

ПРИБОРЫ, БИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

УДК 616 – 079.2

DOI: 10.33979/2073-7408-2022-352-2-160-167

Е.О. БРЯНСКАЯ

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГНОЙНОГО СОДЕРЖИМОГО НА РЕЗУЛЬТАТ ДИАГНОСТИКИ В ЦИФРОВОЙ ДИАФАНОСКОПИИ

Аннотация. Работа посвящена анализу оптических характеристик гнойного содержимого методом спектрофотометрии с целью обоснования специализированных медико-технических требований к устройству цифровой диафаноскопии при исследовании воспалительных заболеваний верхнечелюстных пазух. Проведены измерения спектров поглощения и рассеяния гнойного содержимого, на основе чего был сделан вывод о целесообразности применения зондирующего излучения с длиной волны 980 нм. Проведено численное моделирование методом Монте Карло с целью выявления зависимости величины ослабления оптического излучения при зондировании верхнечелюстной пазухи с гнойным содержимым от длины волны зондирования и значения оптической мощности излучения. Полученные результаты позволяют сформировать специализированные медико-технические требования, предъявляемые к устройству цифровой диафаноскопии для диагностики пациентов разного пола и с разными анатомическими особенностями.

Ключевые слова: оптическая диагностика, цифровая диафаноскопия, спектрофотометрия, верхнечелюстные пазухи, воспалительные заболевания, гнойное содержимое, оптические свойства, моделирование Монте-Карло, медико-технические требования.

Введение

В настоящее время медико-социальная значимость воспалительных заболеваний верхнечелюстных пазух обусловлена сложностями ранней диагностики, существенным снижением качества жизни пациентов и возможности потери их трудоспособности. Существует тенденция в разработке новых методов оптической диагностики, позволяющих быстро и безопасно провести диагностику подобных заболеваний. Такая тенденция обусловлена в первую очередь неинвазивностью и экономичностью оптических технологий, что в свою очередь превосходит традиционные методы диагностики, являющиеся «золотым стандартом», а именно рентгенографию, компьютерную томографию и магнитно-резонансную томографию.

Метод цифровой диафаноскопии, базирующийся на зондировании пазух носа оптическим излучением в красном и ближнем инфракрасном диапазонах и регистрации картин рассеяния света с помощью КМОП-камеры, является перспективным с точки зрения скрининговой диагностики воспалительных заболеваний верхнечелюстных пазух [1,2]. При этом, устройство можно считать безопасным с точки зрения опасности повреждения глаз инфракрасным излучением, так как пределы облучения представляют собой такие условия, при которых люди могут быть многократно облучены без вреда своему здоровью. В устройстве цифровой диафаноскопии существует возможность в варьировании параметров зондирующей и измерительной частей устройства (значения оптической мощности, времени экспозиции камеры и др.). Правильный подбор данных параметров позволит осуществлять регистрацию схожих закономерностей картины рассеяния света у разных пациентов, исключая эффекты чрезмерного или недостаточного освещения. Однако, стоит принимать во внимание значения оптических характеристик биологических слоев, составляющих исследуемую область, а также различия в строении верхнечелюстных пазух и тканей, прилегающих к ним, у пациентов разного пола.

Согласно литературе, средние значения верхнечелюстной пазухи у взрослого человека составляют 35 мм в ширину и 25 мм в высоту [3]. Однако эти значения изменяются в зависимости от возраста, происхождения, пола и личных условий [4,5]. Кроме того, изменяются также значения толщин слизистой оболочки небной кости, слизистой оболочки

самой верхнечелюстной пазухи [6–8], размеры скуловой кости [9,10], небной кости [6,10,11] и значения толщин дермы и гиподермы [12].

Ранее проведенные исследования [13] позволили провести численное моделирование методом Монте Карло прохождения оптического излучения через пазуху носа без патологии, с кистозной жидкостью и опухолевым растяжением для длин волн зондирования 650 и 850 нм. При этом значения коэффициентов рассеяния и поглощения устанавливались исходя из литературных данных. В разработанной ранее модели верхнечелюстной пазухи были введены допущения, а именно, в качестве оптических характеристик кистозной жидкости верхнечелюстных пазух использовались характеристики кистозной жидкости тканей молочной железы [14,15], при этом моделирование для случая гнойного содержимого не проводилось.

В связи с этим, целью данного исследования явилось измерение оптических характеристик патологического изменения верхнечелюстных пазух в виде гнойного содержимого методом спектрофотометрии и проведение уточненного численного моделирования прохождения зондирующего излучения через пазуху с данной патологией для последующего обоснования специализированных медико-технических требований к устройствам цифровой диафаноскопии.

