

УДК 004.4

## 1.8. Применение методов искусственного интеллекта при анализе результатов периметрии пациентов и диагностировании глаукомы

А.И. Медведева<sup>1</sup>, Т.А. Жуков.<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>РЭУ им. Г.В. Плеханова. Москва, Россия

*Сенсорная активность мозга является необходимым компонентом психических и физиологических процессов, связанных с восприятием информации и возникновением различных заболеваний, в том числе обусловленных нарушением периферических границ поля зрения, отслоением сетчатки глаза и других. В данной статье рассматривается возможность создания отечественного аналога периметра для офтальмологической диагностики полей зрения. Глаукома прогрессирует, не вызывая симптомов, пока заболевание не достигнет стадии тяжелого повреждения нервов. Для замедления прогрессирования заболевания необходимо раннее вмешательство и наблюдение за развитием течения болезни. Именно поэтому принято решение изучить возможность использования методов графической обработки периметрических изображений с дальнейшей возможностью использования методов машинного обучения.*

### Введение

Исследования зрительного анализатора очень важны для понимания предметной области изучения полей зрения, а также диагностики и лечения заболеваний глаз. В данной работе собран и обработан датасет результатов периметрии пациентов с различными зрительными патологиями. Существует два типа периметрии: статический и кинетический. В основе статической периметрии лежит использование неподвижных объектов для исследования поля зрения человека. Благодаря разной освещенности объекта информация может быть передана на компьютер. В конечном итоге, этот тип исследования поля зрения позволяет получить картографические данные, которые затем обрабатываются и анализируются. В кинетическом периметре используют объект различных цветов, находящийся в движении. Именно результат полученных картографических снимков особенно важен в изучении и создании отечественных аналогов компьютерных методов диагностики полей зрения [Симакова, Сухинин, 2012].

Золотым стандартом периметрии является компьютерная периметрия Хамфри. Однако, использование данной технологии в России является достаточно затратным, поэтому наиболее распространены периметры типа Томей. Именно анализ снимков-картограмм, полученных в результате проведения обследования пациентов на периметре Томей использовался в данной работе.

Считывание периметрических снимков является ключевым этапом в диагностике глаукомы. Для повышения точности и эффективности этого процесса широко применяются нейронные сети. Обучение нейронной сети на большом объеме медицинских изображений позволяет улучшить качество анализа данных, сократить время, затрачиваемое на диагностику, а также уменьшить вероятность ошибок. Таким образом, дальнейшие этапы исследования основаны на способе создания классификатора, способного определять норму и патологию по результатам периметрии.

### Исследования поля зрения пациентов при помощи компьютерного анализа изображения

Глаз – это один из важнейших сенсорных органов человека и животных. При изучении анатомии глаза для нашего исследования удалось подчеркнуть несколько важных аспектов. Во-первых, если рассматривать течение и развитие глаукомы важно понимать изменение периферических границ поля зрения пациента и зрительную реакцию на наблюдаемые объекты. Во-вторых, основная часть, подвергающаяся поражению при обнаруженной глаукоме, — это зрительный нерв [Сомов, 2016].

Основная задача лечения глазных заболеваний заключается в том, чтобы предотвратить развитие нарушений зрения у пациентов, которые могут привести к инвалидизации в повседневной жизни. Измерение скорости изменения поля зрения имеет большое значение для определения рисков функциональных расстройств.

Главная цель работы — во время изучения снимков-картограмм (рисунок 1) пациентов перевести изображения в табличную форму, а также в дальнейшем собрать большой датасет для создания классификатора и отечественного программного обеспечения (ПО) для периметра.

Для начала необходимо подробнее указать этапы формирования датасета. Первое: сначала пациент проходит медицинское периметрическое обследование. Данный шаг необходим для получения границ полей зрения. После этого готовый результат процедуры выводится на экран компьютера и печатается на бумажный носитель.

Ввиду отсутствия получения отсканированных изображений каждый конкретный снимок — это фотография либо бумажного, либо электронного результата обследования, проводимого офтальмологом. В связи с этим возникла необходимость ручного отбора снимков на соответствие качества и наличие всех необходимых для анализа параметров (пол, возраст, дата и время обследования, поставленный диагноз).

