

## РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ПРОТОКОЛОВ ОПТИЧЕСКОЙ КОГЕРЕНТНОЙ ТОМОГРАФИИ СЕТЧАТКИ ГЛАЗА И АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СОСТАВЛЕНИЯ ИХ ОПИСАНИЙ

Арзамасцев А.А.<sup>1,2</sup>, Фабрикантов О.Л.<sup>2,3</sup>, Зенкова Н.А.<sup>4</sup>, Кулагина Е.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», Воронеж;

<sup>2</sup>ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. академика С.Н. Федорова» Минздрава России, Тамбовский филиал, Тамбов, e-mail: naukatmb@mail.ru;

<sup>3</sup>ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина», Медицинский институт, Тамбов;

<sup>4</sup>ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина», Тамбов

---

Приводятся алгоритм и краткое описание программы, предназначенной для анализа протоколов оптической когерентной томографии сетчатки глаза. Программа позволяет автоматизированно составлять описание общей картины заболевания, наблюдаемого у пациента офтальмологической клиники. Ее действие основано на интеллектуальном анализе графического файла протокола, получаемого с прибора DRI OCT Triton 3D optical coherence tomography и карты толщин сетчатки глаза. Основными этапами работы программы являются: сохранение участка графического файла, ответственного за карту толщин сетчатки в отдельный файл; подсчет средней толщины сетчатки по зонам карты; определение соответствий между толщиной сетчатки в каждой зоне и описаниями; выгрузка описаний в отдельный файл MS Word. Математическую основу программы составляют: аппроксимация таблицы соответствия толщин и цветов на карте; математико-логическая модель принадлежности рассматриваемой точки к определенной зоне; система логических связей между толщиной сетчатки по зонам и их описанием. Программа реализована в среде Anaconda 2.0.3 с поддержкой современных версий Python и тематических модулей, таких как NumPy, SciPy, Python Imaging Library (PIL) и иные, с использованием Jupyter Lab 3.0.14 и Jupyter Notebook 6.3.0.

Ключевые слова: оптическая когерентная томография, сетчатка глаза, программа для анализа протоколов.

## SOFTWARE DEVELOPMENT FOR ANALYSING THE OPTICAL COHERENCE TOMOGRAPHY PROTOCOLS OF THE RETINA AND AUTOMATIC COMPOSITION OF THEIR DESCRIPTIONS

Arzamastsev A.A.<sup>1,2</sup>, Fabrikantov O.L.<sup>2,3</sup>, Zenkova N.A.<sup>4</sup>, Kulagina E.V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>FSBEI VR «Voronezh state university», Voronezh;

<sup>2</sup>The S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Tambov branch, Tambov, e-mail: naukatmb@mail.ru;

<sup>3</sup>FSBEI HPE «Tambov State University named after G.R. Derzhavin», Medical Institute, Tambov;

<sup>4</sup>FSBEI HPE «Tambov State University named after G.R. Derzhavin», Tambov

---

An algorithm and a brief description of a protocol analyzer software of optical coherence tomography of the retina are presented. The software allows composing a description of the clinical picture of the disease observed in the patient of the ophthalmological clinic automatically. Its action is based on the intellectual analysis of the graphic file of the protocol obtained from the DRI OCT Triton 3D optical coherence tomography device and the retinal thickness map. The main stages of the program are saving the section of the graphic file responsible for the retinal thickness map into a separate file; calculation of the average thickness of the retina by map zones; determination of correspondences between the retinal thickness in each zone and descriptions; unloading descriptions into a separate MS Word file. The mathematical basis of the program includes approximation of the table of correspondence of thicknesses and colors on the map; mathematical and logical model of belonging of the point under consideration to a certain zone, a system of logical connections between retinal thickness by zones and their description. The program is implemented in the Anaconda 2.0.3 environment, with support for modern Python versions and thematic modules such as NumPy, SciPy, Python Imaging Library (PIL), etc., using Jupyter Lab 3.0.14 and Jupyter Notebook 6.3.0.

Keywords: optical coherence tomography, retina, protocol analyzer software.