Результаты исследования оптических характеристик гнойного содержимого методом спектрофотометрии

Для определения оптических характеристик гнойного содержимого верхнечелюстных пазух проведены измерения с применением спектрофотометрического комплекса Shimadzu UV 2600 (Япония) с модулем интегральной сферы. Данный спектрофотометрический комплекс позволяет определять оптические характеристики в спектральном диапазоне 220-1400 нм, а именно – измерять коэффициенты диффузного отражения – R_d (%) и коэффициенты пропускания – T (%). При этом использовались 2 кюветы, одна из которых содержала исследуемый образец, а вторая оставалась без вещества (с воздухом).

На основе полученных коэффициентов R_d и T рассчитаны коэффициенты поглощения μ_a и рассеяния μ_s , вычисленные методом добавления-удвоения, предложенным Скоттом Праллем [16] (рисунок 1). При расчете также задавались следующие параметры: фактор анизотропии, толщина образца, показатель преломления образца и показатель преломления нижнего и верхнего предметного стекла.

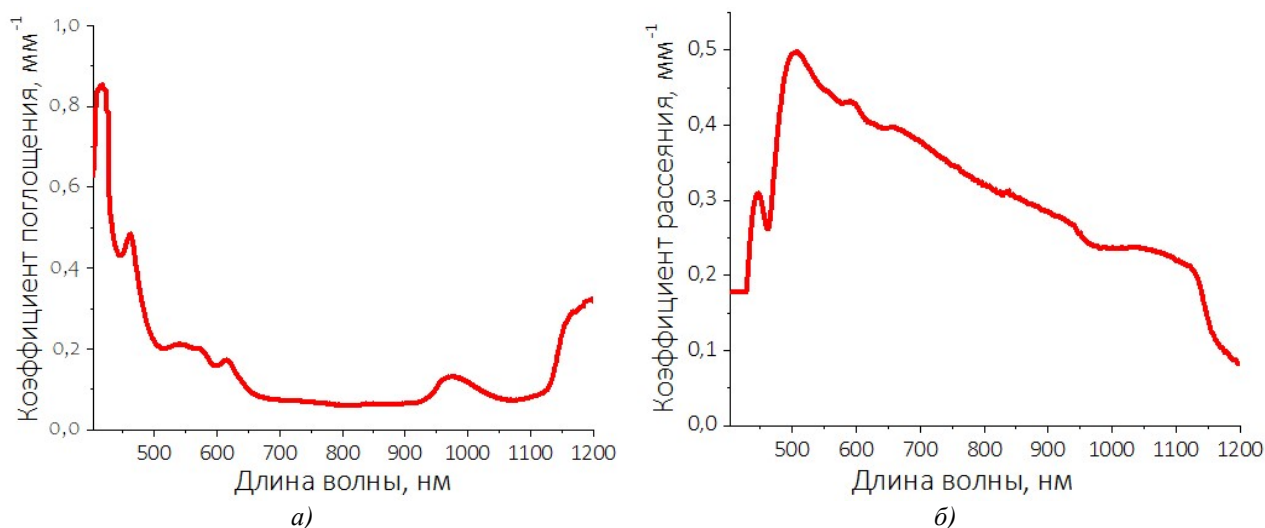


Рисунок 1 – Спектры поглощения (а) и рассеяния (б) для гнойного содержимого верхнечелюстных пазух в диапазоне длин волн 400-1200 нм

Анализ полученных данных показал, что максимальное поглощение гнойного содержимого наблюдается на длинах волн 600 и 980 нм. Однако, для задачи выявления данной патологии в верхнечелюстной пазухе наиболее перспективным видится применение длины

волны 980 нм, что связано с наличием в гнойном содержимом большого количества жидкости [17], которая обладает сильными поглощающими свойствами на данной длине волны, тогда как на длине волны 600 нм больше визуализируется кровенаполнение [18]. Таким образом, выбранное значение длины волны зондирующего излучения 980 нм будет являться одним из параметров специализированных медико-технических требований, предъявляемых к устройству цифровой диафаноскопии.

Анализ спектральных характеристик выявил коэффициенты поглощения μ_a и рассеяния μ_s на длине волны 980 нм, которые составили $0,13 \text{ мм}^{-1}$ и $0,238 \text{ мм}^{-1}$ соответственно, что позволяет провести уточнённое численное моделирование распространения оптического излучения через пазуху с гнойным содержимым.

