

Е.О. БРЯНСКАЯ

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ СОСТОЯНИЙ ВЕРХНЕЧЕЛЮСТНЫХ ПАЗУХ ПРИ ЦИФРОВОЙ ДИАФАНОСКОПИИ

Аннотация. Работа посвящена анализу возможности применения сверточных нейронных сетей с целью выявления патологий верхнечелюстных пазух при цифровой диафаноскопии. Произведен набор экспериментальных данных с помощью устройства цифровой диафаноскопии с участием условно здоровых добровольцев и пациентов с различными патологическими изменениями верхнечелюстных пазух. Представлены результаты обучения сверточных нейронных сетей для обработки зарегистрированных изображений (182 изображения). Полученные показатели чувствительности и специфичности для задачи выявления наличия патологического изменения в верхнечелюстных пазухах были сопоставимы с ранее полученными результатами и составили 90,9 % и 91,7% для длины волны 650 нм, 81,8% и 91,7% для длины волны 850 нм. Полученные результаты превышают показатели точности, характерные для других методов скрининг диагностики заболеваний верхнечелюстных пазух (например, метод риноскопии), что позволяет говорить о перспективности применения данного подхода для распознавания патологических изменений верхнечелюстных пазух.

Ключевые слова: оптическая диагностика, цифровая диафаноскопия, верхнечелюстные пазухи, воспалительные заболевания, оптические свойства.

Введение

Метод цифровой диафаноскопии используется в различных областях медицины [1,2], в частности, в оториноларингологии, для определения патологических изменений верхнечелюстных пазух (ВЧП) [3–5]. Метод основан на оптическом зондировании ВЧП и регистрации картин рассеяния света. При этом отсутствует лучевая нагрузка на пациента, как при диагностике патологий ВЧП методом компьютерной томографии (КТ) [6].

Данный метод находится в сегменте бюджетных методов диагностики, наряду с методом риноскопии. Метод риноскопии характеризуется болезненностью и субъективностью постановки диагноза. Напротив, метод цифровой диафаноскопии является простым в использовании, интерпретации, а также безболезненным. Данный метод может быть применен в телемедицине, а также для скрининга населения [7,8], с целью разделения группы бессимптомных лиц на два класса: с наличием и отсутствием патологии ВЧП.

В настоящее время разработан ряд алгоритмов, позволяющих количественно проводить обработку картин рассеяния света при диагностике заболеваний ВЧП. Так, например, в работах [4,9,10] представлены алгоритмы обработки изображений цифровой диафаноскопии, где для анализа сегментированных областей исследования производился расчет коэффициента освещенности или коэффициента оптической плотности. На основании рассчитанных коэффициентов строились гистограммы и кривые плотности распределения случайных величин, по которым выдвигалась гипотеза о присутствии заболевания.

Применение теории распознавания образов, а именно сверточных нейронных сетей видится перспективным для дифференциации состояния ВЧП (наличие или отсутствие патологии) в связи с устойчивостью метода к небольшим смещениям и поворотам объектов на входных изображениях, возможных при проведении исследований. Кроме того, в случае цифровой диафаноскопии область интереса представлена структурами черепа, где точки основных частей лица расположены в непосредственной близости друг с другом.

В связи с этим, цель данного исследования заключается в разработке практического инструмента для распознавания патологических изменений ВЧП, основанного на анализе зарегистрированных методом цифровой диафаноскопии картин рассеяния света с помощью сверточных нейронных сетей.

Методика исследования

С применением разработанной технологии цифровой диафаноскопии были проведены исследования 49 условно-здоровых добровольцев и 42 пациента с заболеваниями ВЧП, с подтверждением полученных результатов референсными методами (КТ и МРТ) [11].

Исследования на пациентах проводились на базе оториноларингологического отделения Клинического центра челюстно-лицевой, реконструктивно-восстановительной и пластической хирургии Университетской клиники МГМСУ им. А.И. Евдокимова (г. Москва), и Диагностического центра ООО «Меди Скан» (г. Орёл). Во время проведения исследования все испытуемые подписывали информированное согласие на участие в исследовании, а также заполняли анкету здоровья, где отмечали наличие симптомов и хронических заболеваний.

На рисунке 1 проиллюстрирован внешний вид экспериментальной установки цифровой диафаноскопии, с помощью которой осуществлялся набор экспериментальных данных [12].