При изучении данного датасета можно выделить следующие этапы работы:

1. Получение вышеописанных снимков. Изображения могут быть в различных форматах (например, JPEG, PNG) и иметь разное разрешение.

2. Затем каждое изображение должно быть размечено, то есть иметь метку, указывающую на диагноз или состояние пациента. Например, метки могут включать категории, такие как норма, ранняя стадия глаукомы, прогрессирующая глаукома и т.д.

3. Также необходима дополнительная информация о каждом изображении и пациенте: возраст, пол, история болезни, результаты предыдущих обследований и т.д. Эти данные могут быть полезны для анализа и улучшения модели.

Как видно из рисунка 1, качество данных, передаваемых врачами-офтальмологами для набора датасета, достаточно низкого качества. Именно из-за данной проблемы набор датасета небольшой, однако для первоначального анализа точек на изображениях оказалось достаточно.

В результате по ранее описанным этапам отобранные изображения анализировались программными средствами и для будущего формирования набора данных использовался анализ каждого конкретного изображения. Именно перевод снимка из графического в некий объем текстовых данных и является его переводом в табличную форму.

Объектами датасета являлись сами пациенты, с полученными от них снимками-картограммами, а наиболее важными признаками являлись диагнозы испытуемых. Важной частью являлась также разметка данных после их отбора, для этого изображения делились на категории по диагнозам, это позволило в дальнейшем их классифицировать.

Для дальнейшего обучения данных использовались алгоритмы для выявления закономерностей в диагнозах и нарушениях поля зрения пациентов. Это необходимо в том числе и для обучения нейронных сетей распознавать все отклонения на изображениях.

Если посмотреть на изображение периметрических данных, то можно увидеть множество точек, которые отделены окружностью, обозначающей границы поля зрения. Каждая точка соответствует стимулу и является нормой или патологией для каждого конкретного пациента. Патологии могут проявляться в виде скотом, которые означают частичное или полное отсутствия видимости объекта в конкретной области.

Во время прохождения обследования оба глаза изучаются одновременно, при этом правый глаз обозначается как *od*, а левый глаз — *os*. Во время процедуры периметрии пациент рассматривает экран, на котором появляются световые точки разной интенсивности. Задача пациента — сигнализировать о восприятии каждой точки путем нажатия на специальную кнопку.

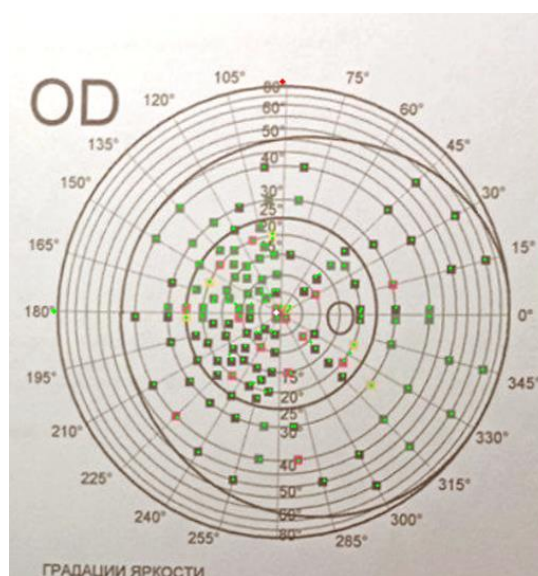
Таким образом, врач получает карту чувствительности зрительной системы и может оценить состояние периферического и центрального зрения.

Принцип проведения взгляда основан на взаимодействии глаза с проекционным светом, излучаемым диодом сзади. Фиксация на объекте может осуществляться с применением одной из двух техник. Первая — методика Хейджил-Кракау. Этот подход основан на определении положения слепого пятна путем случайной стимуляции одной из 11 точек, принадлежащих этой области. У здоровых людей также имеется слепое пятно, но его границы могут быть искажены различными заболеваниями глаз.