Оптическая когерентная томография является наиболее высокотехнологичным и информативным методом выявления патологии сетчатки глаза. Используемые в настоящее

время оптические когерентные томографы имеют значительную разрешающую способность и позволяют бесконтактным способом и оперативно получить томографические срезы и карты толщины сетчатки глаза [1, 2].

Однако описание и интерпретация результатов исследования требуют высокой квалификации и специальной подготовки врача-офтальмолога, так как различные модели оптических когерентных томографов имеют разные протоколы сканирования [3, 4]. Так, например, в Тамбовском филиале НМИЦ «МНТК “Микрохирургия глаза” им. академика С.Н. Федорова» Минздрава России ежедневно требуется интерпретация 40–50 протоколов пациентов. При среднем времени на составление описания около 20 мин получаем существенные трудозатраты опытных специалистов порядка 13–17 ч в сутки. Поскольку процесс анализа протоколов достаточно алгоритмичен, было бы желательно хотя бы частично передать данную работу компьютеру.

Целью работы является разработка специализированного программного обеспечения для анализа протоколов оптической когерентной томографии сетчатки глаза и автоматизированного составления их описаний.

#### **Материалы и методы исследования**

В данной работе, являющейся продолжением [5], приведено краткое описание разработанного нами специализированного программного обеспечения, предназначенного для автоматизированного анализа протоколов, полученных непосредственно с прибора в графическом формате, их интеллектуального анализа и составления описаний, что существенно упрощает работу врача-офтальмолога. При этом применяли описания современных библиотек языка Python [6, 7]. Использование данной программы, по нашему мнению, увеличит доступность применения современного высокотехнологичного и высокоточного метода диагностики сложных случаев глазных заболеваний и будет способствовать более широкому внедрению данного метода исследований в клиническую практику.

Общая блок-схема работы программы показана на рисунке. 1. Ее наиболее важными частями являются: 1) анализ протокола и определение, особенности какого глаза (правого или левого) он отражает; 2) подсчет средней толщины сетчатки глаза по зонам; 3) классификация результатов подсчета и автоматизированное составление описаний с записью их в файл MS Word, который при необходимости, может отредактировать врач-офтальмолог.



Рис. 1. Последовательность действий при разработке программы

### Результаты исследования и их обсуждение

На рисунках 2а, 2б показаны карта толщины сетчатки глаза и ее представление по зонам 1–9. Математическая модель, позволяющая описывать принадлежность точки к определенной зоне, может быть задана с учетом уравнений пяти линий, приведенных на рисунке 2б.

Пиксели карты, соответствующие зонам 1–9, ограничены тремя окружностями (линии 1–3) и двумя прямыми (линии 4 и 5). В системе координат, показанной на рисунке 2б, уравнения этих линий выглядят следующим образом.

Линия 1:

$$(x - x_0)^2 - (y - y_0)^2 = R^2 \text{ или } (x - 94)^2 - (y - 94)^2 = 8836 \quad (1)$$

Линия 2:

$$(x - 94)^2 - (y - 94)^2 = 2304 \quad (2)$$

Линия 3:

$$(x - 94)^2 - (y - 94)^2 = 256 \quad (3)$$

Линия 4:

$$y = x \quad (4)$$

Линия 5:

$$y = 188 - x \quad (5)$$

Формулы (1)–(5) позволяют выделить из всей совокупности точек карты лишь пиксели, принадлежащие рассматриваемой зоне.

Например, для зоны 1, ограниченной линиями 1, 2, 4 и 5, система неравенств, указывающая на принадлежность точки, в соответствии с формулами (1)–(5) примет

следующий вид:

$$\begin{aligned}
 (x - 94)^2 - (y - 94)^2 &< 8836 \\
 (x - 94)^2 - (y - 94)^2 &> 2304 \\
 y &< x \\
 y &< 188 - x
 \end{aligned} \tag{6}$$

Системы неравенств, указывающие на принадлежность точки другим зонам, составлены аналогично на основании формул (1)–(5). Данные неравенства позволяют сформировать математическую модель принадлежности точки (пикселя) к той или иной зоне карты толщин сетчатки (рис. 2).

