов зависит от угла направления падения центрального луча рентгеновского пучка, правильности позиционирования аппарата, установки параметров изображения [31].

Томография имеет колоссальную практическую значимость для медицины и стоматологии в частности [32–34]. Трехмерное изображение, получаемое при компьютерной томографии, позволяет исключить искажения и увеличить ценность полученной информации [35].

В отношении постановки диагноза, связанного с нарушениями в слизистой оболочке полости или тканях пародонта, к компьютерной томографии прибегают в следующих клинических ситуациях [36]:

- исследование костной ткани перед имплантацией;
- выявление патологии в тканях пародонта;
- выявление очагов хронического воспаления в периапикальных тканях.

Одним из современных направлений развития рентгенологических комплексов является интеграция их с другими методами исследования объектов, основанными на оптических, электрических, лазерных эффектах [37].

Рентгенологические методы остаются золотым стандартом диагностики в стоматологии ввиду высокой информативности данных методов и высокой скорости выполнения процедуры (экспрессность). Они позволяют не только определить наличие патологии, но и уточнить глубину и характер поражения. Воздействие ионизирующего излучения, а также высокая стоимость и сложность рентгенологических диагностических комплексов являются значительным основанием для разработки альтернативных диагностических методов, лишенных указанных недостатков.

Акустические методы

К акустическим методам диагностики состояния слизистой полости рта и пародонта можно отнести ультразвуковую доплерографию [38]. Метод основан на измерении частоты отраженной от движущегося объекта звуковой волны и расчете на ее основе средней линейной скорости кровотока (см/с) и средней объемной скорости кровотока (мл/с).

Ультразвуковую доплерографию используют для исследования как крупных кровеносных сосудов (1–7 мм), так и микрососудов (до 1 мм) [39]. Для исследования кровотока в тканях пародонта датчик располагают на границе десны и переходной складки в области боковых резцов [40].

Метод ультразвуковой доплерографии является неинвазивным, и его относят к методам ранней диагностики, так как первым признаком патологических изменений тканей наиболее часто выступает снижение регионального кровотока (ишемия тканей) [41]. Особое значение данный метод представляет для хирургов при оценке состояния регионарного кровотока во время травм и операций

на челюстно-лицевой области. К недостаткам ультразвуковой доплерографии можно отнести малое количество информации о состоянии микроциркуляции при различных заболеваниях слизистой полости рта и пародонта [40].

Термографические методы

Термографический метод диагностики основан на регистрации инфракрасного излучения, излучаемого биообъектом [42]. Распределение и интенсивность инфракрасного излучения позволяет получить представление о топографии пораженных участков, а также о функциональных изменениях в пораженной зоне [43]. Современную термографию можно применять для решения следующих медицинских задач [44]:

- опосредованная визуализация пораженного участка;
- уточнение диагноза;
- объективизация клинического синдрома заболевания;
- контроль эффективности лечения.

Одним из основных критериев термографического метода является выявление термоасимметрии. Однако разница в температуре симметрично расположенных участков может возникнуть не только из-за наличия воспалительного процесса, но и из-за физической или психической нагрузки, курения, приема некоторых лекарственных средств и т.д. Все это может привести к диагностическим ошибкам.

Необходимо отметить, что термографический метод позволяет с высокой степенью точности измерить температуру поверхности слизистой и кожи толщиной в доли миллиметра. О температуре подлежащих тканей можно судить лишь опосредованно. К достоинствам термографического метода также можно отнести безопасность проведения манипуляции для врача и пациента, а также экспрессность метода [45]. Недостатком является сложность, связанная с интерпретацией результатов, ввиду значительного влияния внешних факторов на итоговую термограмму.

Таким образом, при комплексной диагностике результаты термографии предоставляют важную дополнительную информацию о наличии и тяжести воспалительных процессов. Кроме того, они позволяют оценить эффективность консервативного лечения. Однако точность данного метода диагностики составляет около 80 % [42] из-за значительного влияния внешних факторов на получаемую термограмму.

Электрические методы

К электрическим методам оценки состояния слизистой полости рта и пародонта можно отнести электромиографию и реографию. Объектом исследования в электромиографии являются потенциалы действия мышечных волокон. Данный метод может применяться для уточнения диагноза у пациентов с заболеваниями пародонта или периодонта [46].