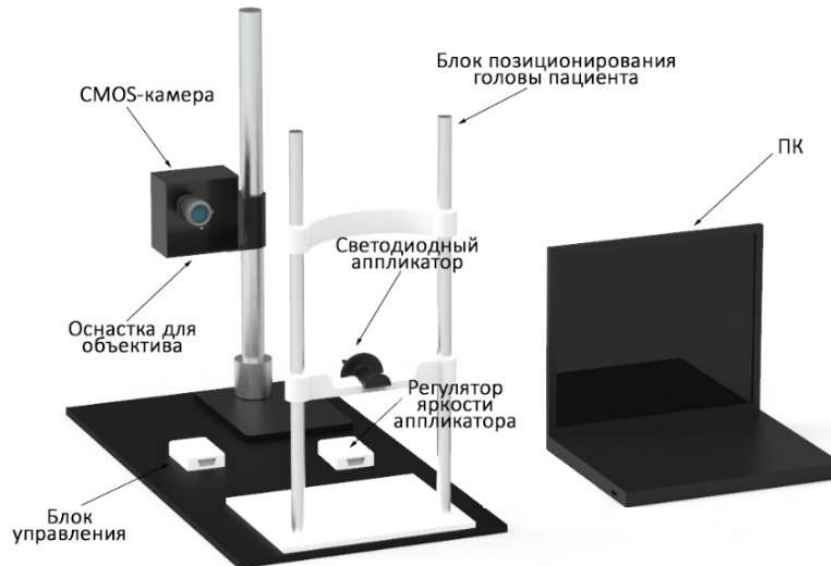


Рисунок 1 – Внешний вид экспериментальной установки цифровой диафаноскопии

Во время проведения исследования светодиодный аппликатор, который имеет две длины волны зондирования (650 нм и 850 нм) помещался в ротовую полость пациента. При этом перед каждым исследованием производилась его дезинфекция. С помощью светодиодного аппликатора производилось зондирование ВЧП, а последующая регистрация картин рассеяния света осуществлялась с помощью КМОП-камеры UI-3240CP-NIR-GL Rev.2 с объективом Pentax C1614-M (КР) (Pentax, Япония), которая расположена напротив лица исследуемого. Для исследуемых разного пола выбирались различные значения оптической мощности, выбранные исходя из обоснованных специализированных медико-технических требований [13].

На зарегистрированных картинах рассеяния света каждой точке (пикселю) соответствует значение интенсивности света, дошедшего до детектора камеры после поглощения и рассеяния в биологических слоях и патологических изменениях. Вывод о наличии или отсутствии патологического изменения делался на основании наличия поглощения света в области ВЧП, вызванного сильными поглощающими свойствами патологических изменений на длинах волн 650 нм и 850 нм [14–16].

На рисунке 2 представлены пример входного изображения для условно здорового добровольца (а) и пациента с хроническим правосторонним верхнечелюстным синуситом (б) на длине волны 850 нм, а также результат КТ-исследования пациента, подтверждающий поставленных диагнозов.

Система автоматизированной диагностики была разработана на основе сверточной нейронной сети типа ResNet [17] и решении задачи бинарной классификации. Система была реализована на языке Python [18] с использованием фреймворка FastAI [19] на платформе Google collaboratory [20].

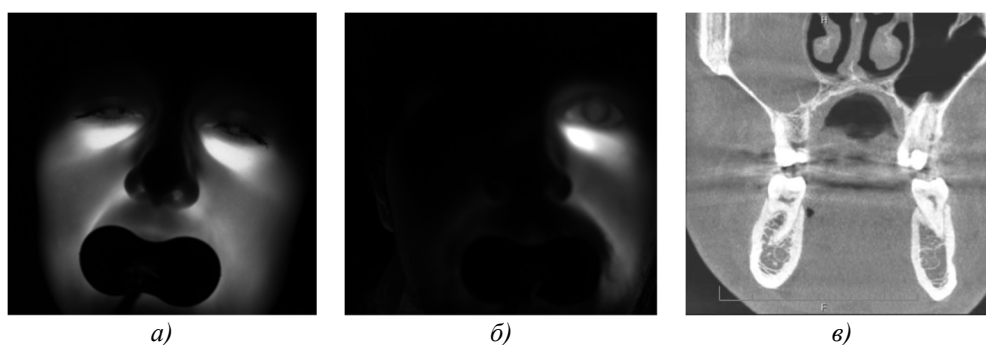


Рисунок 2 – Пример зарегистрированной картины рассеяния света для условно здорового добровольца (а), пациента с хроническим двусторонним верхнечелюстным синуситом (б) на длине волны 850 нм, результат КТ-исследования пациента (в)