На рисунке 3 показано соответствие цвета карты (рис. 2а) в формате RGB толщине сетчатки глаза. Весь диапазон толщин разбит на 6 участков, для каждого из которых с использованием метода наименьших квадратов получено аппроксимирующее уравнение, связывающее толщину сетчатки с амплитудой ведущего цвета. Такие аппроксимации для участков 1–4 показаны на рисунке 4, а для других участков получены аналогичные зависимости.

Таким способом получена общая формула (7), позволяющая связать амплитуды ведущих цветов RGB и толщину сетчатки. Использование этой формулы для зон 1–9 позволяет рассчитать средние толщины для них.

$$Th = \begin{cases} 0,0019B^2 + 0,0721B + 2,3078, & \text{если } R < 50 \text{ и } G < 50 \\ 0,516G + 50,961, & \text{если } R < 50 \text{ и } B > 200 \\ -0,5218B + 266,99, & \text{если } R < 50 \text{ и } G > 210 \\ 0,5199R + 241,59, & \text{если } G < 200 \text{ и } B < 50 \\ -0,5057G + 453,94, & \text{если } R > 200 \text{ и } B < 50 \\ \left. \begin{array}{l} 0,3599G + 436,79 \\ \text{или} \\ 0,3593B + 437,96 \end{array} \right\}, & \text{в других случаях} \end{cases} \tag{7}$$

где  $Th$  – толщина сетчатки глаза, мкм;  $R$ ,  $G$ ,  $B$  – амплитуда красного, зеленого и синего цветов, представленная целыми числами 0–255.

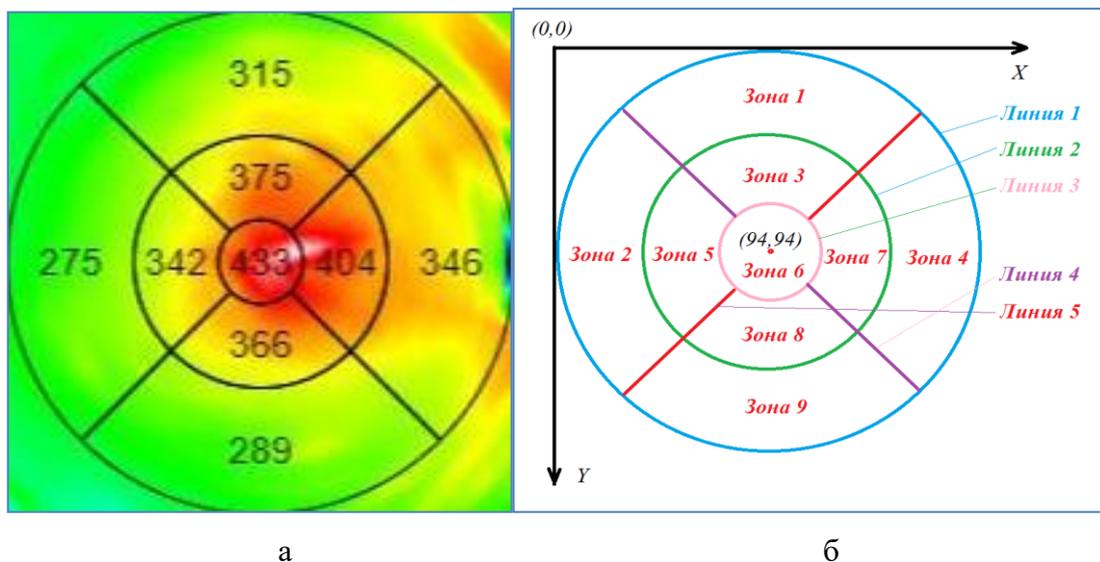


Рис. 2. а – карта толщины сетчатки глаза, полученная с прибора; б – ее представление по зонам 1–9

На заключительном этапе программа производит интеллектуальный анализ полученных значений и создает описание. Например, для зон 1 и 6 описание получается исходя из следующих соображений.

