

Особенности суточных паттернов биометрических и структурных параметров зрительного нерва у пациентов с первичной открытоугольной глаукомой

Рензяк Е.В., ассистент кафедры офтальмологии¹, заведующая стационарным отделением офтальмологического центра²; <https://orcid.org/0009-0007-2258-2207>

Малишевская Т.Н., д.м.н., заведующая отделением аналитической работы, доцент кафедры непрерывного медицинского образования³; <https://orcid.org/0000-0003-3679-8619>

Зумбулидзе Н.Г., к.м.н., доцент кафедры офтальмологии⁴; <https://orcid.org/0000-0002-7729-097X>

Власова А.С., к.м.н., ассистент кафедры офтальмологии¹. <https://orcid.org/0000-0002-6835-3393>

¹АНЧОО ДПО «Западно-Сибирский институт последипломного медицинского образования», 625051, Российская Федерация, Тюмень, ул. Прокопия Артамонова, 5/11;

²БУ Ханты-Мансийского автономного округа — Югры «Окружная клиническая больница», 628012, Российская Федерация, Ханты-Мансийск, ул. Калинина, 40;

³ФГБУ «НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца», 105064, Российская Федерация, Москва, ул. Садовая-Черногрязская, 14/19;

⁴ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова», 191015, Российская Федерация, Санкт-Петербург, ул. Кирочная, 41.

Финансирование: авторы не получали финансирование при проведении исследования и написании статьи.
Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Рензяк Е.В., Малишевская Т.Н., Зумбулидзе Н.Г., Власова А.С. Особенности суточных паттернов биометрических и структурных параметров зрительного нерва у пациентов с первичной открытоугольной глаукомой. *Национальный журнал глаукома*. 2025; 24(4):45-50.

Резюме

ЦЕЛЬ. Изучить особенности суточных колебаний биометрических и структурных параметров зрительного нерва (ЗН) у пациентов с разными стадиями первичной открытоугольной глаукомы (ПОУГ).

МЕТОДЫ. В исследовании приняли участие 105 пациентов с глаукомой разных стадий. Контрольная группа составила 20 человек без глаукомы. Помимо офтальмологического исследования, проводили анализ суточных паттернов биометрических и структурных параметров ЗН.

РЕЗУЛЬТАТЫ. При ультразвуковом исследовании ЗН в течение 12-часового периода (с 8:00 до 20:00) у пациентов с ПОУГ далекозашедшей стадии имело место статистически достоверное уменьшение толщины ЗН как

с оболочками, так и без оболочек (по сравнению с группой контроля ($p<0,05$). При исследовании акустической плотности (АП) ЗН и его оболочек на глазах с далекозашедшей стадией глаукомы регистрировали статистически значимое увеличение АП по сравнению с нормой ($p<0,05$).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Выраженные изменения акустических параметров ЗН, характерные для далекозашедшей стадии ПОУГ, могут свидетельствовать о выраженных изменениях внутренней структуры нерва и его атрофическом поражении.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: первичная открытоугольная глаукома, циркадные ритмы, зрительный нерв.

Для контактов:

Власова Анастасия Сергеевна, e-mail: okula-83@mail.ru

ORIGINAL ARTICLE

Features of daily patterns of biometric and structural parameters of the optic nerve in patients with primary open-angle glaucoma

RENZIAK E.V., Assistant Professor at the Department of Ophthalmology¹, Head of the Inpatient Department of the Ophthalmological Center²; <https://orcid.org/0009-0007-2258-2207>

MALISHEVSKAYA T.N., Dr. Sci. (Med.), Head of the Department of Analytical Work, Associate Professor of the Department of Continuing Medical Education³; <https://orcid.org/0000-0003-3679-8619>

ZUMBULIDZE N.G., Cand. Sci. (Med.), Associate Professor at the Ophthalmology Department⁴; <https://orcid.org/0000-0002-7729-097X>

VLASOVA A.S., Cand. Sci. (Med.), Assistant Professor of the Department of Ophthalmology¹. <https://orcid.org/0000-0002-6835-3393>

¹West Siberian Institute of Postgraduate Medical Education, 5/11 Prokopya Artamonov St., Tyumen, Russian Federation, 625051;

²District Clinical Hospital, 40 Kalinina St., Khanty-Mansiysk, Russian Federation, 628012;

³Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases, 14/19 Sadovaya-Chernogryazskaya St., Moscow, Russian Federation, 105064;

⁴North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, 41 Kirochnaya St., Saint Petersburg, Russian Federation, 191015.