В качестве классификационной модели использовалась сеть ResNet34. Входными данными являлся набор изображений в формате RGB с разрешением 1280 x 1024 пикселей, которые на стадии подготовки датасета преобразовывались в изображения размером 224x224, а значения интенсивности пикселей изображений подвергались нормализации с учетом данных статистической обработки интенсивностей около 1 млн. изображений из открытого датасета IMAGENET [21]. При этом проводился анализ 182 картин рассеяния света, так как для каждого исследуемого производилась регистрация картин рассеяния света на двух длинах волн зондирования.

В ходе проведения вычислительных экспериментов было выяснено, что наиболее значимое влияние на точность результатов оказывает аугментация изображений. Прежде всего, это связано со сравнительно малым объемом оригинального датасета. Среди множества функций аугментации [22], наибольшее влияние на точность оказали функции минимальный масштаб обрезки (min_scale), максимальная шкала изменения яркости (max_lighting), и максимальное значение изменения деформации (max_warp). Были заданы следующие значения данных функций: min_scale – 0,6, max_lighting – 0,4, max_warp – 0,1.

Результаты исследования

Матрицы ошибок, полученные для картин рассеяния света, зарегистрированных на длине волны 650 нм и 850 нм, представлены на рисунке 3,а и 3,б, соответственно. В таблице 1 представлены полученные значения чувствительности и специфичности.

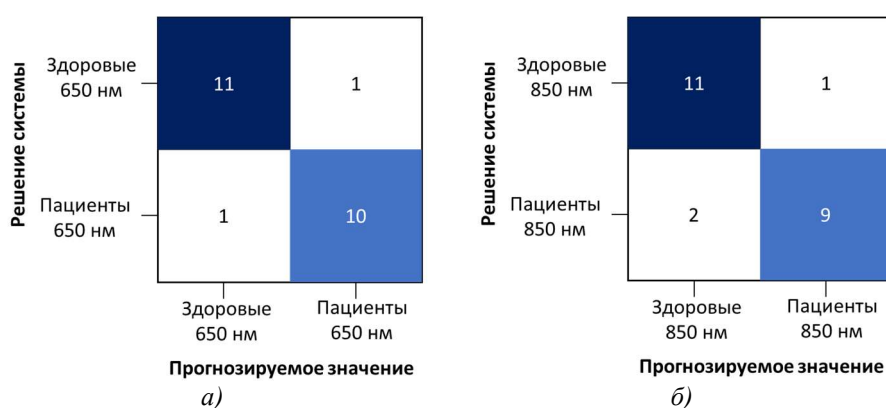


Рисунок 3 – Матрицы ошибок для результатов исследования, зарегистрированных на длине волны 650 нм (а) и 850 нм (б)

Таблица 1 – Значения чувствительности и специфичности

Длина волны зондирования	650 нм	850 нм
Чувствительность	90,9%	81,8%
Специфичность	91,7%	91,7%
Точность	91,3%	86,9%

Полученные результаты показали, что использование длины волны зондирования 650 нм позволяет зарегистрировать картины рассеяния света с дифференциацией состояния пазух носа на два класса (здоровые и с патологическим изменением) со следующими показателями точности: чувствительностью 90,9%, и специфичностью 91,7%. Для случая зондирования ВЧП длиной волны 850 нм, показатели чувствительности и специфичности составили 81,8% и 91,7%, соответственно.

Заключение

Полученные показатели точности превышают значения, характерные для метода риноскопии, являющегося бюджетным методом диагностики наряду с методом цифровой диафаноскопии. Так, по литературным данным значения чувствительности и специфичности при риноскопии для выявления различных патологий ВЧП равны 21-69 % и 66-80 %, соответственно [23].

Кроме того, полученные значения соответствуют показателям, полученным на основе модели классификации для цифровой диафаноскопии, построенной методом линейного дискриминантного анализа (для длины волны 650 нм чувствительность составила 90,2%, специфичность – 100%; для длины волны 850 нм чувствительность составила 92,7%, специфичность – 100%).

