DOI: 10.37988/1811-153X_2026_2_66

И.П. Рыжова,
д.м.н., профессор кафедры ортопедической стоматологии
В.И. Пивоваров,
ассистент кафедры ортопедической стоматологии
В.С. Штана,
к.м.н., доцент кафедры ортопедической стоматологии
А.А. Оганесян,
д.м.н., доцент, зав. кафедрой общей стоматологии

НИУ БелГУ, 308015, Белгород, Россия

Сенсорное профилирование летучих органических соединений в ранней оценке состояния полости рта

Реферат. Состояние полости рта определяется не только выраженностью клинических проявлений, но и более ранними изменениями локальной химической среды, которые могут предшествовать визуально различимым признакам неблагополучия. В связи с этим поиск неинвазивных подходов, способных дополнить традиционную стоматологическую оценку, представляет значительный научный и практический интерес. **Цель исследования** — клиническая оценка возможностей сенсорного профилирования летучих органических соединений как неинвазивного подхода к ранней оценке состояния полости рта на расширенной выборке обследованных, а также определение информативности интегральных и нормированных сенсорных показателей. **Материалы и методы.** В исследование были включены 60 человек, распределенные на 3 группы по 20 человек: контрольную, группу пользователей электронных сигарет и группу курящих табачные сигареты. Сенсорную регистрацию проводили в трех временных точках динамического наблюдения: в исходном состоянии, через 10 и через 20 минут после воздействия. Использовали пьезокварцевый сенсор с чувствительным покрытием на основе гидроксиапатита. Анализировали амплитудный параметр *MaxΔ*, интегральный параметр *S*, а также нормированные коэффициенты K_1 и K_2, отражающие изменение сигнала относительно исходного уровня. **Результаты.** Предложенный протокол обеспечивает удовлетворительную воспроизводимость сенсорной регистрации (коэффициент вариации 15,1—16,2%). Наиболее информативным оказался интегральный параметр *S*. Значения нормированного коэффициента K_1 составили 0,96 в контрольной группе, 1,95 — у пользователей электронных сигарет, и 3,26 — у курящих табачные сигареты. Использование нормировки повышало сопоставимость результатов и делало различия между исследуемыми группами более наглядными. Наиболее выраженный сенсорный отклик наблюдался в группе табакокурения, промежуточный — у пользователей электронных сигарет, тогда как в контрольной группе направленного увеличения интегрального сигнала не отмечалось. **Заключение.** Сенсорное профилирование летучих органических соединений может рассматриваться как перспективный неинвазивный подход к оценке состояния полости рта. Интегральные сенсорные показатели и их нормированные значения потенциально пригодны для раннего выявления неблагополучия, клинической стратификации и динамического наблюдения в стоматологической практике.

Ключевые слова: полость рта, летучие органические соединения, сенсорное профилирование, стоматологическая диагностика, пьезокварцевый сенсор, интегральный сенсорный отклик, нормировка

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Рыжова И.П., Пивоваров В.И., Штана В.С., Оганесян А.А. Сенсорное профилирование летучих органических соединений в ранней оценке состояния полости рта. — *Клиническая стоматология*. — 2026; 29 (2): 66—72. DOI: 10.37988/1811-153X_2026_2_66

I.P. Ryzhova,
Doctor of Science in Medicine, professor of the Prosthodontics Department
V.I. Pivovarov,
assistant at the Prosthodontics Department
V.S. Shtana,
PhD in Medical Sciences, associate professor of the Prosthodontics Department
A.A. Oganesyan,
Doctor of Science in Medicine, associate professor and head of the General Dentistry Department

Belgorod State University,
308015, Belgorod, Russia

Sensory profiling of volatile organic compounds in the early assessment of oral cavity status

Abstract. The condition of the oral cavity is determined not only by the severity of clinical manifestations but also by earlier changes in the local chemical environment, which may precede visually detectable signs of pathology. In this regard, the search for non-invasive approaches capable of complementing traditional dental assessment is of considerable scientific and practical interest. **The aim of this study** was a clinical evaluation of the potential of sensory profiling of volatile organic compounds as a non-invasive approach for early assessment of oral cavity status in an expanded sample, as well as the determination of the informativeness of integral and normalized sensory parameters. **Materials and methods.** The study included 60 participants divided into three groups of 20 individuals each: a control group, a group of electronic cigarette users, and a group of tobacco smokers. Sensory measurements were performed at three time points during dynamic observation: at baseline, 10 minutes, and 20 minutes after exposure. A piezoelectric quartz sensor with a hydroxyapatite-based sensitive coating was used. The amplitude parameter *MaxΔ*, the integral parameter *S*, and normalized coefficients K_1 and K_2 reflecting signal changes relative to the baseline level were analyzed. **Results.** The proposed protocol demonstrated satisfactory