Каждый прибор содержит тестовые области с разным числом точек для определения поля зрения, которое отображается на картограмме. После обработки ряда снимков создается и направляется база данных. [Название базы данных: Dataset of the fields of view of the human eye.]. У каждого снимка имеются результаты компьютерной обработки каждого отдельного глаза, графиков насыщенности и табличной формы каждого снимка. При расширении датасета возможно создать прототип классификатора для определения диагноза пациента [Sajib Saha, Janardhan Vignarajan, 2014].

Для реализации задачи создания отечественного ПО рассмотрены следующие способы.

Методы обработки изображений, основанные на ИИ, которые использовались для анализа изображений сетчатки и выявления изменений, связанных с глаукомой. В настоящий момент алгоритмы машинного обучения, такие как случайные леса и градиентный бустинг, рассматриваются, но не могут использоваться для анализа данных периметрии и прогнозирования риска развития глаукомы у пациентов, как и нейронные сети, в виду небольшого датасета, что способствует недостаточному обучению и получению некачественных результатов.



**Рис. 1. Пример снимка-картограммы правого глаза (*od*) пациента с нарушениями зрения (график взят из сформированного датасета)**

Повышение точности диагностики. Использование ИИ позволяет улучшить точность диагностики глаукомы путем обнаружения и анализа более тонких и сложных паттернов в данных периметрии. Машинное обучение и нейронные сети могут выделить скрытые связи между различными факторами, что помогает врачу принять более обоснованные решения и предложить оптимальное лечение для пациента [Shaoqing He, 2018].

Рассматривая зависимость возникновения заболевания и возраста пациентов, можно увидеть, что в детском возрасте возникновение глаукомы в основном связано с анатомическими аномалиями развития угла передней камеры глаза.

В нашем исследовании рассматривался датасет среднего (от 30 до 60 лет) и пожилого (от 60 лет и старше) возраста.

Для среднего возраста характерна первичная открытоугольная глаукома, выражающаяся в постепенном повышении внутриглазного давления из-за нарушения оттока внутриглазной жидкости. В пожилом возрасте часто встречается закрытоугольная глаукома из-за анатомических особенностей глаза. Риск развития глаукомы значительно повышается после 70 лет.

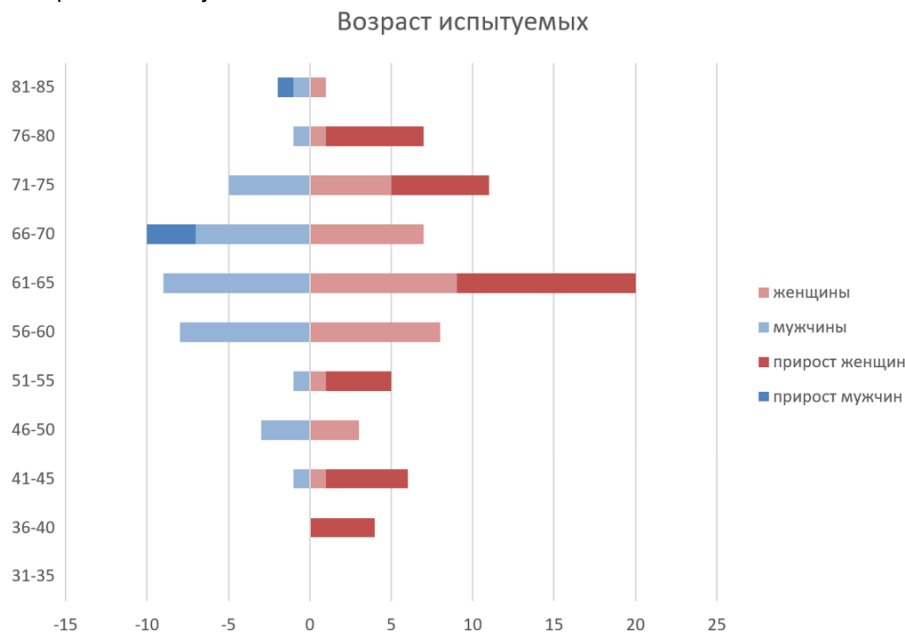


Рис. 2. Возрастные рамки пациентов, обследованных при помощи периметрии)

пациентов, проходивших обследование в полученном датасете, составляет 60 лет. Данные обусловлены тем, что по статистике развитие глаукомы начинается в 40–45 лет, при этом иногда обнаружить заболевание можно только в пожилом возрасте на более поздней стадии. Риск развития глаукомы увеличивается с возрастом и достигает 10% после 70 лет.

