

История развития пупиллографии и возможности ее применения в современной офтальмологии



Н.А. Саховская



М.А. Фролов



Н.А. Казакова

М.Г. Колоднина

ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов»
ул. Бакинская, 26, Москва, 115516, Российская Федерация

РЕЗЮМЕ

Офтальмология. 2022;19(3):475–481

Современная медицина располагает большими возможностями для детального изучения функционирования органов и систем, быстрой и точной диагностики нормы или патологии. Многие диагностические процедуры являются универсальными и используются врачами разных специальностей. Пупиллография представляет собой метод исследования зрачковых реакций, который основывается на регистрации изменения его величины при фото- или киносъемке. Данное исследование нашло широкое применение во многих областях медицины, таких как офтальмология, неврология, наркология, общая медицинская практика, для диагностики ряда патологических состояний. В настоящее время во всех областях медицины предпочтение отдается объективным методам диагностики. В нашей стране большое внимание уделяется разработке и внедрению в медицинскую практику новых технологий и малоинвазивных методов исследований, направленных на своевременную точную диагностику и эффективное лечение различных заболеваний органов и систем. Зрительный анализатор передает визуальную информацию к центру парасимпатического отдела вегетативной нервной системы, отвечающему за работу сфинктера зрачка и к центру симпатического отдела, отвечающему за работу дилататора. При патологии органа зрения происходит нарушение передачи информации, что является важным в фундаментальных исследованиях как для офтальмологии, так и для других специальностей. Наука и техника обеспечивают возможности для ультратонкой, специфической диагностики и мониторинга различных физиологических и патологических состояний органов и систем, а результаты учитываются во многих анализирующих программах новейших приборов. Важность исследования зрачковых реакций представляет большой интерес для многих областей медицины, а более специфические исследования позволяют повысить точность в постановке диагноза. В данной статье изложена история развития пупиллометрического и пупиллографического методов исследования начиная с середины XVIII века. Обсуждается значение исследования зрачковых рефлексов для оценки состояния зрительного анализатора, приводятся основные показатели пупилломоторной системы и их нормы; а также изложены возможности применения хроматической пупиллометрии. Пупиллометрия дает возможность точной количественной оценки изменений в размере зрачка для клинических и исследовательских целей.

Ключевые слова: пупиллография, зрачок, зрительный нерв, ишемическая оптическая нейропатия, глаукома

Для цитирования: Саховская Н.А., Фролов М.А., Казакова Н.А., Колоднина М.Г. История развития пупиллографии и возможности ее применения в современной офтальмологии. *Офтальмология*. 2022;19(3):475–481. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2022-3-475-481>

Прозрачность финансовой деятельности: Никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах

Конфликт интересов отсутствует



The History of Pupillography and Possibility of Its Using in Modern Ophthalmology

N.A. Sakhovskaya, M.A. Frolov, K.A. Kazakova, M.G. Kolodkina

RUDN University

Bakinskaya str., 26, Moscow, 115516, Russian Federation

ABSTRACT

Ophthalmology in Russia. 2022;19(3):475–481

Nowadays medicine has great opportunities for a detailed study of organs and systems, quick and accurate diagnosis of norm or pathology. Many diagnostic procedures are universal and are used by doctors of different specialties. Pupillography is a method of studying pupillary reactions, which is based on registering changes in its magnitude by photographing or filming. This study has found wide application in many areas of medicine, such as ophthalmology, neurology, narcology, general medical practice, for the diagnosis of different pathological conditions.

Currently, in all areas of medicine, preference is given to objective diagnostic methods. In our country, much attention is paid to the development and introduction into medical practice of new technologies and minimally invasive research methods which purpose is timely accurate diagnosis and effective treatment of various diseases. The visual analyzer transmits visual information to the center of the parasympathetic division of the autonomic nervous system, which is responsible for the work of the sphincter of the pupil and to the center of the sympathetic division, which is responsible for the work of the dilatator. In the pathology of the visual organ, there is a violation of the correctness of information transmission, which can be used for basic research not only in ophthalmology but also in other specialties. Science and technology provides opportunities for ultra-thin, specific diagnostics and monitoring of various physiological and pathological states of organs and systems, the results of which are taken into account in many analyzing programs of the latest devices. Therefore, the importance of studying pupillary reactions is of great interest for many areas of medicine, and more specific studies can improve the accuracy of the diagnosis. This article describes the history of the development of pupillometric and pupillographic methods of research from the middle of the XVIII century and till modern devices. The importance of the study of pupillary reflexes for assessing the state of the visual analyzer and the possibility of using chromatic pupillometry is discussed, the main indicators of the pupillomotor system and their norms are given. Pupillometry provides the ability to accurately quantify changes in pupil size for clinical and research purposes.

