



<https://doi.org/10.21516/2072-0076-2022-15-4-49-57>

Эхографические критерии оценки состояния зрительного нерва при внутричерепной гипертензии

В.В. Нероев^{1, 2}, Т.Н. Киселева¹, Е.К. Елисеева^{1✉}, А.В. Баева², К.В. Луговкина¹

¹ ФГБУ «НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России, ул. Садовая-Черногрозская, д. 14/19, Москва, 105062, Россия

² ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова» Минздрава России, ул. Делегатская, д. 20, стр. 1, Москва, 127473, Россия

Цель работы — разработка объективных акустических критериев состояния зрительного нерва (ЗН) и его оболочек для ранней диагностики внутричерепной гипертензии (ВЧГ). **Материал и методы.** Обследовано 24 пациента (средний возраст — $35,8 \pm 8,5$ года) с подозрением на ВЧГ, группу контроля составили 48 здоровых лиц (средний возраст — $28,5 \pm 9,5$ года). Ультразвуковое исследование ретробульбарной части ЗН включало измерение его толщины с оболочками (ТОЗН) и без оболочек (ТБОЗН) с расчетом коэффициента соотношения $K = \text{ТОЗН}/\text{ТБОЗН}$. При помощи эходенситометрии осуществлялась оценка эхографической плотности паренхимы и оболочек ЗН. Всем пациентам проводилась магнитно-резонансная томография (МРТ) с анализом изображений головного мозга. **Результаты.** Биометрические параметры ЗН у здоровых лиц составили: ТБОЗН — $2,64 \pm 0,21$ мм, ТОЗН — $4,60 \pm 0,34$ мм, у пациентов с подозрением на ВЧГ средние значения диаметра ЗН были следующими: ТБОЗН — $2,57 \pm 0,25$ мм, ТОЗН — $5,81 \pm 0,42$ мм. Сравнительная оценка толщины ЗН с оболочками и без оболочек показала, что в группе контроля значения ТБОЗН не превышали 3,5 мм, ТОЗН — 5,0 мм, у пациентов с ВЧГ показатели ТОЗН были достоверно выше, чем в группе контроля ($p < 0,05$). Коэффициент соотношения $K = \text{ТОЗН}/\text{ТБОЗН}$ в группе здоровых добровольцев колебался от 1,53 до 2,0 и в среднем составил $1,75 \pm 0,14$, у пациентов с ВЧГ значения K были выше 2,0 ($2,4 \pm 0,18$). Выявлена значительная вариабельность показателей эходенситометрии оболочек ЗН при ВЧГ по сравнению с нормой. **Заключение.** Эхография ЗН позволяет с высокой точностью определить его акустические и биометрические параметры, оценить его структуру и соотношение с окружающими тканями. Коэффициент K позволяет диагностировать ВЧГ на ранних стадиях заболевания, даже при отсутствии объективных клинических критериев.

Ключевые слова: ультразвуковое исследование; толщина зрительного нерва с оболочками; толщина зрительного нерва без оболочек; внутричерепная гипертензия; эходенситометрия; магнитно-резонансная томография

Конфликт интересов: отсутствует.

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

Для цитирования: Нероев В.В., Киселева Т.Н., Елисеева Е.К., Баева А.В., Луговкина К.В. Эхографические критерии оценки состояния зрительного нерва при внутричерепной гипертензии. Российский офтальмологический журнал. 2022; 15 (4): 49–57. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2022-15-4-49-57>

Echographic criteria for the assessment of the optic nerve condition in intracranial hypertension

Vladimir V. Neroev^{1, 2}, Tatiana N. Kiseleva¹, Elena K. Eliseeva¹ ✉, Alena V. Baeva², Kseniya V. Lugovkina¹

¹ Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases, 14/19, Sadovaya-Chernogryazskaya St., Moscow, 105062, Russia

² Moscow Evdokimov State Medical Stomatological University of Medicine and Dentistry, 20/1, Delegatskaya St., Moscow, 127473, Russia
eliseevaek@ya.ru

Purpose: to develop objective acoustic criteria of the condition of the optic nerve and its sheaths for an early diagnosis of intracranial hypertension (IH). **Material and methods.** The research involved 24 patients (average age 35.8 ± 8.5 years) with suspected IH. The control group consisted of 48 healthy subjects (average age 28.5 ± 9.5 years). Ultrasound examination of the retrobulbar part of the optic nerve (ON) included the measurement of the ON thickness with sheaths (ONSD) and without sheaths (OND) and the calculation of the ratio $K = \text{ONSD} / \text{OND}$. Echodensitometry was used to evaluate the echographic density of the parenchyma and the sheaths of the optic nerve. All patients were tested with magnetic resonance imaging (MRI) to analyse brain images. **Results.** The biometrical parameters of ON in healthy subjects were as follows: ONS 2.64 ± 0.21 mm and ONSD — 4.60 ± 0.34 mm. In patients with suspected IH the average parameters of the ON diameter were as follows: ONS — 2.57 ± 0.25 mm and ONSD — 5.81 ± 0.42 mm. A comparative assessment of the ON thickness with and without sheaths showed that in the control group the values of ONS did not exceed 3.5 mm and ONSD did not exceed 5.0 mm. In patients with IH, the values of ONSD were significantly higher than those in the control group ($p < 0.05$). The ratio coefficient (K) = ONSD/ONS in the group of healthy subjects ranged from 1.53 to 2.0 and averaged 1.75 ± 0.14 . In patients with IH the values of K exceeded 2.0 (2.40 ± 0.18). The analysis of acoustic density data showed a significant variability in the parameters of the ON sheaths echodensitometry in IH patients as compared to the norm. **Conclusion.** The echography of the ON makes it possible to determine the acoustic and biometric parameters of the ON with high accuracy, to assess its structure and relationship with the surrounding tissues. The ratio coefficient (K) of ONSD/ONS makes it possible to determine IH in the early stages of the disease, even in the absence of objective clinical criteria.

Keywords: ultrasound examination; thickness of the optic nerve with sheaths; thickness of the optic nerve without sheaths; intracranial hypertension; echodensitometry; magnetic resonance imaging

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Financial disclosure: the authors have no financial or property interest in any material or method mentioned.