Funding: the authors received no specific funding for this work.

Conflicts of Interest: none declared.

For citations: E.V. Renziak, T.N. Malishevskaya, N.G. Zumbulidze, A.S. Vlasova. Features of daily patterns of biometric and structural parameters of the optic nerve in patients with primary open-angle glaucoma. *Natsional'nyi zhurnal glaukoma*. 2025; 24(4):45-50.

Abstract

PURPOSE. To study the features of daily fluctuations in the biometric and structural parameters of the optic nerve (ON) in patients with different stages of primary open-angle glaucoma (POAG).

METHODS. The study included 105 patients with POAG at various stages. The control group consisted of 20 individuals without glaucoma. Daily patterns of biometric and structural parameters of the ON were analyzed in addition to standard ophthalmic examination.

RESULTS. Ultrasonographic examination of the ON over a 12-hour period (from 8:00 to 20:00) revealed a statistically

significant reduction in ON thickness, both with and without its sheaths, in patients with advanced POAG compared with the control group ($p<0.05$). In eyes with advanced glaucoma, acoustic density (AD) of the ON and its sheaths showed a statistically significant increase compared with normal values ($p<0.05$).

CONCLUSION. Marked alterations in the acoustic parameters of the ON characteristic of advanced POAG may indicate pronounced internal structural changes and atrophic damage of the nerve.

KEYWORDS: primary open-angle glaucoma, circadian rhythms, optic nerve.

П ервичная открытоугольная глаукома (ПОУГ) является одной из причин необратимой слепоты во всем мире [1–3]. Многчисленные исследования последних десятилетий посвящены изучению факторов, ассоциированных с прогрессированием глаукомной оптиконейропатии (ГОН), и разработке более точных методов диагностики [4–6]. Помимо классических сосудистых и нейродегенеративных механизмов патогенеза ПОУГ, особое внимание в последние годы привлекает роль меланопсин-содержащих ганглиозных клеток сетчатки, участвующих в регуляции циркадных ритмов и восприятии светового сигнала.

Недавние исследования показали, что прогрессирование глаукомы связано с нарушениями циркадных ритмов [7, 8].

Большинство существующих методов диагностики направлены на статическую оценку структуры зрительного нерва (ЗН) в определенный момент времени, тогда как суточные колебания этих параметров могут предоставить более глубокое понимание патогенетических механизмов развития глаукомной оптической нейропатии. Эхография (В-сканирование) даёт возможность количественно оценить состояние ЗН и окружающих его структур в разное время суток.

Выявление суточных паттернов структурных изменений ЗН поможет оптимизировать подходы к диагностике и индивидуализировать стратегии лечения пациентов на разных стадиях заболевания.

Цель исследования — изучить особенности суточных колебаний биометрических и структурных параметров ЗН у пациентов с разными стадиями ПОУГ.

Материалы и методы

Для изучения суточных паттернов биометрических показателей ЗН у пациентов с глаукомой и «здоровых» добровольцев без глаукомы были сформированы две группы сравнения, сопоставимые по возрасту, гендерной принадлежности, соматическому статусу, индексу коморбидности и получаемой системной и местной антигипертензивной терапии. В основную группу вошли 105 мужчин с ПОУГ (210 глаз), средний возраст которых составил $67,31 \pm 3,52$ лет, во вторую — 20 «здоровых» добровольцев-мужчин без глаукомы (40 глаз), средний возраст которых составил $67,24 \pm 2,81$ лет. По стадиям глаукомы распределение было следующим: 65 глаз с начальной стадией, 126 глаз с развитой стадией, 19 глаз с далекозашедшей стадией глаукомы.

