

Обзор
УДК 617.713
doi: 10.25276/0235-4160-2024-1-78-85

Биомеханические и топографические особенности роговой оболочки как факторы, влияющие на внутриглазное давление

А.Н. Самойлов^{1, 2}, В.А. Усов¹, Н.Р. Ахметов^{1, 2}

¹Казанский государственный медицинский университет Минздрава России, Казань

²Республиканская клиническая офтальмологическая больница Министерства здравоохранения Республики Татарстан им. профессора Е.В. Адамюка, Казань

РЕФЕРАТ

Актуальность. На сегодняшний день несмотря на большое количество устройств для измерения внутриглазного давления (ВГД), нет аппарата, который бы мог дать значение офтальмотонуса, абстрагируясь от всех, потенциально влияющих на показатели ВГД, факторов. **Цель.** Провести анализ доступных литературных источников для выявления и обобщения факторов, учет которых необходим для получения достоверных значений ВГД в клинической практике врача-офтальмолога. **Материал и методы.** Для выполнения обзора был осуществлен поиск источников литературы по реферативным базам PubMed и Scopus за период до 2022 г. включительно с использованием ключевых слов «biomechanical properties of the cornea», «cornea and iop», «factors affecting intraocular pressure». Всего было отобрано 58 статей и одна клиническая рекомендация, относящихся к теме обзора. **Результаты.** Были выявлены и структурированы основные факторы, которые могут оказывать влияние на формирование значений

ВГД. Выделены группы факторов, такие как: естественные, возникающие при применении лекарственных и других препаратов; возникающие при медицинских манипуляциях, при заболеваниях; иные факторы, связанные непосредственно с анатомией глазного яблока. **Заключение.** Таким образом, по итогам проведения литературного поиска, нами были определены и структурированы наиболее важные факторы, начиная от влияния внешней среды и заканчивая индивидуальными особенностями анатомии человека, учет которых необходим для правильной трактовки и получения точных значений офтальмотонуса в клинической практике офтальмологов. Определение влияния именно биомеханических и кератотопографических показателей роговицы является наиболее актуальным, так как во многих странах для диагностики ВГД используют именно аппланационные тонометры, такие как тонометр Гольдмана и тонометр Маклакова, чрезвычайно чувствительные к поверхностным особенностям роговой оболочки.

Ключевые слова: внутриглазное давление, роговица, топографические особенности ■

Для цитирования: Самойлов А.Н., Усов В.А., Ахметов Н.Р. Биомеханические и топографические особенности роговой оболочки как факторы, влияющие на внутриглазное давление. Офтальмохирургия. 2024;1: 78–85. doi: 10.25276/0235-4160-2024-1-78-85
Автор, ответственный за переписку: Наиль Равилевич Ахметов, ahmetovn17@gmail.com

ABSTRACT

Review

Biomechanical and topographic features of the cornea as factors affecting intraocular pressure

A.N. Samoilov^{1, 2}, V.A. Usov¹, N.R. Ahmetov^{1, 2}

¹Kazan State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Kazan, Russian Federation

²E.V. Adamyuk Republican Clinical Ophthalmological Hospital of the Ministry of Health of the republic of Tatarstan, Kazan, Russian Federation

Relevance. Today, despite the large number of devices for measuring intraocular pressure, there is no device that could give the value of intraocular pressure, without considering all factors potentially affecting intraocular (IOP) values. **Purpose.** Conduct an analysis of available literature sources to identify and summarize factors, the consideration of which is necessary to obtain reliable values of intraocular pressure in the clinical practice of an ophthalmologist. **Material and methods.**

To complete the review, literature sources were searched in the PubMed and Scopus abstract databases for the period up to 2022 inclusive using the key words «biomechanical properties of the cornea», «cornea and IOP», «factors affecting intraocular pressure». A total of 58 articles and one clinical recommendation relating to the review topic were selected.

Results. The main factors that may influence the formation of IOP values were identified and structured. Groups of factors have been identified,

such as: natural, those arising from the use of drugs and other drugs, those arising from medical procedures, diseases, other factors, and those directly related to the anatomy of the eyeball. **Conclusion.** Thus, after conducting a literature search, we identified and structured the most important factors, ranging from the influence of the external environment to the individual characteristics of human anatomy, the consideration of which is necessary for the correct interpretation and obtaining accurate

values of ophthalmotonus in the clinical practice of ophthalmologists. Determining the influence of biomechanical and keratotopographic parameters of the cornea is the most relevant, since in many countries applanation tonometers, such as the Goldmann tonometer and Maklakov tonometer, which are extremely sensitive to the surface features of the cornea, are used to diagnose IOP.