For citation: Neroev V.V., Kiseleva T.N., Eliseeva E.K., Baeva A.V., Lugovkina K.V. Echographic criteria for the assessment of the optic nerve condition in intracranial hypertension. Russian ophthalmological journal. 2022; 15 (4): 49-57 (In Russian). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2022-15-4-49-57>

Внутричерепное давление (ВЧД) представляет собой разницу между собственно внутричерепным (интракраниальным) и атмосферным давлением, обеспечивается динамическим балансом между веществом головного мозга (до 85%), ликвором (5–7%) и кровью (10–16%), составляя в норме от 3 до 15 мм рт. ст. [1]. Внутричерепной гипертензией (ВЧГ) считают стойкое повышение ВЧД более 15–18 мм рт. ст., продолжающееся более 5 мин [2]. ВЧГ — патологическое состояние со сложным генезом и множеством причинных факторов, включая объемные процессы головного и спинного мозга, блокаду желудочковой системы мозга, нарушение продукции/резорбции ликвора, черепно-мозговые травмы, внутричерепные кровоизлияния и др. [3].

По данным разных авторов, в настоящее время в 1–2 случаях на 100 тыс. населения диагностируют идиопатическую, или доброкачественную ВЧГ (pseudotumor cerebri). Сложность диагностики этой патологии обусловлена низкой специфичностью симптоматики: пациенты в основном жалуются на «распирающую» головную боль, тошноту, рвоту и периодическое затуманивание зрения в дебюте заболевания, а в дальнейшем — на существенное снижение зрительных функций. При несвоевременной диагностике и отсутствии адекватной коррекции интракраниальной гипертензии достаточно высок риск слепоты и инвалидности.

Достоверно измерить ВЧД можно только с помощью инвазивных методик, использующих датчики, устанавливаемые в желудочки и вещество головного мозга. Несмотря на точность и непрерывность измерений, недостатками метода остаются травматичность, риск развития геморрагических и инфекционных осложнений, возможность смещения датчиков [4].

В литературе подробно освещены различные способы неинвазивной оценки ВЧД, включая отоакустическую тимпанометрию (оценка деформации барабанной перепонки при ВЧГ), кохлеарную микрофонию (оценка изменений низкочастотных звуковых колебаний в наружном слуховом проходе), транскраниальную доплерографию средней мозговой артерии (ТКДГ), венозную офтальмодинамометрию, сонографию (мониторинг скорости прохождения ультразвуковой волны в полости черепа) и др. [4–6]. Каждый из перечисленных методов имеет как свои достоинства, так и недостатки. Поэтому поиск и разработка наиболее точных и легко воспроизводимых методов диагностики и мониторинга ВЧГ остаются по-прежнему актуальными.

Одним из таких способов является ультразвуковое исследование (УЗИ) зрительного нерва (ЗН) — неинвазивный, высокоинформативный и относительно недорогой метод, но при этом — операторозависимый, требующий соблюдения

техники измерения диаметра ЗН и правильной интерпретации полученных данных [7].

ЗН является продолжением белого вещества головного мозга, он окружен тремя оболочками: твердой, паутинной и мягкой. Твердая оболочка образует наружное влагалище ЗН, представляющее собой узкую неравномерную щель, заполненную цереброспинальной жидкостью в количестве 0,1 мл, субдурально располагается множество трабекул, имеются участки сращения оболочек, септы [8]. Паутинная и мягкая оболочки формируют внутреннее влагалище, которое окружает ЗН. Между внутренним и наружным влагалищами расположено субарахноидальное пространство толщиной 0,1 мм, подразделяющееся на ликвороносные каналы, окутанные соединительнотканными волокнами, и субарахноидальные ячейки. В крайне редких случаях межоболочечные пространства в орбитальной части ЗН отсутствуют. К области перехода внутриканального отдела ЗН во внутричерепной отдел субарахноидальное пространство расширяется, становится равномерным, хорошо выраженным при визуализации с помощью магнитно-резонансной томографии (МРТ). За счет сообщения ликвора между головным мозгом и орбитальным отделом ЗН, а также из-за анатомических особенностей и скопления избыточной жидкости в субарахноидальном пространстве происходит его расширение, которое выявляется на эхограммах с помощью современных ультразвуковых диагностических приборов [2, 7, 8].

Большинство авторов оценивают диаметр ЗН с оболочками (ДОЗН), который в норме в среднем составляет не более 5,0 мм [9, 10]. В то же время имеются публикации, в которых подчеркивают практическую значимость измерения диаметра ЗН без оболочек (ДБОЗН) со средними нормативными значениями не более 2,5–2,8 мм [11].

Известно, что наиболее характерным офтальмологическим проявлением ВЧГ является формирование застойного диска ЗН (ЗДЗН) [12]. В некоторых случаях ЗДЗН остается единственным проявлением ВЧГ и не всегда сопровождается неврологической симптоматикой. Однако при формировании компенсаторных механизмов у пациентов с повышенным ВЧД признаки ЗДЗН могут отсутствовать. По данным J. Selhorst и соавт. [13], среди пациентов с черепно-мозговой травмой (ЧМТ) высокое ВЧД наблюдалось у 54% обследуемых, а ЗДЗН — лишь у 3,5%. Поэтому при ВЧГ оценка диаметра орбитального отдела ЗН приобретает диагностическую и прогностическую значимость.

На начальных стадиях развития ВЧГ изменения возникают в наиболее податливой части оболочек ЗН (на расстоянии 3–6 мм от заднего полюса глаза), что было доказано в результате экспериментального исследования Н. Hansen и К. Helmke [14]. Авторы с помощью эхографии изучили влияние высокого ВЧД на состояние ЗН в 20 кадаверных глазах. При введении 20% раствора желатина, разогретого до 40 °С, в субарахноидальное пространство с последующей ультразвуковой биометрией поперечного сечения ЗН в большинстве случаев было определено его расширение в указанной области.

Т. Geeraerts и соавт. [15] на основании данных эхографии определили, что при повышении ВЧД более чем на 20 мм рт. ст. диаметр ЗН в среднем составлял $6,3 \pm 0,6$ мм. Похожие результаты получены и другими авторами [16, 17]. Показано, что толщина ЗН выше 5,0 мм является достоверным признаком повышенного ВЧД при тяжелой ЧМТ [18, 19].

К другим методам биометрической оценки диаметра орбитального отдела ЗН относится МРТ, которая позволяет измерять толщину ЗН с оболочками и без оболочек и выявлять характерные нейровизуализационные призна-

ки ВЧГ. Однако этот метод основан на избирательном поглощении тканями электромагнитного излучения, что дает существенные ограничения к его применению, например метод противопоказан детям и беременным женщинам. Кроме того, до сих пор дискутируется вопрос о технике проведения МРТ для получения воспроизводимых и точных данных биометрии ЗН.