reproducibility of sensory measurements, with a coefficient of variation ranging from 15.1% to 16.2%. The integral response parameter *S* was found to be the most informative indicator. The normalized coefficient K_1 was 0.96 in the control group, 1.95 in electronic cigarette users, and 3.26 in conventional tobacco smokers. The use of normalization improved data comparability and enhanced the visualization of differences between the study groups. The most pronounced sensory response was observed in the tobacco smoking group, while intermediate values were recorded in electronic cigarette users. No directed increase in the integral sensory signal was detected in the control group. **Conclusion.** The findings indicate that sensory profiling of volatile organic compounds can be considered a promising non-invasive approach for assessing oral cavity condition. Integral sensory parameters and their normalized values are potentially suitable for early detection of abnormalities, clinical stratification, and dynamic monitoring in dental practice.

Key words: oral cavity, volatile organic compounds, sensory profiling, dental diagnostics, piezoelectric quartz sensor, integral sensory response, normalization

FOR CITATION:

Ryzhova I.P., Pivovarov V.I., Shtana V.S., Oganesyan A.A. Sensory profiling of volatile organic compounds in the early assessment of oral cavity status. *Clinical Dentistry (Russia)*. 2026; 29 (2): 66—72 (In Russian). DOI: 10.37988/1811-153X_2026_2_66

ВВЕДЕНИЕ

Состояние полости рта представляет собой сложную динамическую систему, в которой взаимодействуют ткани, микробиота, слюна и продукты локального метаболизма. Нарушение этого баланса лежит в основе развития воспалительных и деструктивных заболеваний, прежде всего пародонта, формирование которых связано с многофакторными патогенетическими механизмами и изменениями тканевого ответа [1, 2].

Современная клиническая стоматология в значительной степени опирается на визуальные и индексные методы оценки, а также на данные лабораторных исследований. Однако клинически выраженные изменения нередко являются уже следствием более ранних функциональных и метаболических сдвигов, которые остаются вне зоны непосредственного наблюдения врача [3]. Это формирует потребность в разработке подходов, способных выявлять ранние признаки неблагополучия полости рта до формирования выраженной клинической картины.

В последние годы активно обсуждается возможность использования биохимических и метаболических маркеров для оценки состояния тканей полости рта и мониторинга воспалительных процессов [4, 5]. Особый интерес представляет анализ летучих органических соединений (VOC), которые формируются в результате метаболической активности тканей и микробиоты и могут отражать текущее функциональное состояние системы. В совокупности такой профиль может рассматриваться как интегральный метаболический отпечаток локальной среды полости рта.

Сенсорные технологии, включая системы типа «электронный нос», открывают новые возможности для интегральной оценки сложных газовых смесей без необходимости детальной идентификации каждого компонента. Показано, что такие системы могут применяться для анализа биологических сред и имеют потенциал в диагностике различных патологических состояний [6, 7]. Такой подход особенно актуален для клинической стоматологии, где врачу зачастую важно не столько определение отдельных соединений, сколько понимание общей направленности изменений состояния полости рта.

В ряде современных исследований продемонстрирована возможность использования сенсорного анализа летучих соединений для оценки состояния полости рта, включая диагностику галитоза и мониторинг воспалительных заболеваний пародонта [8—10]. Однако данные подходы остаются ограниченно интегрированными в клиническую стоматологию и требуют дальнейшего изучения с позиций воспроизводимости и клинической интерпретации.

В клинической практике врач традиционно ориентируется не только на визуальные признаки, но и на косвенные сенсорные характеристики состояния полости рта, включая запах, который нередко отражает глубинные изменения в тканях и микробиоте. Однако до настоящего времени эта составляющая остается преимущественно субъективной и не имеет стандартизированной инструментальной оценки.

Представляется целесообразным рассматривать сенсорное профилирование летучих органических соединений как потенциальный инструмент, позволяющий приблизиться к объективной регистрации ранних изменений состояния полости рта. При этом особый интерес представляет интегральный подход, ориентированный не на покомпонентный анализ, а на оценку суммарного ответа системы. В этом контексте сенсорный отклик может рассматриваться как своеобразный химический след текущего функционального состояния полости рта.

В настоящем исследовании сенсорная технология рассматривается как метод клинической оценки состояния полости рта с использованием модели внешнего воздействия, позволяющей выявить направленные изменения интегрального летучего профиля и оценить их диагностическую значимость.