Офтальмологические методы обследования: визометрия, офтальмотонометрия, биомикроскопия, офтальмоскопия, тонометрия (по Маклакову и точечная контактная тонометрия, Icare ONE TA02, «Icare», Финляндия), оптическая когерентная томография диска зрительного нерва (ДЗН) и ганглиозных клеток макулярной области сетчатки на приборе RTVue-100 OCT («Optovue», США) в области ДЗН (протоколы ONH и 3DDisc) и макулы (протокол GCC) с оценкой уровня фокальных и глобальных потерь комплекса ганглиозных клеток сетчатки (FLV, % и GLV, %, соответственно), статическая автоматическая периметрия с помощью анализатора поля зрения Humphrey («CarlZeiss», Германия) и анализатора Octopus 900 («HAAG-Streit», Швейцария) по пороговой стратегии 30-2 с оптимальной коррекцией рефракции. Анализировали суммарную светочувствительность центрального поля зрения, индексы среднего отклонения (MD) и среднеквадратичного отклонения (PSD).

Изучение суточных паттернов биометрических и структурных параметров зрительного нерва здоровым и пациентам с ПОУГ выполняли в динамике в течение 3 последовательных суток: первый день — в 8:00, второй день — в 14:00 и третий день — в 20:00 с использованием прибора GE Voluson E8 («GE Healthcare», США) и высокочастотного линейного датчика 10–18,0 МГц по предложенной В.В. Непоевым и соавт. методике [9]. Измеряли толщину ЗН на обоих глазах с оболочками (ТОЗН) и без оболочек (ТБОЗН), определяли акустическую плотность (АП) паренхимы и оболочек ЗН с построением двумерных

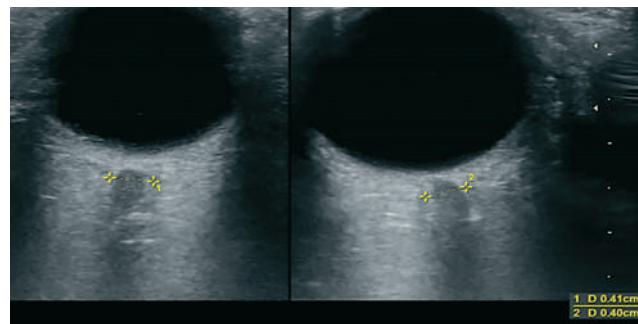


Рис. 1. Эхограмма ЗН обоих глаз у пациента с далекозашедшей ПОУГ. Толщина ЗН правого глаза 4,1 мм (слева), левого глаза 4,0 мм (справа).

Fig. 1. Echogram of both ONs in a patient with advanced POAG. ON thickness of the right eye = 4.1 mm (left image), left eye = 4.0 mm (right image).

гистограмм в трех точках и расчетом среднего значения в условных единицах (у.е.) цифрового анализа изображения. Исследование АП у всех обследуемых лиц проводилось при одинаковых значениях GAIN.

Двусторонний и многофакторный анализ различий: ANOVA и MANOVA проводили с использованием программных пакетов Excel, STATISTICA 12 и SPSS 23.0. Для проверки нормальности распределения применяли W-критерий Шапиро – Уилка. В случаях нормального распределения полученных значений (р-значение W-теста $>0,05$) использовался анализ ANOVA с апостериорной поправкой Тьюки. В других случаях использовались тесты Краскела – Уоллиса. Уровень статистической значимости был установлен на уровне 5%.

Результаты

Исходные данные эхографических параметров ЗН в группе контроля и у пациентов с разными стадиями ПОУГ представлены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, биометрические показатели толщины ЗН с оболочками и без оболочек у пациентов с далекозашедшей стадией ПОУГ были достоверно ниже (рис. 1) по сравнению с таковыми в группе контроля. У пациентов этой же группы АП ЗН были достоверно выше (рис. 2) по сравнению с нормой.

Результаты исследования суточных паттернов биометрических показателей ЗН в группах сравнения представлены в табл. 2.

Анализ биометрических параметров ЗН показал статистически достоверное уменьшение ТОЗН в вечернее время суток в норме и у пациентов с начальной стадией ПОУГ по сравнению с таковыми в 8:00 утра. Однако значимых изменений ТБОЗН в этот период не наблюдалось во всех группах обследуемых, что свидетельствует о суточном ритме состояния периневрального пространства ЗН у здоровых лиц и при начальной стадии глаукомы.

Таблица 1. Средние показатели биометрических и акустических параметров ЗН при различных стадиях ПОУГ.