Keywords: pupillography, pupil, optic nerve, ischemic optic neuropathy, glaucoma

For citation: Sakhovskaya N.A., Frolov M.A., Kazakova K.A., Kolodkina M.G. The History of Pupillography and Possibility of Its Using in Modern Ophthalmology. *Ophthalmology in Russia*. 2022;19(3):475–481. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2022-3-475-481>

Financial Disclosure: No author has a financial or property interest in any material or method mentioned

There is no conflict of interests

Пупиллография — метод динамической регистрации величины зрачка. Данное исследование применяется для количественного определения реакции зрачка на различные раздражители, в том числе и физиологические. В настоящее время метод имеет широкое применение во многих областях медицины, таких как офтальмология, неврология, психиатрия, для диагностики ряда патологических состояний. В офтальмологии определение реакции зрачка на свет является обязательной

частью при обследовании пациента и описании глазного статуса, в неврологической и психиатрической практике — неотъемлемой частью для постановки правильного диагноза. При описании используются общепринятые в медицине термины: «реакция зрачка на свет живая», «вялая», или «полное отсутствие реакции зрачка на свет».

В настоящее время обсуждается проблема идентичности зрительных и зрачковых волокон зрительного нерва, так как на слепом глазу отсутствуют зрачковые реакции. Данный факт ставит вопрос о том, являются ли зрачковые волокна самостоятельными и не обеспечивают передачу зрительной информации или они располагаются вблизи волокон, несущих зрительную информацию¹.

В литературе под зрачковым рефлексом понимают реакцию пупилломоторной системы на воздействие световой вспышки. В графическом оформлении этот процесс называют пупиллографической кривой, зрачковым рефлексом или пупиллограммой.

Выделяют следующие фазы пупилломоторной системы: латентный период сужения зрачка (1–2), время сужения зрачка (2–3), латентный период расширения зрачка (3–4), время расширения зрачка (4–5)² (рис. 1).

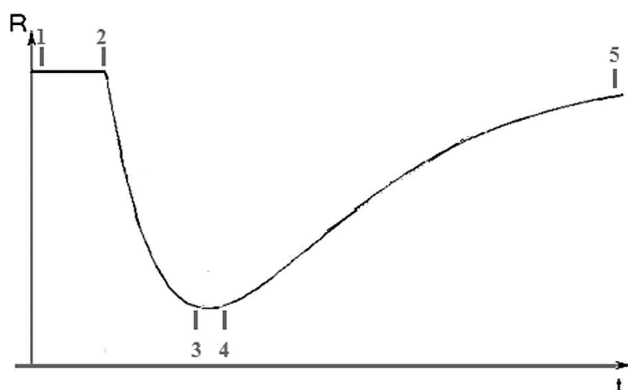


Рис. 1. Пупиллографическая кривая

Fig. 1. Pupillographic curve

¹ Вит В.В. Строение зрительной системы человека: учебное пособие. Одесса: Астропринт, 2010. С. 534.

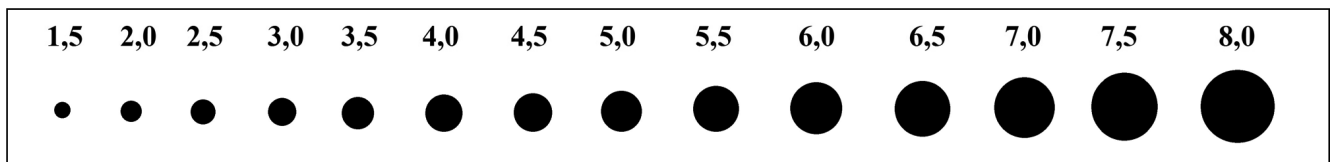


Рис. 2. Пупиллометр Гааба

Fig. 2. Gaab Pupilometer

Среди перечисленных фаз наибольшим информативно-диагностическим признаком пупиллограммы является латентный период реакции зрачка. Он характеризует время от подачи светового раздражителя до начала реакции сужения зрачка и соответствует афферентному пути иннервации вегетативной нервной системы, который начинается в палочках и колбочках сетчатой оболочки и проходит в зрительном нерве к структурам центральной нервной системы. По данным разных авторов, латентный период сужения зрачка колеблется в незначительных пределах: Вейлер (1910) — 0,2 сек; 0,21–0,22 сек — R. Machemer (1941); 0,2–0,3 сек. — O. Lowenstein (1956); 0,15–0,33 сек — Н. Drischel (1957); 0,18–0,33 сек — Е.С. Вельховер, В.Ф. Ананин, М.А. Елфимов (1989); 0,2–0,3 сек — А.Р. Шахнович, В.Р. Шахнович (1964)^{2,3,4}.

