



## ВОЗМОЖНОСТИ ОПТИЧЕСКОЙ КОГЕРЕНТНОЙ ТОМОГРАФИИ В ДИАГНОСТИКЕ ЭКССУДАТИВНОГО СРЕДНЕГО ОТИТА

Новожилов А. А.<sup>1,2</sup>, Шилягин П. А.<sup>2</sup>, Абубакиров Т. Э.<sup>1,2</sup>, Хасянова Ю. А.<sup>1</sup>,  
Шахов А. В.<sup>1,2,3</sup>, Геликонов В. М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФБУЗ «Приволжский окружной медицинский центр» ФМБА России,  
603001, Нижний Новгород, Россия  
(Директор – С. В. Романов)

<sup>2</sup> ФГБНУ «Институт прикладной физики» РАН, 603950, Нижний Новгород, Россия  
(Директор – акад. РАН А. М. Сергеев)

<sup>3</sup> ФГОУ ВПО «Нижегородская государственная медицинская академия» Минздрава России,  
603950, Нижний Новгород, Россия  
(Зав. каф. оториноларингологии – проф. А. В. Шахов)

## THE OPPORTUNITIES OF OPTICAL COHERENCE TOMOGRAPHY IN THE DIAGNOSIS OF SECRETORY OTITIS MEDIA

Novozhilov A. A.<sup>1,2</sup>, Shilyagin P. A.<sup>2</sup>, Abubakirov T. E.<sup>1,2</sup>, Khasyanova Yu. A.<sup>1</sup>,  
Shakhov A. V.<sup>1,2,3</sup>, Gelikonov V. M.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Federal State-Financed Health Institution Volga District Medical Center of the Federal Medico-Biological Agency of the Russian Federation, Nizhny Novgorod, Russia

<sup>2</sup> Federal State Budgetary Scientific Institution The Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences, Nizhny Novgorod, Russia

<sup>3</sup> Federal State Educational Institution of Higher Vocational Education Nizhny Novgorod State Medical Academy of the Ministry of Healthcare of Russia, Nizhny Novgorod, Russia

Описана методика прижизненного неинвазивного исследования, оптической когерентной томографии (ОКТ), структур среднего уха в норме и у пациентов с экссудативным средним отитом. Показана возможность ОКТ в идентификации патологического экссудата в барабанной полости. Предложено проведение ОКТ в различных режимах измерения в целях повышения качества и информативности изображения. Установлена возможность оценки физических свойств экссудата среднего уха (вязкость) на основании сравнения оптических свойств экссудата и эталонной жидкости.

**Ключевые слова:** экссудативный средний отит, оптическая когерентная томография, неинвазивная диагностика, вязкость экссудата.

**Библиография:** 9 источников.

The article describes the method of in-life noninvasive examination of the middle ear structures in the normal condition and in the patients with secretory otitis media – optical coherence tomography (OCT). The authors present the opportunities of OCT in the identification of pathological exudate in the tympanic cavity and suggest the use of OCT in various measurement modes to improve the quality and informativity of the image. The article establishes the possibility of assessment of physical properties of the middle ear exudate (viscosity) based on the comparison of optical properties of the exudate and the reference fluid.

**Key words:** secretory otitis media, optical coherence tomography, noninvasive diagnostics, exudate viscosity.

**Bibliography:** 9 sources.

Особенности клинической картины экссудативного среднего отита (ЭСО), такие как отсутствие характерных отоскопических признаков и болевых ощущений, обуславливают трудность его диагностики, особенно у детей [1–3].

Визуальные методы диагностики экссудативного среднего отита являются субъективны-

ми, зависят от особенностей зрительного восприятия исследователя, качества оборудования. Объективными методами диагностики ЭСО, получившими широкое применение, являются тональная пороговая аудиометрия и импедансометрия [1–4]. Указанные методы обладают высокой точностью и специфичностью, однако требуют

привлечения квалифицированных специалистов, использования дорогостоящего оборудования [1, 2, 4].