Электромиография в сочетании с гнатодинамометрическими пробами может применяться для оценки функционального состояния периодонта [47]. Для этого сопоставляют интенсивность возбуждения мышц, полученную с помощью электромиографии, с давлением, создаваемым зубочелюстной системой [46]. Недостатком электромиографии является достаточно узкая область применения.

Реография относится к методам исследования кровоснабжения тканей [48]. Суть метода заключается в регистрации изменения полного электрического

сопротивления тканей, вызванного пульсовыми колебаниями кровенаполнения сосудов [49]. При анализе получаемых реограмм учитывают форму кривой, амплитудно-частотные характеристики, а также расчетные показатели пульсового объема кровотока ткани.

Несомненным достоинством реографии является неинвазивность и экспрессность метода, однако, как и в случае оценки состояния регионарного кровотока с помощью ультразвуковой доплерографии, недостатком является низкая специфичность и достаточно ограниченная область применения.

Электрохимические методы

В группу электрохимических методов диагностики вошли полярография, потенциометрический метод определения окислительно-восстановительного потенциала и джоульметрия. Сущность полярографического метода состоит в регистрации зависимости силы тока от приложенного к биообъекту напряжения [50]. На основе полученной кривой происходит расчет напряжения кислорода (pO_2), который является интегральным показателем состояния транскапиллярного обмена. Напряжение кислорода в десне зависит от характера и степени патологического процесса, протекающего в пародонте.

Потенциометрический метод определения окислительно-восстановительного потенциала позволяет оценить степень утилизации кислорода при метаболизме [51]. Для этого измерительный электрод из платины вводят в десну, рядом устанавливают хлорсеребряный электрод. Данный метод является инвазивным и применяется для оценки активности воспаления, так как патологические изменения в тканях пародонта сопровождаются снижением окислительно-восстановительного потенциала.

Джоульметрия представляет собой классический метод исследования биологических объектов, при котором происходит контролируемое воздействие с целью измерения ответной реакции [52]. Для оценки состояния слизистой полости рта и тканей пародонта во время джоульметрического исследования на объект подается импульс тока заданной амплитуды и длительности. В ходе воздействия производится измерение межэлектродного напряжения. Амплитуда и форма полученной кривой позволяют оценить состояние исследуемых тканей.

Полярография и потенциометрический метод определения окислительно-восстановительного потенциала являются объективными, безопасными методами экспресс-оценки состояния тканей пародонта, однако инвазивность процедуры (в случае потенциометрического метода) и оценка косвенной характеристики состояния тканей (в случае полярографии) снижает эффективность и применимость описываемых методов. С помощью джоульметрии, в отличие от описанных методов, производится непосредственная оценка состояния тканей неинвазивным датчиком.

Сравнительный анализ методов оценки состояния слизистой полости рта и пародонта

С целью выбора перспективных методов оценки состояния слизистой полости рта и пародонта разработанная классификация была дополнена следующими критериями: объект исследования, измеряемый параметр, инвазивность метода, экспрессность метода и возможность его применения на доклинической стадии заболевания. Дополненная классификация представлена в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики методов

Физический принцип	Метод	Объект исследования	Измеряемая характеристика	Инвазивность	Экспрессность	Применимость на доклинической стадии
1	2	3	4	5	6	7
Оптические методы	Стоматоскопия	Слизистая полости рта	Флюоресценция тканей	Нет	Да	Нет
	Капилляроскопия	Капиллярный кровоток	Линейная скорость кровотока	Нет	Да	Нет
	Лазерная флуоресцентная диагностика	Слизистая полости рта и пародонт	Флюоресценция тканей	Нет	Да	Нет
	Оптическая тканевая оксиметрия	Капиллярный кровоток	Линейная скорость кровотока	Нет	Да	Нет
Химико-биологические методы	Бактериологический метод	Микрофлора полости рта	Количественный и видовой состав микрофлоры	Нет	Нет	Нет
	Серологические методы	Антигены микроорганизмов	Наличие антигенов патогенных микроорганизмов	Нет	Нет	Нет
	Аллергологические методы	Слизистая полости рта и кожа	Наличие аллергической реакции на антигены	Да	Нет	Нет
	Цифровая внутриротовая рентгенография	Слизистая полости рта и пародонт	Двухмерное рентген-изображение тканей	Нет	Да	Нет
Рентгенологические методы	Ортопантомография	Слизистая полости рта и пародонт	Двухмерное рентген-изображение тканей	Нет	Да	Нет
	Конусно-лучевая томография	Слизистая полости рта и пародонт	Трехмерное рентген-изображение тканей	Нет	Да	Нет