Впервые попытку объективного исследования зрачка сделал в 1760 году Ламберт, который при помощи циркуля измерял изображение собственного зрачка в зеркале. Аналогичным методом в дальнейшем пользовались Кусмауль (1955) и Хеддаус (1986). Ученые пришли к выводу, что точность измерения этим методом проблематична, так как нельзя исключить влияние на диаметр зрачка психических факторов и конвергенции. Многие исследователи изучали состояние зрачка при помощи пупилоскопов различной конструкции, что позволяло установить величину диаметра зрачка по специально разработанной шкале (М.М. Гордон, 1936; Н.С. Мендельсон, 1939; А.Е. Либерман и Н.С. Стрельцова, 1952; В.А. Смирнов)² [1]. Однако все эти приборы не давали возможности получать точные данные о скорости зрачковых реакций.

В клинической практике большое распространение получил пупиллометр Гааба — линейка с изображенными на ней черным цветом кружками диаметром от 1,5 до 8 мм, которые сравнивают с измеряемым зрачком пациента. Диаметр каждого последующего кружка отличается от предыдущего на 0,5 мм [2] (рис. 2).

С.Л. Сегаль в 1888 г. предложил оригинальный прибор, с помощью которого точно дозировал время светового раздражителя. При помощи этого аппарата

автор изучал отдельные компоненты зрачковых реакций (латентный период, время реакции)⁵.

Donders (1865), Arlt (1869), Vihtschgau (1882) измеряли динамическую реакцию зрачковых рефлексов, пользуясь визуальными методами. Экспериментатор наблюдал за зрачком и соответственно колебаниям его диаметра нажимал на рычаг, движения которого с помощью воздушной или электрической передачи записывались на кимографе. Однако Donders, впервые предложивший этот метод, отметил его несовершенство и возможность возникновения субъективных ошибок.

Бачовский и Сервит использовали электронно-оптический преобразователь. В их опытах глаз освещался невидимыми инфракрасными лучами. При этом на флюоресцирующем экране электронно-оптического преобразователя появлялось видимое изображение зрачка. Измерение ширины зрачка производилось непосредственно на экране. Аналогичным методом пользовались Дюбуа-Пульсен и Луазиллье.

В 1888 году Дюбуа-Реймон впервые применил метод фотографирования зрачков при помощи магнетики вспышки. Фукс вместо магния пользовался искрой катушки Румкорфа. Гартен в 1987 году для фотографирования зрачков использовал в темноте невидимые ультрафиолетовые лучи. Однако автору пришлось отказаться от этого метода, так как чувствительность глаза к ультрафиолетовым лучам быстро возрастала, что не давало возможности исключить их влияние на размер зрачков [3].

В 1885 году русский ученый Л.Г. Беллярминов предложил оригинальный метод динамической регистрации зрачковых рефлексов с помощью фотографии [6]. Методика основана на регистрации движений одного зрачка на непрерывно движущейся фотобумаге или фотопленке. Однако метод имел ряд недостатков, в силу которых его применение было ограничено. Несмотря на это, некоторые авторы все же пользовались им для исследования зрачковых рефлексов.

Впервые киносъемку зрачковых рефлексов произвел Г. Вейлер в 1910 году. В дальнейшем киносъемку зрачков в темноте производили Н. Gradle, W. Ackerman (1932), Н. Machemer (1941), А.К. Попов (1958), И.И. Меркулов и Х.И. Бабенко (1961) [4, 5].

В 1937 году Молтисиз впервые применил фотоэлектрический метод в исследовании на животных, который

² Вельховер Е.С., Ананин В.Ф. Введение в ириологию: Пупиллодиагностика. М.: Изд-во УДН, 1991. С. 211.

³ Вельховер Е.С., Ананин В.Ф., Елфимов М.А. Компьютерная пупиллодиагностика в клинической практике. Значение для практической медицины традиционной и современной рефлексодиагностики. Горький, 1989.

