

Об адекватных зонах истинного ВГД в здоровых и глаукомных глазах

СВЕТЛОВА О.В., д.м.н., доцент, профессор кафедры офтальмологии с клиникой имени профессора Ю.С. Астахова¹, профессор кафедры офтальмологии²;

КОШИЦ И.Н., инженер-механик, биомеханик, генеральный директор³;

ПАНКРАТОВ Р.М., врач первой квалификационной категории, офтальмохирург⁴;

МАКАРОВСКАЯ О.В., врач высшей квалификационной категории, офтальмохирург⁴;

ЗАСЕЕВА М.В., к.м.н., врач высшей квалификационной категории, офтальмохирург, старший лаборант кафедры скорой медицинской помощи и хирургии повреждений¹.

¹ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова» Минздрава России, 197022, Российская Федерация, Санкт-Петербург, ул. Льва Толстого, 6–8;

²ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России, 191015, Российская Федерация; Санкт-Петербург, ул. Кирочная, 41;

³ЗАО «Питерком-Сети/МС Консультационная группа», 194223, Российская Федерация, Санкт-Петербург, ул. Курчатова, 1;

⁴ООО «Офтальмологическая лазерная клиника», 163002, Российская Федерация, Архангельск, пр. Обводный канал, 9, корп. 2.

Финансирование: авторы не получали финансирование при проведении исследования и написании статьи.

Конфликт интересов: отсутствует.

Для цитирования: Светлова О.В., Кошиц И.Н., Панкратов Р.М., Макаровская О.В., Засеева М.В. Об адекватных зонах истинного ВГД в здоровых и глаукомных глазах. *Национальный журнал глаукома.* 2023; 22(1):3-23.

Резюме

ЦЕЛЬ. С помощью пневмоанализатора Ocular Response Analyzer (ORA) выявить у фиброзной оболочки глаза (ФОГ) возможные диапазоны средних значений функциональных критериев «ригидность» и «флуктуация» в здоровых и глаукомных глазах с учетом возрастных периодов старения по классификации ВОЗ и определить соответствующие этим диапазонам адекватные диапазоны истинного внутриглазного давления (ВГД).

МЕТОДЫ. Теоретический анализ результатов измерения в клинике значений ригидности и флуктуации ФОГ, текущего уровня истинного ВГД и расчетного индивидуального уровня ВГД у пациента в молодости, полученных с помощью ORA по способу динамической диагностики Кошица-Светловой у 674 здоровых и 518 глаукомных глаз в возрасте 18–90 лет, распределенных согласно периодам старения по ВОЗ.

РЕЗУЛЬТАТЫ. Выявлена «ступенчатая закономерность» распределения средних значений ригидности и флуктуации в здоровых и глаукомных глазах, что позволило ранжировать зоны ВГД адекватно этим ступеням с учетом возрастных периодов старения по ВОЗ. Объективно выявлены следующие адекватные диапазоны уровня ВГД для здоровых и глаукомных глаз: зона низкого ВГД (до 13 мм рт.ст.); зона среднего ВГД (14–20 мм рт.ст.); зона

повышенного ВГД (21–26 мм рт.ст.); зона высокого ВГД (27–32 мм рт.ст.); зона субкомпенсации ВГД (33–39 мм рт.ст.) и зона некомпенсации ВГД (≥ 40 мм рт.ст.). «Ступени» средних значений ригидности, флуктуации и адекватные им диапазоны уровня ВГД не пересекаются. Текущее значение ригидности ФОГ и расчетное значение уровня ВГД в молодости позволяют достоверно отнести каждый здоровый или глаукомный глаз к его индивидуальной зоне ВГД.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Значение ригидности ФОГ закономерно определяет уровень ВГД ($p < 0,001$), а ригидность и флуктуация склеры напрямую формируют его текущий уровень. Фундаментальные критерии ригидности и флуктуации ФОГ не зависят от центральной толщины роговицы и объективно определяют текущее функциональное состояние ФОГ. Возможность объективно и достоверно определять принадлежность здорового или глаукомного глаза к его индивидуальной зоне ВГД представляется особенно важной для поликлинической сети. Время проведения такой экспресс-диагностики составляет 0,02 секунды.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: внутриглазное давление, индивидуальные зоны ВГД, глаукома, возрастная офтальмогипертензия, фиброзная оболочка глаза, ригидность, флуктуация, биомеханика глаза, склера.

Для контактов:

Светлова Ольга Валентиновна, e-mail: svetlova.ov@bk.ru

Статья поступила: 18.10.2022
Принята в печать: 02.11.2022

Article received: 18.10.2022
Accepted for printing: 02.11.2022

ORIGINAL ARTICLE

On adequate zones of true intraocular pressure in healthy and glaucoma eyes

SVETLOVA O.V., Dr. Sci. (Med.), Assistant Professor, Professor at the Academic Department of Ophthalmology with Clinic named after Yu.S. Astakhov¹, Professor at the Academic Department of Ophthalmology²;

KOSHITS I.N., mechanical engineer, biomechanic, General Director³;

PANKRATOV R.M., board-certified ophthalmologist, ophthalmic surgeon⁴;

MAKAROVSKAYA O.V., board-certified ophthalmologist, ophthalmic surgeon⁴;

ZASEEVA M.V., Cand. Sci. (Med.), board-certified ophthalmologist, ophthalmic surgeon, senior laboratory assistant at the Academic Department of Emergency Medical Care and Surgery of Injuries¹.

¹Pavlov First St. Petersburg State Medical University, 6-8 Lva Tolstogo St., Saint Petersburg, Russian Federation, 197022;

²Mechnikov North-Western State Medical University, 41 Kirochnaya St., Saint Petersburg, Russian Federation, 191015;

³ZAO Piterkom-Seti/MS Konsult'acionnaya gruppa, 1 Kurchatova St., Saint Petersburg, Russian Federation, 194223;

⁴OOO Oftal'mologicheskaya lazernaya klinika, 9 bld. 2 Obvodniy Canal Av., Arkhangelsk, Russian Federation, 163002.

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

Conflicts of Interest: none declared.

For citations: Svetlova O.V., Koshits I.N., Pankratov R.M., Makarovskaya O.V., Zaseeva M.V. On adequate zones of true intraocular pressure in healthy and glaucoma eyes. *Natsional'nyi zhurnal glaukoma*. 2023; 22(1):3-23.

Abstract

PURPOSE. The study was conducted to reveal using the Ocular Response Analyzer (ORA) the possible ranges of mean values of the "rigidity" and "fluctuation" criteria for fibrous membrane of healthy and glaucoma eyes with consideration of the age periods according to the classification by WHO, and to identify adequate true intraocular pressure (IOP) zones corresponding to these ranges.

METHODS. The study consisted of a theoretical analysis of clinical measurements of rigidity and fluctuation of the fibrous membrane, the current level of true IOP and the individual level of IOP calculated in youth using ORA by the method of dynamic diagnosis of Koshitsa-Svetlova, and involved in total 674 healthy and 518 glaucoma eyes from individuals aged 18 to 90 years, who were distributed by age periods according to WHO.

RESULTS. A "step pattern" of the distribution of Average values of rigidity and fluctuation in healthy and glaucoma eyes were distributed in a "step pattern", which made it possible to rank the IOP zones adequately to these steps, taking into account the age periods according to WHO. The following adequate ranges of IOP levels for healthy and glaucoma eyes were identified: low IOP zone (up to 13 mm Hg); medium IOP zone (14–20 mm Hg); elevated IOP

zone (21–26 mm Hg); high IOP zone (27–32 mm Hg); IOP subcompensation zone (33–39 mm Hg) and uncompensated IOP zone (≥ 40 mm Hg). The "steps" of the average values of rigidity, fluctuations, and the IOP ranges adequate to them do not intersect. The current value of the rigidity of the fibrous membrane and the IOP value calculated in youth make it possible to reliably attribute each healthy or glaucoma eye to its individual IOP zone.

CONCLUSION. Rigidity of the fibrous membrane consistently determines the level of IOP ($p > 0.001$), while the rigidity and fluctuation of the sclera directly influence its current level. The fundamental criteria — rigidity and fluctuation of the fibrous membrane of the eye — do not depend on the central corneal thickness and objectively determine the current functional state of the fibrous membrane. The ability to objectively and reliably determine whether a healthy or glaucoma eye belongs to its individual IOP zone is particularly important for the polyclinic network. The time such express diagnostics takes is 0.02 seconds.

KEYWORDS: intraocular pressure, pneumotometry, individual IOP zones, glaucoma, age-related ocular hypertension, fibrous membrane of the eye, rigidity, fluctuation, biomechanics of the eye, sclera.

В 1998 г. российский учёный, академик РАН А.П. Нестеров сделал по-настоящему революционный шаг в мировой офтальмологии — предложил производить оценку индивидуального уровня истинного ВГД по зонам низкой (9–12 мм рт.ст.), средней (13–16 мм рт.ст.) и верхней (17–22 мм рт.ст.) нормы [1]. Научная прозрачность А.П. Нестерова позволила ему понять, что огромные массивы многолетних измерений уровня ВГД во всем мире необходимо соотносить с разными зонами нормы для здоровых глаз, или нормативами (термин предложен В.В. Волковым) для глаукомных глаз, и рассматривать все физиологические изменения при возможной возрастной офтальмогипертензии (ВОГ) или патологические изменения при открытоугольной глаукоме (ОУГ) только в соответствии с индивидуальной зоной нормы ВГД. Это также означало, что традиционное т.н. «среднестатистическое» значение ВГД необходимо определять отдельно для каждой зоны нормы ВГД по А.П. Нестерову. Фактически был сделан важнейший шаг к пониманию перспективного пути исследования физиологической сущности поддержания рационального ВГД и практического применения этих знаний на новом уровне в клинике.

Глобальный подход А.П. Нестерова позволил глубоко осознать всю несостоятельность традиционной многовековой идеологии диагностики и лечения ОУГ, основанной на сравнении текущего уровня ВГД

у пациента со среднестатистическим уровнем ВГД «по мировой больнице в целом». Но только через 10 лет — в 2008 году — Европейское глаукомное общество (European Glaucoma Society, EGS) фактически поддержало эту точку зрения А.П. Нестерова (цитируем): «Нормальное» ВГД является статистическим описанием диапазона ВГД у населения и не применимо к индивидуальному субъекту» (выделено нами) [2].

В табл. 1 представлены обобщенные результаты измерений уровня ВГД в здоровых глазах, выполненных различными авторами с помощью тонометров разного типа и без учета возраста. Из табл. 1 хорошо видны большие разбросы (в 2–3 раза) в диапазоне крайних значений уровней ВГД практически в каждом исследовании. Особенно это характерно для исследований, выполненных W. Leydhecker у 18 800 пациентов [3]. Причем среднее значение уровня ВГД у его многочисленной группы пациентов составило 15,5 мм рт.ст. Очевидно, что во всем этом огромном массиве измерений ВГД представлены глаза из разных зон нормы ВГД согласно А.П. Нестерову и оценивать их по среднестатистическому уровню ВГД не только некорректно, но зачастую и неправомерно. Ведь глаза из разных зон нормы ВГД по А.П. Нестерову — это в своей физиологической сущности по-настоящему разные глаза, развитие в которых ВОГ или патологического глаукомного процесса может кардинально различаться.

Таблица 1. Значение уровня ВГД в здоровых глазах по данным различных авторов.

Table 1. IOP values in healthy eyes according to various researchers.

Автор Author	Год Year	Тип тонометра Type of tonometer	Число глаз Number of eyes	ВГД, мм рт.ст. / IOP, mm Hg	
				Среднее / Average	Диапазон / Range
Goldmann	1957	Гольдмана	400	15.4	8.9–22.0
Levene	1961	Goldmann	1686	15.6	7.0–24.2
Колесникова Kolesnikova	1961	Дашевского Dashevsky	1009	15.0	8.5–21.5
Мельник Melnik	1961		3386	16.6	9.5–23.6
Нестеров Nesterov	1963	Маклакова (5 гр.) Maklakov (5 gr.)	427	16.6	9.8–23.5
Белоруссов Belorussov	1964		2400	16.4	9.7–22.9
Leydhecker [3]	1958	Шиотца Schiotz	18 800	15.5	8.8–22.2
Becker	1958		909	16.1	8.8–23.4
Weekers	1959	Шиотца	487	17.0	9.9–24.1
Fronimopoulos	1961	Schiotz	606	16.2	10.2–22.2
Katavisto	1964		11 520	16.1	9.1–23.2

И сразу же становится понятно, как сильно «заблудилась» мировая офтальмология при использовании явно неполноценного критерия «уровень ВГД» в диагностике и профилактике ВОГ и в лечении ОУГ.

Спасать положение целесообразно двумя путями: сразу же отказаться от недостоверного критерия «уровень ВГД» и перейти к диагностике ВОГ и ОУГ на основе фундаментальных функциональных и независимых характеристик глаза — ригидности и флуктуации [4–6]. Либо же попытаться сначала частично «реанимировать» критерий «уровень ВГД», сделав его более пригодным для практики, но постепенно вытесняя его широкое использование в клинике более достоверными критериями в диагностике — ригидностью ФОГ и флуктуацией склеры. Этому промежуточному шагу — частичной «реанимации» критерия ВГД — и посвящена наша статья.

В результате наших многолетних исследований стало также понятно следующее.