Рассматривая результаты обследования, на основе полученных диагнозов можно заключить, что наибольшее число пациентов страдают катарактой и глаукомой, а наименьшее — псевдофакией обоих глаз. Псевдофакия обозначает, что пациент теперь имеет искусственный хрусталик и не нуждается в натуральном хрусталике, который ранее терял прозрачность (рисунок 3). Каждому диагнозу присвоена условная цифра для лучшей визуализации выборки.

Из-за катаракты в глазах могут появляться мутные круги, а изображение может быть размытым или нечетким, как если бы человек смотрел сквозь запотевшую стеклянную линзу. В большинстве случаев это заболевание развивается постепенно из-за физиологических изменений в глазах, но иногда оно может возникнуть внезапно в детском возрасте. Зрение может ухудшиться настолько, что полностью пропадает способность человека видеть. Псевдофакия обусловлена отсутствием концентрации взгляда пациента на объектах и характерна для людей в пожилом возрасте.

На рисунке 2 можно увидеть, что самой распространенной группой пациентов являлись женщины в возрасте от 61 до 65 лет. При этом самому молодому пациенту в выборке 36 лет.

На рисунке 2 видно, что большинство пациентов, проходивших обследование, были женщинами. Наибольшее число мужчин наблюдается в выборке от 66 до 70 лет. Здоровых пациентов в датасете нет.

На рисунке 2 видно, что самый большой возраст па-

циентов, проходивших обследование в полученном датасете, составляет 60 лет. Данные обусловлены

тем, что по статистике развитие глаукомы начинается в 40–45 лет, при этом иногда обнаружить заболевание

можно только в пожилом возрасте на более поздней стадии. Риск развития глаукомы увеличивается с

возрастом и достигает 10% после 70 лет.

Рассматривая результаты обследования, на основе полученных диагнозов можно заключить, что

наибольшее число пациентов страдают катарактой и глаукомой, а наименьшее — псевдофакией

обоих глаз. Псевдофакия обозначает, что пациент теперь имеет искусственный хрусталик и не

нуждается в натуральном хрусталике, который ранее терял прозрачность (рисунок 3). Каждому

диагнозу присвоена условная цифра для лучшей визуализации выборки.

Из-за катаракты в глазах могут появляться мутные круги, а изображение может быть размытым

или нечетким, как если бы человек смотрел сквозь запотевшую стеклянную линзу. В большинстве

случаев это заболевание развивается постепенно из-за физиологических изменений в глазах, но

иногда оно может возникнуть внезапно в детском возрасте. Зрение может ухудшиться настолько,

что полностью пропадает способность человека видеть. Псевдофакия обусловлена отсутствием

концентрации взгляда пациента на объектах и характерна для людей в пожилом возрасте.

Цифра диагноза

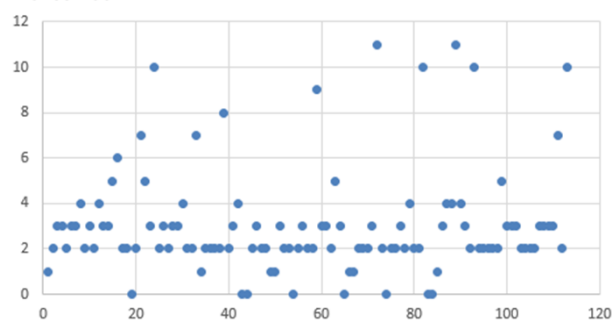


Рис. 3. Диагнозы пациентов на снимках-картограммах, полученные после обследования

Нарушение периферических границ поля зрения ведет к возникновению скотом, которые обозначаются на снимке разными цветами. Во время процедуры периметрии для возбуждения зрительного анализатора пациенту визуально подаются стимулы, которые он может не увидеть. Именно наличие или отсутствие восприятия стимулов ведут к образованию скотом. Наличие скотом и их количество говорит о степени развития глаукомы. При анализе изображений был создан график насыщенности и оттенка точек на снимке, так как цветопередача очень важна. На рисунках 4 и 5 представлен график цветопередачи точек на снимке, а также пример снимка в цифровом формате.