⁴ Шахнович А.Р., Шахнович В.Р. Пупиллометрия. М.: Медицина, 1964.

⁵ Сегаль С.Л. О зрачковых рефлексах. Харьков: тип. И.М. Варшавчика, 1888. № 4, С. 119.

основан на отражении пучка инфракрасных лучей от радужной оболочки и улавливании его фотоэлементом. Возникающий при этом в фотоэлементе электрический ток усиливается и записывается осциллографом. К. Mattes (1941), J. Stegemann (1957), L. Stark. (1959), O. Lowenstein (1959), М.М. Атаев (1954) использовали фотоэлектрический метод у человека [6, 7].

Преимущество фотоэлектрического метода по сравнению с кинематографическим заключается в том, что регистрируется пупиллограмма в виде электрического сигнала в момент реакции зрачка. Полученные данные позволяют производить его автоматическую обработку с помощью ЭВМ в режиме реального масштаба времени. Этот метод обеспечивает высокую точность по времени и амплитуде.

Автоматизированные пупиллографы начали применять с 1980-х годов. На базе фотоэлектронного разработан автоматизированный пупиллографический комплекс. По сведениям, занесенным в базу данных, программа строит график зависимости амплитуды сигнала от времени. График отображается на экране дисплея. После этого программа автоматически вычисляет характеристики глаза пациента по заранее заданным формулам и данным. Полученные характеристики отображаются на экране в таблице. При следующем обследовании врач имеет возможность просмотреть прежние характеристики, сравнить их с новыми и сделать выводы.

На современном этапе исследование реакции зрачка проводится с помощью электронно-оптического пупиллометра. Стимул в виде световой вспышки подается на сетчатку и производится для каждого глаза регистрация цифровых изображений, которые поступают на компьютер. Далее, производится оценка площади зрачка и его изменений. На основании полученных данных строится график зависимости площади зрачка по времени — пупиллограмма. В соответствии с ней принимается решение о наличии и характере патологии.

В настоящее время накоплен опыт применения пупиллографии в офтальмологической практике при диагностике ряда патологических состояний. Так, амоневротическая неподвижность зрачков наблюдается при двусторонней слепоте, которая обусловлена двусторонним поражением зрительных путей (II пара ЧМН) — от сетчатки до первичных подкорковых центров включительно. Неврит зрительного нерва характеризуется исчезновением прямой реакции зрачка на свет при сохранной содружественной реакции⁶. У гиперметропов зрачки обычно несколько уже, чем у эметропов, а у последних уже, чем у миопов⁷. Поражение сетчатки и зрительного нерва с одной стороны сопровождается нарушением прямой реакции зрачка на свет этой же стороны

и содружественной реакцией на здоровом глазу. При поражении зрительного тракта и хиазмы имеет место гемиянопическая неподвижность зрачков⁸.

A.J. Kanellopoulos и соавт. применяли пупиллометрию с целью сравнения фотопического и мезопического зрачка, а также изменения оптической оси по отношению к роговице до и после хирургии катаракты. Было исследовано 40 глаз, в результате сделан вывод, что операция по поводу удаления катаракты приводит к изменению размера зрачка и смещению оптической оси глаза. Эти данные могут быть использованы для более эффективной центрации ИОЛ во время оперативного вмешательства [8].

I. Yilmaz и соавт. оценивали возможные изменения размера зрачка после проведения панретинальной и фокусной лазерной фотокоагуляции сетчатки. Исследование выполняли с использованием автоматизированной инфракрасной пупиллометрии до и через 1 месяц после операции. В исследование были включены 64 глаза, в 32 проведена панретинальная фотокоагуляция, в остальных 32 глазах — фокусная фотокоагуляция сетчатки. Спустя 1 месяц в группе с панретинальной фотокоагуляцией наблюдалось значительное увеличение размера зрачка, а в группе с фокусной фотокоагуляцией значительного изменения не зафиксировано. С помощью автоматизированной инфракрасной пупиллометрии удалось продемонстрировать, что панретинальная фотокоагуляция сетчатки может значительно влиять на изменение размера зрачка, в то время как фокусная фотокоагуляция сетчатки особого влияния не оказывает [9].

K. Tekin и соавт. сравнивали пупиллометрические измерения у пациентов с односторонним псевдоэкзофтальмическим синдромом. Найдены более низкие значения амплитуды и скорости сокращения зрачка, а также более короткое время дилатации зрачка по сравнению с группой контроля [10].