Мировая офтальмология явно зашла в тупик, опираясь на критерий «уровень ВГД» для постановки диагноза «ВОГ или ОУГ», в том числе при определении индивидуальной пороговой величины снижения текущего уровня ВГД в конкретном глазу с профилактической или лечебной целью. Традиционный критерий «уровень ВГД» зачастую не позволяет провести достоверную экспресс-диагностику на наличие ВОГ или ОУГ, назначить адекватное лечение и контролировать его эффективность, поскольку невозможно было определить, к какой зоне нормы ВГД в молодости принадлежал глаз часто уже пожилого пациента. А без этого невозможно определить аномальность или нормальность текущего уровня ВГД у пациента до или после начала лечения [2, 5, 6]. Вдобавок значения уровня ВГД в здоровых глазах из верхней зоны нормы ВГД по А.П. Нестерову зачастую могли быть одинаковы с уровнем ВГД в глаукомных глазах из низкой зоны нормы ВГД. И поликлиническому врачу бывает трудно выявить эту разницу, опираясь на уровень текущего ВГД у пациента во время первого приема.

В мире понятие «зона индивидуальной нормы ВГД» фактически не было обосновано достоверными многолетними масштабными исследованиями для надежного разделения здоровых и глаукомных глаз, ведь значения ВГД у таких пациентов часто оказывались близкими. Поэтому сравнительно недавно офтальмологи в РФ позаимствовали у кардиологов во многом компромиссное и расплывчатое понятие «целевое давление» (ЦД), не учитывающее изначально от рождения наличие принципиально разных диапазонов АД у гипотоников, нормотоников и гипертоников. Аналогичным образом в глазу понятие ЦД не учитывает распределение ВГД у здоровых и глаукомных глаз по зонам низкой,

средней и верхней нормы по А.П. Нестерову, а при его якобы «достоверном» определении не предусмотрено даже попыток сначала установить, к какой индивидуальной зоне нормы ВГД исходно принадлежит глаз пациента [4–6]. Согласно проекту клинических рекомендаций «Подозрение на глаукому» (2021) [7]: «...*“Целевое” давление не может быть определено с какой-либо достоверностью у конкретного пациента, не существует утвержденного алгоритма для его установления, однако это не отрицает его применения в клинической практике...необходимо стремиться к снижению уровня ВГД не менее чем на 20% от исходного уровня*».

Степень ограниченности знаний о физиологической сущности ВГД в здоровых и глаукомных глазах оказалась настолько глубока, что EGS давно рекомендует снижать уровень ВГД для любого глаза сразу на 20–40% без предварительного выяснения к какой индивидуальной зоне нормы ВГД этот глаз принадлежит и какова та безопасная для глаза индивидуальная нижняя граница, до которой можно снижать текущее ВГД без существенной потери необходимого уровня метаболизма в его структурах. Однако такой «директивный» подход к одинаковому процентному снижению уровня ВГД в глазах из разной зоны нормы ВГД может приводить к ускорению процесса патологического старения ФОГ, скачку ригидности и к ответному скачку текущего ВГД.

По данным EGS (2021), использование гипотензивной терапии даже в здоровых глазах с возрастной офтальмогипертензией показало, что (перевод наш): «...*Образование катаракты было более распространено в группе, принимавшей лекарства*» [8]. Таким образом, существенное ухудшение процессов метаболизма в глазу при направленном снижении физиологически необходимого суточного объема водянистой влаги (ВВ) явно ускоряет процессы старения и, возможно, приводит не к торможению, а к ускорению процессов старения собственно структур ФОГ, как следствие, приводящего уже к «рукотворному» ускорению и самого глаукомного процесса [5, 6].

Архаичное традиционное представление о наличии обязательной «верхней границы нормы» ВГД у большинства здоровых пациентов привело к тому, что сегодня установлена верхняя граница нормы истинного ВГД в 21,0 мм рт.ст. [8] и аналогично 22 мм рт.ст. в РФ [9]. По мнению экспертов EGS (2021), (перевод наш): «*Традиционно нормальное ВГД определялось как два стандартных отклонения от среднего значения, т.е. 21 мм рт.ст., и любое ВГД выше этого уровня считается повышенным. Однако любой произвольный порог ВГД является ложной мерой для проведения различия между здоровьем и болезнью*» (выделено нами) [8]. Считается, что при ВГД выше «назначенной» границы в 21–22 мм рт.ст. возможны уже подозрение на глаукому, преглаукома

или ОУГ (при наличии других диагностических признаков). По сути, крамольной представляется даже мысль о возможности равенства значений ВГД в здоровом и глаукомном глазу у разных пациентов с различной зоной нормы индивидуального ВГД.

Все вышесказанное связано с тем, что мы до некоторых пор не умели определять принадлежность здорового или глаукомного глаза конкретного пациента к его индивидуальной зоне ВГД в молодости. Правда, наши исследования позволили уже в 2000 году понять, что именно ригидность склеры определяет уровень ВГД, и не наоборот [10, 11]. И, следовательно, каждому уровню ригидности ФОГ у пациента в разных периодах естественного старения должно соответствовать индивидуальное текущее значение ВГД. Такой «распределяющий подход» позволяет оценить уровень ригидности здоровых и глаукомных глаз в разные периоды старения организма согласно классификации ВОЗ. Далее, уже сообразно выявленным диапазонам изменений значений ригидности, это позволяет попытаться выявить соответствие этих диапазонов адекватным уровням ВГД для здоровых и глаукомных глаз. Что и было сделано при подготовке этой статьи с помощью нашей методики экспресс-пневмодиагностики на анализаторе ORA.

Результаты

Стоит отметить, что еще в 2005–2007 гг. мы научились по собственным методикам, с помощью двукратной тонометрии (грузами 5 и 10 или 10 и 15 гр.), а также и на ORA определять уровень ВГД в молодости для конкретного глаза даже у пожилого пациента с офтальмогипертензией или глаукомой [12–15].

Кроме того, не вполне корректное традиционное понимание физиологической сущности ВГД заставило нас провести углубленное исследование этой проблемы и выявить явную ограниченность разработанных в мире клинических рекомендаций по практическому использованию критерия «уровень ВГД» для профилактики ВОГ или лечения ОУГ [16]. Этот вывод стал возможен только после появления пневматических способов экспресс-диагностики, которые позволили нам найти ключевые и независимые функциональные критерии — ригидность и флуктуацию, позволяющие объективно оценивать *in vivo* текущее состояние физиологических функций ФОГ [4, 13, 16].

Флуктуация — это функциональная способность склеры к микрофлуктуациям объема с помощью её вязкоэластических структур. Это введенное нами новое понятие в офтальмологии. Фактически флуктуация — это мера текущей физиологической способности фиброзной оболочки глаза осуществлять свои основные функции (мы их нашли и впервые описали в 2009 г.): поддерживать тургор глаза,

нивелировать пульс АД, выталкивать ВВ наружу по путям оттока, поддерживать необходимый текущий объем глаза, а также пропускать через внутренний объем глаза необходимый суточный объем свежей ВВ [17]. И самое главное, что этот ключевой фундаментальный параметр глаза можно достоверно измерить с помощью экспресс-пневмодиагностики на ORA по нашей простой методике *in vivo*.

Возможности параметра флуктуации при его использовании в борьбе с ОУГ чрезвычайно велики. Этот фундаментальный параметр не зависит от толщины роговицы и позволяет оценивать уровень сохранности функций ФОГ, определять эффективность гипотензивных или хирургических вмешательств, объективно отделять глаза с ВОГ от глаз с ОУГ, а также сравнивать функциональное состояние глаукомного и второго, еще не глаукомного глаза пациента. При этом второй — условно здоровый глаз — позволит определить индивидуальную норму флуктуации как еще одну точку отсчета для выбора адекватного способа лечения ОУГ пораженного глаза.

Оба ключевых физиологических параметра глаза — ригидность и флуктуация — позволяют получить ясное представление об интенсивности патологических процессов, происходящих в глазу. А основная задача любого профилактического воздействия при ВОГ или лечебного воздействия при ОУГ заключается в поддержании и/или восстановлении различных физиологических функций глаза, часть которых можно просто и объективно оценить с помощью критериев ригидности и флуктуации. Решить сегодня эту задачу с использованием неоднозначного критерия ВГД практически невозможно.

Чтобы получить эти научные результаты, нам также потребовалось сначала провести углубленные многолетние исследования достаточно размытого понятия «ригидность глаза» и даже провести унификацию этого понятия [18, 19]. В 1974 г. А.П. Нестеров с соавт. в их классической монографии подчеркивали, что: «...непосредственное влияние на ВГД оказывают только ригидность склеры и объём глаза»: $P_0 = f(R_i, V)$, где P_0 — величина истинного ВГД, R_i — ригидность ФОГ, а V — текущий объем глаза [20]. У А.П. Нестерова с соавт. уровень ВГД определяется именно уровнем ригидности ФОГ, а не ригидность ФОГ определяется уровнем ВГД. Т.е. какова ригидность ФОГ, таково и ВГД, и не наоборот.

Однако в мировой офтальмологии теоретическое понятие «ригидность глаза» оставалось во многом непонятым. Как отмечал О.В. White (1990) (перевод наш): «Ригидность глаза является эмпирическим понятием, без какого-либо физического обоснования. Это одна из самых запутанных областей в офтальмологии» [21]. Более того, существовали традиционные, но не вполне корректные

представления о том, что именно уровень ВГД определяет значение ригидности склеры, причем изменения уровня ригидности склеры при развитии глаукомного процесса не превышает 26% даже при далекозашедшей стадии ОУГ [20], а функции ФОГ заключаются только в поддержании тургора и защите от внешних воздействий.

Мы постепенно сумели довести общие и часто противоречивые представления о ригидности ФОГ до ясного понимания того, что в клинической практике корректно можно говорить только об «объемной ригидности ФОГ». Причем исследовать исполнительные механизмы, с помощью которых объемная ригидность ФОГ формирует уровень текущего ВГД, необходимо только *in vivo* [22–24]. Но для того, чтобы проводить эти измерения *in vivo*, нам потребовалось создать свою идеологию понимания критериев ригидности и флуктуации и также создать авторскую методику их измерений с использованием имеющихся технических возможностей пневмоанализатора ORA (Riechert, США), которые не были задействованы разработчиками этого прибора [12, 13, 25].

Стоит отметить, что В.Д. Антонюк и Т.С. Кузнецова — отечественные авторы опубликованной в 2020 году работы [26] — считают (цитируем): «...В то же время надежного метода непосредственной оценки биомеханических характеристик корнеосклеральной оболочки глаза пока не существует. Создание такого метода было бы весьма важно, поскольку могло бы существенно продвинуть как исследователей, так и клиницистов в решении многих проблем офтальмологии, связанных с биомеханикой глаза».

Мы должны обрадовать этих авторов и обратить их внимание на то, что еще в 2008 году в РФ впервые был создан простой, объективный и надежный способ измерения *in vivo* объемной ригидности ФОГ и флуктуации склеры с помощью измерительной платформы пневмоанализатора ORA [12, 13]. А наши результаты многолетних исследований склеры, в т.ч. по методике Кошица-Светловой, были опубликованы, согласно обобщенным данным РИНЦ, в 2009-2019 гг. в журналах, входящих в текущий перечень ВАК (12 статей), в 3 учебных пособиях, а также в рейтинговых зарубежных журналах, входящих в базы Web of Science и Scopus (4 статьи). Защищена одна кандидатская (2009) [12] и одна докторская диссертация (2010) [13]. Большинство этих публикаций были замечены зарубежными исследователями, однако в РФ пока оказались невостребованными.

Профессор В.В. Волков так оценил в 2014 году уровень выполненных работ по этому направлению: «Ряд теоретических предпосылок и результатов исследований авторов являются новаторскими и получившими подтверждение в клинической

практике как самих авторов, так и ряда других ученых. Авторами представлен альтернативный взгляд на патогенез офтальмогипертензивной формы ОУГ, имеющий довольно веские основания. Для этого авторам потребовалось глубоко вникнуть в проблемы нормальной и патологической физиологии глаза и дать свое новое видение взаимосвязанного функционирования ряда внутриглазных систем в норме и при разнообразной патологии. Это относится не только к выполненной авторами унификации понятия «ригидность фиброзной оболочки глаза» (ФОГ), но и к предложенному новому для физиологии глаза понятию «флуктуация» склеры (здесь просматривается аналогия с понятиями *stress* и *strain* в биомеханике). Необходимо отметить, что авторами разработаны и предлагаются простые и оригинальные экспресс-методы определения этих первостепенных физиологических характеристик глаза *in vivo* в клинике, в частности, за счёт модернизации методики ORA...» [17].

Сегодня российские исследователи имеют безусловный научный приоритет перед зарубежными учеными в понимании физиологических особенностей взаимосвязанной работы внутриглазных систем при глаукомной и миопической патологиях. Это ведущее положение российских исследователей в мире в области физиологии и биомеханики глаза было зафиксировано по результатам наших докладов в п. 4 Итоговой резолюции 3rd Global Pediatric Ophthalmology Congress (London, 2018) (перевод наш): «Конгресс отмечает безусловную важность и особую перспективность научных исследований по направлению «Физиология и биомеханика глаза»... Лидером в этих междисциплинарных исследованиях сегодня является Россия» [27]. Отдельно отметим, что на этом конгрессе впервые в истории офтальмологии мы подготовили и провели однодневную междисциплинарную сессию по новому для зарубежных исследователей научному направлению — «Физиология и биомеханика глаза».

Объемная ригидность ФОГ может быть корректно оценена только по величине работы, которую нужно выполнить воздушной струе пневмоанализатора ORA для того, чтобы достичь первой аппланации роговицы, когда водянистая влага из-под роговицы будет «вброшена» (буквально мгновенно смещена) внутрь глаза, что приведет к ответному расширению как упругих, так и вязко-эластических структур склеры. При этом общий объем глаза не изменится. Т.е., чем выше текущая ригидность (жесткость) ФОГ, тем больше времени потребует склере для расширения своего диаметра и для наступления момента первой аппланации роговицы. Поэтому время достижения первой аппланации роговицы, по сути, и является объективной мерой ригидности ФОГ, что и было использовано в нашей авторской методике.