На сегодняшний день эхография, в отличие от МРТ, считается наиболее доступным, быстрым и высокочувствительным методом измерения толщины ЗН. Кроме того, УЗИ в режиме В-сканирования позволяет определить анатомо-топографические взаимоотношения ЗН с другими орбитальными структурами и выявить изменения оболочек глаза вблизи ДЗН [20, 21]. Высокая воспроизводимость результатов, простота и информативность определяют интерес клиницистов к этому методу. К основным достоинствам эхографии относятся безопасность, возможность применения у лиц любого возраста, отсутствие необходимости особой подготовки больных к проведению исследования, а также возможность оценки ЗН у постели больного [22, 23].

ЦЕЛЬ работы — разработка объективных акустических критериев состояния ЗН и его оболочек для ранней диагностики ВЧГ.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Обследовано 24 пациента в возрасте $35,8 \pm 8,5$ года с подозрением на ВЧГ. Группу контроля составили 48 здоровых добровольцев в возрасте $28,5 \pm 9,5$ года. УЗИ ретробульбарной части ЗН включало измерение толщины ЗН с оболочками (ТОЗН) и без оболочек (ТБОЗН) на расстоянии 3 мм от заднего полюса глаза. Далее рассчитывали коэффициент соотношения $K = \text{ТОЗН} / \text{ТБОЗН}$.

Критериями исключения из исследования являлись: наличие тяжелых системных заболеваний и/или нестабилизированных состояний (злокачественные новообразования, артериальная гипертензия III степени, эпилепсия, инфекционные заболевания); состояния, затрудняющие аудиовизуальный контакт, а также наличие в анамнезе ранее установленных воспалительных, сосудистых, дистрофических заболеваний глаз, травмы органа зрения, офтальмоонкологических проявлений и глаукомы; добровольный отказ от исследования.

Помимо стандартного офтальмологического обследования, включающего визометрию, биомикроскопию, тонометрию, офтальмоскопию, компьютерную периметрию, проводили УЗИ с эходенситометрией орбитальной части ЗН. УЗИ ЗН в режиме В-сканирования осуществлялось с помощью multifunctional сканера Voluson E8 (GE Healthcare) и линейного датчика с частотой 10,0–18,5 МГц при средне-низких значениях коэффициента усиления сигнала Gain по представленной ранее методике [24]. Акустическую мощность диагностического прибора снижали, учитывая соответствующие рекомендации международных профессиональных организаций — Food and Drug Administration (FDA), Американского института ультразвука в медицине (AIUM), согласно которым экспозицию и интенсивность выходного акустического сигнала снижают до уровня, позволяющего регистрировать изображение оптимального качества [25].

Оценка акустических характеристик включала определение хода ЗН в орбите (изменен или не изменен), внутренней структуры паренхимы и оболочек (однородная или неоднородная) и его контуров. С помощью аксиального горизонтального сканирования ЗН на расстоянии 3 мм от заднего полюса измеряли толщину ЗН обоих глаз с ТОЗН

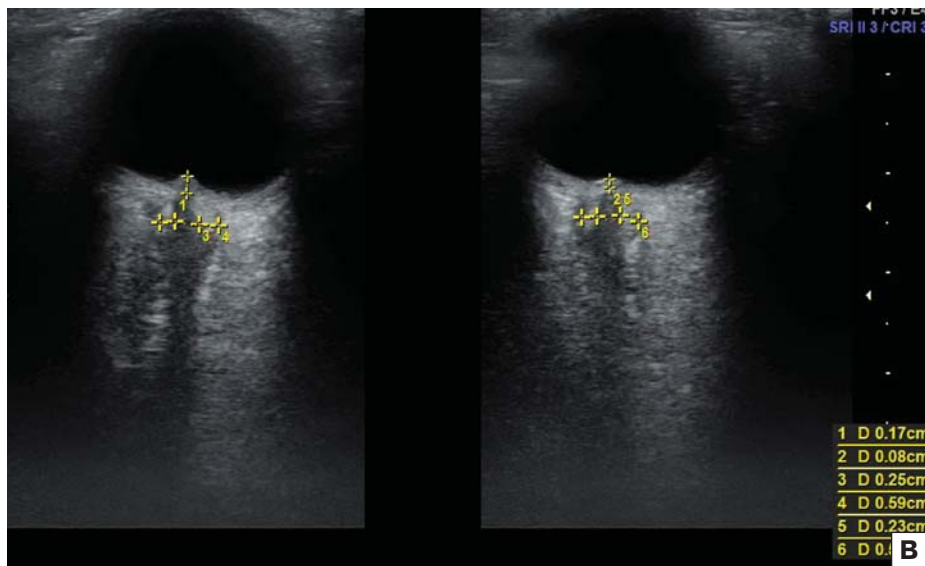


Рис. 1. А — фото глазного дна пациентки с 3ДЗН: отек и проминенция ДЗН в стекловидное тело, наиболее выраженные справа. Б — поле зрения этой же пациентки: концентрическое сужение с обеих сторон. В — эхограмма ЗН этой же пациентки, визуализируется проминенция ДЗН справа до 1,7 мм, слева — до 0,8 мм. Данные биометрии ретробульбарного отдела ЗН: справа — ТБОЗН = 2,5 мм, ТОЗН = 5,9 мм, К = 2,36; слева — ТБОЗН = 2,3 мм, ТОЗН = 5,7 мм, К = 2,47

Fig. 1. А — photo of a patient's fundus with optic disc swelling: edema and prominence of optic disc into the vitreous body, most expressed on the right. Б — visual field of the same patient: concentric narrowing on both sides. В — an echogram of the ON of the same patient, the optic disc swelling is visualized on the right up to 1.7 mm, on the left — up to 0.8 mm. Biometrics data of the retrobulbar ON: on the right — OND = 2.5 mm, ONSD = 5.9 mm, K = 2.36; on the left — OND = 2.3 mm, ONSD = 5.7 mm, K = 2.47

и ТБОЗН. Далее рассчитывали коэффициент соотношения этих показателей — $K = \text{ТОЗН} / \text{ТБОЗН}$.

При помощи эходенситометрии осуществлялась оценка эхографической плотности паренхимы и оболочек ЗН с построением двухмерных гистограмм и расчетом среднего значения (А) в условных единицах (у. е.) цифрового анализа изображения.

