

## Оценка эффективности алгоритма поддержки принятия решения врачом при дистрофии сетчатки с использованием методов машинного обучения

А.Е. Жданов<sup>1,2</sup>, А.Ю. Долганов<sup>1</sup>, Д. Занка<sup>2</sup>, В.И. Борисов<sup>1</sup>, Е. Лучиан<sup>3</sup>, Л.Г. Доросинский<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Институт радиоэлектроники и информационных технологий-РТФ, 620078, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 32;

<sup>2</sup> Университет Эрлангена-Нюрнберга, Лаборатория машинного обучения и анализа данных, 91052, Федеративная Республика Германия, г. Эрланген, Carl-Thiersch-Straße, 2b;

<sup>3</sup> Политехнический университет Бухареста, Электротехнический факультет, 060042, Румыния, г. Бухарест, Splaiul Independenței, 313

### Аннотация

Электроретинография является перспективным методом электрофизиологического тестирования, позволяющего диагностировать заболевания, связанные с нарушениями сосудистых структур сетчатки зрительного анализатора. Классический анализ электроретинограммы строится на оценке 4 параметров в амплитудно-временном представлении и часто нуждается в конкретизации с использованием альтернативных методов диагностики. В настоящем исследовании предлагается использование оригинального алгоритма поддержки принятия решения врачом для диагностирования дистрофии сетчатки. Алгоритм построен на базе методов машинного обучения и использует параметры, извлеченные из вейвлет-скалограммы педиатрических и взрослых сигналов электроретинограмм. Также в исследовании используется размеченная база данных педиатрических и взрослых сигналов электроретинограмм, записанная с помощью компьютеризированной электрофизиологической рабочей станции EP-1000 (Tomey GmbH) в Екатеринбургском центре МНТК «Микрохирургия глаза». Научная новизна настоящего исследования заключается в разработке специального алгоритмического обеспечения для анализа процедуры извлечения параметров из вейвлет-скалограммы сигнала электроретинограммы с использованием функции *swt* библиотеки *PyWT*, где в качестве базисной функции был выбран вейвлет Гаусса 8-го порядка. Также научная новизна заключается в разработке алгоритма анализа сигналов электроретинограмм, который в сравнении с классическим анализом реализует классификацию взрослых сигналов электроретинограммы на 19% точнее, а педиатрических сигналов на 20% точнее, чем классический анализ.

**Ключевые слова:** электроретинография, электроретинограмма, ЭРГ, электрофизиологическое исследование, ЭФИ, дистрофия сетчатки, вейвлет-анализ, вейвлет-скалограмма, деревья решений, алгоритм поддержки принятия решения.

**Цитирование:** Жданов, А.Е. Оценка эффективности алгоритма поддержки принятия решения врачом при дистрофии сетчатки с использованием методов машинного обучения / А.Е. Жданов, А.Ю. Долганов, Д. Занка, В.И. Борисов, Е. Лучиан, Л.Г. Доросинский // Компьютерная оптика. – 2023. – Т. 47, № 2. – С. 272-277. – DOI: 10.18287/2412-6179-CO-1124.

**Citation:** Zhdanov AE, Dolganov AY, Zanca D, Borisov VI, Lucian E, Dorosinskiy LG. Evaluation of the effectiveness of the decision support algorithm for physicians in retinal dystrophy using machine learning methods. *Computer Optics* 2023; 47(2): 272-277. DOI: 10.18287/2412-6179-CO-1124.

### Введение

Проблема сохранения зрительных функций является чрезвычайно актуальной во всем мире. Например, по оценкам Всемирной организации здравоохранения, в мире около 1,3 миллиарда человек живут с той или иной формой нарушения рефракции [1]. В связи с ростом численности и популяционным старением населения неминуемо будет возрастать риск того, что нарушения зрительных функций будут развиваться у все большего числа людей [2]. Медицинская статистика за последние 10 лет показала, что заболевания, сопровождающиеся нарушениями сосудистых структур сетчатки зрительного анализатора, входят в

первую тройку болезней, ответственных за снижение зрения и слепоту у пациентов, чей возраст превышает 50–55 лет.