Key words: *intraocular pressure, cornea, topographic features* ■

For citation: Samoilov A.N., Usov V.A., Ahmetov N.R. Biomechanical and topographic features of the cornea as factors affecting intraocular pressure. 2024;1: 78–85. doi: 10.25276/0235-4160-2024-1-78-85

Corresponding author: Nail' R. Ahmetov, ahmetovn17@gmail.com

АКТУАЛЬНОСТЬ

Внутриглазное давление – давление жидкости внутри глаза, являющееся результатом баланса между продукцией камерной влаги, трабекулярным и увеосклеральным оттоком и давлением в эписклеральных венах, поддерживающее его форму и обеспечивающее постоянство циркулирующих питательных веществ и нормальную трофику внутриглазных тканей [1].

Внутриглазное давление не является фиксированным показателем, оно зависит от множества факторов и меняется в соответствии с внутренними циркадными ритмами, а также изменяется в зависимости от образа жизни, формы физических нагрузок, в зависимости от положения тела и даже от вида дыхания [2, 3]. Поэтому необходимо изучать и учитывать различные факторы, которые могут повлиять на значения внутриглазного давления.

ЦЕЛЬ

Провести анализ доступной литературы, выявить и обобщить многочисленные факторы, влияющие на значения внутриглазного давления. Обобщение и выявление всех факторов, влияющих в большей или меньшей степени на показатели офтальмотонуса, необходимо для понимания и учета этих причин в клинической практике врача-офтальмолога.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Для выполнения обзора был осуществлен поиск источников литературы по реферативным базам PubMed и Scopus за период до 2022 г. включительно с использованием ключевых слов «biomechanical properties of the cornea», «cornea and iop», «factors affecting intraocular pressure». Всего было отобрано 58 статей и одна клиническая рекомендация, относящихся к теме обзора.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Очевидность тесной связи части сосудистого тракта с продукцией водянистой влаги и ее оттоком давно доказана и не вызывает сомнений у офтальмологов по всему миру. Внутриглазное давление, так же как и артериальное давление в живом организме, имеет колебания [4] и зависит от множества факторов.

Кратковременные изменения артериального давления у здорового человека незначительно влияют прямым образом на внутриглазное давление за счет существования в организме ауторегуляторных механизмов [5]. Однако стойкое повышение артериального давления, в большей степени систолического его компонента, имеет положительную связь с внутриглазным давлением и является наиболее сильным предиктором повышения внутриглазного давления ($p < 0,001$) [6]. Так, например, увеличение центрального систолического давления в аорте в среднем на каждые 10 мм рт.ст. связано с повышением внутриглазного давления на 0,32 мм рт.ст. ($p = 0,004$) [7].

Венозный застой в камере стекловидного тела и уменьшение оттока водянистой влаги, связанного с повышением эписклерального венозного давления, которое определяется центральным венозным давлением, может привести к повышению внутриглазного давления. Причинами повышения внутриглазного давления являются венозная обструкция крупных сосудов, (например, тромбоз венозного синуса и синдром верхней полой вены), артериовенозные шунты или фистулы, синдром Стерджа – Вебера, склерит [8, 9].

Естественные факторы

Среди физиологических факторов даже изменение объема крови в глазном яблоке при пульсации артерий в нормальном организме, при нормальном тоне сосудов, приводит к изменению внутриглазного давления на 1 мм рт.ст.

Такие явления, как кашель, натуживание и рвота, могут привести к повышению внутриглазного давления на 30–40 мм рт.ст. [10].

Сильное сокращение круговой мышцы глаза способно увеличить внутриглазное давление до 51 мм рт.ст., даже обычное моргание может увеличить внутриглазное давление на 10 мм рт.ст. [11].

Среди естественных факторов нужно выделить и суточные колебания внутриглазного давления [12], пиковые же значения внутриглазного давления приходится на период с 00:00 до 06:00 утра [13].

При наступлении беременности внутриглазное давление снижается. Особенно значительно различие в давлении между вторым и третьим ($p < 0,001$) триместрами беременности [14, 15].

Дыхательные практики и физическая активность способны влиять на изменение показателей офтальмотонуса. Например, медитация способна повлиять на изменение внутриглазного давления, у исследуемых в начале и в конце исследования, которое длилось 3 недели, в среднем показатели внутриглазного давления уменьшились на 25% (с $20,16 \pm 3,3$ до $15,05 \pm 2,4$ мм рт.ст.) [16].

Длительная задержка дыхания, особенно на фоне значительных физических нагрузок, приводит к серьезному повышению показателей внутриглазного давления [17].