Таким образом, применение сверточных нейронных сетей перспективно для выявления патологий ВЧП при цифровой диафаноскопии, а также может быть использовано в целях скрининга населения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Koch, F.H.J. Ophthalmic diaphanoscopy [Text] / F.H.J. Koch, S. Deuchler, P. Singh, M. Heßling // *Ophthalmologie*. – 2017. – Vol. 114. – № 9. – P. 857-864.
2. Миронов, В.Н. Диафаноскопия в комплексной диагностике цистоцеле у женщин [Текст] / В.Н. Миронов // *Уральский медицинский журнал*. – 2012. – № 2. – С. 65-67.
3. Zabarylo, U.J. Methodische Untersuchungen zur Bildbearbeitung von diaphanoskopischen Streulichtbildern und deren Fusion mit anderen Modalitäten der Bildgebung [Text] / U.J. Zabarylo // *Doctoral dissertation*. – 2021. – P.69.
4. Волков, А.Г. Цифровая диафанографическая диагностика фронтита [Текст] / А.Г. Волков, К.К. Грошков // *Вестник оториноларингологии*. – 2010. – Т. 4. – С. 58-62.
5. Пат. 2657940 Российская Федерация, МПК А61В 5/01 (2006.01) А61В 1/04 (2006.01). Способ диагностики заболеваний верхнечелюстных пазух пациента и устройство для его осуществления / В.Г. Артюшенко, В.Г. Агеев, Г.Л. Даниелян, О. Минэ, У. Забарило; заявитель и патентообладатель Арт фотоникс ГмбХ (DE). – № 2017115320; заявл. 02.05.2017; опубл. 18.06.2018, Бюл. № 17. – 8 с.: ил.
6. Брянская, Е.О. Применение метода цифровой диафаноскопии для диагностики воспалительных заболеваний околоносовых пазух / Е.О. Брянская, И.Н. Маковик, О.А. Бибилова, А.В. Дунаев, О.Минэ, У. Забарило, Е.Г. Феликсбергер, В.Г. Артюшенко. – 2019. – Т. 3. – № 335. – С. 111-120.
7. Программы скрининга: краткое руководство. Повышение эффективности, максимальное увеличение пользы и минимизация вреда // Европейское региональное бюро ВОЗ. – 2020. – 72 С.
8. Sagan, A. Screening. When is it appropriate and how can we get it right? [Text] / A. Sagan, D. Mcdaid, S. Rajan, J. Farrington, M. Mckee // *Health systems and policy analysis*. – 2020. – P. 24.
9. Самойленко, А. Информационная беспроводная система диафаноскопической диагностики состояния носовых и лобных пазух [Текст] / А. Самойленко, А. Волков, А. Назаренко // *Материалы Международной научно-технической и научно-методической интернет-конференции в режиме off-line «Проблемы современной системотехники»*. – 2008. – С. 123.
10. Добытко, И.В. Совершенствование неинвазивных способов диагностики параназальных синуситов у детей [Текст] / И.В. Добытко // *Автореф. исс. канд. мед. наук.* – СПб, 2010. – С. 24.
11. Bryanskaya, E.O. Digital diaphanoscopy data processing for differentiation of maxillary sinus pathologies [Text] / E.O. Bryanskaya, V.V. Dremin, I.N. Novikova, Yu.O. Nikolaeva, V.G. Pilnikov, A.V. Bakotina, A.Yu. Ovchinnikov, D.N. Panchenkov, A.V. Baranov, V.G. Artyushenko, A.V. Dunaev // *2022 International Conference Laser Optics, ICLO 2022 – Proceedings*. – IEEE. – 2022. – P. 1-1.
12. Bryanskaya, E.O. Optical Diagnostics of the Maxillary Sinuses by Digital Diaphanoscopy Technology / 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.
13. Jacques, S.L. Optical properties of biological tissues : a review [Text] / S.L. Jacques // *Physics in Medicine & Biology*. – 2013. – Vol. 58. – № 11. – P. 37-61.

14. 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.

15. van Veen, R., Intraoperatively assessed optical properties of malignant and healthy breast tissue used to determine the optimum wavelength of contrast for optical mammography [Text] / R. van Veen, H. J. C. M. Sterenborg, A.W. Marinelli, M.B.E. Menke-Pluymers // *JBO*. – Vol. 9, № 6. – 2004. – P. 1129-1136.