Одним из информативных методов диагностики гетерогенных заболеваний, связанных с нарушениями сосудистых структур сетчатки, является электроретинография. Электроретинография представляет собой метод электрофизиологического тестирования, при котором регистрируется электрический отклик сетчатки при её стимуляции коротким стимулом света или изменением пространственной организации яркости (паттернами) [3]. В отличие от хорошо изученных сигналов электрокардиограммы, представляющих собой продолжающуюся активность миокарда,

для снятия электроретинограммы необходимо стимулировать сетчатку светом, чтобы вызвать синхронизированную активность ретинальных клеток, ведущую, таким образом, к генерации ответа электроретинограммы [4].

Известно большое число работ, авторы которых предпринимали попытки реализации алгоритмов анализа сигналов электроретинограмм с использованием:

- 1) дискретного вейвлет-преобразования для извлечения компонент электроретинограммы, что расширяет стандартизованный анализ функции сетчатки во временной области [5];
- 2) функций эксцентриситета для интерпретации данных конкретных нейронных функций, способствующих электрогенерации клеточных структур [6];
- 3) биоэлектрической модели потенциалов электроретинограммы для картирования активности сетчатки [7].

Следует отметить работу Ш. Варадхараджан [8], в которой описана возможность диагностирования мышечной дистрофии Дюшенна с помощью дискретного вейвлет-преобразования сигналов электроретинограмм с материнским вейвлетом Добеши четвертого порядка. Также следует отметить работу Мэтью Говена [9], в которой был применен вейвлет-анализ сигналов электроретинограммы для диагностики глаукомы. Материнским вейвлетом был выбран вейвлет Морле. У группы больных диагностирована хроническая открытоугольная глаукома, а в качестве контрольной группы рассмотрены здоровые пациенты. Глаукоматозные участки выявлялись с высокой чувствительностью (0,894). Значение специфичности (0,844) подтвердило точность обнаружения здоровых областей на сигнале электроретинограммы.

Научная новизна настоящего исследования заключается в разработке специального алгоритмического обеспечения для анализа процедуры извлечения параметров из вейвлет-скалограммы сигнала электроретинограммы с использованием функции *cwt* библиотеки PyWT, где в качестве базисной функции был выбран вейвлет Гаусса 8-го порядка. Также научная новизна заключается в разработке алгоритма анализа сигналов электроретинограмм, который в сравнении с классическим анализом реализует классификацию взрослых сигналов электроретинограммы на 19% точнее, а педиатрических сигналов на 20% точнее, чем классический анализ.

### 1. Материалы и методы

В исследовании была использована база данных сигналов электроретинограмм, включающая в себя пять протоколов взрослых и педиатрических сигналов электроретинограмм [10]: Scotopic 2.0 ERG Response (53 педиатрических сигнала, 23 взрослых сигнала), Maximum 2.0 ERG Response (80 педиатрических сигналов, 42 взрослых сигнала), Photopic 2.0

ERG Response (74 педиатрических сигнала, 32 взрослых сигнала), Photopic 2.0 EGR Flicker Response (63 педиатрических сигнала, 38 взрослых сигналов), а также Scotopic 2.0 ERG Oscillatory Potentials (20 сигналов). Электрофизиологические исследования проводились в Екатеринбургском центре МНТК «Микрохирургия глаза». Регистрация сигналов электроретинограмм производилась с помощью компьютеризированной электрофизиологической рабочей станции EP-1000 производства Tomey GmbH.

Классический анализ сигнала электроретинограммы строится на оценке амплитуды  $a$ ,  $b$  и латентности  $l_a$ ,  $l_b$  а- и b-волны (верхняя часть рис. 1). Для формирования алгоритма были определены дополнительные параметры, извлекаемые из каждого сегмента вейвлет-скалограммы сигнала (нижняя часть рис. 1), обозначенного цифрами от 1 до 6. Вейвлет-скалограмма получена с использованием функции *cwt* библиотеки PyWT, где в качестве базисной функции был выбран вейвлет Гаусса 8-го порядка.

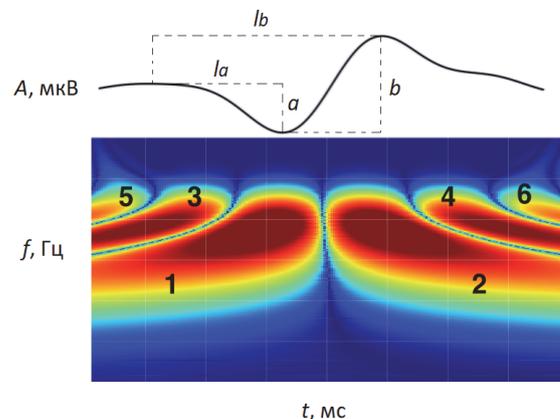


Рис. 1. Амплитудно-временное и частотно-временное представление сигнала электроретинограммы