Всем пациентам проводилась МРТ с анализом изображений головного мозга: выявление очагов повреждения мозга, определение состояния срединных структур и диагностика поперечной и аксиальной дислокации, оценка состояния желудочковой системы, субарахноидального пространства и базальных цистерн, паренхимы головного мозга (наличие отека мозга, зон ишемии).

Статистическая обработка данных выполнялась на персональном компьютере с помощью программы Microsoft Excel — 2019, достоверность параметров определялась по критерию Стьюдента.

РЕЗУЛЬТАТЫ

При офтальмологическом обследовании показатели максимальной (МКОЗ) у пациентов с подозрением на ВЧГ были в пределах от 0,1 до 0,8. При офтальмоскопии глазного дна у 19 (79%) из 24 пациентов отмечались признаки 3ДЗН (рис. 1, А). Результаты компьютерной периметрии показали расширение слепого пятна у 12 (50%) пациентов, дефекты в нижних квадрантах — у 9 (37,5%), концентрическое сужение зрения — у 3 (12,5%) пациентов (рис. 1, Б).

Эхографические изображения орбитального отдела ЗН при ВЧГ отличались от нормы.

У всех пациентов с подозрением на ВЧГ визуализировалось утолщение оболочек, отмечалась неоднородность их внутренней структуры. У 19 (79%) из 24 пациентов регистрировали проминенцию ДЗН в стекловидное тело от 0,6 до 1,6 мм (рис. 1, В). При вертикальном поперечном сканировании у 11 (45,8%) пациентов выявлялись изменения в области переднего отдела ЗН в виде анэхогенной зоны вокруг его паренхимы — «симптом бублика» (рис. 2).

Исследование биометрических параметров ЗН здоровых лиц (группа контроля) показало, что средние значения ТБОЗН составляют $2,64 \pm 0,21$ мм, ТОЗН — $4,60 \pm 0,34$ мм, у пациентов с подозрением на ВЧГ — ТБОЗН

$2,57 \pm 0,25$ мм, ТОЗН — $5,81 \pm 0,42$ мм (табл. 1). Сравнительная оценка толщины ЗН с оболочками и без оболочек показала, что в группе контроля значения ТБОЗН не превышали 3,5 мм, а ТОЗН — 5,0 мм (рис. 3), у пациентов с ВЧГ показатели были достоверно выше ($p < 0,05$) (рис. 4).

Коэффициент $K = \text{ТОЗН} / \text{ТБОЗН}$ в группе здоровых добровольцев колебался от 1,53 до 2,0 и в среднем состав-

лял $1,75 \pm 0,14$ (см. табл. 1). У всех пациентов с подозрением на ВЧГ визуализировалось утолщение оболочек ЗН. У 19 из 24 пациентов определялась проминенция ДЗН в стекловидное тело. У пациентов с ВЧГ отмечалось достоверное увеличение показателя ТОЗН по сравнению с нормой, значения K превышали 2,0 ($2,40 \pm 0,18$).

Анализ акустической плотности показал ее значительную вариабельность (рис. 5). У пациентов с ВЧГ средние показатели эходенситометрии паренхимы и оболочек ЗН были достоверно ниже, чем у пациентов группы контроля (см. табл. 1).

У всех пациентов с показателями ТОЗН более 5,1 мм диагноз ВЧГ был подтвержден с помощью МРТ головного мозга. Все пациенты были консультированы неврологом и при необходимости госпитализированы в неврологический стационар.

ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ отечественной и зарубежной литературы показал, что в настоящее время не прекращается поиск способа неинвазивного контроля ВЧД.

Ранняя диагностика ВЧГ является важной как для нейрохирургов и неврологов, так и для офтальмологов. Повышение ВЧД может сопровождаться изменениями на глазном дне, включая развитие ЗДЗН, однако известно, что в дебюте основного заболевания признаки ЗДЗН могут отсутствовать. К тому же застойные явления на глазном дне не всегда обусловлены повышением ВЧД. Согласно данным литературы, среди пациентов с черепно-мозговой травмой ВЧГ наблюдалась у 54% больных, при офтальмоскопии глазного дна ЗДЗН был определен лишь у 3,5% пациентов [13]. Следовательно, ультразвуковая визуализация интрабульбарного и ретробульбарного отделов, а также анализ состояния оболочек ЗН, оценка взаимоотношения ЗН с окружающими тканями орбиты при условии соблюдения техники исследования представляются актуальными.

Ультразвуковая диагностика ЗН и его оболочек является альтернативной, достаточно информативной и, безусловно, конкурентоспособной возможностью нейровизуализации. Особый интерес для специалистов представляет динамическая оценка ВЧД, в том числе в острых случаях ВЧГ, у постели больного, а также корреляция полученных данных эхографии, включая расширение субарахноидального пространства ЗН, с уровнем ВЧД, зарегистрированным инвазивными методами [1, 6, 26].

Следует отметить, что до сих пор остаются противоречивыми сведения о средних значениях ТБОЗН и ТОЗН в норме. Результаты УЗИ, опубликованные разными авторами, представлены в таблице 2. Полученные нами средние биометрические показатели ЗН у здоровых добровольцев совпадают с данными Н. Chen и соавт. [27]. В исследовании L. Romagnuolo и соавт. [28] показатели ТОЗН варьировали от 4,4 до 4,8 мм, что практически соответствует нашим данным (от 4,2 до 4,9 мм).

