

**Ю.А. Ипполитов<sup>1</sup>, Т.А. Кучменко<sup>2</sup>, Е.И. Пелешенко<sup>1</sup>, М.А. Солаиман<sup>1</sup>,  
И.Ю. Ипполитов<sup>1</sup>, Д.А. Менжулина<sup>1</sup>, А.А. Махмуди<sup>1</sup>, Т.А. Русанова<sup>1</sup>**  
**Продукты кислотного метаболизма микрофлоры зубного налета  
как фактор, определяющий интенсивность кариозного процесса**

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО ВГМУ им. Н.Н. Бурденко Минздрава России; <sup>2</sup>ФГБОУ ВО ВГУИТ

**Резюме.** Разработан новый неинвазивный метод экспресс-диагностики наличия и интенсивности кариозного процесса, использующий в качестве исходного материала соскобы зубного налета, а в качестве приборной базы портативный электронный нос «МАГ-8». Исследование выполнено на материале, полученном от добровольцев, не имевших визуальных признаков кариеса (n=15) и пациентов, обратившихся за помощью по поводу кариеса различной интенсивности (n=23).

В приборе использованы сменные газовые пьезосенсоры с сорбентами: карбоксилированные углеродные нанотрубки (сенсор 1, площадь под кривой выхода  $S_1$ ), азотнокислый цирконил (сенсор 2, площадь под кривой выхода  $S_2$ ), гидроксипатит (сенсор 3, площадь под кривой выхода  $S_3$ ). Предложен коэффициент интенсивности кариозного процесса  $K$ , рассчитанный как частное площадей выхода сенсоров.

Установлено, что величина  $K$  статистически значимо различается в группах пациентов, сформированных в соответствии со степенью интенсивности динамики кариозного процесса.

**Ключевые слова:** кариес; неинвазивная диагностика; зубной налет; портативный «электронный нос»; коэффициент интенсивности кариозного процесса.

**Актуальность.** Результаты исследования распространенности кариеса во всех возрастных группах каждой страны мира не внушают оптимизма, поскольку свидетельствуют о практически тотальном поражении населения этой патологией [4, 7, 8, 10]. Арсенал диагностических и лечебных средств патологии весьма обширен, постоянно пополняется новыми, более совершенными разработками. Каждый следующий шаг в развитии методов диагностики и прогноза динамики кариеса позволяет избежать инвазивных, травматичных или неприятных для пациента процедур, повысить скорость выполнения и диагностическую точность метода, выбрать наиболее оптимальную схему лечения [1, 9].

На сегодняшний день наиболее развитыми, имеющими четко прописанные клинические рекомендации по использованию являются методы, основанные на изменении оптических свойств твердых тканей зуба. Известно, что поглощение световой волны различной длины зависит от плотности живой ткани, и, следовательно, может являться количественным индикатором её состояния. Разработка методов оценки и прогнозирования выраженности кариозных процессов с использованием оптических методов имеет более чем полувековую историю, на современном этапе является наиболее точным и чувствительным методом диагностики [2, 6].

К числу популярных и часто используемых методов относится группа, основанная на оценке видоспецифичности и количества микроорганизмов, обнаруженных в соскобах зубного налета или ротовой полости в целом (бактериологические и бактериоскопические методы) [3, 9], а также на использовании

специальных биоэнергетических индикаторов, включающих водные растворы смеси аминокислот [5].

Цель исследования – разработка неинвазивного, при этом имеющего высокую точность и специфичность способа диагностики начальных стадий кариеса по параметрам метаболизма микрофлоры зубного налета.

**Материал и методы исследования.** В качестве приборной базы исследования использовали портативный электронный нос «МАГ-8» (Россия) [найден в интернет <https://e-nose.ru/product/analizator-zapaha-mnogokanalnyj-mag-8/>, дата обращения 03.09.2024] со сменными газовыми пьезосенсорами ОАВ-типа с разными сорбентами, в нашем случае фазы массой 2-4 мкг карбоксилированных углеродных нанотрубок (сенсор 1, площадь под кривой выхода  $S_1$ ), азотнокислый цирконил (сенсор 2, площадь под кривой выхода  $S_2$ ), гидроксипатит (сенсор 3, площадь под кривой выхода  $S_3$ ).