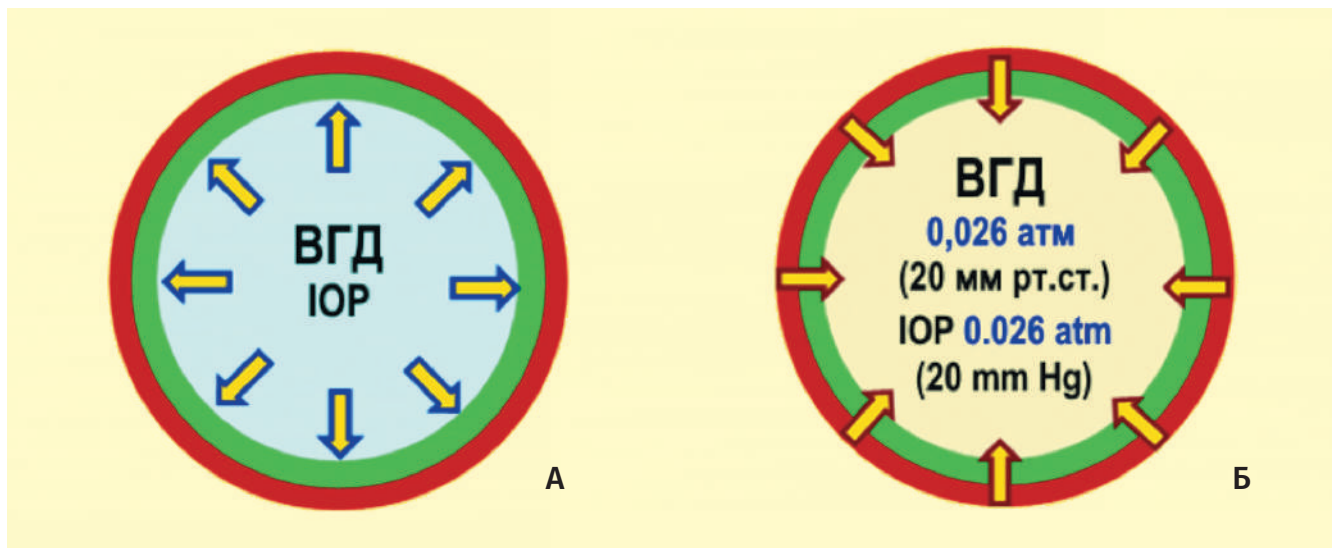


Рис. 1. А — традиционное, но ошибочное представление о механизме создания ВГД в глазу за счет «распирания» изнутри оболочки глаза из-за наличия внутреннего тканевого давления в его структурах. В ответ структуры ФОГ якобы растягиваются и уравнивают «распирающее» воздействие ВГД. Эти представления не соответствуют законам механики, поскольку при наличии давления в тканях они должны расширяться. Но все структуры в глазу содержат воду и поэтому несжимаемы, но также не могут и самостоятельно расширяться при постоянной температуре в глазу. Б — адекватное законам механики представление о механизме создания ВГД в глазу за счет наружного обжатия несжимаемых структур глаза со стороны жестко-упругой фиброзной оболочки глаза. В ответ возрастает уровень ВГД, которое уравнивает изнутри внешнее усилие сжатия со стороны ФОГ.

Fig. 1. А — traditional misconception about the mechanism of intraocular pressure formation in the eye as the result of "bursting out" from inside the eye shell due to the presence of internal tissue pressure in its structures. In response, the structures of the fibrous membrane of the eye stretch and balance the expanding effect of the IOP. These representations do not correspond to the laws of mechanics, because in the presence of pressure the tissues must expand. However, all structures in the eye contain water and are therefore incompressible, but also cannot expand independently at a constant temperature in the eye. Б — representation of the mechanism of IOP formation in the eye adequate to the laws of mechanics, formed by external compression of incompressible structures of the eye from the rigid elastic fibrous membrane of the eye. In response the level of IOP increases, which balances from the inside the external compression force from the fibrous membrane of the eye.

После окончания пневмовоздействия дополнительно растянутые вязкоэластические исполнительные структуры склеры начинают естественно сокращаться и буквально выталкивают водянистую влагу обратно под роговицу, т.е. совершают работу по восстановлению исходной формы ФОГ. Поэтому время от окончания пневмовоздействия до момента второй аппланации роговицы является объективной мерой текущего уровня флуктуации склеры, т.е. уровня функциональной остаточной работоспособности её вязко-эластических структур. Это время «возврата» склеры к исходному состоянию характеризует её способность «дышать», т.е. осуществлять свои физиологические функции. Такие исследования флуктуации по нашей авторской методике были проведены и в данном исследовании.

Поскольку простое и быстрое измерение ригидности ФОГ *in vivo* с помощью пневмоанализаторов теперь не является проблемой, то можно широко развивать новое клиническое направление в профилактике и лечении ОУГ — контролируемо снижать ригидность ФОГ. Ведь все наши лечебные мероприятия при ОУГ пока были направлены только на

снижение объема глаза и не были направлены на снижение ригидности ФОГ. Хотя, по-видимому, именно снижение ригидности склеры может быть патогенетически более обоснованным, эффективным и щадящим воздействием для глаза, чем тотальная непримиримая борьба за снижение его объема, приводящая к нарушению метаболизма в глазу.

Определяющая роль ригидности и флуктуации ФОГ в формировании уровня ВГД

На протяжении веков внешне простой вопрос о физиологической сущности ВГД был основательно запутан. Согласно самой распространенной точке зрения, внутреннее давление в тканях глаза, а также и давление водянистой влаги «распирают» изнутри капсулу глаза (что зачастую и приводит к росту ВГД и к ОУГ). В ответ структуры ФОГ растягиваются и уравнивают «распирающее» воздействие ВГД (рис. 1А) [28]. Однако такое широко распространенное традиционное представление противоречит законам механики.

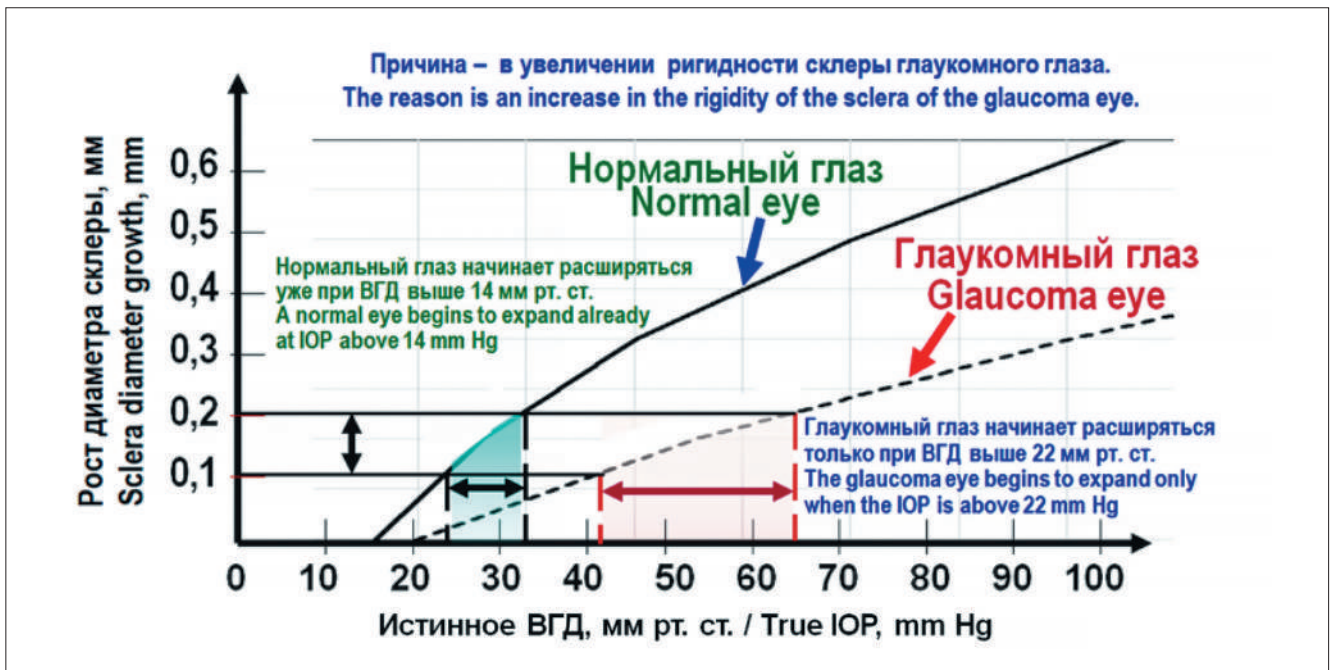


Рис. 2. Исследование растяжимости склеры здоровых и глаукомных глаз при изменении объема глаза (офтальмотонуса) [33, 34].

Fig. 2. Investigation of the extensibility of the sclera in healthy and glaucoma eyes following changes in the volume of the eye (ophthalmotonus) [33, 34].

Представления, адекватные законам механики, таковы [4]:

- Внутриглазные структуры в основном состоят из воды и потому не сжимаются, т.е. не могут изменить свой объем под действием наружного давления со стороны структур ФОГ.

- Давление в глазу может возникнуть только тогда, когда его несжимаемые внутриглазные структуры сожмет снаружи упругая, но и одновременно вязко-эластичная ФОГ.

- Давление распространяется в жидкости во все стороны одинаково и одновременно. Поэтому ВГД в норме во всех уголках глаза одинаковое, а склера, сокращая свои вязко-эластические структуры, «выдавливает» (фильтрует) из глаза отработанную ВВ.

- В разные фазы аккомодации внутреннее давление в хрусталике и в стекловидной камере может измениться из-за изменения их формы на фоне постоянного текущего уровня ВГД.

- В норме равное давление в передней и задней камерах глаза (по закону сообщающихся сосудов) начинает различаться при развитии бомбажа радужки из-за изменения её формы, что впоследствии приводит к приступу закрытоугольной глаукомы. При этом сначала повышается давление позади зрачкового блока, а затем из-за перекрытия деформированной радужкой угла передней камеры и увеосклерального пути оттока, а также из-за патологического роста объема глаза и скачка ригидности ФОГ происходит резкий ответный скачок ВГД, приводящий к опасной экскавации ДЗН с возможной потерей зрения.

Обсуждение

Одной из главных физиологических задач глаза является необходимость прокачивать через его полость постоянный суточный объем ВВ для эффективного поддержания метаболизма его структур [29]. Как показали исследования морфологов [30], в глазу отсутствуют барорецепторы. Однако в склере имеются механорецепторы и рецепторы простагландинов, позволяющие мозгу постоянно контролировать объем глаза [30, 31], средний объем которого в течение суток остается постоянным. Т.е. мозг не может контролировать ВГД, а контролирует объем глаза. Ключевым исполнительным механизмом, позволяющим это делать, является склера со своими вязкоэластическими исполнительными структурами.

Флуктуация и ригидность склеры позволяют поддерживать постоянство не только среднего объема глаза в течение суток, но и постоянство среднесуточного объема проходящей сквозь его структуры ВВ. А колебания уровня текущего ВГД в течение суток являются только следствием совместной работы этих двух функциональных параметров глаза [32].

Чтобы понять при каких условиях ФОГ способна выполнять свои функции, обратимся к результатам классического эксперимента военно-морского офицера, а затем профессора офтальмологии — В.И. Козлова (1967) по раздуванию физраствором склеры энуклеированных здоровых и глаукомных

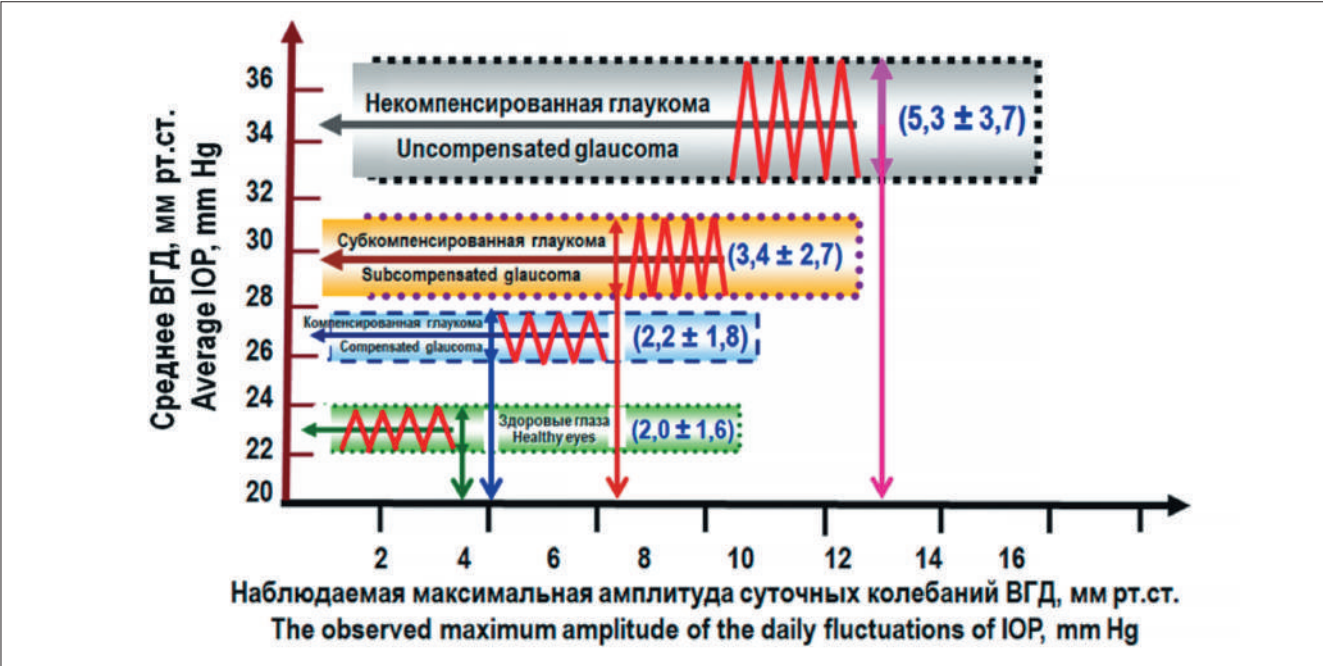


Рис. 3. Патологическое изменение среднего уровня ВГД и размаха необходимых колебаний офтальмотонуса для функционирования глаза по мере развития ОУГ.