Вместе с тем представляется, что биосовместимость и функциональное состояние полости рта могут определяться не только морфологическими и клиническими признаками, но и характером интегрального метаболического отклика локальной среды. В этом контексте летучие органические соединения могут рассматриваться как чувствительный индикатор текущего состояния системы, отражающий совокупное взаимодействие тканей, микробиоты и внешних факторов. В связи с этим возникает научная гипотеза о возможности использования интегрального сенсорного профиля как раннего маркера неблагополучия полости рта, предшествующего клинически выраженным изменениям и способного служить ориентиром для выбора тактики врача.

Цель исследования — клиническая оценка возможностей сенсорного профилирования летучих органических соединений как неинвазивного подхода к ранней оценке состояния полости рта на расширенной выборке обследованных, а также определение информативности интегральных и нормированных сенсорных показателей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование было направлено на клиническую оценку возможностей сенсорного профилирования летучих органических соединений как неинвазивного подхода к ранней оценке состояния полости рта. Работа была следующим этапом ранее проведенных наблюдений и включала расширенную выборку обследованных с различными вариантами внешнего никотинсодержащего воздействия.

Расширение объема выборки было обусловлено необходимостью перейти от предварительной оценки принципиальной чувствительности метода к более клинически значимой проверке его воспроизводимости и информативности. В этой связи настоящее исследование ориентировалось не только на подтверждение самого факта сенсорного ответа, но и на оценку его устойчивости, сопоставимости и возможной клинической интерпретации.

В исследование были включены 60 человек, распределенные на три равные группы:

- **I — без никотинсодержащего воздействия (контрольная группа);**
- **II — пользователи электронных сигарет;**
- **III — курящие табачные сигареты.**

Такое распределение рассматривалось как клиническая модель, позволяющая оценить чувствительность сенсорного подхода к различным вариантам влияния на состояние полости рта. Характеристика обследованных представлена в табл. 1.

Отбор пробы осуществлялся с использованием позиционирующего адаптера, предназначенного для стандартизации пространственного положения сенсора относительно исследуемой поверхности.

Во время проведения измерений язык пациента выводился в воспроизводимое стандартное положение. Для стабилизации положения использовался языкодержатель, обеспечивающий его фиксированное положение и доступ к заданной анатомической области. Все измерения выполнялись в одной и той же зоне — средней трети дорсальной поверхности языка.

Позиционирующий адаптер обеспечивал постоянство геометрии контакта сенсора с поверхностью ткани, при этом исключалось дополнительное давление на исследуемую область. Фиксация языка осуществлялась без компрессионного воздействия, способного изменить конфигурацию поверхности.

Для обеспечения воспроизводимости каждое измерение проводили при идентичных условиях, включая положение языка, параметры фиксации и условия контакта сенсора с тканью. Измерения выполняли в фиксированной анатомической зоне. В каждой временной точке проводили три последовательных измерения в пределах соседних микролокаций одной области, а не в произвольно выбранных участках. После фиксации языка перед началом регистрации сигнала выдерживали адаптационную паузу продолжительностью 2—3 секунды, необходимую для стабилизации локальных условий.

Полное исключение механического воздействия на ткани при проведении измерений невозможно, что обусловлено биологическими особенностями исследуемых структур. В связи с этим в предлагаемой методике реализован принцип стандартизации минимального воздействия, обеспечивающий воспроизводимость результатов при сохранении физиологической релевантности измерений.

Контакт сорбционного элемента с поверхностью ткани осуществлялся без смещения и без компрессионного воздействия, способного привести к деформации поверхности. Такой подход позволяет обеспечить контролируемые и воспроизводимые условия взаимодействия сенсора с тканью при сохранении физиологической релевантности измерений.

Сенсорную регистрацию проводили в трех временных точках динамического наблюдения:

- T_0 — исходное состояние;
- T_1 — через 10 минут после воздействия;
- T_2 — через 20 минут после воздействия.

Такой дизайн позволял оценить не только исходный профиль летучих соединений, но и раннюю направленность его изменений (см. рисунок).

Для регистрации летучих органических соединений использовали пьезокварцевый сенсор с чувствительным покрытием на основе гидроксиапатита, предназначенный для работы с биологическими пробами малых концентраций. Выбор данного покрытия был обусловлен его способностью взаимодействовать с полярными и малополярными летучими соединениями, характерными для биологических сред, а также биомиметическими свойствами покрытия.