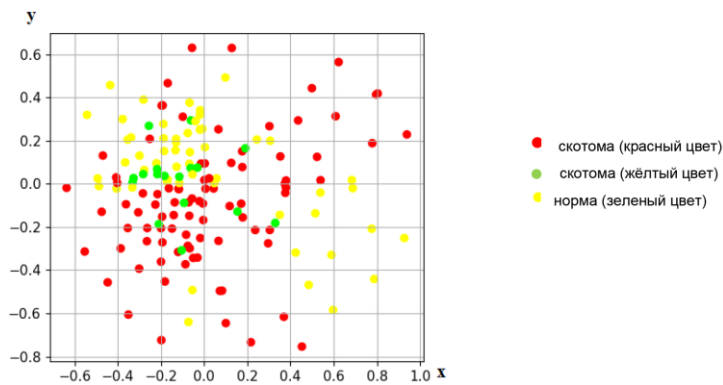


Рис. 4. Пример компьютерной обработки точек на снимке (по оси x оттенок, по оси y насыщенность, цифрами обозначены углы точек)

### Заключение

В современной ситуации отечественные базы данных и программное обеспечение играют важную роль в области офтальмологии в России. Поскольку глаукома является неизлечимым заболеванием, наличие баз данных помогает осуществлять контроль за его прогрессированием. В будущем исследования должны быть направлены на разработку более точных и надежных методов искусственного интеллекта, а также на интеграцию ИИ в клиническую практику, например, через создание программного обеспечения для автоматического анализа медицинских изображений. В контексте исследования глаукомы важно рассмотреть возможность обучения нейронных сетей на более обширном объеме данных, учитывая скотомы и нарушения границ поля зрения.

Необходимо решить задачу построения классификатора и дальнейшего обучения дополненного датасета. На данном этапе работы сформирована концепция анализа периметрических изображений. При пробном обучении нейронной сети сделан вывод о недостаточности набора данных и необходимости их дополнения. Планируется реализация и тестирование улучшенного датасета в нейронной сети YOLO. Обучение модели поможет определять патологии на снимках. Нейронная сеть YOLO изменяет исходное изображение, чтобы преобразовать его в квадратную матрицу размером 13 на 13 [Weinreb, 2014].

В каждой ячейке этой матрицы содержится информация о наличии объекта и его классе на соответствующей части изображения. Это позволяет провести анализ изображения один раз, значительно увеличивая скорость обработки. В контексте обследования дифференциальной световой чувствительности зрительного анализатора данное решение позволяет ускорить процесс получения результатов обследования, что в свою очередь может сократить время приема у офтальмолога. Поэтому следующим этапом работы является создание и обучение качественной модели для получения на выходе ответа, отражает ли данный снимок норму или нет.

Важным аспектом использования периметра и анализа снимков-картограмм является возможность проведения долгосрочного мониторинга пациентов. Это позволяет отслеживать динамику изменений состояния заболевания, оценивать эффективность лечения и корректировать терапию при необходимости. Благодаря этому врачи могут предотвращать осложнения, связанные с заболеванием, и повышать качество жизни пациентов.

### Благодарности

Данное исследование выполнено в рамках государственного задания в сфере научной деятельности Минобрнауки России на тему "Модели, методы и алгоритмы искусственного интеллекта в задачах экономики для анализа и стилизации и многомерных данных, прогнозирования временных рядов и проектирования рекомендательных систем, номер проекта FSSW-2023-0004.

### Литература

1. Сомов Э. Э. Клиническая анатомия органов зрения человека. – М. // МЕДпресс-информ, 2016. С.65 – 69.