Fig. 3. Pathological change in the average IOP level and the scope of IOP fluctuations necessary for the functioning of the eye as the development of open-angle glaucoma (OAG).

глаз (рис. 2) [33]. Из рис. 2 видно, что В.И. Козлов выяснял диапазоны необходимого повышения ВГД для раздувания склеры здорового и глаукомного глаза на одинаковую величину — на 0,1 мм. Для этого он закачивал в глаз физраствор через иглу в передней камере и постоянно контролировал через эту иглу уровень истинного ВГД в глазу.

Оказалось, что здоровый глаз был способен раздуваться, начиная с 14 мм рт.ст., а достигал расширения диаметра ФОГ на 0,1 мм при ВГД, равном 32 мм рт.ст. Глаукомный же глаз был способен раздуваться только начиная с 22 мм рт.ст., а заканчивал растяжение на 0,1 мм по диаметру при уровне ВГД в 65 мм рт.ст. При этом рабочий диапазон уровня ВГД для растяжения склеры здорового глаза (диапазон его «дыхания») на 0,1 мм по диаметру ФОГ составил 32-22 = 10 мм рт.ст., а у глаукомного глаза 65-42 = 23 мм рт.ст. Причина этого кроется в увеличении жесткости склеры глаукомного глаза в 2-3 раза [22].

Совершенно очевидно, что с развитием патологического старения склеры при ОУГ, размах колебаний и средний уровень ВГД будут повышаться. Это положение представлено на рис. 3, оформленного нами по данным таблицы из докторской диссертации В.И. Козлова [34], где хорошо виден рост среднего уровня ВГД и повышение необходимого диапазона разброса ВГД для того, чтобы глаз мог продолжать «дышать» по мере развития глаукомного процесса.

Приведенные на рис. 3 названия стадий глаукомы существовали в то время. Выявленные на рис. 3 увеличения среднего уровня ВГД и размаха необходимых колебаний офтальмотонуса позволяют понять, что функционирование систем продукции и оттока ВВ для поддержания постоянства суточного объема глаза в первую очередь связано с текущими уровнями ригидности и флуктуации ФОГ.

Здесь стоит сделать одно важное замечание, чтобы полнее понять наблюдаемые эффекты. Поскольку уровень ВГД в глазу не контролируется, то суточный мониторинг ВГД, получивший широкое распространение в РФ, фактически определяет текущий уровень ригидности склеры данного глаза. Это вытекает из простой физиологической связи скачков ВГД (ΔP) с ригидностью склеры (R_i):

$$\Delta P = \frac{R_i}{(1-\mu)} (\lambda \Delta V), \text{ где } \lambda = \frac{h}{2\pi R^4} = const, \text{ а}$$

$h=0,6$ мм — средняя толщина склеры данного глаза, $R=12$ мм — средний радиус глаза, $\mu \approx 0,45 = const$ — коэффициент Пуассона склеры, характеризующий связь продольных и поперечных деформаций ткани склеры при её растяжении под действием конкретного значения прироста ВГД. ΔP — соответствующий прирост ВГД, необходимый для поддержания функций ФОГ данного глаза на текущий момент. $\Delta V = const$ — суточный диапазон изменения объема данного глаза, необходимый для его функционирования.

Таблица 2. Распределение глаз здоровых и глаукомных пациентов по зонам ВГД и возрастным жизненным периодам согласно ВОЗ. Пояснения к выделенным ячейкам в тексте.

Table 2. Distribution of the eyes of healthy and glaucoma patients by IOP zones and age periods according to WHO.

Возрастные периоды по ВОЗ, лет Age periods according to WHO, years	Зоны ВГД, мм рт.ст. IOP zones, mm Hg	Число глаз при сроке наблюдений 3 года с частотой через 6 мес. Number of eyes observed for 3 years every 6 months.		
		Здоровые глаза Healthy eyes	ОУГ I–II ст. OAG stage I–II	ОУГ III–IV ст. OAG stage III–IV
до 18 under 18	до 13 / up to 13	3	–	–
	14–20	4	–	–
	21–26	1	–	–
18–44	до 13 / up to 13	164	–	–
	14–20	177	2	–
	21–26	31	4	–
	27–32	10	–	–
45–59	до 13 / up to 13	19	5	–
	14–20	49	27	–
	21–26	35	16	–
	27–32	12	12	1
	33–39	–	6	2
	40...	–	11	3
60–74	до 13 / up to 13	31	32	6
	14–20	64	79	14
	21–26	30	37	9
	27–32	3	27	5
	33–39	–	13	7
	40...	–	18	19
75–89	до 13 / up to 13	11	5	9
	14–20	20	37	7
	21–26	7	28	10
	27–32	3	24	2
	33–39	–	9	3
	40–...	–	8	21
Итого / Total		674	400	118

Как нетрудно убедиться, значения λ , μ и ΔV являются величинами постоянными для данного глаза в течение суток, поэтому диапазон суточных скачков давления в глазу определяется зависимостью $\Delta P \approx f(R_i)$, т.е. является прямой функцией текущей ригидности данного глаза. Повысилась ригидность из-за патологического глаукомного процесса в склере — увеличился диапазон скачков ВГД у данного глаза. Пациенту дали гипотензивную терапию — уменьшился среднесуточный объем глаза, снизилась

ригидность ФОГ и соответствующее ей среднее текущее значение ВГД, потому и уменьшился в ответ диапазон скачков ВГД. Т.е. суточный мониторинг ВГД позволяет отследить степень повышения или снижения текущей ригидности у данного глаза и сделать косвенный вывод об эффективности применения выбранной гипотензивной терапии.

Результаты прямых клинических исследований скачков ВГД при увеличении текущей ригидности ФОГ полностью подтвердили наши теоретические

представления и показали, что (перевод наш): «...повышение стационарного ВГД с 15 до 25 мм рт.ст. привело к заметному увеличению амплитуды скачков ВГД на 63,9% ($p < 0,001$). Эти результаты свидетельствуют о том, что повышенная жесткость корнеосклеральной оболочки может значительно увеличить амплитуду скачков ВГД при том же изменении объема [глаза]» [35].

Цель нашего исследования заключалась в том, чтобы с помощью экспресс-диагностики на пневмоанализаторе ORA по методике Кошица-Светловой выявить на практике зоны истинного ВГД для здоровых и глаукомных глаз, адекватные диапазонам значений функциональных критериев «ригидность» и «флуктуация» фиброзной оболочки глаза с учетом возрастных периодов жизни человека согласно рекомендациям ВОЗ.

Применялись следующие методы исследования:

- Гониоскопия — трехзеркальная линза Гольдманна.
- Офтальмоскопия — лупа с оптической силой 78 и 90 дптр.
- Кератометрия — авторефрактометр Huvitz MRK-3100.
- Пахиметрия и передне-задняя ось — Оптический биометр Lenstar LS 900.
- Тонометрия по Гольдману — пневмоанализатор ORA (США).
- Острота зрения — Проектор знаков ССЗ-3100, Huvitz (Южная Корея)
- Оценка функциональных и биомеханических параметров склеры по авторской методике — пневмоанализатор ORA (США).
- Компьютерная периметрия с оценкой функциональных показателей светочувствительности глаза с помощью статической периметрии — автоматический компьютерный периметр AP1000, Tomey (Япония).

- Оптическое исследование головки зрительного нерва и слоя нервных волокон — с помощью компьютерного анализатора ОСТ ДЗН 1 раз в полгода на базе областной офтальмологической клинической больницы г. Архангельска.

В табл. 2 представлено распределение глаз здоровых и глаукомных пациентов по зонам ВГД и возрастным периодам жизни человека, включая глаза с возможной возрастной офтальмогипертензией. Срок наблюдения составил 3 года с периодичностью обследований раз в полгода. Следует отметить сравнительно высокое количество здоровых глаз из низкой зоны с уровнем ВГД ≤ 13 мм рт.ст. (34%). Это вторая по численности группа среди здоровых глаз, а первая по численности — глаза из средней зоны с уровнем ВГД 14–20 мм рт.ст. (47%).

Разбивка в табл. 2 уровня ВГД по адекватным диапазонам ригидности ФОГ была выполнена в процессе нашего исследования, подробное описание которого мы приведем ниже. Стоит обратить

внимание также на то, что 28 (4%) совершенно здоровых глаз среди всех возрастных периодов имели истинное давление, соответствующее зоне высокого ВГД 27–32 мм рт.ст. (см. заливку ячеек столбца 3 на табл. 2). Эти глаза с согласия пациента исследовались с особой тщательностью на протяжении 3 лет 1 раз в три месяца для достоверного подтверждения отсутствия в них патологических изменений и обоснованного назначения для этих глаз профилактической гипотензивной терапии, которая обычно должна назначаться согласно действующим клиническим рекомендациям при преглаукоме и офтальмогипертензии. И эти глаза заслуженно вошли в общую контрольную группу сравнения как «здоровые глаза».

Также отметим (столбец 5 с заливкой ячеек в табл. 2 для зон низкого ВГД до 13 мм рт.ст., среднего ВГД 14–20 мм рт.ст. и повышенного ВГД 21–26 мм рт.ст.), что ОУГ III–IV стадии с уровнем ВГД до 26 мм рт.ст. наблюдалось у наших пациентов только начиная с возраста в 60 лет, когда, как мы выяснили ранее, интенсивность процессов общего старения всех систем организма начинает повышаться [4, 12, 13, 31]. И процессы старения, возможно, могут играть заметную роль в существенном прогрессировании глаукомного процесса в сторону ускоренного достижения конечных стадий ОУГ после порога в 60 лет.

По-видимому, сегодня в РФ порог в 60 лет может быть важной реперной точкой для обязательного принятия решения о необходимости проведения полноценной высокотехнологичной диагностики у таких пациентов сразу после первичного обследования в поликлинике. Также явно целесообразно уходить на практике от использования наукообразного и ничем не обоснованного «среднего возраста глаукомных пациентов по больнице», переходя к объективному разделению пациентов по возрастным периодам старения согласно рекомендациям ВОЗ.

Кроме того, (столбец 5 с заливкой ячеек с ОУГ III–IV стадии в табл. 2) эти выделенные в ячейках глаза из столбца 5 в табл. 2 невозможно надежно охарактеризовать с помощью часто употребляемых, но недостаточно корректных терминов как глаза «с ОУГ низкого, нормального или псевдонормального давления», ибо все эти понятия являются по своей сути мало обоснованными из-за отсутствия данных по уровню индивидуального ВГД у данного глаза в молодости. Мы хорошо понимаем, что этими «терминами» практические врачи пытались объяснить природу тех явлений в глаукомном процессе, которые еще не были достаточно полно изучены. Однако сегодня уже стало понятно, что можно более обоснованно говорить о развитии ОУГ внутри каждой из адекватных зон офтальмотонуса, численное распределение которого по диапазонам ВГД мы сейчас подробно рассмотрим ниже.

Таблица 3. Распределение глаз глаукомных пациентов, получающих или не получающих гипотензивную терапию.

Table 3. Distribution of the eyes of glaucoma patients receiving or not receiving hypotensive therapy.

Стадия ОУГ OAG stage	Без лечения Without treatment	ББ BB	АПГ PGA	ИКА CAI	АПГ+ББ PGA+BB	ИКА+ББ CAI+BB	АПГ+ИКА PGA+CAI	АПГ+ББ+ИКА PGA+BB+CAI	Другие Others	Всего на терапии Total on therapy
Число и % пациентов / Number and % of patients										
I	57	51	40	4	15	17	11	35	Пилокарпин — 2 Фотил — 1 Pilocarpine — 2 Photil — 1	176
II	25	15	28	6	36	13	9	21	Фотил — 2 (Дорзопт + ксалатан + альфаган) — 1 Photil — 2 (Dorzopt + xalatan + alfagan) — 1	131
III	8	3	6	1	18	10	1	15	(Дорзопт + ксалатан + альфаган) — 1 (Dorzopt + xalatan + alfagan) — 1	55
IV	10	2	2	3	17	5	6	6	Фотил — 1; Фотил-форте — 1 (Фотил-форте + дорзопт) — 2 Photil — 1; Photil-forte — 1 (Photil-forte + dorzopt) — 2	45
Все / All	100	71	76	14	86	45	27	77	11	407
%	20%	14%	15%	3%	17%	9%	5%	15%	2%	80%
Число средств Number of means	Нет No	1 средство терапии — 32% 1 means of therapy — 32%		2 средства терапии — 31% 2 means of therapy — 31%			3 средства терапии — 15% 3 means of therapy — 15%		Другие — 2% Other — 2%	—

АПГ — аналоги простагландинов, ББ — β -блокаторы, ИКА — ингибиторы карбоангидразы.
PGA — prostaglandin analogues, BB — β -blockers, CAI — carbonic anhydrase inhibitors.

Распределение глаз глаукомных пациентов, получающих или не получающих гипотензивную терапию, представлено в табл. 3.

Группу в 100 человек (20%) составили пациенты, пришедшие впервые или отказавшиеся от терапии после первого осмотра и пришедшие затем повторно. Общее количество пациентов, применявших β -блокаторы, составило 55%. И здесь важно понимать, что β -блокаторы системно снижают объемный кровоток в желудочках мозга, что возможно будет уменьшать выработку ликвора и, как следствие, снижать как внутричерепное давление (ВЧД), так и равное ему по законам механики давление в зрительном нерве, что может приводить к существенному увеличению экскавации ДЗН, особенно при сочетании ОУГ с миопией.