В табл. 1 приведено описание параметров, извлеченных из вейвлет-скалограммы с использованием функции *connectedComponents* из библиотеки OpenCV. Для получения связанных компонент сигнала была выполнена следующая обработка вейвлет-скалограммы:

- 1) перевод значений скалограммы в формат 8-битной кодировки (диапазон значений от 0 до 255);
- 2) бинаризация изображения с помощью метода Оцу [11];
- 3) эрозия изображения с ядром 3 на 3 пикселя для удаления локальных артефактов, связанных с цифровой обработкой сигналов, что позволяет удалить пиксели на границах сегментов;
- 4) определение связанных компонент вейвлет-скалограммы с использованием функции *connectedComponents* из библиотеки OpenCV [12].

Математический смысл связанных компонент – это набор чисел *Markers*, который имеет размер изображения и несет информацию о принадлежности каждой точки вейвлет-скалограммы конкретному сегменту.

Табл. 1. Описание параметров, извлеченных из вейвлет-скалограммы сигнала электроретинограммы

Наименование	Описание
Максимальная яркость сегмента $B_{max}$	Оценка амплитуды сегмента $S_n$ сигнала в выделенной частотной и временной областях (рис. 2б).
Частота и время максимальной области сегмента $f_{max}, t_{max}$	Оценка частотно-временных координат максимальной области сегмента $S_n$ (рис. 2в), где амплитуда составляет 90–100% от максимального значения амплитуды.
Медианное и среднее значение яркости сегмента $A_{median}, A_{mean}$	Оценка распределения яркости и равномерности распределения яркости по всей площади сегмента $S_n$ (рис. 2д).
Крайние значения частоты и времени сегмента $t_1, t_2, f_1, f_2$	Оценка пространственного расположения сегмента $S_n$ (рис. 2е).

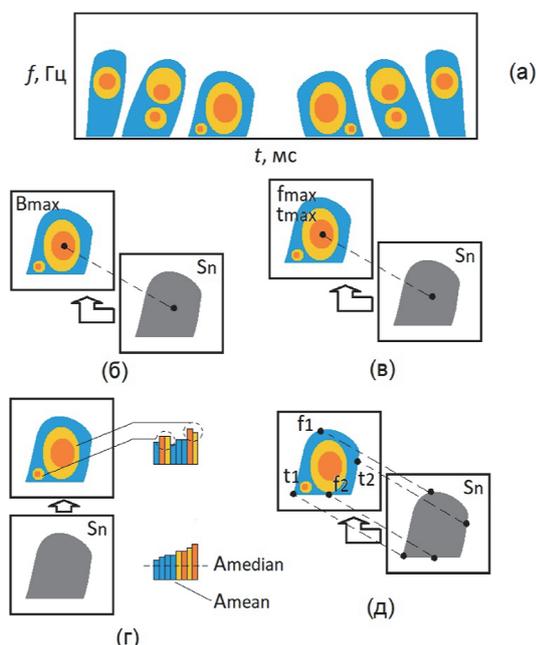


Рис. 2. Схема извлечения параметров из вейвлет-скалограммы сигнала электроретинограммы: (а) схематичное изображение вейвлет-скалограммы, состоящее из 6 сегментов; (б) максимальная яркость сегмента; (в) частота и время максимальной области сегмента; (г) медианное и среднее значение яркости сегмента; (д) крайние значения частоты и времени сегмента

В этом исследовании в качестве метода машинного обучения выбраны деревья решений (ДР) для классификации. Отличительной особенностью данного метода является возможность построения нелинейных границ принятия решений и поиск информативных параметров [15]. В работе все используемые признаки – численные, при этом решалась задача бинарной классификации (здоровые и пациенты с патологией). Основные элементы ДР решений – узлы принятия решений и листья. На каждом узле ДР происходит поиск среди всех имеющихся параметров такого, который разделяет имеющую выборку по

классам исходя из выбранной метрики. При этом для каждого параметра также подбирается свой порог. Отбор происходит последовательно до тех пор, пока все данные не будут разделены или дальнейшее разделение не обеспечивает экстремум выбранного функционала качества, чем то, что получено на предыдущем этапе. Также ДР имеют возможность оценить полезность или значимость отдельных признаков (feature importance) в итоговое решение по классификации.