Сенсор функционировал по принципу регистрации изменения частоты колебаний, возникающего при адсорбции молекул летучих соединений на поверхности чувствительного слоя. В рамках настоящего

Таблица 1. Характеристика участников исследования
Table 1. Characteristics of study participants

Группа	*n*	Возраст, лет			Характер воздействия	Стаж, лет
		m±*SD*	Медиана	Мин.—макс		
I	20	35,1±5,6	38	25—40	Отсутствует	—
II		35,4±5,4	37	25—43	Аэрозоль электронных систем доставки никотина	6,8±3,1
III		38,2±5,6	38	32—48	Табачный дым	9,5±4,9

исследования сенсорная система использовалась не для селективного определения отдельных компонентов, а для получения интегральной характеристики суммарного профиля летучих органических соединений полости рта.

В качестве стандартной зоны регистрации использовали поверхность языка как одну из наиболее репрезентативных областей, участвующих в формировании суммарного летучего профиля полости рта. Сенсор устанавливали в фиксированной позиции, обеспечивающей сопоставимость условий у всех обследованных. Для стандартизации положения языка в ходе регистрации применяли фиксатор.

Поскольку на сенсорный сигнал могут влиять температура, влажность, параметры воздушной среды и посторонние летучие примеси, все измерения выполняли в стандартизированных лабораторных условиях. Температурный режим поддерживали на постоянном уровне. Регистрацию проводили в одном и том же помещении, при сопоставимом фоне и при исключении интенсивных запаховых загрязнителей. До начала измерений обеспечивали стабилизацию сенсорной системы и достижение устойчивого базового сигнала. Исследование проводили в утренние часы. За 2 часа до регистрации обследуемым рекомендовалось воздержаться от приема пищи, использования жевательной резинки, чистки зубов и применения ополаскивателей для полости рта. Перед исследованием исключалось употребление продуктов с выраженными ароматическими свойствами.

Протокол исследования и этапов сенсорной оценки состояния полости рта
Protocol of the study and stages of sensory assessment of oral cavity status

В каждой временной точке выполняли по три последовательных измерения в идентичных условиях. Продолжительность одного измерения составляла 60 секунд. Между последовательными измерениями проводили регенерацию сенсорной системы в течение 60 секунд до восстановления базового сигнала. Накопления остаточного сигнала, способного оказывать влияние на последующие измерения, не наблюдалось. Такой подход позволял оценить повторяемость регистрации и повысить надежность получаемых данных. Всего при обследовании 60 человек было выполнено 540 сенсорных измерений: по 180 измерений в каждой группе.

Для количественной характеристики сенсорного отклика анализировали два показателя. Амплитудный параметр MaxΔ отражал максимальное изменение сигнала в процессе регистрации. Интегральный параметр S характеризовал площадь под кривой сенсорного отклика и использовался как показатель суммарной выраженности ответа системы. В рамках данной работы именно параметр S рассматривался как основной, поскольку он учитывает не только пиковое значение сигнала, но и всю кинетику взаимодействия сенсора с летучим профилем полости рта.

С учетом межиндивидуальной вариабельности абсолютных значений дополнительно применяли нормировку интегрального показателя относительно индивидуального исходного уровня. Для этого рассчитывали коэффициенты $K_1 = S(T_1)/S(T_0)$ и $K_2 = S(T_2)/S(T_0)$, отражающие изменение интегрального отклика через 10 и 20 минут по отношению к исходному состоянию. Нормировка использовалась для повышения сопоставимости результатов и более наглядной оценки направленности изменений.

Дополнительно абсолютные значения интегрального отклика переводили в относительную шкалу с выделением рабочих интерпретационных зон. В настоящем исследовании использовали пилотное распределение:

1) 0—20% — зона условной нормы;
2) 21—40% — зона пограничных изменений;
3) 41—75% — зона выраженных изменений;
4) более 75% — зона максимальных отклонений.

Эти диапазоны рассматривались как предварительная рабочая шкала, удобная для клинической интерпретации и динамического наблюдения.

При статистической обработке для оценки повторяемости рассчитывали коэффициент вариации. При сравнении групп анализировали абсолютные значения интегрального параметра S, а также нормированные коэффициенты K_1 и K_2, характеризующие относительное изменение сенсорного отклика. Статистически значимыми считали различия при уровне $p<0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При оценке повторяемости сенсорной регистрации в каждой временной точке выполняли по три последовательных измерения в идентичных условиях. Анализ повторных регистраций показал, что амплитудный параметр MaxΔ характеризовался удовлетворительной стабильностью, а коэффициент вариации в большинстве наблюдений оставался в пределах, приемлемых для

клинико-инструментального исследования. Интегральный параметр *S*, отражающий площадь под кривой сенсорного отклика, демонстрировал несколько больший разброс по сравнению с амплитудным показателем, что является ожидаемым, поскольку данный параметр учитывает не только пиковую величину сигнала, но и всю кинетику взаимодействия сенсора с летучим профилем полости рта в течение времени регистрации.