Регистрация ограничения подвижности барабанной перепонки при тимпанометрии указывает на возможное наличие жидкости в среднем ухе, но не позволяет судить о степени ее вязкости. Жидкий экссудат может самостоятельно эвакуироваться из барабанной полости при восстановлении дренажной функции слуховой трубы. Вязкий, загустевший экссудат можно удалить только при шунтировании барабанной полости. При выборе тактики лечения ЭСО современные специалисты-оториноларингологи не имеют методов неинвазивного исследования степени вязкости экссудата в барабанной полости и вынуждены ориентироваться на личный опыт специалиста и давность заболевания.

Особенности клинической картины и сложности при выборе тактики лечения ЭСО диктуют необходимость поиска новых методов диагностики, позволяющих быстро и достоверно определять состояние барабанной полости, выявлять патологический экссудат без привлечения дополнительных сил и средств, определять физические свойства экссудата для объективизации показаний к оперативному лечению.

Оптическая когерентная томография (ОКТ) является одним из современных и относительно новых методов исследования биологических тканей, позволяющих получить изображение структуры тканей в поперечном сечении *in vivo*. Методика ОКТ позволяет получать изображение структуры биологических тканей с пространственным разрешением 5–20 микрон и на глубину до 2 мм. Технология ОКТ изначально развивалась как инструмент неинвазивного исследования внутренней структуры сетчатки глаза человека, для которого получила статус золотого стандарта. В настоящее время наблюдается тенденция к расширению спектра использования технологии ОКТ, а именно изучение покровных тканей и тканей внутренних органов.

В течение последних лет отмечается увеличение заинтересованности научной общественности в исследованиях морфологических особенностей строения и заболеваний органа слуха с помощью ОКТ. В связи с особенностями построения изображений в ОКТ (наличие артефактов изображения при исследовании структур, содержащих воздушные полости) на сегодняшний день проведено небольшое количество исследований возможностей ОКТ в отологии. Визуализация экссудата в барабанной полости (БП) с использованием технологии ОКТ была описана в ряде исследований [5–8]. В некоторых работах описывается потенциальная возможность определения динамических свойств экссудата при исследова-

нии ОКТ с использованием корреляционного [7] или доплерометрического [9] анализа.

**Цель исследования.** Определение возможностей ОКТ в диагностике ЭСО и оценке динамических характеристик экссудата барабанной полости.

**Пациенты и методы исследования.** Данное исследование было одобрено локальным Комитетом по этике исследований ФГБОУ ВО «НиЖГМА» Минздрава России, протокол № 7 от 03.07.17.

Обследовано 13 пациентов (8 женщин и 5 мужчин), в возрасте от 23 до 58 лет, с диагнозом экссудативный средний отит, 5 пациентов имели двусторонний патологический процесс, всего 18 ушей. Контрольную группу составили 10 пациентов (6 женщин и 4 мужчины), в возрасте от 26 до 54 лет, всего 20 ушей, без патологии среднего уха, с нормальными тимпанометрическими показателями. Исследование проводилось на базе ЛОР-отделения Приволжского окружного медицинского центра (Нижний Новгород, Российская Федерация). Верификация диагноза проводилась в соответствии со стандартами оказания медицинской помощи и международными клиническими рекомендациями. У всех пациентов были проведены анализ жалоб, данных анамнеза, исследование общесоматического статуса. Всем пациентам проведено оториноларингологическое обследование: рутинный осмотр ЛОР-органов, отомикроскопия, камертональные тесты (тест Вебера), тональная пороговая аудиометрия, тимпанометрия.

После обследования и установления диагноза всем пациентам выполняли оптическую когерентную томографию. В работе использовали одобренный для клинического применения, компактный оптический когерентный томограф (ОКТ-1300E), созданный в Институте прикладной физики Российской академии наук (Нижний Новгород). Все исследования проводили с использованием контактного мини-зонда с торцевым окном сканера. Время регистрации изображений составляет около 1 с (200 А-сканов).