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
Акустические методы	Ультразвуковая доплерография	Микроциркуляторное русло	Линейная и объемная скорость кровотока	Нет	Да	Нет
Термографические методы	Методы регистрации инфракрасного излучения	Слизистая полости рта и пародонт	Термограмма	Нет	Нет	Нет
Электрические методы	Электромиография	Мышечная тканей челюстно-лицевой области	Потенциалы действия мышц	Да	Нет	Нет
	Реография	Слизистая полости рта и пародонт	Колебания электрического сопротивления тканей	Нет	Нет	Нет
Электрохимические методы	Полярография	Слизистая полости рта и пародонт	Зависимость силы тока от приложенного к биообъекту напряжения	Нет	Да	Да
	Потенциометрия	Слизистая полости рта и пародонт	Напряжение кислорода в тканях	Да	Да	Да
	Джоульметрия	Слизистая полости рта и пародонт	Изменение напряжения при воздействии на ткани импульса тока	Нет	Да	Да

Анализ данных табл. 1 позволяет сделать вывод о том, что единственной группой методов, способных на доклинической стадии обнаружить изменения в слизистой полости рта и тканях пародонта, являются электрохимические методы. На сегодняшний день данная группа методов в стоматологии представлена полярографией, потенциометрией и джоульметрией. В полярографии и потенциометрии измеряется важная, но косвенная характеристика состояния тканей, а именно состояние кровотока. К электрохимическим методам, при которых происходит непосредственная оценка состояния слизистой полости рта, можно отнести джоульметрию [52]. На данный момент метод является экспериментальным, и требуется проведение дополнительных исследований для оценки его эффективности и возможности применения его в практической стоматологии.

Выводы

Ранняя диагностика заболеваний слизистой полости рта и пародонта на доклинической стадии вследствие обратимости процессов увеличивает шансы полного выздоровления. Это актуально ввиду высокого риска злокачественного перерождения поврежденных мягких тканей слизистой на фоне воспалительных заболеваний. Сравнительный анализ методов классификации с точки зрения объекта исследования, измеряемого параметра, а также бинарных признаков (инвазивность метода, экспрессность метода и возможности его применения на доклинической стадии) позволил выявить преимущества электрохимических методов диагностики. Внедрение новых электрохимических методов доклинической экспресс-диагностики позволило бы снизить количество пациентов с хроническим пародонтитом и другими воспалительными заболеваниями слизистой полости рта и пародонта.

Список литературы

1. Global oral health status report: towards universal health coverage for oral health by 2030. URL: <https://www.who.int/publications-detail-redirect/9789240061484> (дата обращения: 03.04.2023).
2. Петерсен П. Э., Кузьмина Э. М. Распространенность стоматологических заболеваний. Факторы риска и здоровье полости рта. Основные проблемы общественного здравоохранения // Форум стоматологии. 2017. № 1. С. 2–11.
3. Капранова В. В., Асадов Р. И., Дорохова В. Д. Пародонтит как актуальная проблема стоматологии // Стоматология славянских государств. 2017. № 1. С. 196–199.
4. Латышева С. В., Будевская Т. В. Анализ выявленных поражений слизистой оболочки ротовой полости при первичном приеме пациентов // Современная стоматология. 2017. № 1. С. 34–37.
5. Гажва С. И., Степанян Т. Б., Горячева Т. П. Распространенность стоматологических заболеваний слизистой оболочки полости рта и их диагностика // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 5-1. С. 41–44.
6. Алиев А. Д. Молекулярные маркеры лейкоплакии и прогноз малигнизации // Биомедицина. 2013. № 2. С. 3–7.
7. Редуто К. В., Казеко Л. А. Оптические методы исследований в стоматологии // Современная стоматология. 2013. № 1. С. 13–16.
8. Elashiry M., Meghil M. M., Arce R. M., Cutler C. W. From manual periodontal probing to digital 3-D imaging to endoscopic capillaroscopy: Recent advances in periodontal disease diagnosis // Journal of periodontal research. 2019. № 1. P. 1–9.