В отличие от покомпонентного анализа летучих соединений, предложенный подход ориентирован на оценку интегрального ответа полости рта как единой биологической системы, что делает его более релевантным задачам клинической интерпретации.

Вместе с тем значения коэффициента вариации для параметра *S* также оставались в диапазоне, подтверждающем удовлетворительную воспроизводимость метода. Это позволяет рассматривать предложенный протокол сенсорной регистрации как пригодный для клинической сравнительной оценки состояния полости рта. Показатели повторяемости представлены в табл. 2.

При анализе абсолютных значений интегрального параметра *S* в исходной точке T_0 показатели в группах находились в сопоставимом диапазоне, однако характеризовались выраженной межиндивидуальной вариабельностью. Абсолютные значения интегрального параметра *S* характеризовались значительной величиной, что обусловлено особенностями регистрации сенсорного отклика и расчета площади под кривой. В связи с этим для клинической интерпретации основное значение придавалось относительным изменениям и нормированным коэффициентам.

Для клинической стоматологии это представляется особенно важным наблюдением, поскольку состояние полости рта определяется множеством факторов: индивидуальными особенностями микробиоты, слюноотделения, гигиенического статуса, состоянием слизистой оболочки и интенсивностью внешних воздействий. Именно поэтому интерпретация одних только абсолютных значений сигнала в подобных исследованиях имеет ограничения, а использование нормировки приобретает не только аналитическое, но и клиническое значение.

Таблица 2. Показатели повторяемости сенсорной регистрации
Table 2. Repeatability indicators of sensory measurements

Временна́я точка	*MaxΔ*, %	*S*, %
T_0	16,32	15,12
T_1	15,82	15,83
T_2	16,14	16,17

Таблица 3. Значения интегрального параметра сенсорного отклика *S* в группах по временным точкам наблюдения, $\cdot 10^6$
Table 3. Values of the integral sensory response parameter *S* in study groups at different observation time points, $\cdot 10^6$

Группа	T_0	T_1	T_2
I	0,914±0,352	0,878±0,301	1,109±0,305
II	1,284±0,234	2,498±0,582	2,190±0,331
III	1,325±0,229	4,319±0,610	3,942±0,519

После воздействия характер изменения интегрального сенсорного сигнала в группах различался. В контрольной группе регистрировалось снижение среднего значения параметра *S* от $0{,}914 \cdot 10^6$ в точке T_0 до $0{,}878 \cdot 10^6$ в точке T_1 и увеличение среднего значения параметра *S* до $1{,}109 \cdot 10^6$ в точке T_2. У пользователей электронных сигарет наблюдалось отчетливое увеличение интегрального сигнала: от $1{,}284 \cdot 10^6$ в исходной точке до $2{,}498 \cdot 10^6$ в точке T_1 и постепенное уменьшение до $2{,}190 \cdot 10^6$ в точке T_2. Наиболее выраженные изменения отмечались в группе табакокурения, где параметр *S* возрастал от $1{,}325 \cdot 10^6$ в точке T_0 до $4{,}319 \cdot 10^6$ в точке T_1 и сохранялся на высоком уровне в точке T_2 ($3{,}942 \cdot 10^6$). Уже на раннем этапе наблюдения формировалось отчетливое расхождение между группами: максимальный сенсорный отклик регистрировался у курящих табачные сигареты, промежуточные значения отмечались у пользователей электронных сигарет, а в контрольной группе направленного увеличения сигнала не наблюдалось (табл. 3).

Для клинической интерпретации особенно важно, что различия выявлялись не на уровне единичного лабораторного маркера, а в форме интегрального ответа полости рта как живой биологической системы. В этом смысле параметр *S* представляется более содержательным, чем амплитудный показатель Max*Δ*, поскольку отражает не отдельную точку сенсорной реакции, а суммарную выраженность и продолжительность отклика. Именно такая интегральная характеристика ближе к задачам стоматологической оценки, где врачу важно понимать не только наличие сигнала как такового, но и общую направленность изменения состояния полости рта.