В проведенных исследованиях в качестве реализации методов ДР использовалась библиотека scikit-learn [16]. Визуализация ДР была выполнена с использованием библиотеки dtreeviz. В качестве метрики разделения классов использовалась метрика Джини (Gini Impurity). Гиперпараметры ДР (глубина деревьев, количество субъектов на узле) определялись исходя из результатов  $k$ -fold кросс-валидации. Отметим, что при использовании энтропии результаты разбиения подобны результатам с использованием коэффициента Джини, что является корректным ввиду относительно небольшого размера выборки.

Для определения метрик алгоритмов была реализована  $k$ -fold кросс-валидация.  $k$ -fold кросс-валидация – это разновидность процедуры эмпирического оценивания обобщающей способности алгоритмов.  $k$ -fold кросс-валидация была выполнена следующим образом:

1. Обучающая выборка разбивается на  $k$  непересекающихся одинаковых по объему частей.
2. Производится  $k$  итераций. На каждой итерации происходит следующее:
  - модель обучается на  $k - 1$  части обучающей выборки;
  - модель тестируется на части обучающей выборки, которая не участвовала в обучении.

Каждая из  $k$  частей единожды используется для тестирования. В данном случае  $k = 5$ . Для реализации  $k$ -fold кросс-валидации была использована функция StratifiedKFold, чтобы гарантировать, что каждая часть обучающей выборки сохраняла равные доли для каждого класса. Количество сплитов было установлено на 5.

## 2. Результаты

Разработанный алгоритм поддержки принятия решения врачом для диагностирования дистрофии сетчатки предназначен для анализа сигналов электроретинограмм с использованием методов машинного обучения. Необходимо оценить эффективность алгоритма, использующего данные, извлеченные из вейвлет-скалограммы, и классический анализ сигналов электроретинограмм. В качестве метода машинного обучения был выбран метод деревьев решений. Причиной выбора метода является возможность определения значимых признаков для решения задачи классификации сигналов по набору параметров.

На рис. 3, 4, 5 представлены обученные деревья решений на соответствующих наборах данных (классический, расширенный, комбинированный). Представлены все узлы принятий решений, гистограммы параметров, с цветовым кодированием классов, пороги принятия решений для каждого параметра и статистика о распределении классов на листах.

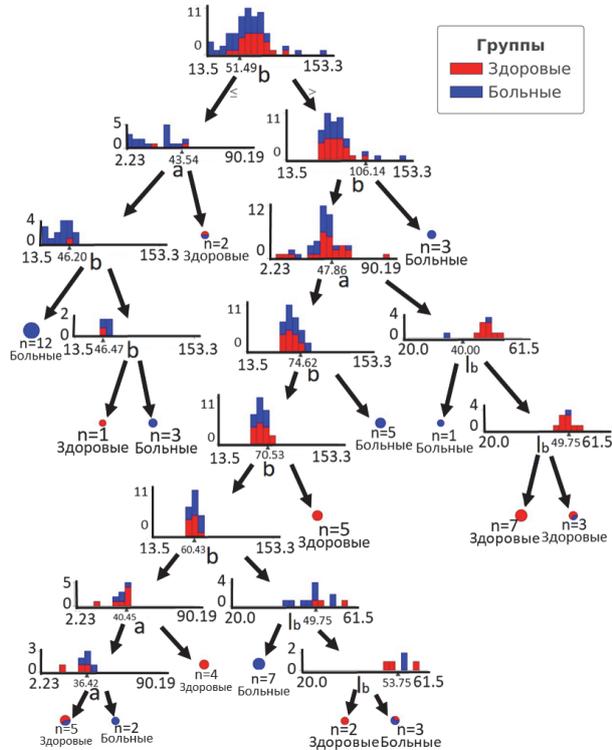


Рис. 3. Алгоритм классического анализа взрослых сигналов электроретинограмм

На рис. 3 приведен алгоритм классического анализа взрослых сигналов электроретинограмм, оценивающий сигнал по параметрам амплитуды и латентности а- и б-волн. Алгоритм реализует классификацию сигналов на «здоровые» и «больные» в 5 этапов. Рассчитанные метрики для оценки эффективности алгоритма находятся в диапазоне от 0,52 до 0,66 и приведены в табл. 2, где «в» – взрослый сигнал, а «п» – педиатрический сигнал.