9. Maheshwari S., Jaan A., Yousuf A. [et al.]. Laser and its implications in dentistry: A review article // *Journal of Current Medical Research and Opinion*. 2020. № 08. P. 579–588.
10. Бархатов И. В. Применение лазерной доплеровской флоуметрии для оценки нарушений системы микроциркуляции крови человека // *Казанский медицинский журнал*. 2014. № 1. С. 63–69.
11. Ghouth N., Duggal M. S., BaniHani A., Nazzal H. The diagnostic accuracy of laser Doppler flowmetry in assessing pulp blood flow in permanent teeth: A systematic review // *Dental Traumatology*. 2018. № 5. P. 311–319.
12. Македонова Ю. А., Поройский С. В., Фирсова И. В., Федотова Ю. М. Лазерная доплеровская флоуметрия при заболеваниях слизистой полости рта // *Волгоградский научно-медицинский журнал*. 2016. № 1. С. 51–53.
13. Кречина Е. К., Гусева И. Е., Погабало И. В. [и др.]. Современные достижения функциональной диагностики в стоматологии // *Стоматология*. 2022. № 4. С. 30–33.
14. Janani K., Ajitha P., Sandhya R. [et al.]. Efficiency of new custom-made pulse oximeter sensor holder in assessment of actual pulp status // *Journal of Family Medicine and Primary Care*. 2020. № 7. P. 3333.
15. Bruno K. F., Barletta F. B., Felipe W. T. [et al.]. Oxygen saturation in the dental pulp of permanent teeth: a critical review // *Journal of endodontics*. 2014. № 8. P. 1054–1057.
16. Маслов Р. М., Прозорова Н. В., Бакало Ю. В. [и др.]. Методы диагностики и определения инфекционных заболеваний полости рта. Методы исследования в стоматологии // *Актуальные вопросы фундаментальной, клинической медицины и фармации*. 2020. № 1. С. 111–116.
17. Heboyan A., Mahrikyan M., Zafar M. S. [et al.]. Bacteriological evaluation of gingival crevicular fluid in teeth restored using fixed dental prostheses: An in vivo study // *International journal of molecular sciences*. 2021. № 11. P. 5463.
18. Hsiao W. W. L., Li K. L., Liu Z. [et al.]. Microbial transformation from normal oral microbiota to acute endodontic infections // *BMC genomics*. 2012. Vol. 13. P. 1–15.
19. Tanner A. C. R. Anaerobic culture to detect periodontal and caries pathogens // *Journal of oral biosciences*. 2015. № 1. P. 18–26.
20. Mohanty R., Asopa S. J., Joseph M. P. [et al.]. Red complex: Polymicrobial conglomerate in oral flora: A review // *Journal of family medicine and primary care*. 2019. № 11. P. 3480.
21. Marttila E., Sorsa T., Kari K. [et al.]. Intracellular localization of *Treponema denticola* chymotrypsin-like proteinase in chronic periodontitis // *Journal of oral microbiology*. 2014. № 1. P. 24349.
22. Oliveira F. A. F., Forte C. D. F., Lopes C. B. [et al.]. Molecular analysis of oral bacteria in heart valve of patients with cardiovascular disease by real-time polymerase chain reaction // *Medicine*. 2015. № 47. P. 1–5.
23. Carinci F., Scapoli L., Girardi A. [et al.]. Oral microflora and periodontal disease: new technology for diagnosis in dentistry // *Annali di stomatologia*. 2013. № 2. P. 170–173.
24. Титов П. Л., Мойсейчик П. Н., Матвеев А. М. Аллергические реакции к компонентам стоматологических материалов. Диагностика // *Современная стоматология*. 2017. № 2. С. 28–33.
25. Balcheva-Eneva M., Krasteva A., Nikolov G. [et al.]. Oral allergy syndrome and dental allergology // *Journal of IMAB – Annual Proceeding Scientific Papers*. 2013. № 4. P. 332–335.
26. Syed M., Chopra R., Sachdev V. Allergic reactions to dental materials-a systematic review // *Journal of clinical and diagnostic research*. 2015. № 10. P. 4.
27. Чибисова М. А., Батюков Н. М. Методы рентгенологического обследования и современной лучевой диагностики, используемые в стоматологии // *Институт стоматологии*. 2020. № 3. С. 24–33.