Все исследования выполняли в амбулаторном режиме, в условиях перевязочного кабинета, под контролем диагностического микроскопа, без анестезии, в положении лежа. Подведение мини-зонда к структурам среднего уха осуществляли через ушное зеркало, установленное в наружный слуховой проход (НСП) (рис. 1).

Исследование проводили при полном или частичном (в случаях с узким слуховым проходом или расположением барабанной перепонки под углом к оси зрения) контакте с барабанной перепонкой. ОКТ-изображение структур среднего уха в режиме реального времени воспроизводилось на экране компьютера.



Рис. 1. Регистрация изображений оптической когерентной томографии.

После регистрации ОКТ «сухого» уха в НСП вводился физиологический раствор 1–2 мл и исследование проводилось с иммерсией. Регистрация ОКТ с иммерсией позволяет снизить контраст между исследуемыми объектами и приводит к увеличению общего уровня сигнала от более глубоких слоев.

Для регистрации степени вязкости экссудата использовали стабилизированный режим регистрации ОКТ-сигнала, при котором движение зондирующего луча в плоскости, перпендикулярной к его оси, прекращалось. В качестве значения, позволяющего оценивать вязкость экссудата, было выбрано значение длины горизонтальных линий, с физической точки зрения соответствующее времени корреляции регистрируемого сигнала. Изображения содержимого барабанной полости оценивались визуально и с помощью спектрального анализа.

**Результаты исследования.** У всех пациентов контрольной группы при проведении ОКТ на экране регистрировался оптический сигнал высокой интенсивности в виде тонкой линии на протяжении всего изображения, имеющий слоистую структуру, – барабанная перепонка. Пространство, расположенное на изображении ОКТ ближе к торцу зонда (выше барабанной перепонки), являлось просветом наружного слухового прохода, ниже – просветом барабанной полости. Сигнал, зарегистрированный от полостей ниже и выше барабанной перепонки, имел одинаковую интенсивность, дополнительных включений не регистрировалось (рис. 2).

У всех пациентов в исследуемой группе, так же как и у пациентов контрольной группы, был зарегистрирован сигнал от барабанной перепонки. При визуальной оценке были выявлены отчетливые различия интенсивности сигнала между средой в НСП и средой, находящейся в БП. В просвете БП регистрировались множественные округлые включения с оптическим сигналом высокой интенсивности, которая постепенно снижалась в глубже расположенных слоях (рис. 3, а). В 2

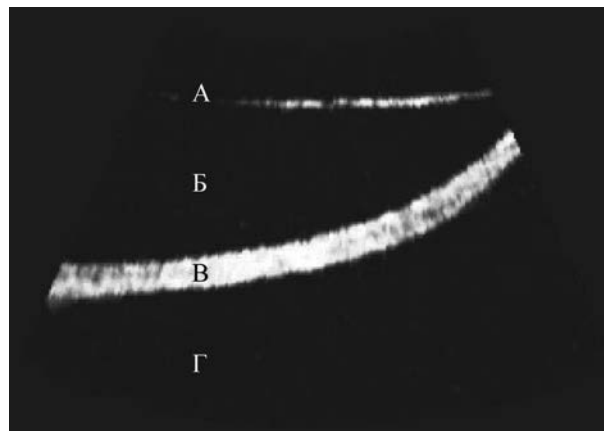


Рис. 2. ОКТ-изображение структур среднего уха у пациента контрольной группы:

А – торец зонда-сканера; Б – просвет НСП; В – барабанная перепонка; Г – барабанная полость.

случаях была зарегистрирована граница между экссудатом и пузырьком воздуха в просвете барабанной полости (рис. 3, б), что позволило напрямую продемонстрировать различие в оптических свойствах экссудата среднего уха и воздуха. Необходимо отметить, что экссудат всегда образует вогнутый мениск с барабанной перепонкой.