В ряде исследований представлено достоверное увеличение поперечного диаметра или толщины ЗН с оболочками при ВЧГ по сравнению с нормой. Наши результаты согласуют-

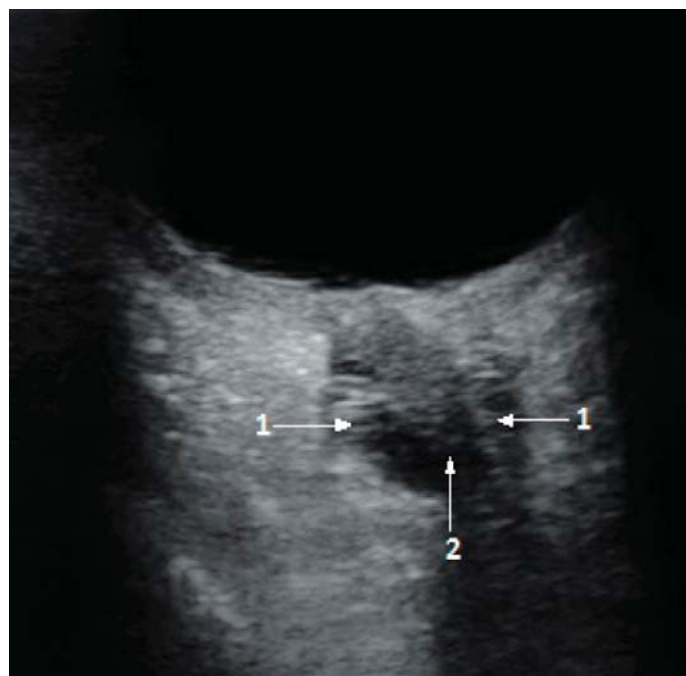


Рис. 2. Эхограмма глаза и орбиты (В-режим) пациента с ВЧГ: визуализируется проминенция зоны ДЗН в стекловидное тело, утолщение оболочек (стрелка 1) и «симптом бублика» в виде анэхогенной тени в ретробульбарном отделе ЗН (стрелка 2)

Fig. 2. An echogram of the eye and orbit (B-scan) of the patient with IH: the prominence of the optic disc zone into the vitreous body, thickening of the sheaths (arrow 1) and the "doughnut symptom" in the form of an anechoic shadow in the retrobulbar part of the ON (arrow 2) are visualized

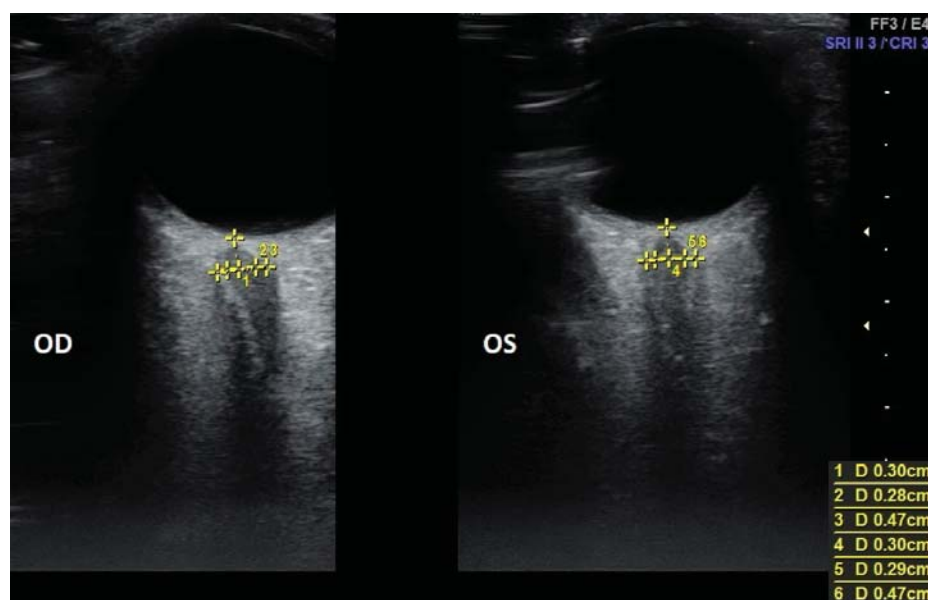


Рис. 3. Эхограмма ретробульбарной части ЗН с биометрической оценкой в норме

Fig. 3. Normal echogram of the retrobulbar optic nerve with a biometric analysis



Рис. 4. Эхограмма ретробульбарной части ЗН обоих глаз у пациента с ВЧГ. Увеличение диаметра поперечного сечения ЗН (ТОЗН) (справа до 6,0 мм, слева до 5,6 мм)

Fig. 4. Echogram of the retrobulbar ON on both eyes in a patient with IH. Increase of the ON cross-section diameter (ONSD) (right up to 6.0 mm, left up to 5.6 mm)

ся с данными J. Dubourg и соавт. [35], которые регистрировали у пациентов с ВЧГ показатели ТОЗН в интервале от 5,0 до 5,9 мм. Однако в исследовании Н. Kimberly и соавт. [36] средний показатель ТОЗН у пациентов с ВЧГ составил менее 5,1 мм.

Нами впервые проведена оценка акустической плотности ЗН и определены средние показатели эхонситометрии паренхимы и оболочек ЗН у пациентов с ВЧГ. Сравнительный анализ этих акустических характеристик у пациентов с повышенным ВЧД и здоровых лиц показал высокую информативность параметров эхонситометрии оболочек ЗН в диагностике ВЧГ. Соотношение толщины ЗН с оболочками к толщине паренхимы ЗН (коэффициент К) указывает на степень выраженности расширения субарахноидального пространства при повышении ВЧД. У пациентов с ВЧГ этот параметр достоверно выше, чем у здоровых лиц. В связи с этим значения $K = 2,0$ и более дают возможность диагностировать ВЧГ на ранней стадии даже при незначительном расширении диаметра периневрального субарахноидального пространства, что позволяет представить рассчитанный коэффициент в качестве объективного маркера ВЧГ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эхография ЗН позволяет с высокой точностью определить акустические и биометрические параметры ЗН, оценить его структуру и соотношение с окружающими тканями.

Таблица 1. Средние значения акустических и биометрических показателей ЗН ($M \pm m$)

Table 1. Mean values of the ON acoustic and biometric indices in patients with intracranial hypertension (IH) and in control group ($M \pm m$)

Эхографические характеристики Echographic characteristics	Контроль Control n = 48	Пациенты с ВЧГ Patients with IH n = 24	Достоверность показателей (p)* p — value*
Биометрические показатели Biometric indices			
ТБОЗН, мм OND, mm	$2,64 \pm 0,21$ (2,2–3,3)	$2,57 \pm 0,25$ (2,3–3,3)	$p > 0,05$
ТОЗН, мм ONSD, mm	$4,60 \pm 0,34$ (3,9–5,0)	$5,81 \pm 0,42$ (5,1–6,6)	$p < 0,001$
Коэффициент (К) ТОЗН/ТБОЗН Ratio (K) ONSD/OND	$1,75 \pm 0,14$ (1,53–2,0)	$2,40 \pm 0,18$ (2,15–2,82)	$p < 0,05$
Акустическая плотность ЗН (у. е.) Acoustic density (r. u.)			
Паренхима Parenchyma	$109,2 \pm 6,7$	$97,0 \pm 2,8$	$p > 0,05$
Оболочки Sheaths	$168,2 \pm 15,3$	$137,0 \pm 15,5$	$p < 0,05$

Примечание. * — p — достоверность показателей относительно группы контроля.