Сами по себе силовые упражнения, особенно интенсивные и изнуряющие, приводят к повышению внутриглазного давления, наиболее сильно повышение выявляют при упражнениях с отягощениями [18]. Так, например, было выявлено значительное повышение внутриглазного давления и снижение глазного перфузионного давления у здоровых взрослых при выполнении изометрических упражнений с отягощениями нижних конечностей [19]. Жим штанги лежа также значительно увеличивает внутриглазное давление [20].

Даже обычное положение человека с опущенным головным концом, например в положении Тренделенбурга, приводит к повышению внутриглазного давления [21], а при выполнении стойки на голове (поза Ширшасаны) значения внутриглазного давления у некоторых испытуемых могут увеличиваться в 2 раза от исходных значений [22].

Применение лекарственных и других препаратов

Использование некоторых лекарственных препаратов и различных веществ способно оказывать значительное влияние на показатели офтальмотонуса.

Применение β -блокаторов у пациентов с артериальной гипертензией в пероральной форме оказывает гипотензивный эффект на внутриглазное давление [23]. Аналогичный эффект прослеживается даже у здоровых людей с нормальным артериальным давлением [24].

Употребление некоторыми людьми веществ на основе марихуаны снижает внутриглазное давление, но с ограниченной продолжительностью действия и многочисленными побочными эффектами [25]. Заметное влияние каннабиноиды оказывают при местном применении, эффективно снижая внутриглазное давление и действуя как нейрорепротекторы на ганглиозные клетки сетчатки [26, 27].

При длительной терапии стероидами происходит повышение внутриглазного давления, которое впоследствии может привести к стероид-индуцированной глаукоме [28, 29].

Медицинские манипуляции

Анестезиологические пособия, такие как экстабация и интубация при ларингоскопии и прохождение эндотрахеальной трубки через голосовую щель, могут вызвать симпатическую стимуляцию, которая, в свою очередь, влияет на сужение сосудов и может повышать центральное венозное давление, которое, следовательно, вызывает офтальмогипертензию. Адренергическая стимуляция при ларингоскопии нарушает отток водянистой влаги через трабекулярную сеть [30–32].

Влияние ингаляционных анестетиков и седативных средств на изменение внутриглазного давления доказано клинически. Снижение внутриглазного давления связано с применением галотана, пропофола, севофлурана, изофлурана и энфлурана. Повышение внутриглазного давления чаще связано с применением кетамина и суксаметония. Значительные нерегулярные колебания внутриглазного давления ассоциированы с применением закиси азота [33].

Хирургия в области глаза, даже та, которая не затрагивает непосредственно глазное яблоко, может приводить к изменению внутриглазного давления, например, подтяжка нижнего века связана со статистически значимым повышением внутриглазного давления сразу после операции и даже спустя 3 месяца после нее [34].

Оперативное удаление халязиона приводит к понижению существующего среднего значения внутриглазного давления [35].

Если же рассматривать оперативное лечение глаза с непосредственными манипуляциями на глазном яблоке, то в мировой практике описаны случаи значительного критического повышения внутриглазного давления с тяжелой потерей зрения после анестезии закисью азота в присутствии внутриглазного пузырька газа перфторпропана у пациентов, перенесших за 37 дней до этого витреоретинальную операцию с газовой тампонадой. Изменяя концентрацию, объем и тип используемого газа, можно получить пузырьки, которые будут существовать до 70 дней, прежде чем полностью метаболизируются [36, 37].

Экстракция помутневшего хрусталика при неосложненной катаракте позволяет снижать внутриглазное давление в послеоперационном периоде по отношению к дооперационным значениям [38].

Использование интравитреальных инъекций ингибиторов фактора роста эндотелия сосудов нередко связано с определенным повышением внутриглазного давления и увеличивается с увеличением количества инъекций [39].

При сквозной кератопластике на фоне снижения биомеханического профиля роговицы отмечается значительное более высокое внутриглазное давление [40].

Заболевания

Травмы и контузии глазного яблока, ассоциированные с гифемой, иридодиализом, разрывами Цинновых связок, изменением радужно-корнеального угла, могут приводить к острому повышению давления внутри глаза [41]. Эти состояния чаще всего сопровождаются нарушением оттока водянистой влаги через Шлеммов канал. Например, кровь и ее компоненты, находясь в передней камере, приводят к механической блокаде путей оттока в передней камере и офтальмогипертензии [42]. Увеит может приводить не просто к офтальмогипертензии, а к увеальной форме глаукомы [43].