Исследование структур среднего уха с иммерсией позволило снизить контраст между барабанной перепонкой и просветом наружного слухового прохода, усилить сигнал от глубже расположенных слоев БП и увеличить число регистрируемых включений в экссудате. При регистрации ОКТ с иммерсией в зоне НСП также регистрировались округлые включения (вероятно, фрагменты эпителия кожи НСП и серы), сравнимые по размеру и интенсивности сигнала с включениями в просвете БП (рис. 4).

Регистрация ОКТ-изображений в стабилизированном режиме при неподвижном зондирующем луче показала возможность выделения информации о степени подвижности рассеивающих частиц в средах, заполняющих БП и НСП, и сравнение их подвижности.

В просвете барабанной полости отчетливо видны квазистабильные структуры с протяженностью, сравнимой с шириной всего изображения (200 А-сканов), что свидетельствует о малой скорости дрейфа взвешенных в экссудате частиц, определяемой скоростью броуновского движения и вязкостью микроокружения. Напротив, в иммерсирующей жидкости, в просвете НСП, отчетливо видно короткое по времени присутствие в области зондирующего пучка рассеивающих частиц, что может свидетельствовать о высокой скорости их дрейфа (рис. 5).

Рассеивающие включения, находящиеся в жидкой среде и имеющие высокую степень подвижности, в стабилизированном режиме отобра-

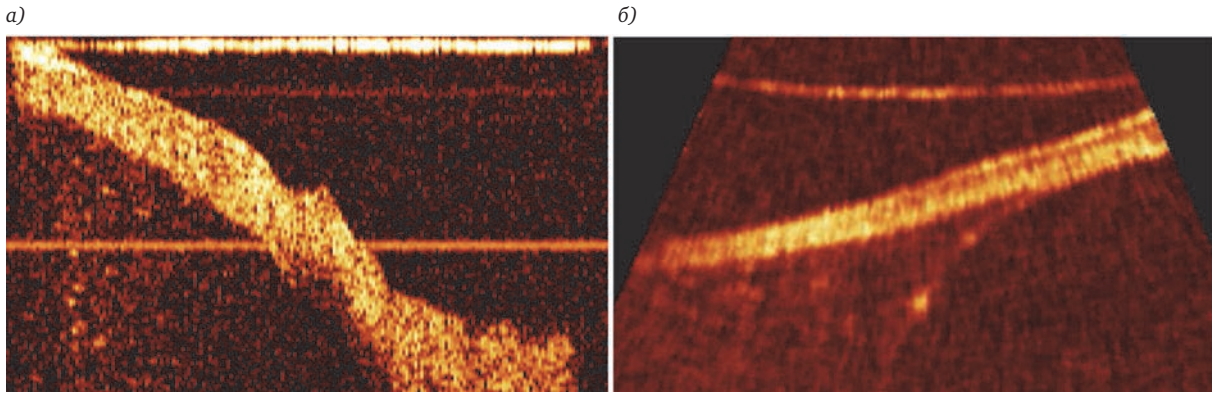


Рис. 3. а – округлые включения с высоким оптическим сигналом; б – граница раздела воздух/экссудат в просвете БП.