Табл. 2. Метрики эффективности алгоритмов анализа сигналов электроретинограмм

Метрика		Классический	Расширенный	Комбинированный
Accuracy	в	0,52	0,71	0,71
	п	0,40	0,60	0,60
F1	в	0,59	0,80	0,80
	п	0,46	0,65	0,61
Precision	в	0,56	0,79	0,79
	п	0,50	0,69	0,72
Recall	в	0,66	0,81	0,81
	п	0,43	0,61	0,58

На рис. 4 приведен разработанный алгоритм анализа взрослых сигналов электроретинограмм, оценивающий сигнал по параметрам, извлеченным из сегментов № 1–4 вейвлет-скалограммы, где номер сегмента указывается после обозначения параметра в скобках. Алгоритм реализует классификацию сигналов на «здоровые» и «больные» в 4 этапа. Рассчитанные метрики для оценки эффективности алгоритма приведены в табл. 2 и находятся в диапазоне от 0,71 до 0,81.

Комбинируя классический анализ и анализ, оценивающий сигнал по параметрам, извлеченным из сегментов № 1–4 вейвлет-скалограммы сигнала электроретинограммы, дерево решений показывает, что диагностическая польза от использования классических параметров отсутствует. Таким образом, комбинированный алгоритм идентичен алгоритму на рис. 4.

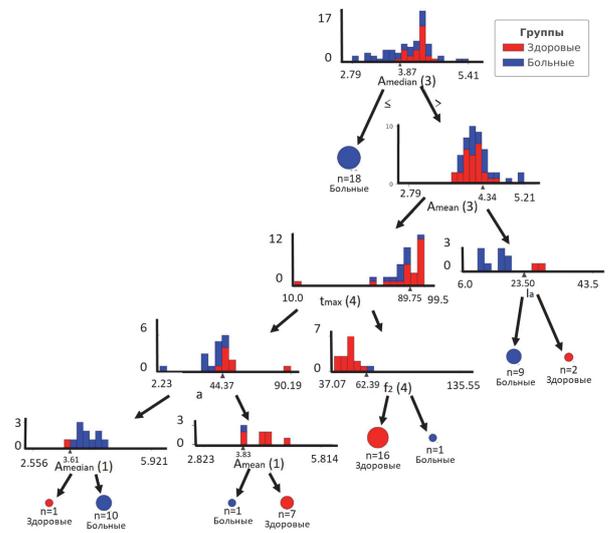


Рис. 4. Алгоритм анализа взрослых сигналов электроретинограмм, оценивающий сигнал по параметрам, извлеченным из сегментов № 1–4 вейвлет-скалограммы

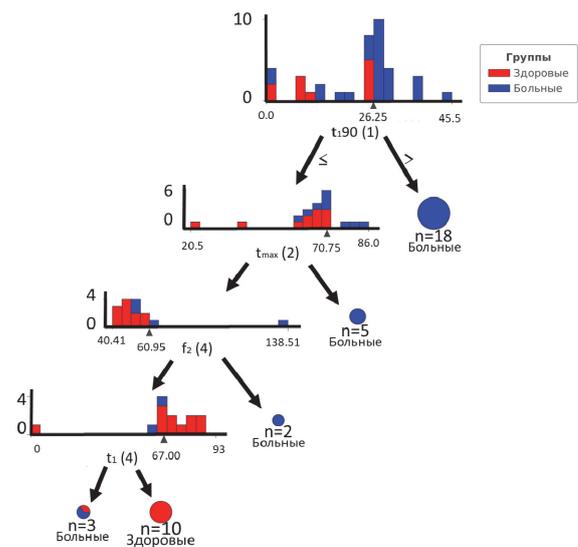


Рис. 5. Комбинированный алгоритм анализа педиатрических сигналов электроретинограмм

В случае с анализом педиатрических сигналов электроретинограмм комбинированный алгоритм включает в себя 3 из 4 классических параметров и реализует классификацию сигналов на «здоровые» и «с патологиями» в 5 этапов, что показано на рис. 5. Рассчитанные метрики для оценки эффективности алгоритма также приведены в табл. 2.

Представленные в табл. 2 метрики алгоритмов анализа взрослых (педиатрических) сигналов электроретинограмм демонстрируют превосходство алгоритмов расширенного анализа над классическим анализом на 24,5 (7,75)% для расширенного и на 26 (9,75)% для комбинированного алгоритма. Таким образом, предлагаемый алгоритм анализа взрослых (педиатрических) сигналов электроретинограмм реализует классификацию сигналов, представленных в используемой базе данных, на 26 (9,75)% эффективнее, чем классический анализ сигналов электроретинограмм.