Поэтому негативные явления от применения β -блокаторов могут быть более осязаемы именно у пациентов с глаукомой т.н. «низкого давления».

Проф. В.В. Волков (2001) всегда обращал внимание на то, что прогрессирование экскавации ДЗН может быть более чувствительным к сравнительно малому снижению ВЧД, чем к заметному повышению уровня ВГД [36]. W.H. Morgan et al. (2002) подтвердили это в клинических экспериментах на собаках [37], также как и J.V. Jonas et al. (2015) на обезьянах [38]. Т.е. для глаз из зоны низкого ВГД (≤ 13 мм рт.ст.) сохранение величины перепада (не путать с градиентом!) ВГД/ВЧД особенно важно и поэтому в таких глазах необходимо поддерживать уровень ВЧД всеми доступными средствами, включая обоснованный отказ от общесистемной и глазной терапии β -блокаторами [39].

Диапазоны зон ВГД по А.П. Нестерову [1] и у авторов статьи представлены в табл. 4. По-видимому, это особенно важный для практики результат нашего исследования, который расширяет и углубляет фундаментальное предложение

Таблица 4. Диапазоны зон ВГД по А.П. Нестерову и у авторов статьи.

Table 4. Ranges of IOP zones according to A.P. Nesterov and this study's authors.

Зоны нормы истинного ВГД (P ₀), мм рт.ст. (по А.П. Нестерову, 1998) [1] Zones of true IOP norm (P ₀), mm Hg (according to A.P. Nesterov, 1998) [1]		Зоны истинного ВГД (P ₀) для здоровых и глаукомных глаз, мм рт.ст. (по О.В. Светловой, И.Н. Кошицу и др., 2022) Zones of true IOP (P ₀) for healthy and glaucoma eyes, mm Hg (according to O.V. Svetlova, I.N. Koshits et al., 2022)		
9–12	Зона низкой нормы Low norm zone	до 13 up to 13	Зона низкого ВГД Low IOP zone	Здоровые глаза. Глаза с ОУГ I–IV ст. Healthy eyes. Eyes with stage I–IV OAG
13–16	Зона средней нормы Middle norm zone	14–20	Зона среднего ВГД Middle IOP zone	
17–22	Зона верхней нормы Upper norm zone	21–26	Зона повышенного ВГД Elevated IOP zone	
		27–32	Зона высокого ВГД High IOP zone	
	—	33–39	Зона субкомпенсации ВГД IOP subcompensation zone	Глаза с ОУГ III–IV ст. Eyes with stage III–IV OAG
		40–...	Зона некомпенсации ВГД IOP no-compensation zone	

А.П. Нестерова о необходимости обязательного учета принадлежности каждого глаза к определенной зоне ВГД. Предложенные нами в табл. 4 адекватные зоны ВГД были определены с помощью критериев «ригидность» и «флуктуация» фиброзной оболочки глаза. Распределение зон ВГД по адекватным диапазонам уровня ВГД дает возможность существенно облегчить практическому врачу постановку диагноза и оценку проводимого лечения.

Рассмотрим, как были найдены эти адекватные уровню ригидности диапазоны ВГД для здоровых и глаукомных глаз.

На рис. 4 представлены обобщенные диапазоны значений параметров здоровых и глаукомных (I–IV ст.) глаз в возрасте 18–90 лет, включая глаза с возможной ВОГ. По-видимому, нам удалось найти «ступенчатую» закономерность распределения средних значений ригидности и флуктуации

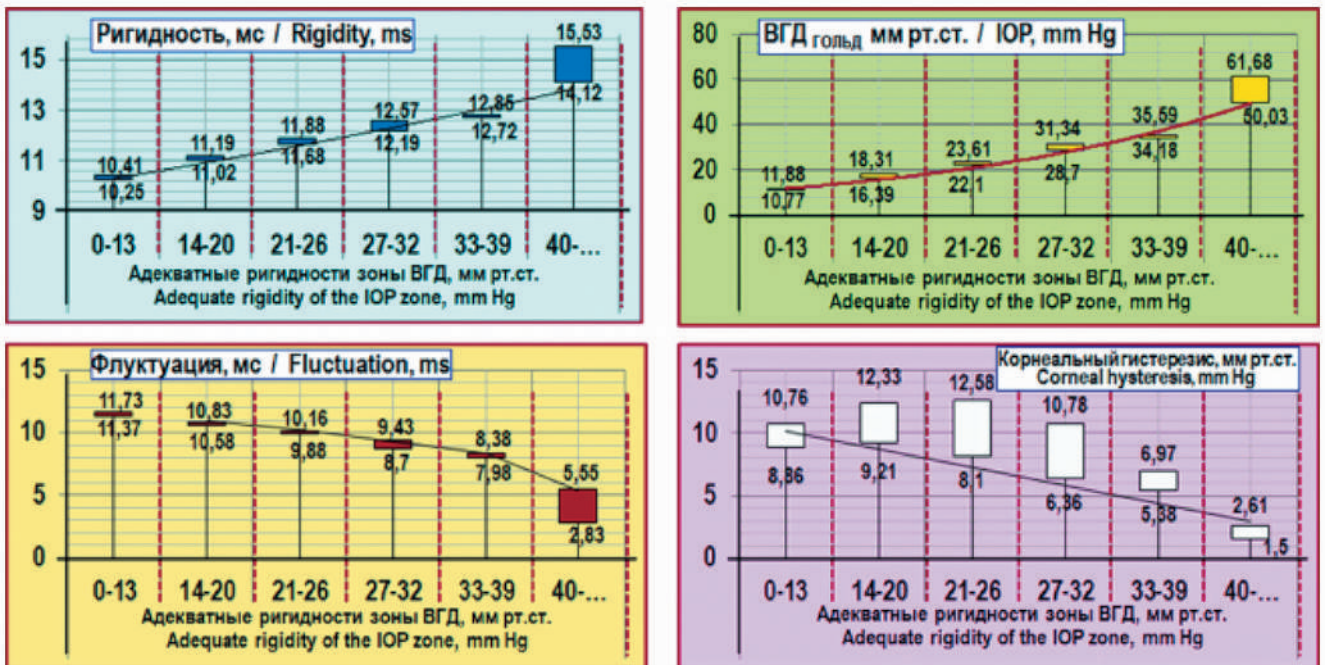


Рис. 4. Обобщенные диапазоны значений параметров здоровых и глаукомных (I–IV ст.) глаз в возрасте по ВОЗ 18–90 лет по адекватным зонам ВГД, включая глаза с возможной возрастной офтальмогипертензией.

Fig. 4. Generalized value ranges for the parameters of healthy and glaucoma (stage I–IV) eyes aged 18–90 years according to WHO by adequate IOP zones, including eyes with possible age-related hypertension.

Таблица 5. Диапазоны изменений параметров здоровых и глаукомных глаз в возрасте 18–90 лет внутри их адекватных зон ВГД. Пояснения к выделенным ячейкам в тексте.

Table 5. Ranges of changes in the parameters of healthy and glaucoma eyes aged 18–90 years inside their adequate IOP zones. Additional explanations for the highlighted cells are in the text.

Возраст, по ВОЗ, лет Age, according to WHO, years	Зоны ВГД, мм рт.ст. IOP zones, mm Hg	Число глаз Number of eyes	Тип глаз Type of eyes	ORA			
				ВГД Гольд, мм рт.ст. IOPg, mmHg	Ригидность, мс Rigidity, ms	Флуктуация, мс Fluctuation, ms	Корнеальный гистерезис, мм рт.ст. Corneal hysteresis, mm Hg
18–90	до 13 up to 13	296	Здоровые Healthy	10,95–11,88	10,25–10,36	11,37–11,73	8,86–10,76
			ОУГ I–II стадии OAG stage I–II	10,77–11,65	10,32–10,41	11,55–11,63	9,98–10,34
			ОУГ III–IV стадии OAG stage III–IV	11,30–11,47	10,33–10,36	11,55–11,70	9,16–10,24
	14–20	340	Здоровые Healthy	16,39–17,44	11,02–11,16	10,81–10,83	9,62–12,33
			ОУГ I–II стадии OAG stage I–II	16,84–18,31	11,04–11,19	10,58–10,79	9,21–9,79
			ОУГ III–IV стадии OAG stage III–IV	16,52–16,82	10,97–11,03	10,68–10,87	9,26–9,37
	21–26	201	Здоровые Healthy	22,10–23,52	11,76–11,88	9,88–10,16	9,28–12,58
			ОУГ I–II стадии OAG stage I–II	22,68–23,62	11,68–11,72	9,91–9,95	8,10–10,19
			ОУГ III–IV стадии OAG stage III–IV	22,77–23,60	11,68–11,69	9,94–9,98	7,34–8,16
	27–32	102	Здоровые Healthy	28,76–31,34	12,35–12,57	8,70–9,43	6,80–10,78
			ОУГ I–II стадии OAG I–II stage	28,70–29,35	12,19–12,31	9,22–9,38	6,36–8,42
			ОУГ III–IV стадии OAG stage III–IV	28,32–29,61	11,93–12,19	9,26–9,45	4,08–5,66
33–39	31	ОУГ I–II стадии OAG stage I–II	34,63–35,59	12,72–12,85	8,31–8,38	6,42–6,48	
		ОУГ III–IV стадии OAG stage III–IV	34,18–35,40	12,78–12,90	7,98–8,33	5,38–6,97	
40–...	62	ОУГ I–II стадии OAG stage I–II	50,03–53,15	14,12–14,80	4,19–5,55	2,16–2,61	
		ОУГ III–IV стадии OAG stage III–IV	52,40–61,68	14,48–15,53	2,83–4,84	1,50–1,87	

в здоровых и глаукомных глазах, что позволило ранжировать соответствующие им зоны ВГД. Особенно важно, что «ступени» средних значений ригидности и флуктуации между зонами ВГД не пересекаются. Текущие значения ригидности и/или флуктуации позволяют достоверно отнести каждый глаз к его индивидуальной зоне ВГД и проводить другие исследования внутри этой зоны.

Из рис. 4 также видно, что ступени значений у штатного параметра ORA — «корнеального гистерезиса» (КГ) — не только пересекаются для разных зон ВГД, но также и дают неверную общую тенденцию изменений: параметр КГ спонтанно растет, хотя должен плавно, без выбросов, снижаться по мере роста ригидности ФОГ. Кроме того, параметр КГ зависит от толщины роговицы. Все это вместе

Таблица 6. Обобщенные диапазоны значений физиологических параметров здоровых и глаукомных (I–IV ст.) глаз в возрастном периоде 18–90 лет, включая глаза с возможной возрастной офтальмогипертензией. Пояснения к выделению в тексте.

Table 6. Generalized ranges of values of physiological parameters in healthy and glaucoma (stages I–IV) eyes in the age period of 18–90 years, including eyes with possible age-related ophthalmic hypertension. Additional explanations for the highlighted cells are in the text.

Возраст по ВОЗ, лет, тип глаз Age according to WHO, years. Eye type.	Зоны ВГД, мм рт.ст. IOP zones, mm Hg	Число глаз Number of eyes	ORA			
			ВГД Гольд, мм рт.ст. IOPg, mm Hg	Ригидность, мс Rigidity, ms	Флуктуация, мс Fluctuation, ms	Корнеальный гистерезис, мм рт.ст. Corneal hysteresis, mm Hg
18–90 Здоровые глаза. Глаза с ОУГ I–IV ст. Healthy eyes. Eyes with OAG stage I–IV	до 13 (низкая) up to 13 (low)	285	10,77–11,88	10,25–10,41	11,37–11,73	8,86–10,76
	14–20 (средняя) (middle)	480	16,39–18,31	11,02–11,19	10,58–10,83	9,21–12,33
	21–26 (повышенная) (elevated)	208	22,10–23,62	11,68–11,88	9,88–10,16	8,10–12,58
	27–32 (высокая) (high)	99	28,70–31,34	12,19–12,57	8,70–9,43	6,36–10,78
18–90 Глаза с ОУГ III–IV ст. Eyes with OAG stage III–IV	33–39 (субкомпенсации) (subcompensations)	40	34,18–35,59	12,72–12,85	7,98–8,38	5,38–6,97
	40–... (некомпенсации) (no-compensation)	80	50,03–61,68	14,12–15,53	2,83–5,55	1,50–2,61

не позволяет считать значения КГ для любого глаза полностью достоверными в рамках доказательной медицины, а ранжировать адекватные зоны уровня ВГД с помощью штатного параметра КГ оказалось практически невозможно.

С другой стороны, физиологические параметры «ригидность» и «флуктуация», наоборот, являются независимыми функциональными индивидуальными параметрами любого глаза, которые, естественно, не зависят и от толщины роговицы [12, 13]. Эти предложенные нами ранее независимые функциональные параметры глаза позволили провести обоснованное ранжирование зон ВГД.

В табл. 5 представлены выявленные нами диапазоны изменений параметров здоровых и глаукомных глаз с разными стадиями заболевания в возрасте 18–90 лет, распределенные по адекватным им зонам ВГД. Стоит обратить внимание на то, что внутри каждой зоны ВГД отсутствуют достоверные различия в диапазонах изменения параметров ригидности и флуктуации у здоровых и глаукомных глаз ($p < 0,01$). Это позволило нам выявить обобщенные средние диапазоны ригидности и флуктуации и численно обосновать ранжирование и диапазоны адекватных зон ВГД.