16. Брянская, Е.О. Анализ влияния оптических свойств гнойного содержимого на результат диагностики в цифровой диафаноскопии / Е.О. Брянская // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. – 2022. – Т. 2. – № 352. – С. 160-167.

17. He, K. Deep residual learning for image recognition [Text] / K.He, X. Zhang, S. Ren, J. Sun // *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. – 2015. – P. 1-12.

18. Python.org [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.python.org/>.

19. Fast.ai–Making neural nets uncool again [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.fast.ai/>.

20. Colaboratory [Электронный ресурс]. – URL: <https://colab.research.google.com/notebooks/intro.ipynb>.

21. ImageNet [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.image-net.org/>.

22. Vision augmentation - fast.ai [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.fast.ai/vision.augment.html>.

23. Aysel, A. Is Paranasal Sinus Computed Tomography Required before Every Septorhinoplasty Surgery? [Text] / A. Aysel, A.M. Koc, M.E. Zorlu, O. Yildirim, T. Muderris // *European Journal of Rhinology and Allergy*. – 2021. – Vol. 4. – № 3. – P. 77-80.

Брянская Екатерина Олеговна

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, г. Орел,
стажер-исследователь научно-технологического центра бимедической фотоники
Россия, г. Орел, ул. Комсомольская, 95
E-mail: bryanskaya@mail.ru

E.O. BRYANSKAYA

POSSIBILITIES OF USING CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS TO CLASSIFY THE STATES OF THE MAXILLARY SINUSES IN DIGITAL DIAPHANOSCOPY

Abstract. *The work is devoted to the analysis of the possibility of using convolutional neural networks in order to identify maxillary sinus pathologies in digital diaphanoscopy. A set of experimental data was produced using a digital diaphanoscopy device with the participation of conditionally healthy volunteers and patients with various pathological changes of maxillary sinuses. The results of training convolutional neural networks for processing registered scattering patterns of light (182 images) are presented. The obtained sensitivity and specificity indicators for the task of detecting the presence of pathological changes in the maxillary sinuses were comparable with the previously obtained results and amounted to 90.9% and 91.7% for a wavelength of 650 nm, 81.8% and 91.7% for a wavelength of 850 nm. The results obtained exceed the accuracy indicators characteristic of other methods of budget diagnostics of maxillary sinus pathologies (for example, rhinoscopy), which suggests the prospects of using this approach to recognize pathological changes of maxillary sinuses.*

Keywords: *optical diagnostics, digital diaphanoscopy, maxillary sinuses, inflammatory disease, optical properties.*

BIBLIOGRAPHY

1. Koch, F.H.J. Ophthalmic diaphanoscopy [Text] / F.H.J. Koch, S. Deuchler, P. Singh, M. Heßling // *Ophthalmologie*. – 2017. – Vol. 114. – № 9. – P. 857-864.

2. Mironov, V.N. Diafanoskopiya v kompleksnoj diagnostike cistocele u zhenshchin [Tekst] / V.N. Mironov // *Uralskij medicinskij zhurnal*. – 2012. – № 2. – P. 65-67.

3. Zabarylo, U.J. Methodische Untersuchungen zur Bildbearbeitung von diaphanoskopischen Streulichtbildern und deren Fusion mit anderen Modalitäten der Bildgebung [Text] / U.J. Zabarylo // *Doctoral dissertation*. – 2021. – P.69.

4. Volkov, A.G. Cifrovaya diafanograficheskaya diagnostika frontita / A.G. Volkov, K.K. Groshkov // *Vestnik otorinolaringologii*. – 2010. – №4. – P. 58-62.

5. Pat. 2657940 Rossiiskaya Federaciya, MPK A61B 5/01 (2006.01) A61B 1/04 (2006.01). Sposob diagnostiki zaboлевanii verhnichelustnih pazuh pacienta I ustroistvo dlya ego osushchestvleniya / V.G. Artushenko, V.G. Ageev, G.L. Danielyan, Mine Olaf, Zabarilo Ursulla Ioanna; zayavitel I patentoobladatel Art Photonics GMB (DE) – № zayavka; №2017115320; zayavl. 02.05.2017; opubl. 18.06.2018, Byul. № 17. – 8 p.: il.