В алгоритмах, представленных на рис. 4 и рис. 5, для каждого набора данных оценивалась отдельно полезность каждого параметра для классификации. Для эффективной классификации сигналов использовались только сегменты вейвлет-скалограммы № 1–4, так как параметры данных сегментов подходят лучше, чем прочие.

### Заключение

Современное состояние исследований по проблеме диагностики заболеваний, сопровождающихся нарушениями сосудистых структур сетчатки, в частности, дистрофии сетчатки, заключается в отсутствии методик расширенного анализа электрофизиологических сигналов. Существующая научно-техническая база позволяет решить данную проблему за счет разработки новых высокотехнологичных методов расширенного (комплексного) анализа офтальмологических электрофизиологических сигналов и эффективного использования существующих мировых разработок в этой области с использованием методов машинного обучения.

В настоящем исследовании произведена оценка эффективности алгоритмов поддержки принятия решения врачом для диагностирования дистрофии сетчатки. Предложенный алгоритм реализует классификацию взрослых сигналов электроретинограмм на 19% точнее и педиатрических сигналов на 20% точнее, чем классический анализ.

Следует отметить, что метрики эффективности классического алгоритма ожидаемо невысоки, так как в амбулаторной практике электроретинография выполняется в совокупности с другими методами диагностики и позволяет оценить функциональное состояние сетчатки.

### Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования

Российской Федерации в рамках Программы развития Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина в соответствии с программой стратегического академического лидерства «Приоритет-2030».

### References

- [1] Gonzales-Turín JM, et al. Relationship between self-reported visual impairment and worsening frailty transition states in older people: a longitudinal study. *Aging Clin Exp Res* 2021; 33(9): 2491-2498. DOI: 10.1007/s40520-020-01768-w.
- [2] Iodice F, Cassano V, Rossini PM. Direct and indirect neurological, cognitive, and behavioral effects of COVID-19 on the healthy elderly, mild-cognitive-impairment, and Alzheimer's disease populations. *Neurol Sci* 2021; 42(2): 455-465. DOI: 10.1007/s10072-020-04902-8.
- [3] Van Schijndel NH, et al. The inverse problem in electroretinography: a study based on skin potentials and a realistic geometry model. *IEEE. Trans Biomed Eng* 1997; 44(2): 209-211. DOI: 10.1109/TBME.2021.3075617.
- [4] Jonnal RS. Toward a clinical optoretinogram: a review of noninvasive, optical tests of retinal neural function. *Ann Transl Med* 2021; 9(15): 1270. DOI: 10.21037/atm-20-6440.
- [5] Gauvin M, Little JM, Lina JM, Lachapelle P. Functional decomposition of the human ERG based on the discrete wavelet transform. *Journal of vision* 2015; 15(16): 14-14. DOI: 10.1167/15.16.14.
- [6] Gauvin M, et al. Functional decomposition of the human ERG based on the discrete wavelet transform. *J Vis* 2015; 15(16): 14. DOI: 10.1167/15.16.14.
- [7] Schröder P, et al. A minimal-model approach to analyze neuronal circuit dynamics from multifocal ERG (mERG). 2019 41st Annual Int Conf of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC) 2019: 2955-2958. DOI: 10.1109/EMBC.2019.8856840.
- [8] Varadharajan S, Fitzgerald K, Lakshminarayanan V. Wavelet analysis of ERG of patients with Duchenne Muscular Dystrophy. *Vision Science and its Application, OSA Technical Digest* 2000: 65-68.
- [9] Gauvin M, Lina JM, Lachapelle P. Advance in ERG analysis: from peak time and amplitude to frequency, power, and energy. *BioMed Res Int* 2014; 2014: 246096. DOI: 10.1155/2014/246096.
- [10] Zhdanov AE, et al. OculusGraphy: Norms for electroretinogram signals. 2021 IEEE 22nd Int Conf of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM) 2021: 399-402. DOI: 10.1109/EDM52169.2021.9507597.
- [11] Otsu N. A threshold selection method from gray-level histograms. *IEEE Trans Syst Man Cybern* 1979; 9(1): 62-66. DOI: 10.1109/TSMC.1979.4310076.
- [12] Abbasi H, et al. 2D wavelet scalogram training of deep convolutional neural network for automatic identification of micro-scale sharp wave biomarkers in the hypoxic-ischemic EEG of preterm sheep. 2019 41st Annual Int Conf of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC) 2019: 1825-1828. DOI: 10.1109/EMBC.2019.8857665.
- [13] Shamshinova AM, Volkov VV. Functional methods of research in ophthalmology. Publishing House Medicine; 2004.
- [14] McCulloch DL, et al. ISCEV Standard for full-field clinical electroretinography (2015 update). *Doc Ophthalmol* 2015; 130(1): 1-12. DOI: 10.1007/s10633-014-9473-7.