Уже обобщенные диапазоны средних значений физиологических параметров здоровых и глаукомных (I–IV ст.) глаз в возрастном периоде 18–90 лет, включая глаза с возможной возрастной офтальмогипертензией представлены в табл. 6. Обращает на себя внимание то, что значения корнеального гистерезиса имеют грубые выбросы, что не позволяет считать этот параметр в полной мере достоверным для доказательной постановки диагноза.

Мы шли от значений средних диапазонов ригидности к соответствующим им зонам уровня ВГД и сумели в процессе статистической обработки всего массива наших измерений выявить те диапазоны ВГД, которые были адекватны значениям независимых параметров глаза — ригидности и флуктуации.

Крайне важно отметить, что при переходе от зоны ВГД с изначально низким давлением к зонам с более высоким ВГД значения ригидности и уровня ВГД достоверно возрастают, а значения флуктуации — достоверно падают ($p < 0,001$). Данные табл. 6 также позволяют отметить, что между каждой адекватной зоной ВГД средние значения диапазонов ригидности, флуктуации и ВГД по Гольдману не пересекаются. Чего нельзя сказать о диапазонах

Таблица 7. Диапазоны значений физиологических параметров здоровых глаз в возрастных периодах 18–44 и 45–90 лет, включая глаза с возможной ВОГ.

Table 7. Ranges of values of physiological parameters in healthy eyes in the age periods of 18–44 and 45–90 years, including eyes with possible age-related ophthalmic hypertension.

Зоны ВГД, мм рт.ст. IOP zones, mm Hg	Возраст по ВОЗ, лет Age, according to WHO, years	Число глаз Number of eyes	Пневмоанализатор ORA (M±m), разброс Pneumatic analyzer ORA (average and spread of parameters)			
			ВГД Гольд, мм рт.ст. IOPg, mm Hg	Ригидность, мс Rigidity, ms	Флуктуация, мс Fluctuation, ms	Корнеальный гистерезис, мм рт.ст. Corneal hysteresis, mm Hg
до 13 низкая up to 13 low	18–44	164	10,9±1,90 4,68–13,49	10,29±0,33 9,38–11,03	11,56±0,38 10,73–13,05	10,01±1,82 5,28–16,02
	45–90	61	11,18±1,64 6,78–13,46	10,32±0,25 9,60–11,10	11,59±0,34 11,03–12,45	10,36±1,81 7,31–16,57
14–20 средняя middle	18–44	177	16,39±1,82 13,51–20,30	11,05±0,27 10,43–11,78	10,83±0,33 9,23–11,55	10,87±2,05 4,99–17,60
	45–90	133	16,72±2,02 13,56–20,48	11,05±0,29 10,28–11,78	10,80±0,31 9,98–11,48	10,60±1,97 2,74–17,03
21–26 повышенная elevated	18–44	31	22,10±1,34 20,52–25,36	11,76±0,26 11,40–12,30	10,12±0,30 9,15–10,58	10,98±2,84 5,10–16,04
	45–90	73	23,16±1,73 20,67–26,49	11,84±0,22 11,33–12,30	10,12±0,33 9,08–10,73	11,30±2,48 6,50–15,74
27–32 высокая high	18–44	9	29,21±1,42 27,40–31,43	12,41±0,27 11,93–12,75	9,42±0,23 8,93–9,75	11,25±2,86 4,64–14,88
	45–90	14	29,20±1,68 26,94–32,40	12,31±0,25 11,93–12,68	9,21±0,41 8,33–9,83	8,91±2,41 4,13–13,98

значений у КГ, что вновь сообщает о диагностической ненадежности этого штатного критерия ORA.

Конечно, нам было также крайне важно определить, какова скорость развития возрастной офтальмогипертензии в здоровых глазах внутри возрастных периодов жизни человека. Исторически понятие офтальмогипертензии появилось из-за необходимости описать наличие якобы высокого уровня ВГД в здоровых глазах, отличающегося от «директивной» нормы истинного верхнего ВГД, например, в 22 мм рт.ст. Естественно, рождение традиционного многовекового понятия «офтальмогипертензия» происходило в условиях недостаточных знаний и представлений о физиологической сущности ВГД, о диапазонах ригидности и флуктуации в здоровых глазах, о зонах истинного ВГД по А.П. Нестерову, об адекватных зонах ВГД, а также в условиях существования «директивной границы» уровня ВГД в 21–22 мм рт.ст. в здоровых глазах.

Но сегодня мы получили возможность использовать уникальные средства диагностики, что возможно позволит всем нам сделать заметный шаг вперед и в осмыслении не вполне корректного исторического понятия «возрастная офтальмогипертензия». Полученные в нашем исследовании результаты нас просто ошеломили (табл. 7).

Как мы выяснили ранее в клинике, в здоровых глазах до 45 лет практически отсутствуют изменения ригидности, флуктуации и уровня ВГД, а после 75 лет в здоровых глазах наблюдается независимое катастрофическое падение уровня флуктуации из-за ускоренного и независимого старения вязко-эластических структур склеры на фоне практически постоянной ригидности и уровня ВГД [4]. Поэтому нам следовало выяснить уровень интенсивности изменений этих фундаментальных физиологических параметров в здоровых глазах после 45 лет. Тщательная статистическая обработка значений уровня ВГД в здоровых глазах до и после 45 лет показала, что достоверные изменения ВГД с возрастом внутри каждой адекватной зоны ВГД отсутствуют ($p < 0,001$)! Иными словами, внутри каждой зоны уровня ВГД ВОГ достоверно не развивается!

Такие же или противоположные результаты могут быть получены одновременно и в других клиниках. Что позволит постепенно приблизиться к истине и в этом вопросе. Если наш предварительный вывод об отсутствии ВОГ в здоровых глазах, находящихся в каждой отдельной зоне адекватного уровня ВГД, в конце концов окажется правильным, то, возможно, на современном этапе познания само

Таблица 8. Распределение средних значений параметров здоровых глаз по зонам ВГД до 13 мм рт.ст., 14–26 мм рт.ст. и 21–26 мм рт.ст., а также по возрастным периодам.

Table 8. Distribution of average values of healthy eye parameters by IOP zones up to 13 mm Hg, 14–26 mm Hg and 21–26 mm Hg, as well as by age periods.

Возраст, по ВОЗ, лет Age according to WHO, years	Зоны ВГД, мм рт.ст. IOP zones, mm Hg	Ригидность, мс Rigidity, ms	Флуктуация, мс Fluctuation, ms	Корнеальный гистерезис, мм рт.ст. Corneal hysteresis, mm Hg
18–44	До 13 (низкая) up to 13 (low)	10,29±0,33	11,56±0,38	10,01±1,82
	14–20 (средняя) (middle)	11,05±0,27	10,83±0,33	10,87±2,05
	21–26 (повышенная) (elevated)	11,76±0,26	10,12±0,30	10,98±2,84
45–59	До 13 (низкая) up to 13 (low)	10,31±0,26	11,53±0,32	10,24±1,76
	14–20 (средняя) (middle)	11,07±0,32	10,81±0,36	10,97±2,10
	21–26 (повышенная) (elevated)	11,88±0,21	10,14±0,26	11,42±2,29
60–74	до 13 (низкая) up to 13 (low)	10,30±0,31	11,49±0,24	10,56±1,80
	14–20 (средняя) (middle)	11,02±0,27	10,82±0,29	10,63±1,93
	21–26 (повышенная) (elevated)	11,82±0,22	10,16±0,34	11,70±2,55
18–74	до 13 (низкая) up to 13 (low)	10,30±0,29	11,53±0,28	10,26±1,64
	14–20 (средняя) (middle)	11,05±0,26	10,82±0,32	10,82±2,02
	21–26 (повышенная) (elevated)	11,82±0,23	10,14±0,26	11,37±2,58

понятие офтальмогипертензии придется исключить из области практического применения. Поэтому мы будем с нетерпением ждать сравнительных результатов аналогичных исследований в других клиниках внутри каждой адекватной зоны уровня ВГД.

В табл. 8 представлено распределение средних значений для сравнения массивов измерения параметров здоровых глаз для низкой зоны ВГД ≤ 13 мм рт.ст., средней зоны ВГД 14–26 мм рт.ст. и повышенной зоны ВГД 21–26 мм рт.ст.

Представленные в табл. 7 данные по-настоящему удивительны. Внутри каждого возрастного диапазона средние значения ригидности между каждой зоной ВГД достоверно различаются ($p < 0,01$). Однако среднее значение ригидности внутри каждой адекватной зоны ВГД между возрастными периодами старения опять не имеет достоверных отличий! Это позволило обоснованно выявить средний уровень ригидности для каждой зоны ВГД неза-

висимо от возраста. И, на наш взгляд, это существенный практический результат проведенного исследования.

Появился еще один весомый аргумент для осознания того, что, возможно, ВОГ внутри каждой адекватной зоны уровня ВГД отсутствует. Но это явно тот результат, в который особенно трудно поверить любому офтальмологу. Однако саму возможность не единожды это перепроверить отвергать не следует. Поэтому мы безусловно будем пытаться проводить серии последовательных наблюдений на одном и том же здоровом глазу у пациентов в возрасте до и после 45 лет. Эти ряды многолетних наблюдений возможно позволят поставить окончательную точку в этом непростом и пока запутанном вопросе.

Но сделаем еще одно замечание. Оно касается найденной нами возможности проводить объективные сравнения результатов измерений функциональных параметров глаза, полученных на разных

пневмоанализаторах одного типа. Ведь до этого многочисленными попытками сравнения результатов измерения ВГД с использованием разных тонометров и способов тонометрии показали свою явную несостоятельность из-за принципиальных различий в способах воздействия на глазное яблоко (когда объем глаза в процессе измерений остается постоянным или, наоборот, снижается на неизвестную величину), а также из-за полного пренебрежения метрологией — паспортными погрешностями измерений для каждого отдельного тонометра [4].

Полученные численные значения функциональных параметров глаза — ригидности и флуктуации — с помощью разных типов пневмоанализаторов (как у схожих механизмов, но со своими индивидуальными особенностями) всегда будут отличаться, потому что каждый из них имеет свою индивидуальную структуру воздушного импульсного потока и свою величину относительной погрешности измерений. Собственно говоря, из-за этого всегда несколько расходятся данные измерений ВГД у одного и того же глаза на разных пневмотонометрах. Сравнить значения, полученные на разных пневмоанализаторах одного типа, мы предлагаем следующим образом.

Как мы выяснили в клинических экспериментах ранее, для каждого пневмоанализатора ORA базовое значение ригидности у молодого глаза из одинаковой зоны уровня ВГД постоянно ($Ri_{\text{мол.}} = \text{const}$) для молодых глаз без заметных рефракционных нарушений [13, 16]. А численные абсолютные значения средней обобщенной ригидности в молодости на разных пневмоанализаторах всегда отличаются не только внутри каждой зоны ВГД, но и между разными зонами уровня ВГД.

Но через сравнение с конкретным значением средней величины ригидности в молодости внутри каждой зоны уровня ВГД, определяемое статистически для каждого отдельного пневмоанализатора, все массивы измерений на разных пневмоанализаторах можно объективно сравнивать по этому индивидуальному значению средней ригидности внутри одинаковой зоны ВГД. Такой способ сравнения фактически позволяет уйти от индивидуальных особенностей технических характеристик у каждого пневмоанализатора, приводя их всех в область сравнимых обобщенных «эталонных значений». И это ясный путь к постоянному обобщению и уточнению диапазонов зон ВГД для здоровых и глаукомных глаз по данным разных клиник, что практически позволит проводить важное для практики уточнение адекватных зон ВГД на постоянной основе.

Проиллюстрируем это по данным из табл. 7, когда видно, что для суммарного возрастного диапазона 18–74 года для каждой зоны адекватного ВГД имеется свое среднее значение ригидности (см. выделение). В нашем конкретном пневмоанализаторе ORA это, соответственно, значения $10,30 \pm 0,29$ мс

для зоны низкого ВГД, $11,05 \pm 0,26$ мс для зоны среднего ВГД и $11,82 \pm 0,23$ мс для зоны повышенного ВГД. У других пневмоанализаторов ORA в разных клиниках эти статистические средние значения ригидности ФОГ у здоровых глаз будут отличаться, но привести их всех через обобщенную ригидность к одному знаменателю теперь стало возможно.

Последнее наше замечание связано с недавним появлением в мире серии работ с попытками описать изменения биомеханических параметров ФОГ при глаукоме разных типов с помощью пневмоанализатора Corvis ST (Oculus, Германия) [41–43]. К большому нашему сожалению, не вполне корректная техническая и идеологическая «модернизация» прототипа — пневмоанализатора ORA — выполненная позже разработчиками пневмоанализатора Corvis ST с целью расширения его диагностических возможностей, оказалась явно неудачной. Парадоксально, но все недостатки ORA как пневмоанализатора-прототипа были усилены при апгрейде идеологии измерений биомеханических параметров роговицы в пневмоанализаторе Corvis ST. Это говорит о недопонимании экспертами-механиками и экспертами-офтальмологами в фирме-разработчике пневмоанализатора Corvis ST — Oculus, Германия — биомеханической и физиологической сущности процессов, происходящих в глазу при пневматических способах воздействия на ФОГ.

В частности, в Corvis ST не выводится на печать (хотя это может быть сделано без проблем) важнейшее для глаза значение истинного текущего уровня ВГД, соответствующее уровню ВГД по Гольдману. В ORA именно значение ВГД по Гольдману выводится на печать и это один из ключевых параметров прибора, поскольку сам прибор сделан на основе серийного пневмотонометра Reichert (США).

В пневмоанализаторах ORA и Corvis ST выводится на печать расчетное биомеханическое значение роговично-компенсированного ВГД (ВГД_{рк}), учитывающее центральную толщину роговицы. Однако, сам параметр ВГД_{рк} был введен разработчиками на основе эмпирических экспериментальных зависимостей и не является полностью корректным, поскольку зависит от толщины роговицы и ригидности склеры, а его теоретическое обоснование не согласуется с законами механики [25, 29].