Table 1. Mean biometric and acoustic parameters of the optic nerve at different stages of POAG.

Параметры Parameters	Начальная глauкомa <i>Early glaucoma</i> (n=65)	Развитая глauкомa <i>Moderate glaucoma</i> (n=126)	Далекозашедшая глauкомa <i>Advanced glaucoma</i> (n=19)	Контроль Controls (n=40)
Толщина ЗН, мм / ON thickness, mm				
ТБОЗН / ON thickness without sheaths	2,51±0,21 [2,2; 2,9]	2,42±0,25 [2,1; 3,2]	2,12±0,11* [1,9; 3,0]	2,64±0,24 [2,1; 3,4]
ТОЗН / ON thickness with sheaths	4,61±0,12 [4,3; 5,0]	4,5±0,21 [4,1; 5,0]	4,16±0,12* [3,9; 4,7]	4,66±0,11 [4,0; 5,1]
АП, у.е. / AD, c.u.				
Паренхима / Parenchyma	101,2±9,4 [86; 120]	102,1±8,2 [85; 124]	118,6±11,2* [79; 129]	104,6±13,6 [79; 129]
Оболочки / Sheaths	144,6±12,8 [121; 166]	145,2±14,1 [136; 181]	169,5±11,0* [142; 199]	142,8±10,4 [122; 171]

Примечание: n — число глаз; * — достоверность относительно показателей в группе контроля p<0,05.

Note: n — number of eyes; * — statistical significance of differences compared with the controls is p<0.05.

Таблица 2. Средние значения биометрических показателей ЗН в течение суток у пациентов с ПОУГ в сравнении с группой контроля.

Table 2. Mean values of biometric parameters of the ON during the day in patients with POAG in comparison with the control group.

Время суток Time of day	Начальная глauкомa <i>Early glaucoma</i> (n=65)	Развитая глauкомa <i>Moderate glaucoma</i> (n=126)	Далекозашедшая глauкомa <i>Advanced glaucoma</i> (n=19)	Контроль Controls (n=40)
ТБОЗН, мм / ON thickness without sheaths, mm				
8:00	2,51±0,11	2,42±0,12	2,12±0,11*	2,64±0,14
14:00	2,48±0,10	2,41±0,10	2,0±0,11*	2,52±0,12
20:00	2,42±0,11	2,36±0,12	2,20±0,12*	2,45±0,10
ТОЗН, мм / ON thickness with sheaths, mm				
8:00	4,61±0,12	4,50±0,21	4,16±0,12*	4,66 ±0,11
14:00	4,51±0,10	4,48±0,19	4,14±0,11*	4,54±0,11
20:00	4,40±0,07**	4,41±0,20	4,18±0,12*	4,41±0,06**

Примечание: n — число глаз; * — достоверность относительно показателей в группе контроля p<0,05;
** — достоверность относительно показателей в утренние часы (8:00) p<0,05.

Note: n — number of eyes; * — statistical significance of differences compared with control is p<0.05;
** — statistical significance of differences compared with morning values (8:00) is p<0.05.

В течение 12-часового наблюдения максимальные значения ТОЗН регистрировались в утренние часы с их достоверным снижением в вечернее время. У пациентов с далекозашедшей стадией глauкомы имело место статистически достоверное уменьшение как ТОЗН, так и ТБОЗН по сравнению с группой контроля (p<0,05), что может указывать на наличие атрофии ЗН или дегенеративных изменений нервных волокон (аксонов ганглиозных клеток), а также оболочек ЗН. Однако достоверной суточной динамики биометрических параметров ЗН

у пациентов при продвинутой и далекозашедшей ПОУГ не наблюдалось.

При исследовании АП ЗН и его оболочек не наблюдалось достоверных изменений её средних значений при начальной и развитой ПОУГ по сравнению с контролем. Однако на глазах с далекозашедшей стадией глauкомы регистрировали статистически значимое увеличение АП по сравнению с нормой (p<0,05). Кроме того, достоверный суточный ритм этого показателя во всех группах обследуемых пациентов отсутствовал (табл. 3).