28. Masthoff M., Gerwing M., Timme M. [et al.]. Dental imaging – a basic guide for the radiologist // *RöFo-Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der bildgebenden Verfahren*. 2019. № 03. P. 192–198.
29. Delantoni A., Orhan K. Basic Principles of Intraoral Radiography // *Atlas of Dentomaxillofacial Anatomical Imaging*. 2022. № 1. P. 7–13.
30. Izzetti R., Nisi M., Nardi C. [et al.]. Basic knowledge and new advances in panoramic radiography imaging techniques: A narrative review on what dentists and radiologists should know // *Applied Sciences*. 2021. № 17. P. 7858.
31. Шлейко В. В., Жолудев С. Е. Компьютерная томография как основной инструмент при планировании и прогнозировании комплексного стоматологического лечения // *Проблемы стоматологии*. 2013. № 2. С. 55–57.
32. Venkatesh E., Elluru S. V. Cone beam computed tomography: basics and applications in dentistry // *Journal of Istanbul University faculty of Dentistry*. 2017. № 3. P. 102.
33. Jacobs R., Salmon B., Codari M. [et al.]. Cone beam computed tomography in implant dentistry: recommendations for clinical use // *BMC Oral Health*. 2018. № 1. P. 1–16.
34. Acar B., Kamburoğlu K. Use of cone beam computed tomography in periodontology // *World journal of radiology*. 2014. № 5. P. 139.
35. Avsever H., Gunduz K., Orhan K. [et al.]. Comparison of intraoral radiography and cone-beam computed tomography for the detection of horizontal root fractures: an in vitro study // *Clinical oral investigations*. 2014. № 18. P. 285–292.
36. Чибисова М. А., Орехова Л. Ю., Серова Н. В. Особенности методики диагностического обследования пациентов с заболеваниями пародонта на конусно-лучевом компьютерном томографе // *Институт стоматологии*. 2014. № 1. С. 84–87.
37. Петренко К. А. Перспективные методы рентгенологического исследования в стоматологии // *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*. 2016. № 1. С. 32–35.
38. Narang D. Ultrasound in dentistry // *International Journal of Dental Research*. 2022. № 4. P. 1.
39. Kocasarac H. D., Angelopoulos C. Ultrasound in dentistry: toward a future of radiation-free imaging // *Dental Clinics*. 2018. № 3. P. 481–489.
40. Орехова Л. Ю., Лобода Е. С., Нино Я. Значение ультразвуковой доплерографии в динамике лечения воспалительных заболеваний пародонта // *Евразийский союз ученых*. 2016. № 30. С. 89–94.
41. Orekhova L. Y., Barnasheva A. A. Doppler flowmetry as a tool of predictive, preventive and personalised dentistry // *EPMA Journal*. 2013. № 4. P. 1–8.
42. Саркисян Н. Г., Готлиб В. М., Воложанина В. А. Тепловизионная диагностика в стоматологии // *Вестник Уральского государственного медицинского университета*. 2019. № 3. С. 144–147.
43. Nasution A. I., Pankov M. N. The Advantage and Basic Approach of Infrared Thermography in Dentistry // *Journal of International Dental and Medical Research*. 2020. № 2. P. 731–737.
44. Дурново Е. А., Потехина Ю. П., Марочкина М. С. [и др.]. Диагностические возможности инфракрасной термографии в обследовании больных с заболеваниями челюстно-лицевой области // *Современные технологии в медицине*. 2014. № 2. С. 61–67.
45. Harshavardhan T., Vijayalaxmi N., Mudavath M., Meesala D. Thermography: A newer diagnostic assessment tool in dentistry // *Journal of Mahatma Gandhi Institute of Medical Sciences*. 2017. № 2. P. 87.
46. Леонтьев В. К., Иванова Г. Г. Методы исследования в стоматологии (Обзор литературы) (Часть III) // *Институт стоматологии*. 2014. № 2. С. 88–90.
47. Nishi S. E., Basri R., Alam M. K. Uses of electromyography in dentistry: An overview with meta-analysis // *European journal of dentistry*. 2016. № 3. P. 419–425.
48. Aliev N. H. Clinical and functional methods of assessment and diagnosis of the pathological condition of the temporomandibular joint // *New day in medicine*. 2021. № 1. P. 375–380.