Последовательность установки сенсоров не имеет значения для выбранного устройства. После включения в сеть прибор необходимо прогреть, проконтролировать выход пьезосенсоров на рабочий режим согласно инструкции по эксплуатации прибора. Перед каждым измерением вводили номер пробы и необходимое для качественного выполнения измерения время, в нашем случае оно составляло одну минуту.

Далее у пациента на стерильный тупфер отбирали зубной налет с двух-трех зубов, помещали тупфер в ячейку детектирования с сенсорами не позднее 3-х минут от момента отбора пробы, активировали программное обеспечение прибора и производили измерение параметров.

В течение 60 секунд летучие соединения из пробы зубного налета в закрытой системе ячейки детектирования попадали к пьезосенсорам с нанесенными сорбентами, что приводило к изменению нагрузки на них и интенсивности сигнала.

В общей сложности выполнено исследование по приведенному выше протоколу у 23 пациентов, обратившихся за помощью по поводу лечения кариеса в стоматологическую поликлинику ФГБОУ ВО ВГМУ им. Н.Н. Бурденко Минздрава России, имевших различную интенсивность поражения кариозным процессом. Группу контроля составили 15 добровольцев не имевших визуальных признаков кариеса ни на одном из зубов и не предъявлявших жалоб на повышенную чувствительность к температурным или химическим раздражителям.

Полученные данные подвергали анализу с вычислением параметров описательной статистики и достоверности различий полученных данных по группам исследования.

**Полученные результаты и их обсуждение.** После выполнения процедуры измерения в программном обеспечении прибора фиксировали площади под кривыми выхода каждого сенсора соответственно  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ . Далее рассчитывали частное этих значений  $K = S_1 / S_2 / S_3$ , где  $K$  – коэффициент интенсивности кариозного процесса.

Измерения проводили наряду с подробным клиническим осмотром пациента и оценкой ранних стадий кариеса, не различимых визуально, с использованием электроодонтометрии.

Было установлено, что рассчитанный коэффициент интенсивности кариеса  $K$  у проб, отобранных с зубов не имевших повреждений ни по результатам клинических, ни по результатам электроодонтометрических исследований, лежал в диапазоне от 0,30-1,5 усл.ед. Таких исследованных в нашем наблюдении было 12 человек, они объединены в группу контроля.

Величина коэффициента интенсивности кариеса  $K$  в пробах, отобранных с зубов не имевших визуальных признаков кариозного поражения, но по данным электроодонтометрии состояние оценено как первая стадия кариеса, либо имели поверхностный кариес, лежала в диапазоне больше или равное 1,5 и меньше 2,5. Пациентов с таким уровнем индекса оказалось 17 человек, они отнесены к группе с высокой вероятностью развития и быстрого прогрессирования кариеса.

Налет с зубов, имевших клинически выраженные поражения, характеризующиеся как средний и глубокий кариес, при расчете  $K$  показывал результат равный и больше 2,5 условных единиц.

Пробы отобранные с погрешностями выполнения процедуры давали результат  $K$  меньше или равный 0,30 усл.ед, что требовало повторного выполнения исследования (табл. 1).

**Таблица 1 – Средние значения коэффициентов прогнозирования интенсивности кариозного процесса ( $K$ ) полученных при помощи прибора «МАГ-8» в пробах зубного налета**

Клинические характеристики объекта, от которого получен материал	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$K$ ( $S_1/S_2/S_3$ )	Заключение о вероятности развития кариеса
Визуальных и подтвержденных электроодонтометрией признаков кариеса нет (n=12)	1907,4±72,8	18,49±5,4	93,07±7,2	1,09±0,34#	норма, отсутствует вероятность развития кариеса
По данным электроодонтометрии стадия белого пятна или поверхностный кариес (n=17)	1749,9±65,4	11,65±0,9	76,13±6,8	1,97±0,25*#	велика вероятность развития и/или интенсификации кариозного процесса
Клинические признаки среднего и/или глубокого кариеса (n=9)	1930±704,42	9±0,58	76,25±7,48	2,81±0,17*#	высокая интенсивность кариозных процессов
Ошибка выполнения проб (n=5)	140±5,9	10±1,6	65±3,1	0,22±0,06*	ошибка отбора

Примечание: знаком \* обозначены статистически значимые различия от уровня нормы при  $p < 0,05$ ; знаком # обозначены статистически значимые различия от уровня ошибки выполнения пробы при  $p < 0,05$ .