Результаты стохастического Монте Карло моделирования для гнойного содержимого на длине волны 980 нм

Разработанная 3Д модель верхнечелюстной пазухи представлена 8 основными слоями и дополнительным слоем в виде гнойного содержимого (рисунок 2). Предложенная модель позволила учесть анатомические особенности пациентов и особенности строения, связанные с их полом исследуемой области. Так, на этапе создания модели задавались толщины и размеры слоев, отличающиеся в зависимости от пола пациента, их коэффициенты поглощения μ_a и рассеяния μ_s для длины волны 980 нм (таблица 1).

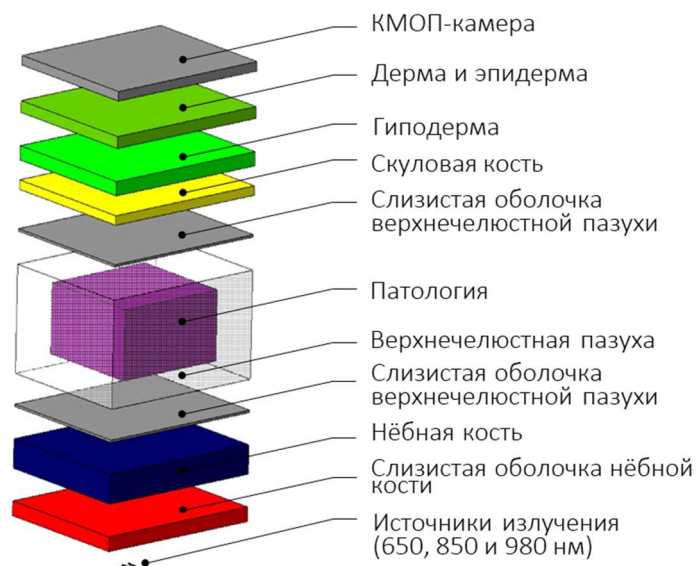


Рисунок 2 – Схема разработанной модели верхнечелюстной пазухи

Таблица 1 – Параметры модели верхнечелюстной пазухи

Биологический слой	Толщина слоя, мм		Оптические характеристики для длины волны 980 нм	
	Мужчины	Женщины	Коэффициент поглощения μ_a , мм^{-1}	Коэффициент рассеяния μ_s , мм^{-1}
Слизистая твердого неба [7,19,20]	3,1	3,1	0,075	0,066
Твердое небо [6,11,21,22]	6,7	6,2	0,015	1,5
Слизистая верхнечелюстной пазухи [20,23]	0,5	0,5	0,075	0,066
Верхнечелюстная пазуха [5]	26	23	0	0
Скуловая кость [9,10,21,22]	3	3	0,015	1,5
Гиподерма [12,23]	1,5-3	1,5-3	0,84	2,74
Эпидерма+дерма [5,12]	2	2	0,8	3,86

Стохастическое моделирование методом Монте Карло проводилось в бета-версии программной среды TracePro (Lambda Software), при этом максимально разрешимое количество моделируемых фотонов составляло 10^6 .

С целью оценки влияния значений оптической мощности светодиодного аппликатора, осуществляющего зондирование верхнечелюстных пазух, было проведено дополнительное моделирование. При этом значения мощности задавались в соответствии с возможными значениями ранее разработанного регулятора яркости светодиодов цифрового диафаноскопа [24]– для женщин 25 мВт и 65 мВт, для мужчин 85 мВт. Результаты численного моделирования распространения зондирующего излучения (путь фотонов через биологическую ткань и карта освещенности) для разных значений регулятора яркости светодиодов и разных состояний верхнечелюстной пазухи (отсутствие и наличие гнойного содержимого) представлены на рисунке 3. Представленные результаты отражают моделирование при толщине гиподермы, равной 1,5 мм как у мужчин, так и у женщин.