49. Амхадова М. А., Мустафаев Н. М., Ашхадов И. С. [и др.]. Состояние регионарного кровотока в слизистой оболочке десны до и после костнопластической операции у пациентов со значительной атрофией альвеолярного отростка // Современная стоматология: проблемы, задачи, решения. 2019. № 1. С. 13–18.
50. Abdulbari H. A., Basheer E. A. M. Electrochemical biosensors: electrode development, materials, design, and fabrication // ChemBioEng Reviews. 2017. № 2. P. 92–105.
51. Тлустенко В. П., Тлустенко В. С., Головина Е. С., Кошелев В. А. Влияние хронического локализованного пародонтита и дентального перимплантата на гомеостаз полости рта // Пульс. 2017. № 11. С. 102–106.
52. Demidov A. V., Udaltsova E. V., Gerashchenko S. M. Development of the System for Assessment of Periodontal Tissue State // Ural Symposium on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology. 2021. № 1. P. 27–29.

References

1. *Global oral health status report: towards universal health coverage for oral health by 2030*. Available at: <https://www.who.int/publications-detail-redirect/9789240061484> (accessed 03.04.2023).
2. Petersen P.E., Kuz'mina E.M. Prevalence of dental diseases. Risk factors and oral health. The main problems of public health. *Forum stomatologii = Dentistry Forum*. 2017;(1):2–11. (In Russ.)
3. Kapranova V.V., Asadov R.I., Dorokhova V.D. Periodontitis as an actual problem of dentistry. *Stomatologiya slavyanskikh gosudarstv = Dentistry of Slavic states*. 2017;(1): 196–199. (In Russ.)
4. Latysheva S.V., Budevskaya T.V. Analysis of the revealed lesions of the oral mucosa at the initial admission of patients. *Sovremennaya stomatologiya = Modern dentistry*. 2017;(1):34–37. (In Russ.)
5. Gazhva S.I., Stepanyan T.B., Goryacheva T.P. Prevalence of dental diseases of the oral mucosa and their diagnosis. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy = International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2014; (5-1):41–44. (In Russ.)
6. Aliev A.D. Molecular markers of leukoplakia and prognosis of malignancy. *Biomeditsina = Biomedicine*. 2013;(2):3–7. (In Russ.)
7. Reduto K.V., Kazeko L.A. Optical research methods in dentistry. *Sovremennaya stomatologiya = Modern dentistry*. 2013;(1):13–16. (In Russ.)
8. Elashiry M., Meghil M.M., Arce R.M., Cutler C.W. From manual periodontal probing to digital 3-D imaging to endoscopic capillaroscopy: Recent advances in periodontal disease diagnosis. *Journal of periodontal research*. 2019;(1):1–9.
9. Maheshwari S., Jaan A., Yousuf A. et al. Laser and its implications in dentistry: A review article. *Journal of Current Medical Research and Opinion*. 2020;(08):579–588.
10. Barkhatov I.V. Application of laser Doppler flowmetry to assess violations of the human blood microcirculation system. *Kazanskiy meditsinskiy zhurnal = Kazan Medical Journal*. 2014;(1):63–69. (In Russ.)
11. Ghouth N., Duggal M.S., BaniHani A., Nazzal H. The diagnostic accuracy of laser Doppler flowmetry in assessing pulp blood flow in permanent teeth: A systematic review. *Dental Traumatology*. 2018;(5):311–319.
12. Makedonova Yu.A., Poroyevskiy S.V., Firsova I.V., Fedotova Yu.M. Laser Doppler flowmetry in diseases of the oral mucosa. *Volgogradskiy nauchno-meditsinskiy zhurnal = Volgograd Scientific medical Journal*. 2016;(1):51–53. (In Russ.)
13. Krechina E.K., Guseva I.E., Pogabalo I.V. et al. Modern achievements of functional diagnostics in dentistry. *Stomatologiya = Dentistry*. 2022;(4):30–33. (In Russ.)
14. Janani K., Ajitha P., Sandhya R. et al. Efficiency of new custom-made pulse oximeter sensor holder in assessment of actual pulp status. *Journal of Family Medicine and Primary Care*. 2020;(7):3333.
15. Bruno K.F., Barletta F.B., Felipe W.T. et al. Oxygen saturation in the dental pulp of permanent teeth: a critical review. *Journal of endodontics*. 2014;(8):1054–1057.