Другие штатные параметры в пневмоанализаторе Corvis ST — SP-A1 (пограничный параметр жесткости роговицы) и Stress Strain Index (SSI) (индекс напряжения и деформации, также характеризующий жесткость роговицы в момент максимального прогиба) — позиционируются разработчиками как якобы уникальные параметры жесткости роговицы. Некоторые исследователи даже предлагают трактовать параметр роговицы SSI как жесткость ФОГ в целом [44]. Однако физиологическая сущность и однозначность этого критерия разработчиками прибора полностью не определена, поскольку

в процессе ударного пневмовоздействия на глаз роговица достаточно долгий промежуток времени остается максимально вогнутой внутрь глаза, хотя скоростной напор может изменяться за этот период в ряде случаев в 2 раза. Это типичная ошибка многочисленных исследователей, которые считают, что можно независимо измерять параметры роговицы в условиях ограниченного объема глаза и без учета текущих функциональных параметров ФОГ [29].

К сожалению, такой подход явно нарушает законы механики и поэтому делать на его основе достоверные диагностические выводы некорректно. Мы не единожды писали об этом [5, 6, 16, 25, 29], поэтому в наших исследованиях мы всегда исключаем из рассмотрения объективно недостоверный параметр ВГД_{рк}. И, соответственно, пока не рекомендуем использовать в исследованиях глаукомы пневмоанализатор Corvis ST в существующей последней модификации.

Выводы

Эффективность и достоверность определения *in vivo* ригидности ФОГ и флуктуации склеры с помощью экспресс-диагностики на пневмоанализаторе ORA по отечественной авторской методике подтверждена в разных клиниках и может быть рекомендована для широкого использования в поликлинической сети.

Выявлены адекватные диапазоны уровня ВГД, позволяющие ранжировать по этому показателю здоровые и глаукомные глаза: зона низкого ВГД (до

13 мм рт.ст.); зона среднего ВГД (14–20 мм рт.ст.); зона повышенного ВГД (21–26 мм рт.ст.); зона высокого ВГД (27–32 мм рт.ст.); зона субкомпенсации ВГД (33–39 мм рт.ст.) и зона некомпенсации ВГД (свыше 40 мм рт.ст.).

В здоровых глазах до и после 45 лет внутри каждой адекватной зоны уровня ВГД нет значимых изменений измеренных на ORA уровней ригидности, флуктуации и ВГД по Гольдману.

Отсутствие заметных изменений ригидности и флуктуации в здоровых и глаукомных глазах с низким (до 13 мм рт.ст.) и высоким (27–32 мм рт.ст.) уровнями ВГД позволяет предположить, что процессы возникновения ОУГ низкого давления или обычной ОУГ в группе пациентов с изначально высоким ВГД отличаются по своей этиологии или патофизиологии от других глаз.

Выявлена возможность контроля эффективности гипотензивной терапии и скорости развития глаукомного процесса по критерию флуктуации, определяющей текущее состояние физиологических функций ФОГ.

Участие авторов:

Концепция и дизайн исследования: Светлова О.В., Кошиц И.Н.

Сбор и обработка материала: Панкратов Р.М.,

Макаровская О.В., Кошиц И.Н.

Статистическая обработка данных: Панкратов Р.М.,

Макаровская О.В.

Написание текста: Светлова О.В., Кошиц И.Н.

Анализ результатов, редактирование: Засеева М.В.,

Кошиц И.Н.

References

1. Нестеров А.П. Основные принципы диагностики ПОУТ. *Вестник офтальмологии* 1998; 114(2):3-6.
2. Терминология и руководство по вопросам глаукомы, 2008; 3-е изд., пер. на русский. 2011, PubliComm, Savona, Italy.
3. Leydhecker W. The intraocular pressure: Clinical aspects. *Ann Ophthalmol* 1976; 8:398-399.
4. Кошиц И.Н., Светлова О.В. О физиологической сущности внутриглазного давления. Часть 1. Критерии: ВГД, ригидность и флуктуация. *Национальный журнал глаукома* 2019; 18(1):59-72. <https://doi.org/10.25700/NJG.2019.01.08>
5. Светлова О.В., Рябцева А.А., Кошиц И.Н., Макаров Ф.Н., Гусева М.Г., Засеева М.В. О выборе эффективной стратегии и тактики в ранней диагностике, профилактике и лечении открытоугольной глаукомы. Часть 1. Состояние вопроса и исходные предпосылки. *Офтальмологический журнал* 2014; 2(457):118-133. <https://doi.org/10.31288/oftalmolz20142118134>
6. Светлова О.В., Рябцева А.А., Кошиц И.Н., Макаров Ф.Н., Гусева М.Г., Засеева М.В. О выборе эффективной стратегии и тактики в ранней диагностике, профилактике и лечении открытоугольной глаукомы. Часть 2. Теория и практика. Новая медицинская технология. *Офтальмологический журнал* 2014; 3(458):104-118. <https://doi.org/10.31288/oftalmolz20143104118>
7. Клинические рекомендации «Подозрение на глаукому». Проект. МОО «Глаукомное общество»; ООО «Общество офтальмологов России». https://www.oor.ru/files/uveity/%D0%9A%D0%A0_40_0_%D0%9F%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D0%B7%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5%20%D0%BD%D0%B0%20%D0%B3%D0%BB%D0%B0%D1%83%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D1%83%20.pdf (Дата обращения 12.11.2022).
8. Terminology and Guidelines for Glaucoma (5th edition), 2021, PubliComm, Savona, Italy.
1. Nesterov A.P. Basic principles of diagnosis of POAG. *Vestnik Oftalmologii* 1998; 114(2):3-6.
2. Terminology and Guidelines for Glaucoma (3th edition), 2008; PubliComm, Savona, Italy.
3. Leydhecker W. The intraocular pressure: Clinical aspects. *Ann Ophthalmol* 1976; 8:398-399.
4. Koshits I.N., Svetlova O.V. On the physiological essence of intraocular pressure. Part 1. Criteria: IOP, rigidity and fluctuation. *Natsional'nyi zhurnal glaukoma* 2019; 18(1):59-72. <https://doi.org/10.25700/NJG.2019.01.08>
5. Svetlova O.V., Ryabtseva A.A., Koshits I.N., Makarov F.N., Guseva M.G., Zaseeva M.V. On the choice of effective strategy and tactics in early diagnosis, prevention and treatment of open-angle glaucoma. Part 1. The state of the issue and the initial prerequisites. *Oftalmologichny Zhurnal (Ukraine)* 2014; 2(457):118-133. <https://doi.org/10.31288/oftalmolz20142118134>
6. Svetlova O.V., Ryabtseva A.A., Koshits I.N., Makarov F.N., Guseva M.G., Zaseeva M.V. On the choice of effective strategy and tactics in early diagnosis, prevention and treatment of open-angle glaucoma. Part 2. Theory and practice. New medical technology. *Oftalmologichny Zhurnal (Ukraine)* 2014; 2(457):118-133. <https://doi.org/10.31288/oftalmolz20143104118>
7. Clinical recommendations "Suspicion of glaucoma". Project. National Glaucoma Society "Glaucoma Society"; LLC "Society of Ophthalmologists of Russia" (In Russ.). https://www.oor.ru/files/uveity/%D0%9A%D0%A0_40_0_%D0%9F%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D0%B7%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5%20%D0%BD%D0%B0%20%D0%B3%D0%BB%D0%B0%D1%83%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D1%83%20.pdf (Accessed 12.11.2022).
8. Terminology and Guidelines for Glaucoma (5th edition), 2021, PubliComm, Savona, Italy.

9. Федеральные клинические рекомендации «Глаукома первичная открытоугольная», 2020. ООО «Ассоциация врачей-офтальмологов». <https://www.oor.ru/vracham/klrek/klinicheskie-rekomendatsii-utverzhdennye-mz-rf/> (Дата обращения 16.11.2022).
10. Светлова О.В., Кошиц И.Н. Старение оболочек глаза — возможное ключевое звено в патогенезе открытоугольной глаукомы. VII съезд офтальмологов России: Сборник научных трудов. Ч.1. М.: 2000; 193.
11. Svetlova O.V., Koshitz I.N., Kotliar K.E., Rodzevich G.V. Eye membranes oldness, may be the main point in the pathogenesis of open angled glaucoma. Abstract of papers presented at the XIV ICER. Santa Fe. OSA. 2000: 168.
12. Засеева М.В. Исследование ригидности склеры в здоровых и глаукомных глазах: Дисс. канд. мед. наук. СПб: Военно-медицинская академия 2009; 119.
13. Светлова О.В. Функциональные особенности взаимодействия склеры, аккомодационной и дренажной систем глаза при глаукомной и миопической патологии: Дисс. д-ра мед. наук. Москва, Российский университет Дружбы народов, 2010; 185.
14. Светлова О.В., Кошиц И.Н., Дроздова Г.А., Засеева М.В., Ленкевич А.В. Практический способ определения индивидуального давления в молодости и уровня снижения ригидности склеры в старости для расчёта параметров гипотензивных операций нового типа (Часть I). *Глаукома* 2008; 4:49-64.
15. Светлова О.В., Кошиц И.Н., Дроздова Г.А., Засеева М.В., Ленкевич А.В. Практический способ определения индивидуального давления в молодости и уровня снижения ригидности склеры в старости для расчёта параметров гипотензивных операций нового типа (Часть II). *Глаукома* 2009; 1:46-53.
16. Кошиц И.Н., Светлова О.В., Рябцева А.А., Макаров Ф.Н., Засеева М.В., Мустаца В.Ф. Роль ригидности фиброзной оболочки глаза и флуктуации склеры в ранней диагностике открытоугольной глаукомы. *Офтальмологический журнал* 2010; 6:76-88.
17. Светлова О.В., Кошиц И.Н. Физиологические функции фиброзной оболочки глаза и их исполнительные механизмы. Нормальная и патологическая физиология глаза: Учебное пособие. СПб: СЗГМУ им. И.И. Мечникова 2014: 64 с.
18. Котляр К.Е., Кошиц И.Н. Ригидность глаза. Биомеханические и клинические аспекты. - Научно-практическая конференция «Биомеханика глаза — 2009», МНИИ ГБ им. Гельмгольца. Сборник трудов. М.: 2009; 121-126.
19. Кошиц И.Н., Светлова О.В., Засеева М.В., Макаров Ф.Н. Ригидность и эластичность фиброзной оболочки глаза. Биомеханические и клинические аспекты. Научно-практическая конференция «Биомеханика глаза — 2009» МНИИ ГБ им. Гельмгольца. Сборник трудов. М.: 2009; 126-133
20. Нестеров А.П., Бунин А.Я., Кацнельсон Л.А. Внутриглазное давление. Физиология и патология. М.: 1974; 238 с.
21. White O.W. Ocular elasticity? *Ophthalmology* 1990; 97(9):1092-1094.
22. Светлова О.В., Сурзиков А.В., Соболев Д.А., Смольников Б.А., Засеева М.В., Иомдина Е.Н., Кошиц И.Н. Биомеханическая оценка достоверного диапазона модуля Юнга склеры для разработки норм ригидности здоровых и глаукомных глаз. «Биомеханика глаза — 2002». МНИИ ГБ им. Гельмгольца: Сборник научных трудов. М.: 2002; 96-100.
23. Кошиц И.Н., Светлова О.В., Котляр К.Е., Макаров Ф.Н., Смольников Б.А. Биомеханический анализ традиционных и современных представлений о патогенезе первичной открытоугольной глаукомы. *Глаукома* 2005; 1:41-62.
24. Svetlova O.V., Zaseeva M.V., Sourjikov A.V., Shukhaev S.V. Age-related changes of elastic properties of the sclera in human eyes. *Ophthalmic Research* 2006; 35(1):38.
25. Светлова О.В., Балашевич Л.И., Засеева М.В., Макаров Ф.Н., Кошиц И.Н. Физиологическая роль ригидности склеры в формировании уровня внутриглазного давления в норме и при глаукоме. *Глаукома* 2010; 1:26-40.
26. Антонюк В.Д., Кузнецова Т.С. Исследование биомеханических свойств роговицы на приборе CORVIS ST (Oculus, Германия) у пациентов с миопией и миопическим астигматизмом. *Офтальмохирургия* 2020; 4:20-28. <https://doi.org/10.25276/0235-4160-2020-4-20-28>
27. Кошиц И.Н., Светлова О.В., Гусева М.Г., Эгембердиев М.Б. О научных итогах 3rd Pediatric Ophthalmology Congress (London, 2018) и об эффективности публикации статей в рейтинговых офтальмологических журналах. *Офтальмологический журнал* 2018; 4(477):66-72. <https://doi.org/10.31288/oftalmolz201846672>
28. Дронов М.М., Коровенков Р.И. Глазное давление в норме и при патологии. Книга 1: Анатомо-морфологические характеристики. СПб: Нестор-История 2011; 204.
9. Federal clinical guidelines "Primary open-angle glaucoma", 2020. LLC "Association of Ophthalmologists". <https://www.oor.ru/vracham/klrek/klinicheskie-rekomendatsii-utverzhdennye-mz-rf/> (Accessed 16.11.2022).
10. Svetlova O.V., Koshits I.N. Aging of the membranes of the eye is a possible key link in the pathogenesis of open-angle glaucoma. VII Congress of Ophthalmologists of Russia: Collection of scientific papers, Part 1. Moscow, 2000. p. 193. (In Russ.).
11. Svetlova O.V., Koshitz I.N., Kotliar K.E., Rodzevich G.V. Eye membranes oldness, may be the main point in the pathogenesis of open angled glaucoma. Abstract of papers presented at the XIV ICER. Santa Fe. OSA. 2000: 168..
12. Zaseeva M.V. Study of the rigidity of the sclera in healthy and glaucoma eyes: Cand. Med. Sci. dissertation. St. Petersburg. Military Medical Academy, 2009; 119 p.
13. Svetlova O.V. Functional features of interaction of sclera, accommodation and drainage systems of the eye in glaucoma and myopic pathology. Doc. Med. Sci. dissertation. Moscow; Peoples' Friendship University of Russia, 2010. 185 p.
14. Svetlova O.V., Koshits I.N., Drozdova G.A., Zaseeva M.V., Lenkevich A.V. A practical method for determining individual pressure in youth and the level of reduction of sclera rigidity in old age for calculating the parameters of hypotensive operations of a new type (Part I). *Glaukoma* 2008; 4:49-64.
15. Svetlova O.V., Koshits I.N., Drozdova G.A., Zaseeva M.V., Lenkevich A.V. A practical method for determining individual pressure in youth and the level of reduction of sclera rigidity in old age for calculating the parameters of hypotensive operations of a new type (Part II). *Glaukoma* 2009; 1:46-53.
16. Koshits I.N., Svetlova O.V., Ryabtseva A.A., Makarov F.N., Zaseeva M.V., Mustyatsa V.F. The role of rigidity of the fibrous membrane of the eye and fluctuations of the sclera in the early diagnosis of open-angle glaucoma. *Oftalmologichny Zhurnal (Ukraine)* 2010; 6:76-88.
17. Svetlova O.V., Koshits I.N. Physiological functions of the fibrous membrane of the eye and their executive mechanisms. Normal and pathological physiology of the eye: A textbook. St.Petersburg, Mechnikov North-West State Medical University, 2014. 64 p.
18. Kotlyar K.E., Koshits I.N. Eye rigidity. Biomechanical and clinical aspects. Scientific and practical conference «Biomechanics of the Eye — 2009» of the Helmholtz Moscow State Medical Research Institute. Collected Works. Moscow, 2009. pp. 121-126.
19. Koshits I.N., Svetlova O.V., Zaseeva M.V., Makarov F.N. Rigidity and elasticity of the fibrous membrane of the eye. Biomechanical and clinical aspects. Scientific and practical conference «Biomechanics of the Eye — 2009» of the Helmholtz Moscow State Medical Research Institute. Collected Works. Moscow, 2009. pp. 126-133.
20. Nesterov A.P., Bunin A.Ya., Katsnelson L.A. Vnutriglaznoe davlenie. Fiziologiya i patologiya [Intraocular pressure. Physiology and pathology.] Moscow, 1974. 238 p. (In Russ.).
21. White O.W. Ocular elasticity? *Ophthalmology* 1990; 97(9):1092-1094.
22. Svetlova O.V., Surzhikov A.V., Sobolev D.A., Smolnikov B.A., Zaseeva M.V., Iomdina E.N., Koshits I.N. Biomechanical assessment of the reliable range of the Young's modulus of the sclera for the development of rigidity norms of healthy and glaucoma eyes. Scientific and practical conference «Biomechanics of the Eye — 2002» of the Helmholtz Moscow State Medical Research Institute. Collected Works. Moscow, 2002. pp. 96-100. (In Russ.).
23. Koshits I.N., Svetlova O.V., Kotlyar K.E., Makarov F.N., Smolnikov B.A. Biomechanical analysis of traditional and modern ideas about the pathogenesis of primary open-angle glaucoma. *Glaukoma* 2005; 1:41-62. (In Russ.).
24. Svetlova O.V., Zaseeva M.V., Sourjikov A.V., Shukhaev S.V. Age-related changes of elastic properties of the sclera in human eyes. *Ophthalmic Research* 2006; 35(1):38.
25. Svetlova O.V., Balashevich L.I., Zaseeva M.V., Makarov F.N., Koshits I.N. The physiological role of sclera rigidity in the formation of intraocular pressure levels in normal and glaucoma. *Glaukoma* 2010; 1:26-40. (In Russ.).
26. Antonuk V.D., Kuznetsova T.S. Investigation of corneal biomechanical properties using the CORVIS ST device (Oculus, Germany) in patients with myopia and myopic astigmatism. *Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery* 2020; 4:20-28. <https://doi.org/10.25276/0235-4160-2020-4-20-28>
27. Koshits I.N., Svetlova O.V., Guseva M.G., Egemberdiev M.B. On the scientific results of the 3rd Pediatric Ophthalmology Congress (London, 2018) and on the effectiveness of publishing articles in rating ophthalmological journals. *Oftalmologichny Zhurnal (Ukraine)* 2018; 4(477):66-72. <https://doi.org/10.31288/oftalmolz201846672>
28. Dronov M.M., Korovenkov R.I. Glaznoe davlenie v norme i pri patologii. Kniga 1. Anatomo-morfologicheskie karakteristiki [Eye pressure in normal and pathological conditions. Book 1: Anatomical and morphological characteristics.] St. Petersburg, Nestor-Istoria Publ., 2011. 204 p.