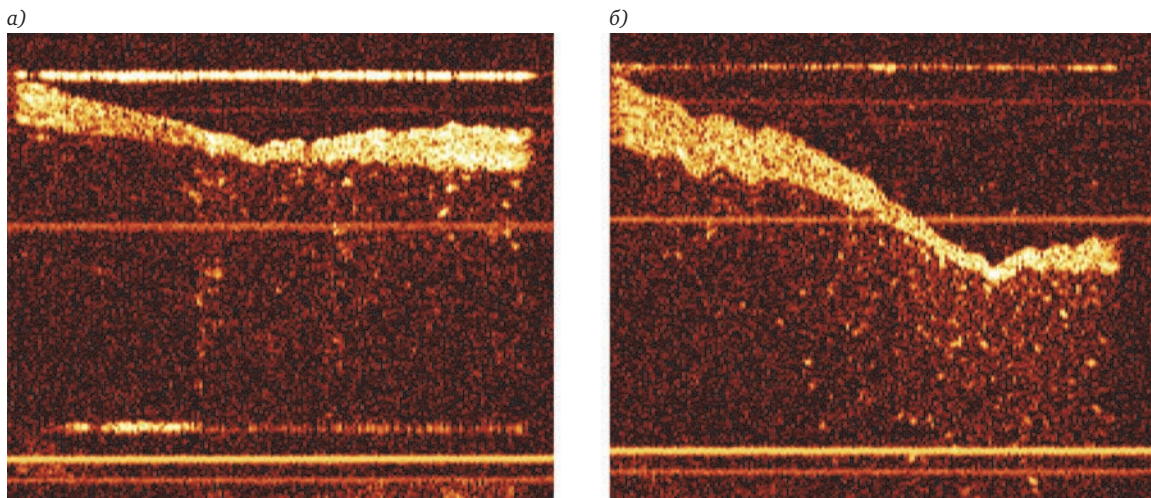


Рис. 4. а – ОКТ-изображение без иммерсии; б – ОКТ-изображение с иммерсией. При сравнении изображений ОКТ среднего уха с иммерсией и без нее: оптический сигнал от барабанной перепонки на рисунке б уменьшен, количество оптических включений значительно больше.

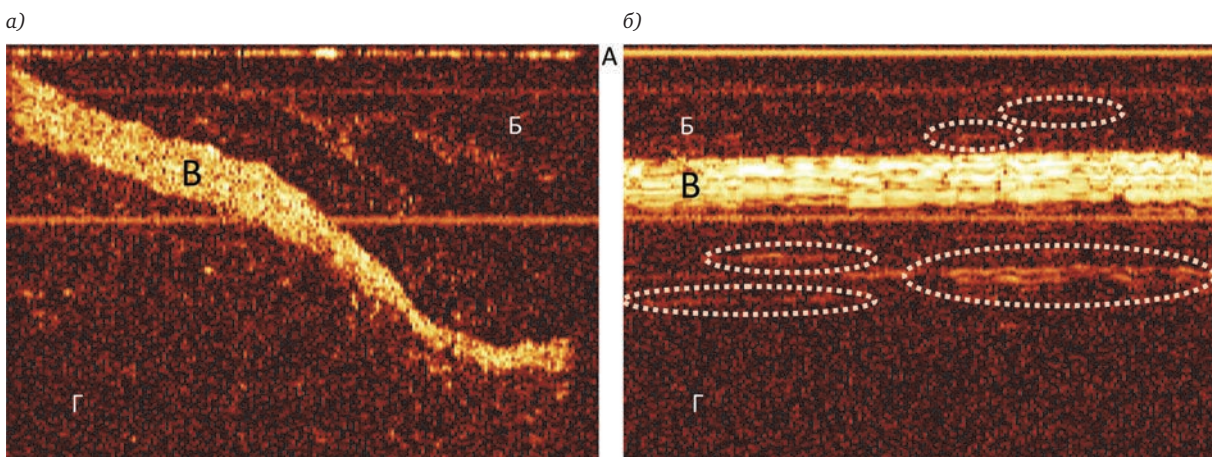


Рис. 5. а – стандартное ОКТ-изображение с иммерсией; б – изображение в стабилизированном режиме: А – торец зонда-сканера; Б – просвет НСП; В – барабанная перепонка; Г – БП.

жаются в виде коротких горизонтальных линий. Напротив, включения, находящиеся в вязком экссудате и имеющие низкую степень подвижности, на экране регистрировались как длинные горизонтальные, частично изогнутые линии.