16. Maslov R.M., Prozorova N.V., Bakalo Yu.V. et al. Methods of diagnosis and determination of infectious diseases of the oral cavity. *Aktual'nye voprosy fundamental'noy, klinicheskoy meditsiny i farmatsii = Topical issues of fundamental, clinical medicine and pharmacy*. 2020;(1):111–116. (In Russ.)
17. Heboyan A., Mahrikyan M., Zafar M.S. et al. Bacteriological evaluation of gingival crevicular fluid in teeth restored using fixed dental prostheses: An in vivo study. *International journal of molecular sciences*. 2021;(11):5463.
18. Hsiao W.W. L., Li K.L., Liu Z. et al. Microbial transformation from normal oral microbiota to acute endodontic infections. *BMC genomics*. 2012;13:1–15.
19. Tanner A.C.R. Anaerobic culture to detect periodontal and caries pathogens. *Journal of oral biosciences*. 2015;(1):18–26.
20. Mohanty R., Asopa S.J., Joseph M.P. et al. Red complex: Polymicrobial conglomerate in oral flora: A review. *Journal of family medicine and primary care*. 2019;(11):3480.
21. Marttila E., Sorsa T., Kari K. et al. Intracellular localization of *Treponema denticola* chymotrypsin-like proteinase in chronic periodontitis. *Journal of oral microbiology*. 2014;(1):24349.
22. Oliveira F.A.F., Forte C.D.F., Lopes C.B. et al. Molecular analysis of oral bacteria in heart valve of patients with cardiovascular disease by real-time polymerase chain reaction. *Medicine*. 2015;(47):1–5.
23. Carinci F., Scapoli L., Girardi A. et al. Oral microflora and periodontal disease: new technology for diagnosis in dentistry. *Annali di stomatologia*. 2013;(2):170–173.
24. Titov P.L., Moyseychik P.N., Matveev A.M. Allergic reactions to components of dental materials. Diagnostics. *Sovremennaya stomatologiya = Modern dentistry*. 2017;(2):28–33. (In Russ.)
25. Balcheva-Eneva M., Krasteva A., Nikolov G. et al. Oral allergy syndrome and dental allergology. *Journal of IMAB – Annual Proceeding Scientific Papers*. 2013;(4):332–335.
26. Syed M., Chopra R., Sachdev V. Allergic reactions to dental materials-a systematic review. *Journal of clinical and diagnostic research*. 2015;(10):4.
27. Chibisova M.A., Batyukov N.M. Methods of X-ray examination and modern radiation diagnostics used in dentistry. *Institut stomatologii = Institute of Dentistry*. 2020;(3):24–33. (In Russ.)
28. Masthoff M., Gerwing M., Timme M. et al. Dental imaging – a basic guide for the radiologist. *RöFo-Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der bildgebenden Verfahren*. 2019;(03):192–198.
29. Delantoni A., Orhan K. Basic Principles of Intraoral Radiography. *Atlas of Dentomaxillofacial Anatomical Imaging*. 2022;(1):7–13.
30. Izzetti R., Nisi M., Nardi C. et al. Basic knowledge and new advances in panoramic radiography imaging techniques: A narrative review on what dentists and radiologists should know. *Applied Sciences*. 2021;(17):7858.
31. Shleyko V.V., Zholudev S.E. Computed tomography as the main tool in planning and predicting complex dental treatment. *Problemy stomatologii = Problems of dentistry*. 2013;(2):55–57. (In Russ.)
32. Venkatesh E., Elluru S.V. Cone beam computed tomography: basics and applications in dentistry. *Journal of istanbul University faculty of Dentistry*. 2017;(3):102.
33. Jacobs R., Salmon B., Codari M. et al. Cone beam computed tomography in implant dentistry: recommendations for clinical use. *BMC Oral Health*. 2018;(1):1–16.
34. Acar B., Kamburoğlu K. Use of cone beam computed tomography in periodontology. *World journal of radiology*. 2014;(5):139.
35. Avsever H., Gunduz K., Orhan K. et al. Comparison of intraoral radiography and cone-beam computed tomography for the detection of horizontal root fractures: an in vitro study. *Clinical oral investigations*. 2014;(18):285–292.
36. Chibisova M.A., Orekhova L.Yu., Serova N.V. Features of diagnostic examination methodology patients with periodontal diseases on a cone-beam computed tomograph. *Institut stomatologii = Institute of Dentistry*. 2014;(1):84–87. (In Russ.)