6. Bryanskaya, E.O. Primenenie metoda cifrovoj diafanoskopii dlya diagnostiki vospalitelnyh zabolevanij okolonosovyh pazuh / E.O. Bryanskaya, I.N. Makovik, O.A. Bibikova, A.V. Dunaev, O.Mine, U. Zabarilo, E.G. Feliksberger, V.G. Artyushenko. – 2019. – Т. 3. – № 335. – P. 111-120.
7. Programmy skrininga: kratkoe rukovodstvo. Povyshenie effektivnosti, maksimalnoe uvelichenie polzy i minimizaciya vreda [Tekst] // Evropejskoe regionalnoe byuro VOZ. – 2020. – 72 P.
8. Sagan, A. Screening. When is it appropriate and how can we get it right? [Text] / A. Sagan, D. Mcdaid, S. Rajan, J. Farrington, M. Mckee // Health systems and policy analysis. – 2020. – P. 24.
9. Samojlenko, A. Informacionnaya besprovodnaya sistema diafanoskopicheskoj diagnostiki sostoyaniya nosovyh i lobnyh pazuh [Tekst] / A. Samojlenko, A. Volkov, A. Nazarenko // Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy i nauchno-metodicheskoy internet-konferencii v rezhime off-line «Problemy sovremennoj sistemotekhniki». – 2008. – S. 123.
10. Dobytko, I.V. Sovershenstvovanie neinvazivnyh sposobov diagnostiki paranazalnyh sinusitov u detej [Tekst] / I.V. Dobytko // Avtoref. iss. kand. med. nauk. – Spb, 2010. – P. 24.
11. Bryanskaya, E.O. Digital diaphanoscopia data processing for differentiation of maxillary sinus pathologies [Text] / E.O. Bryanskaya, V.V. Dremin, I.N. Novikova, Yu.O. Nikolaeva, V.G. Pilnikov, A.V. Bakotina, A.Yu. Ovchinnikov, D.N. Panchenkov, A.V. Baranov, V.G. Artyushenko, A.V. Dunaev // 2022 International Conference Laser Optics, ICLO 2022 – Proceedings. – IEEE. – 2022. – P. 1-1.
12. Bryanskaya, E.O. Optical Diagnostics of the Maxillary Sinuses by Digital Diaphanoscopia Technology / 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.
13. Jacques, S.L. Optical properties of biological tissues : a review [Text] / S.L. Jacques // Physics in Medicine & Biology. – 2013. – Vol. 58. – № 11. – P. 37-61.
14. 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.
15. van Veen, R., Intraoperatively assessed optical properties of malignant and healthy breast tissue used to determine the optimum wavelength of contrast for optical mammography [Text] / R. van Veen, H. J. C. M. Sterenberg, A.W. Marinelli, M.B.E. Menke-Pluymers // JBO. – Vol. 9, № 6. – 2004. – P. 1129-1136.
16. Bryanskaya, E.O. Analiz vliyaniya opticheskikh svojstv gnojnogo soderzhimogo na rezultat diagnostiki v cifrovoj diafanoskopii / E.O. Bryanskaya // Fundamentalnye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. – 2022. – Vol. 2. – № 352. – P. 160-167.
17. He, K. Deep residual learning for image recognition [Text] / K.He, X. Zhang, S. Ren, J. Sun // Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – 2015. – P. 1-12.
18. Python.org [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.python.org/>.
19. Fast.ai–Making neural nets uncool again [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.fast.ai/>.
20. Colaboratory [Электронный ресурс]. – URL: <https://colab.research.google.com/notebooks/intro.ipynb>.
21. ImageNet [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.image-net.org/>.
22. Vision augmentation - fast.ai [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.fast.ai/vision.augment.html>.
23. Aysel, A. Is Paranasal Sinus Computed Tomography Required before Every Septorhinoplasty Surgery? [Text] / A. Aysel, A.M. Koc, M.E. Zorlu, O. Yildirim, T. Muderris // European Journal of Rhinology and Allergy. – 2021. – Vol. 4. – № 3. – P. 77-80.

Bryanskaya Ekaterina Olegovna

Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel,
 research assistant of Research & Development Center of Biomedical Photonics
 Russia, Orel, st. Komsomolskaya, 95
 E-mail: bryanskayae@mail.ru

© E.O. Брянская, 2022