Note. * — p — reliability of indices relative to the control group. ONSD — optic nerve diameter with sheaths, OND — optic nerve diameter without sheaths.

Достоинствами методами являются относительная быстрота, безопасность, доступность и отсутствие предварительной подготовки больного к исследованию. Предложенный нами для расчета биометрических показателей ретробульбарного отдела ЗН коэффициент ТОЗН/ТБОЗН позволяет диагностировать внутричерепную гипертензию на ранних стадиях заболевания даже при отсутствии объективных клинических критериев.

Литература/References

1. Андрейцева М.И., Петриков С.С., Хамидова Л.Т., Солодов А.А. Ультразвуковое исследование структур канала зрительного нерва в диагностике внутричерепной гипертензии у больных с внутричерепными кровоизлияниями. Журнал им. Н.В. Склифосовского. Неотложная медицинская помощь. 2018; 7 (4): 349–56. [Andreytseva M.I., Petrikov S.S., Hamidova L.T., Solodov A.A. Ultrasound examination of the structures of the optic nerve channel in the diagnosis of intracranial hypertension in patients with intracranial hemorrhages. Zhurnal imeni N.V. Sklifosovskogo. Neotlozhnaya medicinskaya pomosh. 2018; 7 (4): 349–56 (in Russian)]. <https://doi.org/10.23934/2223-9022-2018-7-4-349-356>
2. Петриков С.С., Андрейцева М.И., Хамидова Л.Т., Солодов А.А. Диагностика внутричерепной гипертензии при помощи ультразвукового исследования канала зрительного нерва у пациентов с внутричерепными кровоизлияниями. Медицинская визуализация. 2018; 22 (3): 6–16. [Petrikov S.S., Andreytseva M.I., Khamidova L.T., Solodov A.A. The diagnosis of intracranial hypertension using ultrasound of the optic nerve cannal in patients with intracranial hemorrhage. Medical visualization. 2018; 22 (3): 6–16 (in Russian)]. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-2018-3-6-16>
3. Самсонова Л.Н. Синдром доброкачественной внутричерепной гипертензии — pseudotumor cerebri syndrom. Обзор. Рефракционная хирургия и офтальмология. 2007; 7 (2): 38–42. [Samsonova L.N. Pseudotumor cerebri syndrom. Review. Refractive surgery and ophthalmology. 2007; 7 (2): 38–42 (in Russian)].
4. Ошоров А.В., Лубнин А.Ю. Внутричерепное давление, мониторинг ВЧД. Анестезиология и реаниматология. 2010; 4: 4–10. [Oshorov A.V., Lubnin A. Yu. Intracranial pressure. intracranial pressure monitoring. Anesthesiology and intensive care. 2010; 4: 4–10 (in Russian)].
5. Горбачев В.И., Лихолетова Н.В., Горбачев С.В. Мониторинг внутричерепного давления: настоящее и перспективы (Сообщение 3). Политравма. 2014; 2: 77–86. [Gorbachev V.I., Likholetova N.V., Gorbachev S.V. Intracranial pressure monitoring: Present and prospects (Report 3). Polytrauma. 2014; 2: 77–86 (in Russian)].
6. Лобзин С.В., Никифорова Л.Г. Современные представления о неинвазивных методах измерения внутричерепного давления. Медицинский алфавит. 2021; 14: 32–5. [Lobzin S.V., Nikiforova L. G. Modern concepts of non-invasive methods for measuring intracranial pressure. Medical alphabet. 2021; 14: 32–5 (in Russian)]. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2021-14-32-35>
7. Киселева Т.Н., Баева А.В., Елисеева Е.К., Макухина В.В. Роль ультразвуковых методов в оценке биометрических характеристик зрительного нерва. Российский офтальмологический журнал. 2020; 13 (3): 97–102. [Kiseleva T.N., Baeva A.V., Eliseeva E.K., Makukhina V.V. The role of ultrasound methods in the assessment of biometric characteristics of the optic nerve. Russian Ophthalmological Journal. 2020; 13 (3): 97–102 (in Russian)]. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2020-13-3-97-102>
8. Гусева Ю.А. Анатомия межоболочечных пространств внутриканальной части зрительного нерва человека. Медицинский журнал. 2005; 1 (11): 35–7. [Gyseva Yu.A. Anatomy of the intervertebral spaces of the intracanal part of the human optic nerve. Medical journal. 2005; 1 (11): 35–7 (in Russian)].
9. Schroeder C., Katsanos A.H., Richter D., et al. Quantification of optic nerve and sheath diameter by transorbital sonography: a systematic review and metanalysis.

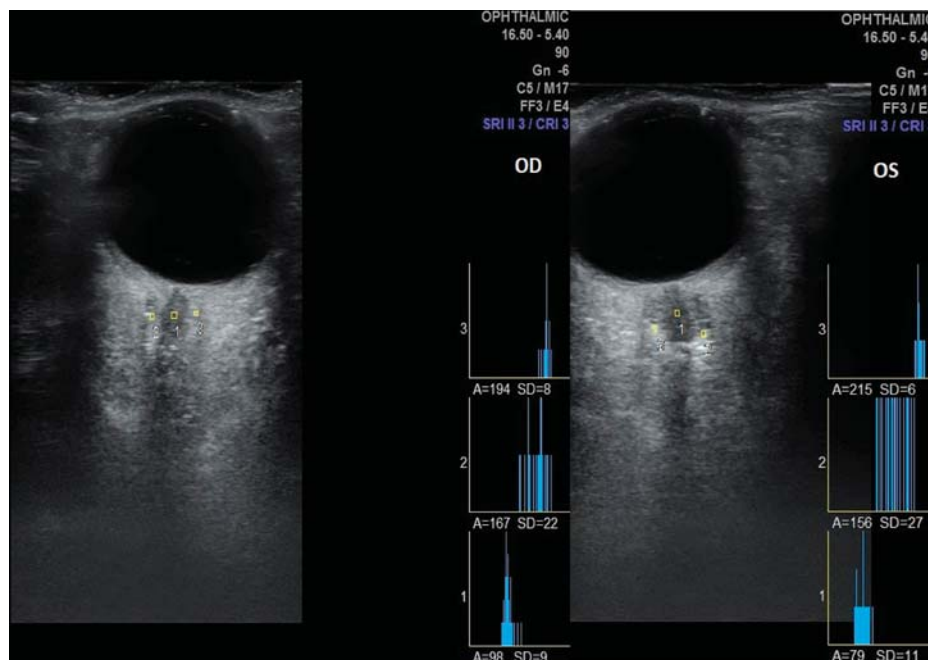


Рис. 5. Эходенситометрия ретробульбарной части ЗН у пациента с ВЧГ. Определяется неоднородность внутренней структуры оболочек нерва, вариабельность значений акустической плотности