Несмотря на достаточно высокую концентрацию включений в пространстве БП при исследовании в стандартном режиме, в стабилизированном режиме для анализа оказываются доступны только единичные включения, что несколько за-

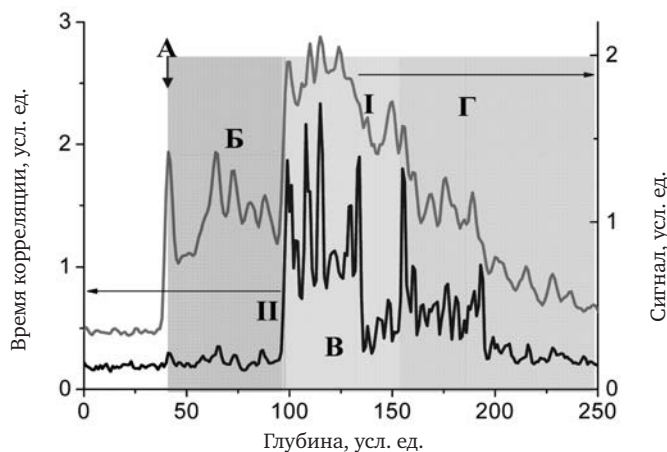


Рис. 6. Анализ подвижности включений:

I – профиль рассеивающей структуры, II – время корреляции для сигнала с соответствующей глубины; масштаб логарифмический; А – торец зонда-сканера; Б – просвет НСП; В – барабанная перепонка; Г – экссудат.

трудняет оценку степени их подвижности. Тем не менее, с использованием спектрального анализа было получено распределение времени корреляции изображения от глубины (рис. 6).

На рис. 6 представлены интегральные характеристики рассеивающей структуры, построенные для изображения, полученного при выключенном сканировании. Линия I соответствует интенсивности зарегистрированного излучения, рассеянного с определенной глубины;

линия II – времени корреляции (длине видимых изображений рассеивателей в горизонтальном направлении). Обе зависимости представлены в логарифмическом масштабе, что позволяет эффективно воспроизводить данные в широком диапазоне значений, как это принято в ОКТ. На рис. 6 хорошо видно различие в «динамических» характеристиках, определяемых для физиологического раствора в НСП и для экссудата.

### Выводы

Определение экссудата в барабанной полости возможно благодаря различным оптическим свойствам газообразной и жидкой сред. Использование ОКТ позволяет неинвазивно в амбулаторных условиях без применения дорогостоящего оборудования и привлечения узких специалистов объективно подтверждать наличие экссудата в барабанной полости.

Исследование ОКТ с иммерсией позволило усилить сигнал от глубже расположенных слоев экссудата, а также дало возможность моделировать среду в НСП со схожими с экссудатом БП оптическими свойствами.

Регистрация ОКТ-изображений в стабилизированном режиме при неподвижном зондирующем луче показала возможность выделения информации о динамике рассеивающих частиц в среде, заполняющей барабанную полость. Регистрация в стабилизированном режиме взвеси рассеивающих частиц в иммерсирующей жидкости в НСП и в экссудате БП дает возможность сравнения их физических свойств (вязкости), основываясь на их оптических свойствах. Следовательно, оценка степени вязкости экссудата возможна по данным ОКТ.

Полученные данные требуют детального анализа в целях определения степени вязкости экссудата, при которой необходимо хирургическое вмешательство, а консервативное лечение неэффективно.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Коваленко С. Л. Исследование слуха у детей дошкольного возраста на современном этапе // Рос. оториноларингология. 2009. № 4. С. 69–74.
2. Крюков А. И., Ивойлов А. Ю., Пакина В. Р., Яновский В. В. Патогенетический подход к лечению экссудативного среднего отита в детском возрасте // РМЖ. 2013. № 11. С. 545.
3. Кунельская Н. Л., Ивойлов А. Ю., Пакина В. Р., Яновский В. В. Экссудативный средний отит в детском возрасте // Вестн. оториноларингологии. 2015. № 1(80). С. 75–79.
4. Магомедов М. М., Никитин А. Ю., Левина Ю. В., Красюк А. А., Утешева В. А. Экссудативный средний отит. Современные представления и актуальность проблемы // Вестн. оториноларингологии. 2012. № 5. С. 93–97.