37. Petrenko K.A. Promising methods of X-ray examination in dentistry. *Mezhdunarodnyy zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk = International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2016;(1):32–35. (In Russ.)
38. Narang D. Ultrasound in dentistry. *International Journal of Dental Research*. 2022;(4):1.
39. Kocasarac H.D., Angelopoulos C. Ultrasound in dentistry: toward a future of radiation-free imaging. *Dental Clinics*. 2018;(3):481–489.
40. Orekhova L.Yu., Loboda E.S., Nino Ya. The importance of ultrasound dopplerography in the dynamics of treatment of inflammatory periodontal diseases. *Evrasiyskiy soyuz uchenykh = Eurasian Union of Scientists*. 2016;(30):89–94. (In Russ.)
41. Orekhova L.Y., Barmasheva A.A. Doppler flowmetry as a tool of predictive, preventive and personalised dentistry. *EPMA Journal*. 2013;(4):1–8.
42. Sarkisyan N.G., Gotlib V.M., Volozhanina V.A. Thermal imaging diagnostics in dentistry. *Vestnik Ural'skogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta = Bulletin of the Ural State Medical University*. 2019;(3):144–147. (In Russ.)
43. Nasution A.I., Pankov M.N. The Advantage and Basic Approach of Infrared Thermography in Dentistry. *Journal of International Dental and Medical Research*. 2020;(2):731–737.
44. Durnovo E.A., Potekhina Yu.P., Marochkina M.S. et al. Diagnostic capabilities of infrared thermography in examination of patients with diseases of the maxillofacial region. *Sovremennye tekhnologii v meditsine = Modern technologies in medicine*. 2014;(2):61–67. (In Russ.)
45. Harshavardhan T., Vijayalaxmi N., Mudavath M., Meesala D. Thermography: A newer diagnostic assessment tool in dentistry. *Journal of Mahatma Gandhi Institute of Medical Sciences*. 2017;(2):87.
46. Leont'ev V.K., Ivanova G.G. Research methods in dentistry (Literature review) (Part III). *Institut stomatologii = Institute of Dentistry*. 2014;(2):88–90. (In Russ.)
47. Nishi S.E., Basri R., Alam M.K. Uses of electromyography in dentistry: An overview with meta-analysis. *European journal of dentistry*. 2016;(3):419–425.
48. Aliev N.H. Clinical and functional methods of assessment and diagnosis of the pathological condition of the temporomandibular joint. *New day in medicine*. 2021;(1):375–380.
49. Amkhadova M.A., Mustafaev N.M., Ashkhadov I.S. et al. The state of regional blood flow in the mucosa gingival membrane before and after bone plastic surgery in patients with significant atrophy of the alveolar process. *Sovremennaya stomatologiya: problemy, zadachi, resheniya = Modern dentistry: problems, tasks, solutions*. 2019;(1):13–18. (In Russ.)
50. Abdulbari H.A., Basheer E.A.M. Electrochemical biosensors: electrode development, materials, design, and fabrication. *ChemBioEng Reviews*. 2017;(2):92–105.
51. Tlustenko V.P., Tlustenko V.S., Golovina E.S., Koshelev V.A. Influence of chronic localized periodontitis and dental peri-implantitis on homeostasis of the oral cavity. *Pul's = Pulse*. 2017;(11):102–106. (In Russ.)
52. Demidov A.V., Udaltsova E.V., Gerashchenko S.M. Development of the System for Assessment of Periodontal Tissue State. *Ural Symposium on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology*. 2021;(1):27–29.

Информация об авторах / Information about the authors

Сергей Михайлович Геращенко
 доктор технических наук, доцент,
 профессор кафедры медицинской
 кибернетики и информатики,
 Пензенский государственный университет
 (Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
 E-mail: sgerash@mail.ru

Sergey M. Gerashchenko
 Doctor of technical sciences, associate
 professor, professor of the sub-department
 of medical cybernetics and informatics,
 Penza State University
 (40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Андрей Владимирович Демидов
аспирант кафедры медицинской
кибернетики и информатики,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: demidandrey@gmail.com

Andrey V. Demidov
Postgraduate student of the sub-department
of medical cybernetics and informatics,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /
The authors declare no conflicts of interests.

Поступила в редакцию/Received 13.01.2023
Поступила после рецензирования/Revised 30.03.2023
Принята к публикации/Accepted 07.06.2023