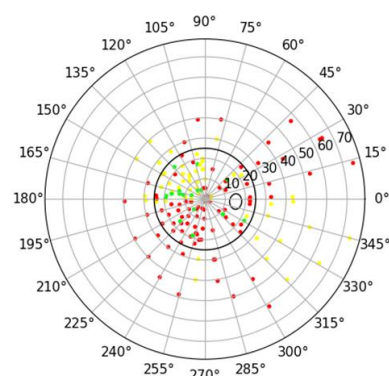


Рис. 5. Пример компьютерной визуализации снимка-картограммы правого глаза (od) пациента с нарушениями зрения

2. Симакова И. Л., Сухинин М. В. Сравнительный анализ эффективности некоторых методов компьютерной периметрии в диагностике глаукомы // «Глаукома: теория и практика»: сборник научных трудов конференции. 2012. № 7. С. 198 – 203.
3. Shaoqing He. Targets of Neuroprotection in Glaucoma // Journal of Ocular Pharmacology and Therapeutics. 2018. URL: <https://www.liebertpub.com/doi/10.1089/jop.2017.0041> (data obrashcheniya 16.07.2024)
4. Sajib Saha, Janardhan Vignarajan. A fast and fully automated system for glaucoma detection using color fundus photographs // Scientific Reports Journal. 2023. URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-023-44473-0> (data obrashcheniya 16.07.2024)
5. Weinreb R. N. The pathophysiology and treatment of glaucoma: a review // JAMA Network. 2014. URL: <https://jamanetwork.com/journals/jama/fullarticle/1869215> (data obrashcheniya 16.07.2024)

#### Дополнительные источники

1. Федеральный институт промышленной собственности/ Государственная регистрация базы данных, охраняемой авторскими правами/ Название базы данных: Dataset of the fields of view of the human eye. URL: <https://new.fips.ru/publication-web/publications/document?type=doc&tab=PrEVM&id=BD921FB9-E43E-4D5B-B742-394D90246613> (дата обращения 01.08.2024)

#### References in Cyrillics

1. Somov E. E. Clinical anatomy of the human visual organs. – М. // MEDpress-inform, 2016. S.65 – 69.
2. Simakova, I. L., Sukhinin M.V. Comparative analysis of the effectiveness of some methods of computer perimetry in the diagnosis of glaucoma // "Glaucoma: theory and practice": collection of scientific papers of the conference. 2012. No. 7. S. 198 – 203.

#### Ключевые слова:

периметрия, слепое пятно, искусственный интеллект

*Медведева Анастасия Игоревна,  
научный сотрудник учебно-научной лаборатории искусственного интеллекта,  
нейротехнологий и бизнес-аналитики РЭУ им. Г.В. Плеханова  
ORCID: 0009-0008-7583-7565,  
[Medvedeva.AI@rea.ru](mailto:Medvedeva.AI@rea.ru)*

*Жуков Тимур Алекперович,  
лаборант-исследователь учебно-научной лаборатории искусственного интеллекта,  
нейротехнологий и бизнес - аналитики РЭУ им. Г.В. Плеханова  
ORCID: 0000-0002-0600-2037,  
[ZHukov.TA@rea.ru](mailto:ZHukov.TA@rea.ru)*

**Anastasia Medvedeva, Timur Zhukov, The use of artificial intelligence methods in analyzing the results of patient perimetry and diagnosis of glaucoma**

#### Keywords:

Glaucoma, perimetry, blind spot, artificial intelligence

DOI: 10.34706/DE-2024-04-08

JEL classification: C02 – C4 Эконометрические и статистические методы: специальные темы; C45 Нейронные сети и смежные темы

#### Abstract

Sensory activity of the brain is a necessary component of mental and physiological processes related to the perception of information and the occurrence of various diseases, including those related to the violation of peripheral boundaries of the visual field, retinal detachment, etc. with the eyes. This article considers the issue of creating a domestic analog of perimeter for ophthalmologic diagnostics of visual fields. Since glaucoma progresses without causing symptoms until the disease reaches the stage of severe nerve damage. To slow down the progression of the disease, early intervention and monitoring of the course of the disease is necessary. That is why we decided to study the possibility of using methods of graphical processing of perimetric images with further possibility of training a neural network.