5. Meller A., Shakhova M., Rilkin Y., Novozhilov A., Kirillin M., Shakhov A. Optical coherence tomography in diagnosing inflammatory diseases of ENT // *Photonics & Lasers in Medicine*. 2014. T. 3, N 4. P. 323.
6. Novozhilov A. A., Shakhov A. V. Optical coherence tomography in the diagnosis of otitis media with effusion // *Folia otorhinolaringologica*. 2016. Vol. 22. I. 2. P. 46–47.
7. Monroy G. L., Pande P., Shelton R. L., Nolan R. M., Spillman D. R., Porter R. G., Novak M. A., Boppart S. A. Non-invasive optical assessment of viscosity of middle ear effusions in otitis media // *Jurn. Biophotonics*. 2016.
8. Park K., Cho N. H., Jang J. H., Lee S. H., Kim P., Jeon M., Boppart S. A., Kim J., Jung W. In vivo 3D imaging of the human tympanic membrane using a wide-field diagonal-scanning optical coherence tomography probe // *Applied Optics*. 2017. Vol. 56. I.9. P. D115–D119.
9. Kirsten L., Baumgärtner S., Erkkilä Mikael T., Golde J., Kemper M., Stoppe T., Bornitz M., Neudert M., Zahnert T., Koch E. Doppler optical coherence tomography as a promising tool for detecting fluid in the human middle ear // *Current Directions in Biomedical Engineering*. 2016. T. 2, N 1. P. 443.

REFERENCES

1. Kovalenko S. L. Issledovanie slukha u detei doshkol'nogo vozrasta na sovremennom etape [Examination of hearing in pre-school children at the present-day stage]. *Rossiiskaya otorinolaringologiya*. 2009;4:69-74 (in Russian).
2. Kryukov A. I., Ivoilov A. Yu., Pakina V. R., Yanovskii V. V. Patogeneticheskii podkhod k lecheniyu ekssudativnogo srednego otita v detskom vozraste [Secretary otitis media in children]. *RMZh*. 2013;11:545 (in Russian).
3. Kunel'skaya N. L., Ivoilov A. Yu., Pakina V. R., Yanovskii V. V. Ekssudativnyi srednii otit v detskom vozraste [Secretary otitis media in children]. *Vestnik otorinolaringologii*. 2015;1(80):75-79 (in Russian).
4. Magomedov M. M., Nikitin A. Yu., Levina Yu. V., Krasyuk A. A., Utesheva V. A. Ekssudativnyi srednii otit. Sovremennye predstavleniya i aktual'nost' problemy [Secretary otitis media in children. The present-day view and the relevance of the problem]. *Vestnik otorinolaringologii*. 2012;5:93-97 (in Russian).
5. Meller A., Shakhova M., Rilkin Y., Novozhilov A., Kirillin M., Shakhov A. Optical coherence tomography in diagnosing inflammatory diseases of ENT. *Photonics & Lasers in Medicine*. 2014;3:4:323.
6. Novozhilov A. A., Shakhov A. V. Optical coherence tomography in the diagnosis of otitis media with effusion [text]. *Folia otorhinolaringologica*. 2016;22;2:46-47.
7. Monroy G. L., Pande P., Shelton R. L., Nolan R. M., Spillman D. R., Porter R. G., Novak M. A., Boppart S. A. Non-invasive optical assessment of viscosity of middle ear effusions in otitis media [text]. *Jurn. Biophotonics*. 2016.
8. Park K., Cho N. H., Jang J. H., Lee S. H., Kim P., Jeon M., Boppart S. A., Kim J., Jung W. In vivo 3D imaging of the human tympanic membrane using a wide-field diagonal-scanning optical coherence tomography probe [text]. *Applied Optics*. 2017;56;9:D115-D119.
9. Kirsten L., Baumgärtner S., Erkkilä Mikael T., Golde J., Kemper M., Stoppe T., Bornitz M., Neudert M., Zahnert T., Koch E. Doppler optical coherence tomography as a promising tool for detecting fluid in the human middle ear. *Current Directions in Biomedical Engineering*. 2016;2;1:443.