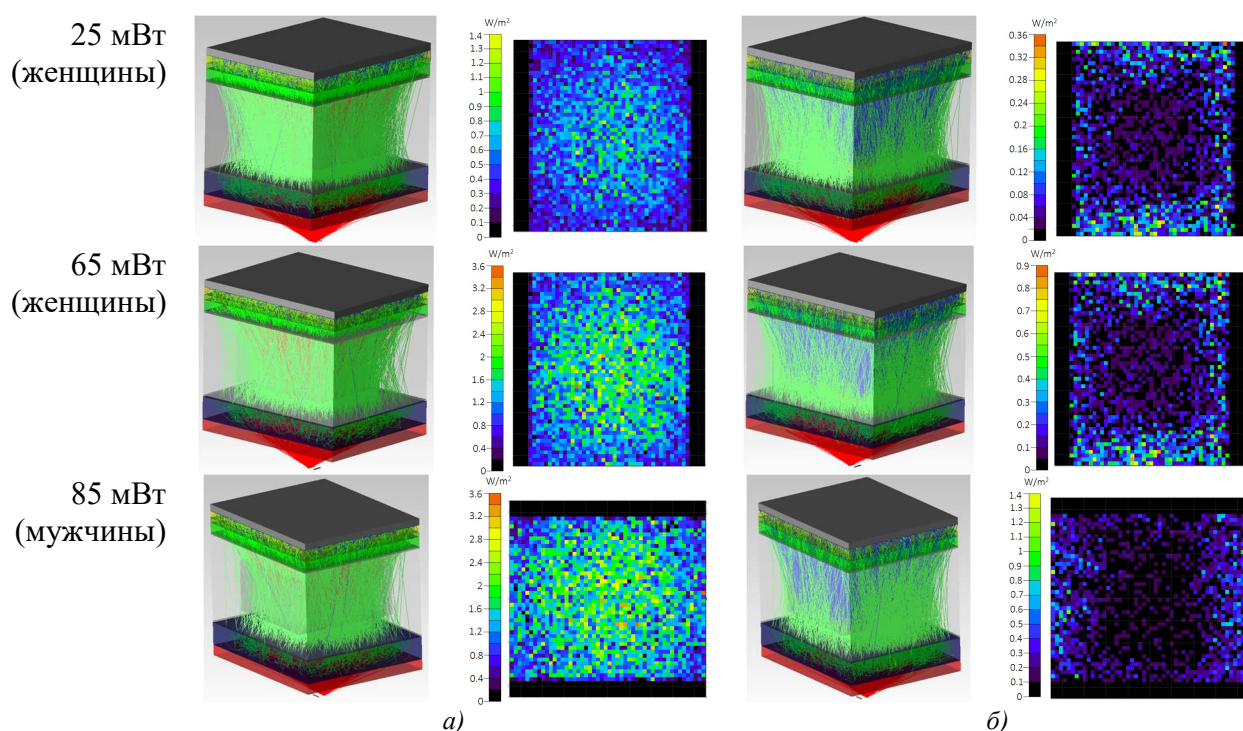


Рисунок 3 – Результаты численного моделирования величины ослабления зондирующего излучения у женщин с различным состоянием верхнечелюстной пазухи:
а – отсутствие патологии, б – гнойное содержимое)

Анализ результатов проведенного численного моделирования выявил спад интенсивности (мощности на детекторе камеры после поглощения слоями исследуемой области). Так, например, в случае зондирования пазухи женщины с оптической мощностью 25 мВт значение на детекторе камеры составляет 0,0008 мВт для случая без патологии и 0,00008 мВт при наличии гнойного содержимого в пазухе. При зондировании пазухи женщины с оптической мощностью 65 мВт значение на детекторе камеры составляет 0,0021 мВт для случая без патологии и 0,0002 мВт при наличии гнойного содержимого в пазухе. При зондировании пазухи мужчины с оптической мощностью 85 мВт значение на детекторе камеры составляет 0,0024 мВт для случая без патологии и 0,0003 мВт при наличии гнойного содержимого в пазухе.

По полученным данным были построены графические зависимости (рисунок 4) величины мощности на детекторе камеры от наличия патологического изменения в виде гнойного содержимого и значения оптической мощности для источников излучения с длиной волны зондирования 980 нм.



Рисунок 4 – Зависимость мощности оптического излучения на детекторе камеры с учетом наличия гнойного содержимого, пола исследуемого и значения оптической мощности зондирования

Приведённые на рисунке 4 зависимости иллюстрируют разницу в снижении мощности интенсивности излучения у мужчин и женщин. Выявленную закономерность подтвердили результаты экспериментальных исследований на цифровом диафаноскопе [24]. Данный фактор вызван в первую очередь сильными поглощающими свойствами гиподермы, толщина которой отличается у пациентов разного пола [12,23].

Таким образом, проведенное моделирование позволило учесть особенности уменьшения мощности излучения при зондировании, вызванное сильными поглощающими свойствами гнойного содержимого на длине волны 980 нм, которая по результатам измерения на спектрофотометре оказалась наиболее оптимальной. Это объясняется жидкостным составом гнойного содержимого [17], который в свою очередь характеризуются сильным поглощением в инфракрасном спектре [25].

При этом, выбранные значения оптической мощности зондирования позволяют регистрировать близкие значения мощности на детекторе камеры для мужчин и для женщин, что было подтверждено экспериментальными исследованиями, при которых были получены схожие картины рассеяния света [24]. Следовательно, данные значения оптической мощности являются обоснованными и могут также выступать в виде специализированных медико-технических требований, предъявляемых к устройству цифровой диафаноскопии.