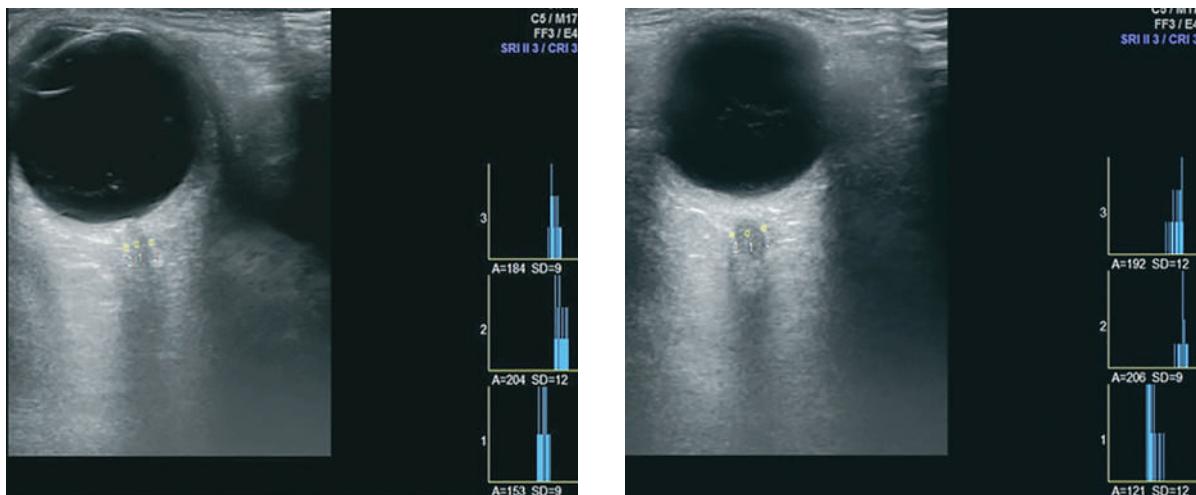


Рис. 2. Эходенситометрия ЗН у того же пациента: справа значения АП паренхимы 153 у.е., АП оболочек — 184 у.е. и 204 у.е.; слева значения АП паренхимы 121 у.е., АП оболочек — 192 у.е. и 206 у.е.

Fig. 2. Echodensitometry of the ON in the same patient: right eye — AD of parenchyma is 153 c.u., AD of sheaths are 184 c.u. and 204 c.u.; left eye — AD of parenchyma is 121 c.u., AD of sheaths are 192 c.u. and 206 c.u.

Таблица 3. Средние значения акустической плотности ЗН в течение суток у пациентов с ПОУГ в сравнении с группой контроля.

Table 3. Mean values of acoustic density of the ON during the day in patients with POAG in comparison with the control group.

Время суток <i>Time of day</i>	Начальная глаукома <i>Early glaucoma</i> (n=65)	Развитая глаукома <i>Moderate glaucoma</i> (n=126)	Далекозашедшая глаукома <i>Advanced glaucoma</i> (n=19)	Контроль <i>Controls</i> (n=40)
АП паренхимы, у.е. / AD of parenchyma, c.u.				
8:00	101,2±9,4	102,1±8,2	118,6±11,2*	104,6±13,6
14:00	105,2±7,8	101,1±5,9	114,2±10,4*	101,2±9,4
20:00	102,1±6,5	104,4±8,6	115,8±11,9*	105,2±7,8
АП оболочек, у.е. / AD of sheaths, c.u.				
8:00	144,6±12,8	145,2±14,1	169,5±11,0*	142,8±10,4
14:00	136,1±9,8	142,1±13,1	170,1±12,5*	140,3±9,2
20:00	135,4±11,2	138,4±15,4	168,3±11,8*	136,7±11,1

Примечание: n — число глаз; * — достоверность относительно показателей в группе контроля $p<0,05$;
** — достоверность относительно показателей в утренние часы (8:00) $p<0,05$.

Note: n — number of eyes; * — statistical significance of differences compared with control is $p<0.05$;
** — statistical significance of differences compared with morning values (8:00) is $p<0.05$.