29. Кошиц И.Н., Светлова О.В. О физиологической сущности внутриглазного давления. Часть 2. Роль флуктуации склеры в обеспечении постоянства ежесуточного объема протекающей через глаз водянистой влаги. *Национальный журнал глаукома* 2019; 18(2):76-92. <https://doi.org/10.25700/NJG.2019.02.09>
30. Вит В.В. Строение зрительной системы человека. Одесса: Астропринт 2003; 655.
31. Светлова О.В., Дроздова Г.А., Балашевич Л.И., Засеева М.В., Рябцева А.А., Макаров Ф.Н., Кошиц И.Н. Морфофизиологические особенности строения склеры глаза человека как ключевого звена в формировании уровня внутриглазного давления в норме и при глаукоме. *Морфология* 2009; 5(136):5-10.
32. Светлова О.В., Засеева М.В., Кошиц И.Н. Ригидность склеры — достоверный критерий оценки уровня и диапазона скачков ВГД в здоровых и глаукомных глазах. Съезд офтальмологов России, 8-й. Сборник научных трудов. М.: 2005; 214-215.
33. Козлов В.И. Новый метод изучения растяжимости и эластичности оболочек глаза при изменении офтальмотонуса. *Вестник офтальмологии* 1967; 83(2):5-9.
34. Козлов В.И. Кровообращение глаз и циркуляция водянистой влаги в норме и при глаукоме. Диссертация докт. мед. наук, Запорожье, 1976.
35. Clayson K., Pan X., Pavlatos E., Short R., Morris H., Hart R.T. and Liu J. Corneoscleral stiffening increases IOP spike magnitudes during rapid microvolumetric change in the eye. *Exp Eye Res* 2017; 165: 29-34. <https://doi.org/10.1016/j.exer.2017.08.015>.
36. Волков В.В. Глаукома при псевдонормальном давлении. Руководство для врачей. М: Медицина 2001; 349.
37. Morgan W.H. et al. Optic Disc Movement with Variations in Intraocular and Cerebrospinal Fluid Pressure. *Investigative Ophthalmology & Visual Science* 2002; 43(10):2336-3242.
38. Jonas J.B., Wang N., Yang D. et al. Facts and myths of cerebrospinal fluid pressure for the physiology of the eye. *Progress in Retinal and Eye Research* 2015; 46:67-83. <https://doi.org/10.1016/j.preteyeres.2015.01.002A>.
39. Кошиц И.Н., Светлова О.В., Засеева М.В., Шушаев С.В., Макаров Ф.Н., Котляр К.Е., Смольников Б.А. Физиологические принципы гипотензивной терапии открытоугольной глаукомы в пресбиопическом периоде. Часть 1. Исходные теоретические предпосылки, гипотезы и факты. *Глаукома* 2006; 3: 35-53.
40. Кошиц И.Н., Светлова О.В., Засеева М.В., Шушаев С.В., Макаров Ф.Н., Котляр К.Е., Смольников Б.А. Физиологические принципы гипотензивной терапии открытоугольной глаукомы в пресбиопическом периоде. Часть 2. Перспективные алгоритмы практических щающихся воздействий. *Глаукома* 2006; 4:51-70.
41. Tian L, Wang D, Wu Y, Meng X, Chen B, Ge M, Huang Y. Corneal biomechanical characteristics measured by the CorVis Scheimpflug technology in eyes with primary open-angle glaucoma and normal eyes. *Acta Ophthalmol* 2016; 94(5):e317-24. <https://doi.org/10.1111/aos.12672>.
42. Jung Y, Park HL, Yang HJ, Park CK. Characteristics of corneal biomechanical responses detected by a non-contact scheimpflug-based tonometer in eyes with glaucoma. *Acta Ophthalmol* 2017; 95(7):e556-e563. <https://doi.org/10.1111/aos.13466>.
43. Jung Y, Park H-Young L, Oh S, Park Ch.K., Choul Yong Corneal biomechanical responses detected using corvis st in primary open angle glaucoma and normal tension glaucoma. *Medicine* 2020; 99(7): e19126. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000019126>
44. Апостолова А.С., Малышев А.В., Сергиенко А.А., Петросян И.А., Славова М.А., Пономарева Н.Н. Особенности биомеханических параметров фиброзной оболочки глаза и показателя биомеханического глаукомного фактора в различных клинических ситуациях. *Офтальмология* 2022; 19(2):413-422. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2022-2-413-422>
29. Koshits I.N., Svetlova O.V. On the physiological essence of intraocular pressure. Part 2. The role of sclera fluctuation in ensuring the constancy of the daily volume of watery moisture flowing through the eye. *Natsional'nyi zhurnal glaukoma*. 2019; 18(2):76-92. <https://doi.org/10.25700/NJG.2019.02.09>
30. Vit V.V. Stroenie zritelnoi sistemy cheloveka [The structure of the human visual system.] Odessa: Astroprint 2003. 655 p.
31. Svetlova O.V., Drozdova G.A., Balashevich L.I., Zaseeva M.V., Ryabtseva A.A., Makarov F.N., Koshits I.N. Morphophysiological features of the structure of the human eye sclera as a key link in the formation of the level of intraocular pressure in normal and glaucoma. *Morfologia* 2009; 5(136):5-10.
32. Svetlova O.V., Zaseeva M.V., Koshits I.N. The rigidity of the sclera is a reliable criterion for assessing the level and range of IOP jumps in healthy and glaucoma eyes. 8th Congress of ophthalmologists of Russia. Collection of scientific papers. Moscow, 2005. pp 214-215.
33. Kozlov V.I. A new method for studying the extensibility and elasticity of the membranes of the eye with a change in ophthalmotonus. *Vestnik Oftalmologii* 1967; 83(2):5-9.
34. Kozlov V.I. Blood circulation of the eyes and the circulation of watery moisture in normal and glaucoma. Doc. Med. Sci. dissertation, Zaporozhye, 1976.
35. Clayson K., Pan X., Pavlatos E., Short R., Morris H., Hart R.T. and Liu J. Corneoscleral stiffening increases IOP spike magnitudes during rapid microvolumetric change in the eye. *Exp Eye Res* 2017; 165: 29-34. <https://doi.org/10.1016/j.exer.2017.08.015>.
36. Volkov V.V. Glaukoma pri psevdonormalnom davlenii. Rukovodstvo dlya vrachei [Glaucoma with pseudonormal pressure. Guidelines for doctors.] Moscow, Medicine Publ., 2001. 349 p. (In Russ.).
37. Morgan W.H. et al. Optic Disc Movement with Variations in Intraocular and Cerebrospinal Fluid Pressure. *Investigative Ophthalmology & Visual Science* 2002; 43(10):2336-3242.
38. Jonas J.B., Wang N., Yang D. et al. Facts and myths of cerebrospinal fluid pressure for the physiology of the eye. *Progress in Retinal and Eye Research* 2015; 46:67-83. <https://doi.org/10.1016/j.preteyeres.2015.01.002A>.
39. Koshits I.N., Svetlova O.V., Zaseeva M.V., Shakhaev S.V., Makarov F.N., Kotlyar K.E., Smolnikov B.A. Physiological principles of hypotensive therapy of open-angle glaucoma in the presbyopic period. Part 1. Initial theoretical premises, hypotheses and facts. *Glaukoma* 2006; 3:35-53.
40. Koshits I.N., Svetlova O.V., Zaseeva M.V., Shakhaev S.V., Makarov F.N., Kotlyar K.E., Smolnikov B.A. Physiological principles of hypotensive therapy of open-angle glaucoma in the presbyopic period. Part 2. Promising algorithms of practical sparing effects. *Glaukoma* 2006; 4:51-70. (In Russ.).
41. Tian L, Wang D, Wu Y, Meng X, Chen B, Ge M, Huang Y. Corneal biomechanical characteristics measured by the CorVis Scheimpflug technology in eyes with primary open-angle glaucoma and normal eyes. *Acta Ophthalmol* 2016; 94(5):e317-24. <https://doi.org/10.1111/aos.12672>.
42. Jung Y, Park HL, Yang HJ, Park CK. Characteristics of corneal biomechanical responses detected by a non-contact scheimpflug-based tonometer in eyes with glaucoma. *Acta Ophthalmol* 2017; 95(7):e556-e563. <https://doi.org/10.1111/aos.13466>.
43. Jung Y, Park H-Young L, Oh S, Park Ch.K., Choul Yong Corneal biomechanical responses detected using corvis st in primary open angle glaucoma and normal tension glaucoma. *Medicine* 2020; 99(7): e19126. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000019126>
44. Apostolova A.S., Malyshev A.V., Sergienko A.A., Petrosyan I.A., Slavova M.A., Ponomareva N.N. Features of the Biomechanical Parameters of the Eye Fibrous Membrane and the Index of the Biomechanical Glaucoma Factor in Various Clinical Situations. *Ophthalmology in Russia* 2022; 19(2):413-422. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2022-2-413-422>