Зона № 1 (верхняя перифовеа).  $Th < 140$  мкм – значительное истончение сетчатки в верхней перифовеа.  $Th = 140–180$  мкм – умеренное истончение сетчатки в верхней перифовеа.  $Th = 181–218$  мкм – незначительное истончение сетчатки в верхней перифовеа.  $Th = 219–311$  мкм – толщина сетчатки в верхней перифовеа в пределах нормальных значений.  $Th = 312–340$  мкм – незначительное утолщение сетчатки в верхней перифовеа.  $Th = 341–400$  мкм – умеренное утолщение сетчатки в верхней перифовеа.  $Th > 400$  мкм – значительное утолщение сетчатки в верхней перифовеа.

Зона № 6 (фовеа).  $Th < 130$  мкм – значительное истончение сетчатки в фовеа.  $Th = 130–160$  мкм – умеренное истончение сетчатки в фовеа.  $Th = 161–200$  мкм – незначительное истончение сетчатки в фовеа.  $Th = 201–300$  мкм – толщина сетчатки в фовеа в пределах нормальных значений.  $Th = 301–350$  мкм – незначительное утолщение сетчатки в фовеа.  $Th = 351–400$  мкм – умеренное утолщение сетчатки в фовеа.  $Th > 400$  мкм – значительное утолщение сетчатки в фовеа.

Для других зон карты (рис. 2а) описания выглядят аналогичным образом.

Полученное описание протокола выгружается в отдельный файл MS Word, который в дальнейшем еще может быть отредактирован врачом-офтальмологом.

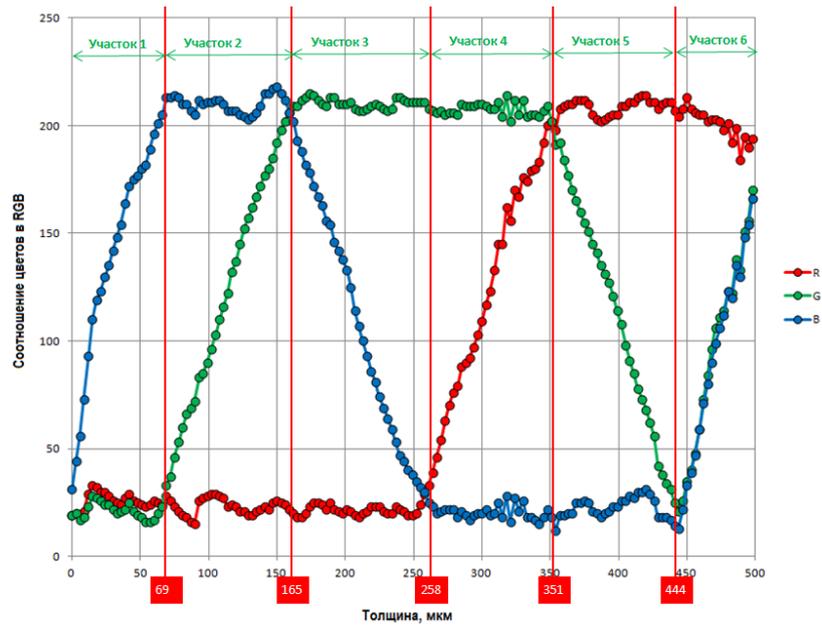
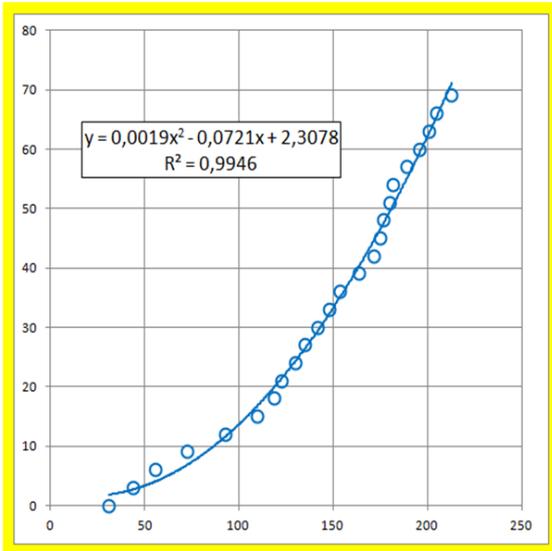