Обсуждение

Наблюдаемые суточные (циркадные) изменения биометрических параметров ЗН формируются под влиянием целого ряда факторов, связанных как с общим состоянием организма, так и с локальными процессами в глазу. Основные из них можно сгруппировать следующим образом:

1. Гидродинамика глаза:

- внутриглазное давление: суточные колебания офтальмotonуса (чаще всего повышение ночью или рано утром) могут приводить к изменению перфузии

и гидратации зрительного нерва, что отражается на его толщине или объёме;

- особенности оттока внутриглазной жидкости: в положении лёжа (во время сна) венозный отток затрудняется, что может способствовать временной ретенции жидкости вокруг зрительного нерва.

2. Системная гемодинамика:

- колебания артериального давления: в норме ночью отмечается падение артериального давления (так называемый «ночной диппинг»), а утром — его подъём, что сказывается на перфузионном давлении в сосудах глаза;

- состояние ретробульбарного кровообращения: суточные изменения тонуса сосудов (артерий и вен) глаза могут изменять объём перфузии ЗН, а значит, и его биометрические параметры.

3. Гормональные и нейрогуморальные влияния:

- циркадные ритмы кортизола и адреналина: утренний «всплеск» кортизола может усиливать симпатический тонус, способствовать повышению артериального давления и частично влиять на колебания толщины ЗН.

- мелатонин: ночью его концентрация в организме повышается, что способствует снижению симпатической активности и артериального давления, влияя косвенно и на перфузию ЗН.

4. Положение тела и режим активности:

- поза (горизонтальное/вертикальное положение): в горизонтальном положении ночью может временно повышаться венозное давление, что приводит к некоторой задержке жидкости в районе ЗН.

- физическая активность: днём, во время бодрствования, улучшается венозный отток, что чаще всего снижает отёчность и способствует уменьшению толщины ЗН к вечерним часам.

5. Возраст и сопутствующие заболевания:

- возрастные изменения сосудов (склерозирование, снижение эластичности) и обменных процессов могут слаживать нормальный циркадный ритм колебаний толщины ЗН;

- системные заболевания (артериальная гипертония, сахарный диабет, атеросклероз сонных артерий) и локальные патологии глаза (глаукома,

Литература

1. European Glaucoma Society Terminology and Guidelines for Glaucoma, 5th Edition. *Br J Ophthalmol* 2021; 105(1):1-169. <https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2021-egsguidelines>
2. Quigley H.A., Broman A.T. The number of people with glaucoma worldwide in 2010 and 2020. *Br J Ophthalmol* 2006; 90(3):262-267. <https://doi.org/10.1136/bjo.2005.08122>
3. Jonas J.B., Aung T., Bourne R.R., Bron A.M., et al. Glaucoma. *Lancet* 2017; 390 (10108):2183-2193. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)31469-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)31469-1)
4. Umezurike B.C., Akhimien M.O., Chukwuka C., Ejike T.C., et al. Genetic Insights and Epidemiological Models in Understanding Primary Open Angle Glaucoma. *Ophthalmol Res Int J* 2024; 19:1-21. <https://doi.org/10.9734/or/2024/v19i6440>
5. Ju W.K., Perkins G.A., Kim K.Y., Bastola T., et al. Glaucomatous optic neuropathy: Mitochondrial dynamics, dysfunction and protection in retinal ganglion cells. *Prog Retin Eye Res* 2023; 95:101136. <https://doi.org/10.1016/j.preteyeres.2022.101136>
6. Agarwal R, Gupta S.K., Agarwal P., Saxena R., et al. Current concepts in the pathophysiology of glaucoma. *Indian J Ophthalmol* 2009; 57(4):257-266. <https://doi.org/10.4103/0301-4738.53049>
7. Neroev V., Malishevskaya T., Weinert D., Astakhov S., et al. Disruption of 24-Hour Rhythm in Intraocular Pressure Correlates with Retinal Ganglion Cell Loss in Glaucoma. *Int J Mol Sci* 2020; 22(1):359. <https://doi.org/10.3390/ijms22010359>
8. Gubin D., Neroev V., Malishevskaya T., Kolomeichuk S., et al. Daytime Lipid Metabolism Modulated by CLOCK Gene Is Linked to Retinal Ganglion Cells Damage in Glaucoma. *Applied Sciences* 2022; 12(13):6374. <https://doi.org/10.3390/app12136374>
9. Нероев В.В., Киселева Т.Н., Баева А.В., Елисеева Е.К., и др. Взаимосвязь акустических и морфометрических характеристик зрительного нерва с антропометрическими параметрами у молодых лиц в норме. *Российский офтальмологический журнал* 2022; 15(1):39-45. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2022-15-1-39-45>

воспалительные процессы) также влияют на выраженность суточных колебаний.