Таким образом, по результатам настоящего исследования можно сформулировать критерии оценки интенсивности кариозного процесса на основании неинвазивного метода оценки процессов метаболизма зубного налета:

- если  $K$  меньше или равен 0,30 усл.ед., то проба отобрана с ошибкой и исследование следует выполнить повторно;

- если  $K$  больше 0,30 усл.ед. и меньше 1,5 усл.ед.– отсутствуют кариозные процессы;

- если  $K$  больше или равно 1,5 усл.ед. и меньше 2,5 усл.ед., то состояние характеризуется и отсутствием кариозного процесса или его низкой интенсивностью;

- если  $K$  больше или равно 2,5 усл.ед., то состояние характеризуется как наличие и высокая интенсивность кариозного процесса;

Предложенные нами пьезосенсоры с разными сорбентами с высокой степенью чувствительности и надежности, при погрешности не более 10%, селективно фиксируют различия в химическом составе летучих соединений зубного налета, позволяют дифференцировать процессы в пробе и контролировать ошибки отбора проб. Для выполнения способа не требуется персонал высокого уровня квалификации, ложноположительные и ложноотрицательные варианты заключения сведены к минимуму.

Доля ложноположительных прогнозов о развитии кариеса по данным нашего исследования составляет не более 5 %, ложноотрицательных – не установлено, что подтверждает высокую специфичность метода.

Предложенный способ оценки обеспечивает снижение дискомфорта пациента в момент обследования, раннюю диагностику кариеса, что позволяет своевременно выполнять профилактические и лечебные мероприятия.

**Выводы.** Метод экспресс-тестирования зубного налета для прогнозирования развития кариеса прост в реализации, позволяет снизить травматичность и дискомфорт пациента во время обследования, что особенно важно для детского возраста. Технология выполнения значительно снижает общее время анализа и нагрузку на врача или сотрудников лаборатории, без потери качества информации. Ранняя диагностики начальной стадии кариозного процесса и интенсивности его развития будет способствовать своевременному началу профилактических и лечебных процедур и снижению интенсивности разрушения зубов.

#### **Литература / References.**

1. Влияние перекисного окисления липидов и антиоксидантной активности слюны на развитие кариеса зубов / Е. А. Степанов, Л. В. Курашвили, О. А. Левашова, Р. Р. Зиников // Актуальные проблемы медицинской науки и образования (АПМНО-2022): Сборник статей по материалам VIII Международной научной конференции, Пенза, 22–23 сентября 2022 года. – Пенза: Пензенский государственный университет, 2022. – С. 84-88.

2. Волоконно-оптические системы для диагностики стоматологической патологии (обзор литературы). Часть I / Т. В. Гайворонская, А. В. Арутюнов, Ф. С. Аюпова [и др.] // Клиническая стоматология. – 2024. – Т. 27, № 1. – С. 136-143. – DOI 10.37988/1811-153X\_2024\_1\_136.

3. Микробиом языка как прогностическая модель для определения обсеменённости кариесогенными бактериями *Streptococcus mutans* твёрдых тканей зубов у детей раннего возраста / Старовойтова Е.Л., Стрельникова Н.В., Антонова А.А. // пат RU № 2661609 от 17.07.2018

4. Распространенность и интенсивность кариеса среди студентов старших курсов Института стоматологии и Института клинической медицины АГМУ / Н. В. Шинкарук, А. А. Винников, А. А. Рихтер, А. П. Гончаров // Scientist (Russia). – 2024. – № 3(29). – С. 12-15.

5. Способ оценки степени риска развития и ранней диагностики кариеса зубов / Савина Л.В., Мингалева Е.А., Бондаренко А.Н. и др. // пат. RU № 2313090 от 20.12.2007

6. Сухинина, А. В. Методы оптической спектроскопии для диагностики стоматологических заболеваний : специальность 01.04.21 "Лазерная физика" : диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук / Сухинина Алина Викторовна. – Москва, 2014. – 117 с.