С учетом межиндивидуальной вариабельности дополнительно были рассчитаны нормированные коэффициенты отклика относительно индивидуального исходного уровня: $K_1 = S(T_1)/S(T_0)$ и $K_2 = S(T_2)/S(T_0)$. Такой подход позволял оценивать не только абсолютную величину интегрального сигнала, но и степень отклонения от исходного состояния у конкретного обследованного.

В контрольной группе значение K_1 составило 0,96, а K_2 — 1,21, что отражало невыраженные колебания интегрального сигнала без устойчивого направленного увеличения по отношению к исходному уровню. Незначительное повышение показателя K_2 в контрольной группе, вероятно, связано с физиологической динамикой слюноотделения, естественными колебаниями локального метаболизма и постепенным накоплением метаболитов в подсенсорном пространстве в ходе протокола исследования. В группе пользователей электронных сигарет значение K_1 составило 1,95, а K_2 — 1,71, что отражало сохранение повышенного интегрального отклика с тенденцией к снижению относительно пикового значения. В группе табакокурения значения коэффициентов были максимальными: K_1=3,26 и K_2=2,98, что свидетельствовало о наиболее выраженном смещении сенсорного профиля по сравнению с исходным состоянием. Нормировка позволила сделать различия между группами более наглядными и показала, что выявленные эффекты определялись не только различием абсолютных величин сигнала, но и различной направленностью ответа полости рта на внешнее воздействие.

Особенно информативным оказался ранний коэффициент K_1, поскольку уже через 10 минут позволял отчетливо разграничить исследуемые группы по выраженности интегрального сенсорного ответа (табл. 4).

Использование нормированной относительной шкалы позволило перевести абсолютные значения интегрального отклика в более удобный для клинической интерпретации формат. Такой подход снижает зависимость интерпретации от исходных колебаний базового сигнала и создает основу для наблюдения пациента в динамике. В рамках настоящего исследования использовали рабочие интервалы:

- 0—20% — зона условной нормы;
- 21—40% — зона пограничных изменений;
- 41—75% — зона выраженных изменений;
- более 75% — зона максимальных отклонений.

Следует подчеркнуть, что эти диапазоны пока следует рассматривать как предварительную шкалу клинической стратификации, а не как окончательные диагностические критерии. Однако уже на данном этапе такой подход представляется полезным, поскольку дает врачу интуитивно понятный способ оценивать направление и степень неблагополучия.

При использовании данной шкалы в контрольной группе преобладали значения, соответствующие условной норме и пограничным изменениям. У пользователей электронных сигарет чаще регистрировались промежуточные значения, отражающие смещение профиля в сторону более выраженных изменений. Наиболее выраженное накопление высоких значений отмечалось в группе табакокурения, где чаще фиксировались показатели, соответствующие зоне выраженных и максимальных отклонений. Предложенная шкала носит рабочий характер и предназначена для клинической ориентации на этапе первичной оценки.

Для стоматологической практики принципиально важно, что сенсорное профилирование в данном исследовании рассматривалось не как альтернатива клиническому осмотру, а как его возможное расширение. Врач традиционно ориентируется на состояние слизистой оболочки, налет, признаки воспаления, жалобы и визуально определяемые изменения. Однако неблагополучие полости рта не всегда начинается с яркой клинической картины. Между состоянием видимого благополучия и очевидной патологией существует этап ранних функционально-химических сдвигов, которые уже происходят, но еще не имеют выраженного визуального эквивалента. Именно в этой зоне сенсорный подход может оказаться особенно ценным, поскольку позволяет регистрировать интегральный сигнал, потенциально отражающий изменения раньше, чем они становятся полностью очевидными при стандартном осмотре.

Полученные результаты позволяют рассматривать сенсорное профилирование летучих органических соединений как перспективный инструмент ранней оценки состояния полости рта. Его сильной стороной является неинвазивность, возможность стандартизированной регистрации и потенциальная пригодность для динамического наблюдения. Особенно важным представляется то, что нормировка делает результаты более устойчивыми к индивидуальным различиям и более удобными для клинической интерпретации. В перспективе это открывает возможность перехода от разового измерения к созданию понятных шкал наблюдения, когда врач сможет оценивать не только текущее положение пациента, но и динамику его состояния на фоне профилактических или лечебных мероприятий.

Таблица 4. Нормированные коэффициенты интегрального сенсорного отклика

Table 4. Normalized coefficients of integral sensory response

Группа	K_1	K_2
I	0,96	1,21
II	1,95	1,71
III	3,26	2,98

Следует отметить, что и при расширении выборки исследование сохраняет ограничения. В настоящей работе сенсорная система использовалась как интегральный регистратор суммарного профиля летучих соединений и на данном этапе не предполагала покомпонентной идентификации VOC. Кроме того, предложенные интервалы относительной шкалы нуждаются в дальнейшей верификации на более широком клиническом материале. Тем не менее уже на данном этапе полученные данные позволяют говорить о клинической перспективности метода и о целесообразности его дальнейшего изучения в стоматологии.