Рис. 3. Деление шкалы толщины сетчатки глаза и соответствующей ей палитры цветов (RGB) на участки 1–6. Красным показаны значения толщин сетчатки, соответствующие границам зон

Th

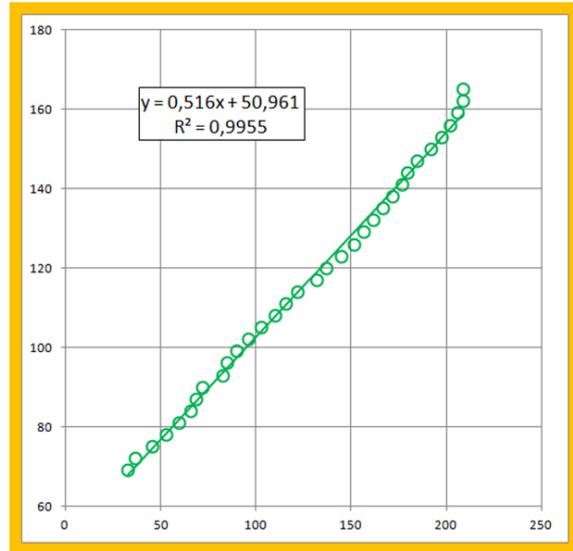


B

**Участок 1:**  $0 \leq Th < 69$ , в расчетах участвует только синий цвет (B)

$$Th = 0,0019B^2 - 0,0721B + 2,3078$$

Th

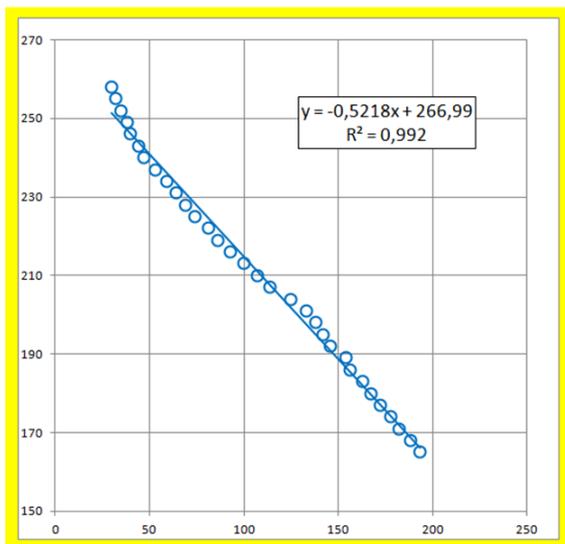


G

**Участок 2:**  $69 \leq Th < 165$ , в расчетах участвует только зеленый цвет (G)

$$Th = 0,516G + 50,961$$

Th

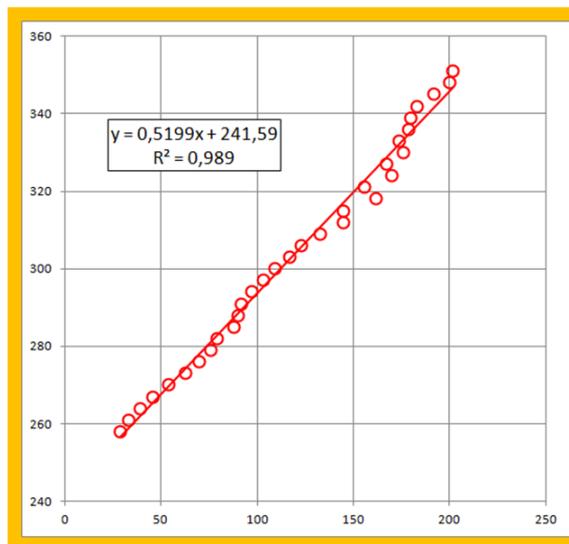


B

**Участок 3:**  $165 \leq Th < 258$ , в расчетах участвует только синий цвет (B)

$$Th = -0,5218B + 266,99$$

Th



R

**Участок 4:**  $258 \leq Th < 351$ , в расчетах участвует только красный цвет (R)

$$Th = 0,5199R + 241,59$$

Рис. 4. Аппроксимация с использованием метода наименьших квадратов зависимостей толщины сетчатки на карте (Th) от амплитуды ведущего цвета (R – красный, G – зеленый, B – синий) для участков 1–4