Заключение

Результаты измерения оптических характеристик гнойного содержимого на спектрофотометрическом комплексе позволило обосновать применение источников излучения с длиной волны зондирования 980 нм. По результатам проведенного численного моделирования применение источников излучения с выбранной длиной волны для выявления верхнечелюстных пазух с гнойным содержимым является обоснованным, а значит может применяться в устройстве цифровой диафаноскопии для диагностики гнойного синусита.

Кроме того, установлено, что значения оптической мощности для диагностики пациентов женского пола, равные 25 мВт и 65 мВт, и для диагностики пациентов мужского пола, равное 85 мВт, также являются обоснованными по результатам проведенного численного моделирования с точки зрения регистрации схожих картин рассеяния света у мужчин и у женщин с разными анатомическими особенностями.

Как показали представленные результаты, предлагаемый подход, позволяющий оценить ограничения, связанные с поглощающими свойствами гнойного содержимого в инфракрасном диапазоне, а также влиянием разницы в анатомическом строении пазух носа у мужчин и у женщин на степень поглощения зондирующего сигнала, является перспективным для обоснования специализированных медико-технических требований, повышая при этом показатели чувствительности и специфичности. При этом, к сформулированным медико-техническим требованиям стоит отнести обоснованную длину волны и выбранные значения оптической мощности для зондирующего канала цифрового диафаноскопа.

Таким образом, полученные результаты позволяют усовершенствовать устройство цифровой диафаноскопии как в приборном, так и в методологическом плане для диагностики воспалительных заболеваний верхнечелюстных пазух и, в свою очередь, позволят выявлять заболевания с меньшей вероятностью ложноотрицательного результата диагностики.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-32-90147.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Программы скрининга: краткое руководство. Повышение эффективности, максимальное увеличение пользы и минимизация вреда [Текст] // Европейское региональное бюро ВОЗ. – 2020. – 72 С.
2. Bryanskaya, E.O. Diagnosis of inflammatory diseases of the paranasal sinuses using digital diaphanoscopy [Text] / E.O. Bryanskaya, I.N. Makovik, A.G. Bukin, O.A. Bibikova, B.M. Shuraev, O. Minet, U. Zabarylo, A.V. Dunaev, V.G. Artyushenko // Proc. SPIE. – 2019. – Vol. 11073. – P. 110731
3. Raja, S.V. Management of the posterior maxilla with sinus lift: review of techniques [Text] // Journal of Oral and Maxillofacial Surgery. – 2009. – Vol. 67. – №. 8. – P. 1730-1734.
4. Barghouth, G. Paranasal sinuses in children: size evaluation of maxillary, sphenoid, and frontal sinuses by magnetic resonance imaging and proposal of volume index percentile curves [Text] / G. Barghouth, J. Prior, D. Lepori, B. Duvoisin, P. Schnyder, F. Gudinchet // European radiology. – 2002. – Vol. 12. – №. 6. – P. 1451-1458.
5. Teke, H.Y. Determination of gender by measuring the size of the maxillary sinuses in computerized tomography scans [Text] / H.Y. Teke, S. Duran, N. Canturk, G. Canturk // Surgical and radiologic anatomy. – 2007. – Vol. 29. – №. 1. – P. 9-13.
6. Kang, S. Bone thickness of the palate for orthodontic mini-implant anchorage in adults [Text] / S. Kang, S.J. Lee, S.J. Ahn, M.S. Heo, T.W. Kim // American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. – 2007. – Vol. 131. – №. 4. – P. S74-S81.
7. Wara-aswapati, N. Thickness of palatal masticatory mucosa associated with age [Text] / N. Wara-aswapati, W. Pitiphat, N. Chandrapho, C. Rattanayatikul, N. Karimbux // Journal of periodontology. – 2001. – Vol. 72. – №. 10. – P. 1407-1412.
8. Jacques, S.L. Origins of tissue optical properties in the UVA, visible, and NIR regions [Text] // OSA TOPS on advances in optical imaging and photon migration. – 1996. – Vol. 2. – P. 364-369.
9. Uchida, Y. Measurement of the maxilla and zygoma as an aid in installing zygomatic implants [Text] / Y. Uchida, M. Goto, T. Katsuki, T. Akiyoshi // Journal of Oral and Maxillofacial Surgery. – 2001. – Vol. 59. – №. 10. – P. 1193-1198.
10. Xu, X. An anatomical study of Maxillary-Zygomatic complex using three-dimensional computerized tomography-based Zygomatic implantation [Text] / X. Xu, S. Zhao, H. Liu, Z. Sun, J. Wang, W. Zhang // BioMed research international. – 2017. – C. 8027307.
11. Gracco, A. Quantitative evaluation with CBCT of palatal bone thickness in growing patients [Text] / A. Gracco, L. Lombardo, M. Cozzani, G. Siciliani // Prog Orthod. – 2006. – Vol. 7. – №. 2. – P. 164-174.
12. De Greef, S. Large-scale in-vivo Caucasian facial soft tissue thickness database for craniofacial reconstruction [Text] / S. De Greef, P. Claes, D. Vandermeulen, W. Mollemans, P. Suetens, G. Willems // Forensic science international. – 2006. – Vol. 159. – P. S126-S146.
13. Bryanskaya, E.O. Monte Carlo simulation of signals in digital diaphanoscopy of the maxillary sinuses [Text] / E.O. Bryanskaya, R.Yu. Gneushev, I.N. Makovik, V.V. Dremin, A.G. Bukin, O.A. Bibikova, B.M. Shuraev, O. Minet, U. Zabarylo, A.V. Dunaev, V.G. Artyushenko // Proceedings of SPIE. – 2020. – Vol. 11457. – P. 114571K.
14. Гнеушев, Р.Ю. Моделирование прохождения зондирующего излучения через верхнечелюстную пазуху методом Монте-Карло при цифровой диафаноскопии [Текст] / Р.Ю. Гнеушев, Е.О. Брянская, В.В. Дрёмин, А.Г. Букин, И.Н. Маковик // Биотехнические, медицинские и экологические системы, измерительные устройства и робототехнические комплексы-Биомедсистемы-2019. – 2019. – С. 137-139.
15. Bryanskaya, E.O. Optical Diagnostics of the Maxillary Sinuses by Digital Diaphanoscopy Technology [Text] / E.O. Bryanskaya, I.N. Novikova, V.V. Dremin, R.Yu. Gneushev, O.A. Bibikova, A.V. Dunaev, V.G. Artyushenko // Diagnostics. – 2021. – Vol. 11. – №. 1. – P. 77.
16. Prahl, S.A. The Adding-Doubling Method [Text] // Optical-Thermal Response of Laser-Irradiated Tissue. – 1995. – P. 101-125.