7. Akera P, Kennedy SE, Lingam R, Richmond R, Schutte AE. Oral health status and factors associated with oral health of primary school children in Gulu district, northern Uganda. *BMC Oral Health*. 2024;24(1):1176. Published 2024 Oct 4. doi:10.1186/S12903-024-04949-5

8. Cope AL, Chestnutt IG. A systematic review of the association between food insecurity and behaviours related to caries development in adults and children in high-income countries. *Community Dent Oral Epidemiol*. 2024;52(5):625-647. doi:10.1111/cdoe.12959

9. Gupta A, Shivachandran A, Saleena LM. Oral microbiome insights: Tracing acidic culprits in dental caries with functional metagenomics. *Arch Oral Biol*. 2024;168:106064. doi:10.1016/j.archoralbio.2024.106064

10. Saidova, N. B. Распространенность кариеса зубов у детей, проживающих в сельских районах Республики Узбекистан / N. B. Saidova, A. A. Saidov, E. S. Atahanov // Российская стоматология. – 2016. – Vol. 9, No. 1. – P. 59.

**Abstract.**

***Yu.A. Ippolitov, T.A. Kuchmenko, E.I. Peleshenko, M.A. Solaiman,  
I.Yu. Ippolitov, D.A. Menzhulina, A.A. Mahmudi, T.A. Rusanova  
Products of acid metabolism of plaque microflora  
as a factor determining the intensity of the carious process***

A new non-invasive method of rapid diagnostics of the presence and intensity of the carious process has been developed, using a portable electronic nose "MAG-8" as the starting material of the plaque scraping, and as the instrument base. Studies were performed on material obtained from volunteers who did not have visual signs of caries (n = 15) and patients who sought help for caries of varying intensity (n = 23).

The device used replaceable gas piezosensors with sorbents: carboxylated carbon nanotubes (sensor 1, area under the output curve  $S_1$ ), zirconyl nitrate (sensor 2, area under the output curve  $S_2$ ), hydroxyapatite (sensor 3, area under the output curve  $S_3$ ). Disclosed is a coefficient of intensity of the carious process K, calculated as a quotient of output areas of sensors.

It was found that the K value significantly differs in groups of patients formed in accordance with the degree of intensity of the dynamics of the carious process.

**Keywords:** tooth decay; non-invasive diagnosis; plaque; portable "electronic nose"; intensity coefficient of carious process.

**Сведения об авторах:** Ипполитов Юрий Алексеевич – д.м.н., профессор, заведующий кафедрой детской стоматологии с ортодонтией ФГБОУ ВО ВГМУ им. Н.Н. Бурденко Минздрава России, dsvigma@mail.ru; Кучменко Татьяна Анатольевна – д.х.н., профессор, заведующая кафедрой физической и аналитической химии ФГБОУ ВО ВГУИТ, tak1907@mail.ru; Пелешенко Елена Ивановна – к.т.н, нач. отд. защиты объектов интеллектуальной собственности ФГБОУ ВО ВГМУ им. Н.Н. Бурденко Минздрава России, elena.vзма@mail.ru; Солаиман Махер Анисс – аспирант ФГБОУ ВО ВГМУ им. Н.Н. Бурденко Минздрава России, mahersolaiman75@gmail.com; Ипполитов Иван Юрьевич – к.м.н, кафедра ортопедической стоматологии ФГБОУ ВО ВГМУ им. Н.Н. Бурденко Минздрава России, irpolitoff87@bk.ru; Менжулина Дарья Александровна – врач педиатр Воронежская детская клиническая больница ВГМУ им. Н.Н. Бурденко, dariakuchmenko@yandex.ru; Махмуди Аббас Алиреза – аспирант ФГБОУ ВО ВГМУ им. Н.Н. Бурденко Минздрава России, dr.makhmudi@mail.ru; Русанова Татьяна Анатольевна – к.м.н., доцент кафедры детской стоматологии с ортодонтией ФГБОУ ВО ВГМУ им. Н.Н. Бурденко Минздрава России, dsvigma@yandex.ru.