C. Tsika и соавт. исследовали влияние передней ишемической оптической нейропатии на активность фоточувствительных ганглиозных клеток сетчатки (ipRGCs) и использовали зрачок в качестве промежуточного звена наблюдения. Были отобраны 18 пациентов с передней ишемической нейропатией (10 глаз — монокулярное поражение, 8 — двустороннее поражение), и 29 пациентов составили контрольную группу. Все пациенты были сопоставимы по полу и возрасту, им была проведена хромотическая пупиллометрия на красный и синий цвет. Яркость красного и синего стимулов пошагово увеличивалась на 0,5 log, стимулы предъявляли каждому глазу отдельно в условиях темновой или световой адаптации. Зарегистрированное сокращение зрачка наносили на график в зависимости от интенсивности стимула

⁶ Вельховер Е.С., Ананин В.Ф. Введение в иринологию: Пупиллодиагностика. М.: Изд-во УДН, 1991. С. 211.

⁷ Шаповалов С.Л. Методы исследования динамической рефракции глаза. Динамическая рефракция глаз в норме и при патологии. М., 1981.

⁸ Шахнович А.Р., Ананин В.Ф. Объективная периметрия при хиазмальном синдроме. Тез. I науч. конференции по практическому использованию электрофизиологических исследований органа зрения в офтальмологии. М., 1964. С. 117–118.

для получения кривых скотопического и фотопического ответа, после этого оценивали активность фоточувствительных ганглиозных клеток сетчатки. В случае проведения монокулярной стимуляции размер и реакция зрачка были нарушены в глазах с передней ишемической нейропатией, что указывало на дисфункцию фоточувствительных ганглиозных клеток сетчатки. При бинокулярной световой стимуляции размер зрачка у пациентов с передней ишемической нейропатией был аналогичен контролю. Таким образом, после ишемического повреждения одного или обоих зрительных нервов суммарная внутренняя активность фоточувствительных ганглиозных клеток сетчатки сохраняется, когда оба глаза получают адекватное воздействие светом [11].

J.L. Loo, S. Singhal и соавт. наблюдали 12 пациентов с подозрением на аутосомно-доминантную атрофию зрительного нерва, которая в дальнейшем была генетически подтверждена. Хроматическая пупиллометрия была выполнена у 5 из 7 пациентов с генетически подтвержденной атрофией зрительного нерва. Результаты сравнивали с контрольной группой, состоящей из 54 здоровых пациентов. Все исследуемые подвергались воздействию синего света с длиной волны 469 нм и красного света — 631 нм. Не было найдено значительных различий в ответе на цветовые стимулы у пациентов с аутосомно-доминантной атрофией зрительного нерва в сравнении с группой контроля [12].

Много исследований посвящено определению изменений зрачковых реакций при глаукоме. Так, при первичной открытоугольной глаукоме наблюдается снижение светоиндуцированного сужения зрачка. Максимальная амплитуда сужения зрачка коррелировала с толщиной слоя нервных волокон сетчатки [13].

L. Kankipati и соавт. изучали реакцию зрачка на свет у пациентов с глаукомой и в группе здоровых лиц. В результате было выявлено значительное снижение зрачкового ответа после стимуляции светом у пациентов с глаукомой по сравнению с контрольной группой того же возраста. По мере увеличения степени тяжести глаукомной нейропатии наблюдается соответствующее снижение зрачкового ответа на свет [14].

B. Feigl и соавт. изучали функцию светочувствительных ганглиозных клеток сетчатки по постиллюминационному ответу зрачка на коротковолновые и длинноволновые стимулы. В исследовании принял участие 41 пациент. В результате исследования было установлено, что пациенты с развитой и далекозашедшей стадией глаукомы имеют дисфункцию постиллюминационной реакции зрачка, а у пациентов с начальной стадией глаукомного процесса зрачковый ответ сохранялся в пределах нормы [15].

S. Ba-Ali и соавт. исследовали влияние местных гипотензивных антиглаукомных препаратов на световой рефлекс зрачка с помощью пупиллометрии. Проводили пупиллометрическое исследование до и после инстилляции тимолола, дорзоламида,

латанопроста у здоровых пациентов. В результате не выявлено никакого влияния антиглаукомных препаратов на реакцию зрачка [16].