17. Блоцкий А.А. Мукоцеле лобной пазухи [Текст] // Folia Otorhinolaryngologiae et Pathologiae Respiratoriae. – 2009. Vol. 15. – № 2. – P. 34-38.
18. Тучин, В.В. Оптическая биомедицинская диагностика. В 2 т. [Текст] – Т.1. – 2007. – 561 с.
19. Peters, V.G. Optical properties of normal and diseased human breast tissues in the visible and near infrared [Text] / V.G. Peters, D.R. Wyman, M.S. Patterson, G.L. Frank // Physics in Medicine & Biology. – 1990. – Vol. 35. – № 9. – P. 1317-1334.
20. Bashkatov, A.N. Optical properties of mucous membrane in the spectral range 350–2000 nm [Text] / A.N. Bashkatov, E.A. Genina, V.I. Kochubey, V.V. Tuchin, E.E. Chikina, A.B. Knyazev, O.V. Mareev // Optics and spectroscopy. – 2004. – Vol. 97. – № 6. – P. 978-983.
21. Bashkatov, A.N. Optical properties of human cranial bone in the spectral range from 800 to 2000 nm [Text] / A.N. Bashkatov, E.A. Genina, V.I. Kochubey, V.V. Tuchin // Saratov Fall Meeting 2005: Optical Technologies in Biophysics and Medicine VII. – 2006. – Vol. 6163. – P. 306-316.
22. Genina, E.A., Optical Clearing of Cranial Bone [Text] / E.A. Genina, A.N. Bashkatov, V.V. Tuchin // Advances in Optical Technologies. – 2008. – P. 1-8.
23. Bashkatov, A. N. Optical properties of skin, subcutaneous, and muscle tissues: a review [Text] / A.N. Bashkatov, E.A. Genina, V.V. Tuchin // Journal of Innovative Optical Health Sciences. – 2011. – Vol. 4. – №. 1. – P. 9-38.
24. Bryanskaya, E.O. Brightness controller optimization for the digital diaphanoscopy system [Text] / E.O. Bryanskaya, R.Yu. Gneushev, I.N. Novikova, V.V. Dremin, A.V. Dunaev // European Conference on Biomedical Optics. – Optical Society of America. – 2021. – P. ETu2A.3.
25. Jacques S.L. Optical properties of biological tissues : a review [Text] // Physics in Medicine & Biology. – 2013. – Vol. 58. – № 11. – P. 37-61.