Fig. 5. Echodensitometry of the retrobulbar ON in the patient with IH. The heterogeneity of the ON internal structure sheaths and the variability of acoustic density values are determined

Таблица 2. Средние значения показателей ТОЗН и ТБОЗН (по данным литературы)
Table 2. The mean values of ONSD and OND (literature data)

Литературные источники References	Эхографические показатели ЗН в норме, мм Ultrasound indices of the ON in norm, mm		Эхографические показатели ЗН при ВЧГ, мм Ultrasound indices of the ON in IH, mm	
	ТОЗН ONSD	ТБОЗН OND	ТОЗН ONSD	ТБОЗН OND
Н. Chen и соавт. [27]	5,1 [4,7–5,4]	3,2 [2,9–3,4]		
С. Schroeder и соавт. [29]	4,78 [2,90–3,25]	3,08 [4,63–4,94]		
А. Girisgin и соавт. [12]	4,6 ± 0,3		6,4 ± 0,7	
О. Aduayi и соавт. [30]	4,50 ± 0,22		4,80 ± 0,39	
Р. Ahmad и соавт. [31]	4,80 ± 0,26			
Н. Shokoohi и соавт. [32]	5,52	3,68		
Н. Rehman и соавт. [33]	4,4 ± 0,7		6,61 ± 0,39	
Ј. Pansell и соавт. [11]	5,0 ± 0,5	3,0 ± 0,2		
Н. Kishk и соавт. [34]	5,5 ± 0,4		6,57 ± 1,02	

Journal of Neuroimaging. 2020; 30 (2): 165–74. <https://doi.org/10.1111/jon.12691>

10. Нероев В.В., Киселева Т.Н., Баева А.В 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. [Neroev V.V., Kiseleva T.N., Baeva A.V., 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 (in Russian)]. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2022-15-1-39-45>

11. Pansell J., Bell M., Rudberg P., Friman O., Cooray C. Optic nerve sheath diameter measurement by ultrasound: Evaluation of a standardized protocol. *Journal of Neuroimaging*. 2022; 32 (1): 104–10. <https://doi.org/10.1111/jon.12936>
12. Girgisin A.S., Kalkan E., Kocak S., et al. The role of optic nerve ultrasonography in the diagnosis of elevated intracranial pressure. *Emergency. Medicine Journal*. 2007; 24: 251–4. <http://dx.doi.org/10.1136/emj.2006.040931>
13. Selhorst J.B., Gudeman S.K., Butterworth J.F. 4th, Harbison J.W., Miller J.D., Becker D.P. Papilledema after acute head injury. *Neurosurgery*. 1985 Mar; 16 (3): 357–63. doi: 10.1227/00006123-198503000-00013
14. Hansen H.C., Helmke K. Validation of the optic nerve sheath response to changing cerebrospinal fluid pressure: ultrasound findings during intrathecal infusion tests. *Journal of neurosurgery*. 1997; 87 (1): 34–40. <https://doi.org/10.3171/jns.1997.87.1.0034>
15. Geeraerts T., Duranteau J., Benhamou D. Ocular sonography in patients with raised intracranial pressure: the papilloedema revisited. *Crit. Care*. 2008; 12 (3): 150. <https://doi.org/10.1186/cc6893>
16. Geeraerts T. Ultrasonography of the optic nerve sheath may be useful for detecting raised intracranial pressure after severe brain injury. *Intensive Care Med*. 2007; 17: 1704–11. <https://doi.org/10.1007/s00134-007-0797-6>
17. Watanabe A., Kinouchi H., Horikoshi T., Uchida M., Ishigame K. Effect of intracranial pressure on the diameter of the optic nerve sheath. *J. Neurosurg*. 2008; 17: 255–8. <https://doi.org/10.3171/JNS/2008/109/8/0255>
18. Семенов А.В., Сороковиков В.А. Неинвазивное измерение внутричерепного давления в клинической практике (обзор литературы). Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения РАН. 2015; 3: 100–4. [Semyonov A.V., Sorokovikov V.A. Non-invasive detection of intracranial pressure in clinical practice (review of literature). *Acta Biomedica Scientifica (East Siberian Biomedical Journal)*. 2015; 3: 100–4 (in Russian)].
19. Rajajee V., Fletcher J.J., Rochlen L.R., Jacobs T.L. Comparison of accuracy of optic nerve ultrasound for the detection of intracranial hypertension in the setting of acutely fluctuating vs stable intracranial pressure: posthoc analysis of data from a prospective, blinded single-center study. *Crit. Care*. 2012; 17: 79. <https://doi.org/10.1186/CC11336>
20. Siebler M. Neuro-orbital ultrasound. *Manual of Neurosonology*. 2016: 300. <https://doi.org/10.1017/cbo9781107447905.0318888888>
21. Goeres P., Zeiler F.A., Unger B., Karakitsos D., Gillman L.M. Ultrasound assessment of optic nerve sheath diameter in healthy volunteers. *J. Crit. Care*. 2016; 31 (1): 168–71. <https://doi.org/10.1016/j.jcrc.2015.10.00910101010>
22. Green R.L., Byrne S.F. Diagnostic ophthalmic ultrasound. Basic science, inherited retinal disease and tumors. *Retina*. 2006; 1 (4): 265. <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-02598-0.50020-3>
23. Kendall C.J., Prager T. C., Cheng H., et al. Diagnostic ophthalmic ultrasound for radiologists. *Neuroimaging Clinics*. 2015; 25 (3): 327–65. <https://doi.org/10.1016/j.nic.2015.05.001>
24. Нероев В.В., Киселева Т.Н., ред. Ультразвуковые исследования в офтальмологии: Руководство для врачей. 1-е издание. Москва: Издательство ИКАР; 2019. [Neroev V.V., Kiseleva T.N., eds. *Ultrasound in ophthalmology: a guide for doctors*. 1st edition. Moscow: IKAR; 2019 (in Russian)].
25. Guidance for Industry and FDA staff. Information for Manufacturers Seeking Marketing Clearance of Diagnostic Ultrasound Systems and Transducers. Silver Spring. 2008.64.
26. Остапенко Б.В., Войтенков В.В. Современные методики мониторинга внутричерепного давления. Медицина экстремальных ситуаций. 2019; 21 (4): 472–85. [Ostapenko B.V., Voitenkov V.B. Modern techniques for intracranial pressure monitoring. *Meditsina ekstremalnykh situatsiy*. 2019; 21 (4): 472–85 (in Russian)].
27. Chen H., Ding G.S., Zhao Y.C., Yu R.G., Zhou J.X. Ultrasound measurement of optic nerve diameter and optic nerve sheath diameter in healthy Chinese adults. *BMC neurology*. 2015; 15 (1): 106. <https://doi.org/10.1186/s12883-015-0361-x>
28. Romagnuolo L., Tayal V., Tomaszewski C., Saunders T., Norton H.J. Optic nerve sheath diameter does not change with patient position. *The American journal of emergency medicine*. 2005; 23 (5): 686–8. <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2004.11.004>
29. Schroeder C., Katsanos A.H., Richter D., Tsvigoulis G., Gold R., Krogias C. Quantification of optic nerve and sheath diameter by transorbital sonography: a systematic review and metanalysis. *Journal of Neuroimaging*. 2020; 30 (2): 165–74. <https://doi.org/10.1111/jon.12691>
30. Aduayi O.S., Asaleye C.M., Adetiloye V.A., Komolafe E.O., Aduayi V.A. Optic nerve sonography: A noninvasive means of detecting raised intracranial pressure in a resource-limited setting. *J. Neurosci Rural Pract*. 2015; 6: 563–7. <https://doi.org/10.4103/0976-3147.165347>
31. Ahmad R., Begum A., Umbreen S., et al. Noninvasive ultrasound assessment of the normal optic nerve sheath diameter in healthy adults: an Islamabad-based Pakistani population study. *Journal of Ophthalmology and Research*. 2020; 3 (4): 86–95. <https://doi.org/10.26502/fjor.2644-00240027>
32. Shokoohi H., Pyle M., Kuhl E., et al. Optic nerve sheath diameter measured by point-of-care ultrasound and MRI. *Journal of Neuroimaging*. 2020; 30 (6): 793–9. <https://doi.org/10.1111/jon.12764>
33. Rehman N., Khan M.S., Nafees M., Rehman A.U., Habib A. Optic nerve sheath diameter on sonography in idiopathic intracranial hypertension versus normal. *J. Coll. Physicians Surg. Pak*. 2016 Sep; 26 (9): 758–60. PMID: 27671180
34. Kishk N.A., Ebraheim A.M., Ashour A.S., Badr N.M., Eshra M.A. Optic nerve sonographic examination to predict raised intracranial pressure in idiopathic intracranial hypertension: the cut-off points. *The neuroradiology journal*. 2018; 31 (5): 490–5. <https://doi.org/10.1177/1971400918789385>
35. Dubourg J., Javouhey E., Geeraerts T., Messerer M., Kassai B. Ultrasonography of optic nerve sheath diameter for detection of raised intracranial pressure: a systematic review and meta-analysis. *Intensive care medicine*. 2011; 37 (7): 1059–68. <https://doi.org/10.1007/s00134-011-2224-2>
36. Kimberly H.H., Shah S., Marill K., Noble V. Correlation of optic nerve sheath diameter with direct measurement of intracranial pressure. *Academic Emergency Medicine*. 2008; 15 (2): 201–4. <https://doi.org/10.1111/j.1553-2712.2007.00031.x>