Таким образом, сенсорное профилирование летучих органических соединений позволяет регистрировать воспроизводимые изменения интегрального профиля полости рта и может рассматриваться как перспективный неинвазивный подход к его ранней оценке. Использование интегрального параметра S, нормированных коэффициентов и рабочей шкалы интерпретации создает основу для дальнейшего развития сенсорных технологий в стоматологической практике.

ВЫВОДЫ

1) Сенсорное профилирование летучих органических соединений позволяет регистрировать воспроизводимые изменения интегрального профиля полости рта и может рассматриваться как перспективный неинвазивный подход к его ранней оценке в стоматологической практике.
2) Установлено, что интегральный параметр сенсорного отклика S, характеризующий площадь под кривой, обладает наибольшей информативностью при оценке суммарного ответа полости рта, поскольку отражает не только амплитуду сигнала, но и полную кинетику взаимодействия сенсора с летучим профилем. Именно этот показатель позволил наиболее отчетливо выявить различия между исследуемыми группами.
3) Показано, что применение нормировки повышает сопоставимость результатов, уменьшает влияние межиндивидуальной вариабельности абсолютных значений сигнала и делает клиническую интерпретацию более наглядной. Использование

коэффициентов K_1 и K_2 позволило оценивать не только величину интегрального отклика, но и направленность его изменений относительно исходного состояния.

4) Наиболее значимым представляется то, что сенсорный подход позволяет приблизиться к регистрации ранних изменений состояния полости рта, которые еще не имеют выраженного визуального проявления при стандартном стоматологическом осмотре. В этом смысле сенсорное профилирование может рассматриваться как дополнительный инструмент объективизации раннего неблагополучия и динамического наблюдения.

5) Предложенная рабочая шкала интерпретации нормированных значений может служить основой для дальнейшей клинической стратификации получаемых данных. Несмотря на необходимость последующей верификации на более широком клиническом материале, уже на данном этапе она демонстрирует удобство для практической оценки направленности и выраженности изменений. Таким образом, интегральный сенсорный отклик может рассматриваться как ранний индикатор функционального состояния полости рта, отражающий суммарный метаболический ответ системы до формирования клинически выраженных изменений и открывающий перспективы дальнейшего развития сенсорных технологий в стоматологии, включая возможности динамического мониторинга на фоне профилактических и лечебных мероприятий.

Поступила/Received: 30.04.2026
Принята в печать/Accepted: 13.06.2026

ЛИТЕРАТУРА:

1. **Цепов Л.М., Николаев А.И., Нестерова М.М., Цепова Е.Л.** Патогенетические особенности формирования хронической воспалительной патологии пародонта (обзор). — *Вестник Смоленской государственной медицинской академии*. — 2018; 3: 206—214. eLibrary ID: 35722174
2. **Ушаков Р.В., Герасимова Т.П.** Механизмы тканевой деструкции при пародонтите. — *Стоматология*. — 2017; 4: 63—66. eLibrary ID: 29910295
3. **Рыжова И.П., Погосян Н.М., Гонтарев С.Н., Чуев В.В., Гонтарева И.С., Чуева А.А.** Анализ современных подходов в лечении воспалительных заболеваний полости рта (обзор). — *Клиническая стоматология*. — 2023; 3: 14—19. eLibrary ID: 54509003
4. **Прокопенко М.В., Сущенко А.В.** Комплексный анализ применения фитопрепарата «Пародонтоцид» в комплексном лечении хронического генерализованного пародонтита легкой степени тяжести. — *Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание*. — 2021; 2: 60—65. eLibrary ID: 45700076
5. **Филимонова О.И., Шишкова Ю.С., Верещагин А.С.** Перспективы применения гидролатов в стоматологической практике (обзор литературы). — *Проблемы стоматологии*. — 2024; 4: 60—64. eLibrary ID: 80315635
6. **Кучменко Т.А., Доровская Е.С., Менжулина Д.А., Чубаров Т.В.** Оценка возможности применения "электронного носа" для мониторинга отклонений при функциональном ожирении детей в условиях стационара. Неинвазивная диагностика без отбора биопроб. — *Журнал аналитической химии*. — 2022; 12: 1120—1132. eLibrary ID: 49515160
7. **Кучменко Т.А., Менжулина Д.А., Мураховский И.А.** Обоснование возможности применения высокочувствительных пьезосенсоров в открытой системе для получения диагностической информации о летучих веществах кожи. — *Журнал аналитической химии*. — 2023; 8: 711—727. eLibrary ID: 53986013
8. **Pereira J.A.M., Porto-Figueira P., Taware R., Sukul P., Rapole S., Câmara J.S.** Unravelling the potential of salivary volatile metabolites in oral diseases. A review. — *Molecules*. — 2020; 25 (13): 3098. PMID: 32646009
9. **Szalai E., Tajti P., Szabó B., Kói T., Hegyi P., Czumbel L.M., Varga G., Kerémi B.** Organoleptic and halitometric assessments do not correlate well in intra-oral halitosis: a systematic review and meta-analysis. — *J Evid Based Dent Pract*. — 2023; 23 (3): 101862. PMID: 37689445
10. **Mohamed N., van de Goor R., El-Sheikh M., Elrayah O., Osman T., Nginamau E.S., Johannessen A.C., Suleiman A., Costea D.E., Kross K.W.** Feasibility of a portable electronic nose for detection of oral squamous cell carcinoma in Sudan. — *Healthcare (Basel)*. — 2021; 9 (5): 534. PMID: 34063592