Брянская Екатерина Олеговна

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, г. Орел,
аспирант кафедры «Приборостроение, метрология и сертификация», стажер-исследователь научно-технологического центра бимедицинской фотоники
Россия, г. Орел, ул. Комсомольская, 95
E-mail: bryanskaya@mail.ru

E.O. BRYANSKAYA

**ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE PURULENT CONTENTS
OPTICAL PROPERTIES ON THE DIAGNOSTIC RESULT IN DIGITAL
DIAPHANOSCOPY**

Abstract. *The work is devoted to the analysis of the purulent contents optical characteristics by spectrophotometry in order to substantiate specialized medical and technical characteristics for digital diaphanoscopy device in the study of inflammatory diseases of the maxillary sinuses. The absorption and scattering spectra of purulent contents were measured, on the basis of which it was concluded that it was advisable to use the wavelength of 980 nm. Numerical simulation was carried out by the Monte Carlo method in order to identify the dependence of the attenuation of optical radiation during probing of the maxillary sinus with purulent contents on the wavelength of probing and the value of the optical power of radiation. The obtained results allow us to form specialized medical and technical requirements for the device of digital diaphanoscopy for the diagnosis of patients of different genders and with different anatomical features.*

Keywords: *optical diagnostics, digital diaphanoscopy, spectrophotometry, maxillary sinuses, inflammatory disease, purulent contents, optical properties, Monte Carlo simulation.*

BIBLIOGRAPHY

1. Programmy skrininga: kratkoe rukovodstvo. Povyshenie effektivnosti, maksimal'noe uvelichenie pol'zy i minimizaciya vreda [Tekst] // Evropejskoe regional'noe byuro VOZ. – 2020. – 72 P.
2. Bryanskaya, E.O. Diagnosis of inflammatory diseases of the paranasal sinuses using digital diaphanoscopy [Text] / E.O. Bryanskaya, I.N. Makovik, A.G. Bukin, O.A. Bibikova, B.M. Shuraev, O. Minet, U. Zabarylo, A.V. Dunaev, V.G. Artyushenko // Proc. SPIE. – 2019. – Vol. 11073. – P. 110731
3. Raja, S.V. Management of the posterior maxilla with sinus lift: review of techniques [Text] // Journal of Oral and Maxillofacial Surgery. – 2009. – Vol. 67. – №. 8. – P. 1730-1734.
4. Barghouth, G. Paranasal sinuses in children: size evaluation of maxillary, sphenoid, and frontal sinuses by magnetic resonance imaging and proposal of volume index percentile curves [Text] / G. Barghouth, J. Prior, D. Lepori, B. Duvoisin, P. Schnyder, F. Gudinchet // European radiology. – 2002. – Vol. 12. – №. 6. – P. 1451-1458.