[15] Lior R. Data mining with decision trees: theory and applications. World Scientific; 2014.

[16] Pedregosa F, et al. Scikit-learn: Machine learning in Python. J Mach Learn Res 2011; 12: 2825-2830.

### Сведения об авторах

**Жданов Алексей Евгеньевич**, инженер-исследователь института радиоэлектроники и информационных технологий (ИРИТ-РТФ) ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (УрФУ), докторант лаборатории машинного обучения и анализа данных университета Эрлангена-Нюрнберга, секретарь международного инженерного общества IEEE в области медицины и биологии EMBS Россия-Сибирь. Область научных интересов: обработка и анализ биомедицинских сигналов, медицинская техника.  
E-mail: [a.e.zhdanov@urfu.ru](mailto:a.e.zhdanov@urfu.ru).

**Долганов Антон Юрьевич**, к.т.н., доцент ИРИТ-РТФ УрФУ, заместитель председателя международного инженерного общества IEEE в области медицины и биологии EMBS Россия-Сибирь. Область научных интересов: обработка и анализ биомедицинских сигналов, медицинская техника, машинное обучение и искусственный интеллект. E-mail: [anton.dolganov@urfu.ru](mailto:anton.dolganov@urfu.ru).

**Занка Дарио**, Ph.D. in Smart Computing, руководитель группы прикладного машинного обучения в лаборатории машинного обучения и анализа данных университета Эрлангена-Нюрнберга. В 2020 году он получил награду на «Premio Marco Cadoli» за лучшую докторскую диссертацию в области искусственного интеллекта. Область научных интересов: машинное обучение, искусственный интеллект, биомедицинская инженерия.  
E-mail: [dario.zanca@fau.de](mailto:dario.zanca@fau.de).

**Борисов Василий Ильич**, к.т.н., доцент и руководитель проектов ИРИТ-РТФ УрФУ, председатель международного инженерного общества IEEE в области медицины и биологии EMBS Россия-Сибирь. Область научных интересов: обработка и анализ биомедицинских сигналов, медицинская техника, машинное обучение и искусственный интеллект. E-mail: [v.i.borisov@urfu.ru](mailto:v.i.borisov@urfu.ru).

**Лучиан Евдочим**, аспирант электротехнического факультета политехнического университета Бухареста. Окончил магистратуру политехнического университета Бухареста по специальности «Компьютерные науки» в 2020 году. Область научных интересов: обработка и анализ биомедицинских сигналов, в частности сигналов фотоплейзмограммы. E-mail: [lucy\\_evd12@yahoo.com](mailto:lucy_evd12@yahoo.com).

**Доросинский Леонид Григорьевич**, д.т.н., профессор ИРИТ-РТФ УрФУ, почетный работник высшей школы РФ, почетный радист. Область научных интересов: инфокоммуникационные технологии и системы связи, информатика и вычислительная техника, информационно-управляющие системы и анализ данных.  
E-mail: [l.g.dorosinskiy@urfu.ru](mailto:l.g.dorosinskiy@urfu.ru).

ГРНТИ: 28.29.01

Поступила в редакцию 16 марта 2022 г. Окончательный вариант – 2 октября 2022 г.

---

# Evaluation of the effectiveness of the decision support algorithm for physicians in retinal dystrophy using machine learning methods

A.E. Zhdanov<sup>1,2</sup>, A.Yu. Dolganov<sup>1</sup>, D. Zanca<sup>2</sup>, V.I. Borisov<sup>1</sup>, E. Luchian<sup>3</sup>, L.G. Dorosinsky<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Engineering School of Information Technologies, Telecommunications and Control Systems, 620078, Yekaterinburg, Russia, Mira Str. 19;

<sup>2</sup> University of Erlangen–Nuremberg, Machine Learning and Data Analytics (MaD) Lab, 91052, Germany, Erlangen, Carl-Thiersch-Straße 2b;

<sup>3</sup> Polytechnic University of Bucharest, Faculty of Electrical Engineering, 060042, Romania, Bucharest, Splaiul Independentei 313