REFERENCES:

1. **Tsepov L.M., Nikolaev A.I., Nesterova M.M., Tsepova E.L.** Pathogenetic features of chronic periodontal pathology development (review). *Bulletin of the Smolensk State Medical Academy*. 2018; 3: 206—214 (In Russian). eLibrary ID: 35722174
2. **Ushakov R.V., Gerasimova T.P.** Mechanisms of tissue destruction in periodontal disease. *Stomatology*. 2017; 4: 63—66 (In Russian). DOI: 10.17116/stomat201796463-66
3. **Ryzhova I.P., Pogosyan N.M., Gontarev S.N., Chuev V.V., Gontareva I.S., Chueva A.A.** Analysis of modern approaches in the treatment of inflammatory diseases of the oral cavity (review). *Clinical Dentistry (Russia)*. 2023; 3: 14—19 (In Russian). DOI: 10.37988/1811-153X_2023_3_14
4. **Prokopenko M.V., Sushchenko A.V.** Comprehensive analysis of the use of the phytopreparation "Parodontocid" in the conservative treatment of patients with chronic MILD generalized periodontitis. *Journal of New Medical Technologies, EEdition*. 2021; 2: 60—65 (In Russian). DOI: 10.24412/2075-4094-2021-2-1-9
5. **Filimonova O., Shishkova Y., Vereshchagin A.** Prospects for the use of hydrolates in dental practice (literature review). *Actual Problems in Dentistry*. 2024; 4: 60—64 (In Russian). DOI: 10.18481/2077-7566-2024-20-4-60-64
6. **Kuchmenko T.A., Dorovskaya E.S., Menzhulina D.A., Chubarov T.V.** Estimating the potential of the electronic nose system for monitoring disturbances in the functional obesity of children in a hospital: Noninvasive diagnosis without biosampling. *Journal of Analytical Chemistry*. 2022; 12: 1595—1606. DOI: 10.1134/s1061934822120073
7. **Kuchmenko T.A., Menzhulina D.A., Murakhovskii I.A.** Using highly sensitive piezo sensors in an open system for the diagnostic analysis of skin volatile substances. *Journal of Analytical Chemistry*. 2023; 78 (8): 1013—1028. DOI: 10.1134/s1061934823080105
8. **Pereira J.A.M., Porto-Figueira P., Taware R., Sukul P., Rapole S., Câmara J.S.** Unravelling the potential of salivary volatile metabolites in oral diseases. A review. *Molecules*. 2020; 25 (13): 3098. PMID: 32646009
9. **Szalai E., Tajti P., Szabó B., Kói T., Hegyi P., Czumbel L.M., Varga G., Kerémi B.** Organoleptic and halitometric assessments do not correlate well in intra-oral halitosis: a systematic review and meta-analysis. *J Evid Based Dent Pract*. 2023; 23 (3): 101862. PMID: 37689445
10. **Mohamed N., van de Goor R., El-Sheikh M., Elrayah O., Osman T., Nginamau E.S., Johannessen A.C., Suleiman A., Costea D.E., Kross K.W.** Feasibility of a portable electronic nose for detection of oral squamous cell carcinoma in Sudan. *Healthcare (Basel)*. 2021; 9 (5): 534. PMID: 34063592