A.V. Rukmini и соавт. использовали хроматический тест пупиллометрии для оценки нарушений функции светочувствительных ганглиозных клеток сетчатки у пациентов с первичной открытоугольной глаукомой, а также определяли, коррелируют ли зрачковые реакции с повреждением зрительного нерва и потерей зрения. В исследовании принимали участие 40 пациентов с первичной открытоугольной глаукомой и 161 здоровый человек, которые составили группу контроля. Исследуемые подверглись монокулярному воздействию синего или красного света. Каждый световой стимул постепенно увеличивался по интенсивности освещения в течение 2 минут, чтобы последовательно активировать палочки, колбочки и светочувствительные ганглиозные клетки сетчатки, которые опосредуют зрачковый световой рефлекс. Диаметр зрачка регистрировали с использованием инфракрасной пупиллографической системы. В результате световой рефлекс зрачка был снижен у пациентов с первичной открытоугольной глаукомой при высоких уровнях освещения, соответствующих диапазону активации светочувствительных ганглиозных клеток сетчатки. Реакция зрачка на синий свет с высокой интенсивностью освещения ассоциировалась с тяжестью заболевания по сравнению с реакциями на красный свет. Также наблюдалась значительная линейная корреляция между диаметром зрачка, средним отклонением границ поля зрения, экскавацией зрительного нерва (по HRT-исследованию) и рядом других параметров зрительного нерва. В глаукомных глазах наблюдались уменьшенные реакции зрачка на синий свет при высокой интенсивности освещения, что коррелировало с обширностью дефекта границ поля зрения и поражением зрительного нерва. Сделан вывод, что хроматический тест при пупиллометрии может быть использован для оценки степени повреждения ганглиозных клеток сетчатки при глаукоме [17].

P. Adhikari и соавт. исследовали квадрантную полевую меру реакции зрачка на свет у 46 пациентов с различными стадиями глаукомы и показали, что в назальном квадранте имеется корреляция с истончением слоя нервных волокон у пациентов с подозрением и начальной стадией глаукомы. Это свидетельствует о том, что квадрантная стимуляция сетчатки выявляет дисфункцию меланопсина у пациентов с глаукомой, причем даже в начальной стадии [18].

D. Sarezky и соавт. показали, что автоматический пупиллометр позволяет количественно определять асимметрию в афферентных зрачковых реакциях, которая пропорциональна структурным изменениям слоя нервных волокон (измеренным с помощью OCT) и изменениям полей зрения (определенных с помощью компьютерной периметрии) у пациентов с открытоугольной глаукомой [19].



Рис. 3. Ручной бинокулярный рефрактометр 2WIN (2017, Италия)

Fig. 3. Manual binocular refractometer 2WIN (2017, Italy)

В последние годы также были опубликованы результаты исследований, основанных на пупиллометрии, что свидетельствует об актуальности данного метода в офтальмологии. Так, Pillai и соавт. с помощью автоматического пупиллометра определяли относительный афферентный дефект зрачка (The relative afferent pupillary defect (RAPD)), который является признаком повреждения ганглиозных клеток сетчатки. Были исследованы 173 пациента, разделенные на две группы, 130 — с глаукомой, 43 — группа контроля. У пациентов с глаукомой выявлена прямая зависимость между изменением афферентной реакции зрачка, уменьшением плотности нервных волокон и увеличением площади экскавации диска зрительного нерва по сравнению с группой контроля. Данные результаты позволяют судить о том, что с помощью афферентного дефекта зрачка можно заподозрить изменения в слое нервных волокон [20].

D.S. Chang и соавт. исследовали 148 пациентов с глаукомой для оценки взаимосвязи между световым

рефлексом зрачка и количеством ганглиозных клеток сетчатки. Глаза с более высокими оценочными значениями ганглиозных клеток сетчатки имели большую амплитуду реакции зрачка (z -оценка = 8,24, $p < 0,001$), более короткую латентность ($z = -3,17$, $p = 0,002$), более высокую скорость сужения ($z = 6,64$, $p < 0,001$), более короткое время до максимального сужения ($z = -1,96$, $p = 0,049$) и более длительное время до максимального расширения ($z = 6,66$, $p < 0,001$). На каждые 0,3 логарифмической разницы в баллах RAPD наблюдалось среднее снижение оценочного количества ганглиозных клеток сетчатки на 37 817 ($p < 0,001$). Существует статистически значимая связь между количеством ганглиозных клеток сетчатки и зрачковой реакцией на раздражители [21].