## Abstract

Electroretinography is a method of electrophysiological testing, which allows diagnosing diseases associated with disorders of the vascular structures of the retina. The classical analysis of the electroretinogram is based on assessing four parameters of the amplitude-time representation and often needs to be specified further using alternative diagnostic methods. This study proposes the use of an original physician decision support algorithm for diagnosing retinal dystrophy. The proposed algorithm is based on machine learning methods and uses parameters extracted from the wavelet scalogram of pediatric and adult electroretinogram signals. The study also uses a labeled database of pediatric and adult electroretinogram signals recorded using a computerized electrophysiological workstation EP-1000 (Tomey GmbH) at the IRTC Eye Microsurgery Ekaterinburg Center. The scientific novelty of this study consists in the development of special mathematical and algorithmic software for analyzing a procedure for extracting wavelet scalogram parameters of the electroretinogram signal using the cwt function of the PyWT. The basis function is a Gaussian wavelet of order 8. Also, the scientific novelty includes the development of an algorithm for analyzing electroretinogram signals that implements the classification of adult (pediatric) electroretinogram signals 19 (20) percent more accurately than classical analysis.

**Keywords:** electroretinography, electroretinogram, ERG, electrophysiological study, EPS, retinal dystrophy, wavelet analysis, wavelet scalogram, decision trees, decision support algorithm.

**Citation:** Zhdanov AE, Dolganov AY, Zanca D, Borisov VI, Lucian E, Dorosinskiy LG. Evaluation of the effectiveness of the decision support algorithm for physicians in retinal dystrophy using machine learning methods. *Computer Optics* 2023; 47(2): 272-277. DOI: 10.18287/2412-6179-CO-1124.

**Acknowledgements:** The research funding from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Ural Federal University Program of Development within the Priority-2030 Program) is gratefully acknowledged.

---

## Authors' information

**Aleksei Evgenievich Zhdanov**, Research Engineer of the Engineering School of Information Technologies, Telecommunications and Control Systems (IRIT-RTF) of Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin (UrFU), Doctorate Candidate of Machine Learning and Data Analytics (MaD) Lab at University of Erlangen–Nuremberg. He is also secretary of IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBS) Russia-Siberia. Research interests: processing and analysis of biomedical signals, medical technology.

E-mail: [a.e.zhdanov@urfu.ru](mailto:a.e.zhdanov@urfu.ru).

**Anton Yurievich Dolganov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of IRIT-RTF UrFU, Deputy Chairman of IEEE Russia-Siberia. Research interests: processing and analysis of biomedical signals, medical technology, machine learning and artificial intelligence. E-mail: [anton.dolganov@urfu.ru](mailto:anton.dolganov@urfu.ru).

**Dario Zanca**, Ph.D. in Smart Computing, Head of the Applied Machine Learning group at the Machine Learning and Data Analytics (MaD) Lab at University of Erlangen–Nuremberg. He has special mention at the “Premio Marco Cadoli” 2020 for the best PhD thesis in Artificial Intelligence, AIXIA 2020. Research interests: processing and analysis of biomedical signals, medical technology, machine learning and artificial intelligence.

E-mail: [anton.dolganov@urfu.ru](mailto:anton.dolganov@urfu.ru).

---

---

**Vasily Ilyich Borisov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor and Project Manager of IRIT-RTF UrFU, Chairman of the IEEE Russia-Siberia. Research interests: processing and analysis of biomedical signals, medical technology, machine learning and artificial intelligence. E-mail: [v.i.borisov@urfu.ru](mailto:v.i.borisov@urfu.ru).

**Evdochim Lucian**, PhD student, Faculty of Electrical Engineering, Polytechnic University of Bucharest. Graduated from the Polytechnic University of Bucharest with a master's degree in Computer Science in 2020. Research interests: processing and analysis of photoplethysmography signals. E-mail: [lucy\\_evd12@yahoo.com](mailto:lucy_evd12@yahoo.com).

**Leonid Grigorievich Dorosinskiy**, Doctor of Technical Sciences, Professor of IRIT-RTF UrFU, Honorary Worker of the Higher School of the Russian Federation, Honorary Radio Operator. Research interests: infocommunication technologies and communication systems, computer science and computer technology, information and control systems and data analysis. E-mail: [l.g.dorosinskiy@urfu.ru](mailto:l.g.dorosinskiy@urfu.ru).

---

*Received March 16, 2022. The final version – October 2, 2022.*

---