**Новожилов** Алексей Александрович – заведующий ЛОР-отделением Приволжского окружного медицинского центра. Россия, 603001, Нижний Новгород, Нижне-Волжская наб., д. 2; тел. 8-950-368-18-20, e-mail: lor@pomc.ru

**Шилягин** Павел Александрович – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Института прикладной физики РАН. Россия, 603950, Нижний Новгород, ул. Ульянова, д.46; тел. 8-905-190-86-73. e-mail: paulo-s@mail.ru

**Абубакиров** Тимур Эдуардович – врач-оториноларинголог Приволжского окружного медицинского центра. Россия, 603001, Нижний Новгород, Нижне-Волжская наб., д. 2; тел.8-910-794-60-11, e-mail: timur.abubakirov@gmail.com

**Хасянова** Юлия Александровна – врач-оториноларинголог Приволжского окружного медицинского центра. Россия, 603001, Нижний Новгород, Нижне-Волжская наб., д. 2; тел. 8-920-040-65-85, e-mail: e1xwiw@yandex.ru

**Шахов** Андрей Владимирович – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой болезней уха, горла и носа Нижегородской ГМА. Россия, 603950, Нижний Новгород, пл. Минина и Пожарского, д. 10/1; тел. 8-951-905-02-86, e-mail: shakhovav54@yandex.ru

**Геликонов** Валентин Михайлович – доктор физико-математических наук, заведующий отделом Института прикладной физики РАН. Россия, 603950, Нижний Новгород, ул. Ульянова, д. 46; тел. 8-905-190-86-73, e-mail: paulo-s@mail.ru

Aleksei Aleksandrovich Novozhilov – Head of ENT-Department of Volga District Medical Center. Russia, 603001, Nizhny Novgorod, 2, Nizhne-Volzhskaia Neberezhnaia, tel.: 8-950-368-18-20, e-mail: lor@pomc.ru

Pavel Aleksandrovich Shilyagin – Candidate of Physico-Mathematical Sciences, senior research associate of The Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences. Russia, 603950, Nizhny Novgorod, 46, Ulianova Str., tel.: 8-905-190-86-73. e-mail: paulo-s@mail.ru

Timur Eduardovich Abubakirov – otorhinolaryngologist of Volga District Medical Center. Russia, 603001, Nizhny Novgorod, 2, Nizhne-Volzhskaia Neberezhnaia, tel.: 8-910-794-60-11, e-mail: timur.abubakirov@gmail.com

Yuliya Aleksandrovna Khasyanova – otorhinolaryngologist of Volga District Medical Center. Russia, 603001, Nizhny Novgorod, 2, Nizhne-Volzhskaia Neberezhnaia, tel.: 8-920-040-65-85, e-mail: e1xwiw@yandex.ru

Andrei Vladimirovich Shahov – MD, Professor, Head of the Chair of ENT-Diseases of Nizhny Novgorod State Medical Academy. Russia, 603950, Nizhny Novgorod, 10/1, Minina I Pozharskogo Square, tel.: 8-951-905-02-86, e-mail: shakhovav54@yandex.ru

Valentin Mikhailovich Gelikonov – Doctor of Physico-Mathematical Sciences, Head of the Department of The Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences. Russia, 603950, Nizhny Novgorod, 46, Ulianova Str., tel.: 8-905-190-86-73, e-mail: paulo-s@mail.ru