Вклад авторов в работу: В.В. Нероев — руководство проектом; Т.Н. Киселева — научное редактирование текста статьи, курирование данных; А.В. Баева — сбор и анализ литературных источников, проведение исследований, написание текста статьи; Е.К. Елисеева — сбор и анализ литературных источников, редактирование текста статьи; К.В. Луговкина — проведение исследований, анализ результатов.

Authors' contribution: V.V. Neroev — project administration; T.N. Kiseleva — science editing, data analysis; A.V. Baeva — literature data collection and analysis, patients examination, writing of the article; E.K. Eliseeva — literature data collection and analysis, editing of the article; K.V. Lugovkina — patients examination, data analysis.

Поступила: 17.04.2022. Переработана: 15.05.2022. Принята к печати: 16.05.2022
Originally received: 17.04.2022. Final revision: 15.05.2022. Accepted: 16.05.2022

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

¹ ФГБУ «НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России, ул. Садовая-Черногрозская, д. 14/19, Москва, 105062, Россия

² ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова» Минздрава России, ул. Де-легатская, д. 20, стр. 1, Москва, 127473, Россия

Владимир Владимирович Нероев — академик РАН, д-р мед. наук, профессор, директор¹, заведующий кафедрой глазных болезней²

Татьяна Николаевна Киселева — д-р мед. наук, профессор, начальник отдела, главный научный сотрудник отдела ультразвуковых исследований¹

Елена Константиновна Елисеева — канд. мед. наук, научный сотрудник отдела ультразвуковых исследований¹

Алена Витальевна Баева — аспирант кафедры глазных болезней²

Ксения Вадимовна Луговкина — канд. мед. наук, научный сотрудник отдела ультразвуковых исследований¹

Для контактов: Елена Константиновна Елисеева,
eliseevaek@ya.ru

¹ Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases, 14/19, Sadovaya-Chernogryazskaya St., Moscow, 105062, Russia

² Evdokimov Moscow State Medical Stomatological University of Medicine and Dentistry, 20/1, Delegatskaya St., Moscow, 127473, Russia

Vladimir V. Neroev — Academician of the Russian Academy of Sciences, Dr. of Med. Sci., professor, director¹, head of chair of ophthalmology²

Tatiana N. Kiseleva — Dr. of Med. Sci., professor, head of ultrasound diagnostic department¹

Elena K. Eliseeva — Cand. of Med. Sci., researcher of ultrasound diagnostic department¹

Alena V. Baeva — PhD student, chair of ophthalmology²

Kseniya V. Lugovkina — Cand. of Med. Sci., researcher of ultrasound diagnostic department¹

Contact information: Elena K. Eliseeva,
eliseevaek@ya.ru