Таким образом, для диагностики патологии органа зрения используются различные высокотехнологичные приборы. Однако такая простая методика, как пупиллография, не ушла в историю, а продолжает занимать место наряду с современными методами диагностики. В 2017 году появился ручной бинокулярный рефрактометр 2WIN (рис. 3), который помимо измерения бинокулярной и монокулярной рефракции посредством динамичной фотоскопии, позволяет провести пупиллографию, что свидетельствует о сохранении интереса к данному методу.

Резюмируя вышесказанное, можно сделать заключение, что методика является информативной в диагностике и мониторинге различных состояний органа зрения, являясь при этом неинвазивным и безопасным методом исследования.

УЧАСТИЕ АВТОРОВ:

Саховская Н.А. — сбор и обработка материала, написание текста рукописи;
Фролов М.А. — концепция и дизайн исследования, редактирование текста рукописи;
Казакова К.А. — обработка материала, редактирование текста рукописи;
Колодкина М.Г. — сбор и обработка материала.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Либман А.Е., Стрельцова Н.И. Некоторые особенности зрачковой компоненты ориентировочной реакции у человека. Журнал высшей нервной деятельности. 1952;2(6):886–893. [Liberman A.E., Streltsova N.I. Some features of the pupillary component of the indicative reaction in humans. *Journal of Higher Nervous Activity = Zhurnal vysshen nervnoy dejatel'nosti*. 1952;2(6):886–893 (In Russ.)].
2. Haab O. Atlas und Grundriss der Ophthalmoskopie und ophthalmoscopischen Diagnostik, München, 1900.
3. Garten S. Beiträge zur Kenntnis des zeitlichen Ablaufes der Pupillarreaktion nach Verdunklung. *Archiv für die gesamte Physiologie des Menschen und der Tiere*. 1897;68(1–2):68–94.
4. Попов А.К. Диагностическое значение кинематографического метода исследования световой реакции. Современные методы исследования и лечения больных нервными и психическими заболеваниями. Л., 1958. С. 92–93. [Попов А.К. Diagnostic value of the cinematic method of light reaction research. Modern methods of research and treatment of patients with nervous and mental diseases. Leningrad, 1958. P. 92–93 (In Russ.)].
5. Меркулов И.И., Бабенко Х.И. Некоторые вопросы реакции зрачков на свет. Вопросы нейроофтальмологии. 1961;7:87–152. [Merkulov I.I., Babenko H.I. Some questions of the reaction of pupils to light. *Questions of neuro-ophthalmology*. 1961;7:87–152 (In Russ.)].
6. Stark L. Stability oscillation and noise in the human pupil servomechanism. *Proceedings of the IRE*. 1959;47:1925–1939. DOI: 10.1109/JRPROC.1959.287206
7. Lowenstein O. Lowenfeld I. Influence of Retinal Adaptation upon the Pupillary Reflex to Light in Normal Man. *American journal ophthalmology*. 1959;48:536–550. DOI: 10.1016/0002-9394(59)90605-1
8. Kanellopoulos A.J., Asimellis G., Georgiadou S. Digital pupillometry and centroid shift changes after cataract surgery. *J Cataract Refract Surg*. 2015 Feb;41(2):408–414. DOI: 10.1016/j.jcrs.2014.05.049. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25661135>
9. Yilmaz I., Faiz M., Saracoglu B., Yazici A. T. Changes in Pupil Size Following Pan-retinal and Focal/Grid Retinal Photocoagulation: Automatic Infrared Pupillometry Study. *J Ocul Pharmacol Ther*. 2016 Apr;32(3):172–177. DOI: 10.1089/jop.2015.0080. Epub 2015 Nov 18. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26580579>
10. Tekin K., Sekeroglu MA, Kiziltoprak H., Yetkin E., Doguiz S., Yilmazbas P. Static and Dynamic Pupillary Characteristics in Clinically Unilateral Pseudoexfoliation Syndrome. *J Glaucoma*. 2018 Jun;27(6):552–557. DOI: 10.1097/IJG.0000000000000953. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29578890>
11. Tsika C., Crippa S.V., Kawasaki A. Differential monocular vs. binocular pupil responses from melanopsin-based photoreception in patients with anterior ischemic optic neuropathy. *Sci Rep*. 2015 Jun 15;5:10780. DOI: 10.1038/srep10780. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26074032>
12. Loo J.L., Singhal S. Multiethnic involvement in autosomal-dominant optic atrophy in Singapore. *Eye (Lond)*. 2017 Mar;31(3):475–480. DOI: 10.1038/eye.2016.255. Epub 2016 Nov 18. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27858935>
13. Najjar R.P., Sharma S. Pupillary Responses to Full-Field Chromatic Stimuli Are Reduced in Patients with Early-Stage Primary Open-Angle Glaucoma. *Ophthalmology*. 2018 Sep;125(9):1362–1371. DOI: 10.1016/j.ophtha.2018.02.024. Epub 2018 Mar 21. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29573814>
14. Kankipati I., Girkin CA, Gamlin PD. The post-illumination pupil response is reduced in glaucoma patients. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2011 Apr 8;52(5):2287–2292. DOI: 10.1167/iovs.10-6023. Print 2011 Apr.
15. Feigl B., Mattes D., Thomas R., Zele A. J. Intrinsically photosensitive (melanopsin) retinal ganglion cell function in glaucoma. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2011 Jun 21;52(7):4362–4367. DOI: 10.1167/iovs.10-7069