Тестирование программы осуществляли в ходе вычислительных экспериментов для более чем 100 различных карт, средние значения толщины сетчатки для которых были получены с помощью прибора (протокол) и путем расчета. В таблице представлен один из результатов такого тестирования, в ходе которого получены оценки относительных погрешностей определения толщин сетчатки глаза на основе интеллектуального анализа карты. Максимальная относительная погрешность расчетов не превышает 13% при средней относительной погрешности 6,45%, что можно считать удовлетворительным результатом.

Проводили также сопоставление результатов автоматизированного составления описаний протокола с заключением врача-офтальмолога. В большинстве случаев такие описания совпадали. Однако, если врач считал необходимым внести незначительные дополнения, то это не представляло сложности ввиду того, что выходной файл с описанием поддерживал стандартный формат MS Word.

Величины погрешностей по зонам 1–9

Зона карты	Толщина сетчатки	Толщина сетчатки	Относительная
------------	------------------	------------------	---------------

	по протоколу, мкм	по протоколу, расчет	погрешность, %
1	315	329	4,44
2	275	259	5,81
3	375	374	0,27
4	346	352	1,73
5	342	314	8,18
6	433	391	9,69
7	404	370	8,41
8	366	320	12,56
9	289	309	6,92

### **Заключение**

Использование автоматизированного интеллектуального анализа протоколов, полученных в виде графических файлов с прибора DRI OCT Triton 3D optical coherence tomography, значительно облегчает врачу-офтальмологу составление описаний патологий пациента за счет использования современного средства разработки, объединенных в среде Anaconda 2.0.3. Данная разработка способствует развитию цифровой платформы здравоохранения, накапливающей, поддерживающей и развивающей систему научных знаний в сфере медицины и доступ к медицинским сервисам на основе информационно-коммуникационных технологий.

### **Список литературы**

1. Huang D., Swanson E.A., Lin C.P., Schuman J.S., Stinson W.G., Chang W., Hee M.R., Flotte T., Gregory K., Puliafito C.A. Optical coherence tomography. Science. 1991. Vol. 254. P. 1178-1181. DOI: 10.1126/science.1957169.
2. Chua S. High-Definition Optical Coherence Tomography for the Study of Evolution of a Disease. Dermatology Bulletin. 2015. Vol 26. No. 1. P. 2-3.
3. Semoun O., Coscas F., Coscas G., Lalloum F., Srouf M., Souied E.H. En face enhanced depth imaging optical coherence tomography of polypoidal choroidal vasculopathy. Br J. Ophthalmol . 2016. Vol. 100. No. 8. P. 1028-1034. DOI: 10.1136/bjophthalmol-2015-307494.
4. Alasil T., Ferrara D., Adhi M., Brewer E., Kraus M.F., Baumal C.R., Hornegger J., Fujimoto J.G., Witkin A.J., Reichel E., Duker J.S., Waheed N.K. En face imaging of the choroid in polypoidal choroidal vasculopathy using swept-source optical coherence tomography. Am J. Ophthalmol. 2015. Vol. 159. No. 4. P. 634-643. DOI: 10.1016/j.ajo.2014.12.012.

5. Арзамасцев А.А., Фабрикантов О.Л., Зенкова Н.А., Кулагина Е.В. Методика анализа протоколов оптической когерентной томографии сетчатки с использованием библиотеки Python Imaging Library (PIL) // Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей Международной научно-практической конференции (12 августа 2021 г, Казань): / в 2 ч. Ч. 2. Уфа: Издательство OMEGA SCIENCE, 2021. С. 175-178.
6. Рамсундар Б., Истман П., Уолтерс П., Панде В. Глубокое обучение в биологии и медицине / пер. с англ. В. С. Яценкова. М.: ДМК Пресс, 2020. 200 с.
7. Харрисон М. Машинное обучение: карманный справочник. Краткое руководство по методам структурированного машинного обучения на Python: Пер. с англ. СПб.: ООО "Диалектика", 2020. 320 с.