5. Teke, H.Y. Determination of gender by measuring the size of the maxillary sinuses in computerized tomography scans [Text] / H.Y. Teke, S. Duran, N. Canturk, G. Canturk // *Surgical and radiologic anatomy*. – 2007. – Vol. 29. – №. 1. – P. 9-13.
6. Kang, S. Bone thickness of the palate for orthodontic mini-implant anchorage in adults [Text] / S. Kang, S.J. Lee, S.J. Ahn, M.S. Heo, T.W. Kim // *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. – 2007. – Vol. 131. – №. 4. – P. S74-S81.
7. Wara-aswapati, N. Thickness of palatal masticatory mucosa associated with age [Text] / N. Wara-aswapati, W. Pitiphat, N. Chandrapho, C. Rattanayatikul, N. Karimbux // *Journal of periodontology*. – 2001. – Vol. 72. – №. 10. – P. 1407-1412.
8. Jacques, S.L. Origins of tissue optical properties in the UVA, visible, and NIR regions [Text] // *OSA TOPS on advances in optical imaging and photon migration*. – 1996. – Vol. 2. – P. 364-369.
9. Uchida, Y. Measurement of the maxilla and zygoma as an aid in installing zygomatic implants [Text] / Y. Uchida, M. Goto, T. Katsuki, T. Akiyoshi // *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. – 2001. – Vol. 59. – №. 10. – P. 1193-1198.
10. Xu, X. An anatomical study of Maxillary-Zygomatic complex using three-dimensional computerized tomography-based Zygomatic implantation [Text] / X. Xu, S. Zhao, H. Liu, Z. Sun, J. Wang, W. Zhang // *BioMed research international*. – 2017. – C. 8027307.
11. Gracco, A. Quantitative evaluation with CBCT of palatal bone thickness in growing patients [Text] / A. Gracco, L. Lombardo, M. Cozzani, G. Siciliani // *Prog Orthod*. – 2006. – Vol. 7. – №. 2. – P. 164-174.
12. De Greef, S. Large-scale in-vivo Caucasian facial soft tissue thickness database for craniofacial reconstruction [Text] / S. De Greef, P. Claes, D. Vandermeulen, W. Mollemans, P. Suetens, G. Willems // *Forensic science international*. – 2006. – Vol. 159. – P. S126-S146.
13. Bryanskaya, E.O. Monte Carlo simulation of signals in digital diaphanoscopy of the maxillary sinuses [Text] / E.O. Bryanskaya, R.Yu. Gneushev, I.N. Makovik, V.V. Dremin, A.G. Bukin, O.A. Bibikova, B.M. Shuraev, O. Minet, U. Zabarylo, A.V. Dunaev, V.G. Artyushenko // *Proceedings of SPIE*. – 2020. – Vol. 11457. – P. 114571K.
14. Gneushev, R.Yu. Modelirovanie prohozhdeniya zondiruyushchego izlucheniya cherez verhnechelyustnyuyu pazuhu metodom Monte-Karlo pri cifrovoj diafanoskopii [Tekst] / R.Yu. Gneushev, E.O. Bryanskaya, V.V. Dremin, A.G. Bukin, I.N. Makovik // *Biotehnicheskie, medicinskie i ekologicheskie sistemy, izmeritel'nye ustrojstva i robototekhnicheskie kompleksoy-Biomedistemy-2019*. – 2019. – P. 137-139.
15. Bryanskaya, E.O. Optical Diagnostics of the Maxillary Sinuses by Digital Diaphanoscopy Technology [Text] / E.O. Bryanskaya, I.N. Novikova, V.V. Dremin, R.Yu. Gneushev, O.A. Bibikova, A.V. Dunaev, V.G. Artyushenko // *Diagnostics*. – 2021. – Vol. 11. – №. 1. – P. 77.
16. Prahl, S.A. The Adding-Doubling Method // *Optical-Thermal Response of Laser-Irradiated Tissue*. – 1995. – P. 101-125.
17. Blockij A.A. Mukocele lobnoj pazuhi [Tekst] // *Folia Otorhinolaryngologiae et Pathologiae Respiratoriae*. – 2009. Vol. 15. – № 2. – P. 34-38.
18. Tuchin, V.V. Opticheskaya biomedicinskaya diagnostika [Tekst]. V 2 t. – T.1. – 2007. – 561 p.
19. Peters, V.G. Optical properties of normal and diseased human breast tissues in the visible and near infrared [Text] / V.G. Peters, D.R. Wyman, M.S. Patterson, G.L. Frank // *Physics in Medicine & Biology*. – 1990. – Vol. 35. – № 9. – P. 1317-1334.
20. Bashkatov, A.N. Optical properties of mucous membrane in the spectral range 350–2000 nm [Text] / A.N. Bashkatov, E.A. Genina, V.I. Kochubey, V.V. Tuchin, E.E. Chikina, A.B. Knyazev, O.V. Mareev // *Optics and spectroscopy*. – 2004. – Vol. 97. – № 6. – P. 978-983.
21. Bashkatov, A.N. Optical properties of human cranial bone in the spectral range from 800 to 2000 nm [Text] / A.N. Bashkatov, E.A. Genina, V.I. Kochubey, V.V. Tuchin // *Saratov Fall Meeting 2005: Optical Technologies in Biophysics and Medicine VII*. – 2006. – Vol. 6163. – P. 306-316.
22. Genina, E.A., Optical Clearing of Cranial Bone [Text] / E.A. Genina, A.N. Bashkatov, V.V. Tuchin // *Advances in Optical Technologies*. – 2008. – P. 1-8.
23. Bashkatov, A. N. Optical properties of skin, subcutaneous, and muscle tissues: a review [Text] / A.N. Bashkatov, E.A. Genina, V.V. Tuchin // *Journal of Innovative Optical Health Sciences*. – 2011. – Vol. 4. – №. 1. – P. 9-38.
24. Bryanskaya, E.O. Brightness controller optimization for the digital diaphanoscopy system [Text] / E.O. Bryanskaya, R.Yu. Gneushev, I.N. Novikova, V.V. Dremin, A.V. Dunaev // *European Conference on Biomedical Optics – Optical Society of America*. – 2021. – P. ETu2A.3.
25. Jacques S.L. Optical properties of biological tissues : a review [Text] // *Physics in Medicine & Biology*. – 2013. – Vol. 58. – № 11. – P. 37-61.

Ekaterina Olegovna Bryanskaya

Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel,

Postgraduate Student of the Department «Instrument Engineering, Metrology and Certification», research assistant of Research & Development Center of Biomedical Photonics

Russia, Orel, st. Komsomolskaya, 95

E-mail: bryanskayae@mail.ru