16. Ba-Ali S., Sander B., Brøndsted A. E., Lund-Andersen H. Effect of topical anti-glaucoma medications on late pupillary light reflex, as evaluated by pupillometry. *Front Neurol.* 2015 Apr 29;6:93. DOI: 10.3389/fneur.2015.00093. eCollection 2015
17. Rukmini A.V., Milea D., Baskaran M., How A.C., Perera S.A., Aung T., Gooley J.J. Pupillary Responses to High-Irradiance Blue Light Correlate with Glaucoma Severity. *Ophthalmology.* 2015 Sep;122(9):1777–1785. DOI: 10.1016/j.ophtha.2015.06.002 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26299721>
18. Adhikari P., Zele A.J., Thomas R., Feigl B. Quadrant Field Pupillometry Detects Melanopsin Dysfunction in Glaucoma Suspects and Early Glaucoma. *Sci Rep.* 2016 Sep 13;6:33373. DOI: 10.1038/srep33373 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27622679>
19. Sarekzy D., Volpe N.J., Park M.S., Tanna A.P. Correlation Between Inter-Eye Difference in Average Retinal Nerve Fiber Layer Thickness and Afferent Pupillary Response as Measured by an Automated Pupillometer in Glaucoma. *J Glaucoma.* 2016 Mar;25(3):312–316. DOI: 10.1097/IJG.0000000000000213. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25836662>
20. Pillai M.R., Sinha S., Aggarwal P., Ravindran R.D., Privitera C.M. Quantification of RAPD by an automated pupillometer in asymmetric glaucoma and its correlation with manual pupillary assessment. *Indian J Ophthalmol.* 2019 Feb;67(2):227–232. DOI: 10.4103/ijo.IJO_648_18
21. Chang D.S., Arora K., Boland M.V., Friedman D.S. The Relationship Between Quantitative Pupillometry and Estimated Ganglion Cell Counts in Patients With Glaucoma. *J Glaucoma.* 2019 Mar; 28(3):238–242. DOI: 10.1097/IJG.0000000000001183. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30624390>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов»
Саховская Наталья Анатольевна
аспирант кафедры глазных болезней
ул. Бакинская, 26, Москва, 115516, Российская Федерация

ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов»
Фролов Михаил Александрович
доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой глазных болезней
ул. Бакинская, 26, Москва, 115516, Российская Федерация

ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов»
Казакова Ксения Александровна
кандидат медицинских наук, старший преподаватель кафедры глазных болезней
ул. Бакинская, 26, Москва, 115516, Российская Федерация

ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов»
Колодкина Мария Геннадьевна
аспирант кафедры нормальной физиологии
ул. Бакинская, 26, Москва, 115516, Российская Федерация

ABOUT THE AUTHORS

RUDN University
Sakhovskaya Natalya A.
postgraduate
Bakinskaya str., 26, Moscow, 115516, Russian Federation

RUDN University
Frolov Michael A.
MD, Professor, head of the Eye diseases department
Bakinskaya str., 26, Moscow, 115516, Russian Federation

RUDN University
Kazakova Ksenia A.
PhD, assistant of the Eye diseases department
Bakinskaya str., 26, Moscow, 115516, Russian Federation

RUDN University
Kolodkina Maria G.
postgraduate
Bakinskaya str., 26, Moscow, 115516, Russian Federation