6. Степень структурно-функционального повреждения ЗН:

- на ранних стадиях ряда заболеваний (например, начальная глаукома) ещё сохраняются умеренные колебания толщины и метаболической активности ЗН в течение суток;

- при выраженных деструктивных изменениях (далекозашедшая глаукома, тотальная атрофия ЗН другого генеза) физиологические ритмические колебания ослабевают или исчезают вследствие снижения способности тканей к гидродинамическим и сосудистым реакциям.

Заключение

Комплексный анализ изменений эхографических характеристик ЗН в разное время суток у пациентов с разными стадиями глаукомы позволяет более детально понимать механизмы прогрессирования глаукомной оптиконейропатии, выделять пациентов с высоким риском прогрессирования заболевания и разрабатывать адресные профилактические меры.

Участие авторов:

Концепция и дизайн исследования: Малишевская Т.Н.

Сбор и обработка материала: Рензяк Е.В., Зумбулидзе Н.Г.

Написание статьи: Рензяк Е.В., Зумбулидзе Н.Г., Власова А.С.

Редактирование: Малишевская Т.Н.

References

1. European Glaucoma Society Terminology and Guidelines for Glaucoma, 5th Edition. *Br J Ophthalmol* 2021; 105(1):1-169. <https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2021-egsguidelines>
2. Quigley H.A., Broman A.T. The number of people with glaucoma worldwide in 2010 and 2020. *Br J Ophthalmol* 2006; 90(3):262-267. <https://doi.org/10.1136/bjo.2005.08122>
3. Jonas J.B., Aung T., Bourne R.R., Bron A.M., et al. Glaucoma. *Lancet* 2017; 390 (10108):2183-2193. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)31469-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)31469-1)
4. Umezurike B.C., Akhimien M.O., Chukwuka C., Ejike T.C., et al. Genetic Insights and Epidemiological Models in Understanding Primary Open Angle Glaucoma. *Ophthalmol Res Int J* 2024; 19:1-21. <https://doi.org/10.9734/or/2024/v19i6440>
5. Ju W.K., Perkins G.A., Kim K.Y., Bastola T., et al. Glaucomatous optic neuropathy: Mitochondrial dynamics, dysfunction and protection in retinal ganglion cells. *Prog Retin Eye Res* 2023; 95:101136. <https://doi.org/10.1016/j.preteyeres.2022.101136>
6. Agarwal R, Gupta S.K., Agarwal P., Saxena R., et al. Current concepts in the pathophysiology of glaucoma. *Indian J Ophthalmol* 2009; 57(4):257-266. <https://doi.org/10.4103/0301-4738.53049>
7. Neroev V., Malishevskaya T., Weinert D., Astakhov S., et al. Disruption of 24-Hour Rhythm in Intraocular Pressure Correlates with Retinal Ganglion Cell Loss in Glaucoma. *Int J Mol Sci* 2020; 22(1):359. <https://doi.org/10.3390/ijms22010359>
8. Gubin D., Neroev V., Malishevskaya T., Kolomeichuk S., et al. Daytime Lipid Metabolism Modulated by CLOCK Gene Is Linked to Retinal Ganglion Cells Damage in Glaucoma. *Applied Sciences* 2022; 12(13):6374. <https://doi.org/10.3390/app12136374>
9. Neroev V.V., Kiseleva T.N., Baeva A.V., Eliseeva E.K., et al. The correlation of acoustic and morphometric parameters of the optic nerve and anthropometric data in healthy young people. *Russian Ophthalmological Journal* 2022; 15(1):39-45. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2022-15-1-39-45>



TRANSCONTACT

БИОСОВМЕСТИМОСТЬ, БЕЗОПАСНОСТЬ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Инновационный
протектор тканей
глаза ОКВИС
обеспечивает комфорт
и длительную защиту
глазной поверхности



Деминерализованный
костный коллаген
I типа



dubna-biofarm@list.ru
+7(495)161-60-64
xentek.ru

tk-sales@yandex.ru
+7 495 605-39-38
transcontact.info