Эндокринные заболевания (например, эндокринная офтальмопатия) способны вызвать периорбитальный отек, увеличить объем орбиты, что может в том числе привести к увеличению внутриглазного давления [48]. Конечно, проявления эндокринной офтальмопатии бывают значительными при выраженной декомпенсации организма, и, разумеется, такие пациенты встречаются достаточно редко в обыденной практике врачей-офтальмологов, проводящих исследование показателей офтальмотонуса. В повседневной практике медицинского персонала, измеряющий значения внутриглазного давления, будет сталкиваться, например, с колебаниями показателей в течение суток, так как некоторые пациенты смогут прийти на исследование только в утренние часы, а некоторые – в вечернее время.

Иные факторы

Помимо факторов, связанных непосредственно с влиянием на глазное яблоко, например, оперативных вмешательств, обнаружена достоверная значимость влияния времени года и температурных перепадов. Ученым из Японии удалось выявить значительно более высокое внутриглазное давление зимой, в отличие от летнего периода. Повышение внутриглазного давления преимущественно зимой получило подтверждение связи с истончением слоя нервных волокон сетчатки [44].

Этническое афроамериканское происхождение у латиноамериканцев было значительно связано с более высоким внутриглазным давлением, даже после учета возраста, пола, индекса массы тела, систолического артериального давления, центральной толщины роговицы эта связь оставалась значимой ($p=0,0005$) [45].

Внутриглазное давление более 21 мм рт.ст. характерно для афроамериканцев и людей, родившихся от смешанных браков с афроамериканцами, чем для людей европеоидной расы [46].

Высокий индекс массы тела и окружность талии коррелируют с более высоким внутриглазным давлением как у мужчин (индекс массы тела, $\beta=0,053$, $p=0,026$; окружность талии, $\beta=0,016$, $p=0,067$), так и у женщин (индекс массы тела, $\beta=0,074$, $p<0,001$; окружность талии, $\beta=0,028$, $p<0,001$). У здоровых исследуемых, особенно женщин, большая жировая масса была связана с более высоким внутриглазным давлением, а большая мышечная масса была связана с бо-

лее низким внутриглазным давлением даже после корректировки массы тела и изменения индекса массы тела [47].

Разумеется, с учетом влияния такого большого количества различных факторов, начиная от сезонных колебаний температуры и заканчивая индивидуальными конституциональными особенностями телосложения, все же особенное внимание следует уделять именно биомеханическим и топографическим особенностям роговой оболочки, так как эти факторы наиболее доступны для фиксации и оценки именно офтальмологам в их рутинной практике.

Индивидуальные особенности анатомии глазного яблока

Роговица сама по себе в большинстве случаев при тонометрии является посредником между тонометром и тем давлением, которое формируется внутри глаза, и именно изменения биомеханических свойств роговицы могут затруднить интерпретацию результатов измерения внутриглазного давления. Точное определение значений офтальмотонуса особенно требует учета биомеханических свойств роговицы, данных анамнеза о перенесенных заболеваниях роговицы или кераторефракционных операциях [49].

Биомеханическая изменчивость толщины, жесткости, кривизны роговицы или слезной пленки роговицы у пациентов может привести к многочисленным ошибкам при измерении внутриглазного давления аппланационными тонометрами [50].

При увеличении кривизны роговицы показатели внутриглазного давления снижаются, особенно при измерениях аппланационными тонометрами [51].

Внутриглазное давление занижается при прямом роговичном астигматизме и завышается при обратном роговичном астигматизме. Ошибка составляет примерно 1 мм рт.ст. на каждые 4 дптр астигматизма. Для астигматизма роговицы с косыми осями ошибка меньше и приближается к нулю, когда ось составляет 45° или 135° [52].

Радиус роговицы имеет отрицательную корреляцию с показателями внутриглазного давления ($p<0,0001$) [53].

Толщина роговицы имеет высокую прямую положительную связь. Важное значение для правильной трактовки показателей внутриглазного давления при измерении самым популярным в Европе и Северной Америке тонометром Гольдмана имеет учет поправочного коэффициента Элера, используемого для перерасчета внутриглазного давления при отклонении толщины роговицы от средней толщины, равной 545 мкм. Особенно актуальна корректировка показателей офтальмотонуса после эксимерлазерной коррекции зрения [54].

Из других параметров роговицы на показатели внутриглазного давления выявлено влияние вязкоупругих и эластических свойства роговицы таких показателей, как гистерезис и фактор резистентности роговицы. Значения этих показателей имеют прямую положительную связь [55].

В исследованиях при сравнении роговичного гистезиса и фактора резистентности роговицы доказано, что эти показатели достоверно снижены у пациентов с глаукомой нормального давления, чем у пациентов с первично открытой глаукомой и пациентов без признаков глаукомы, что свидетельствует о связи данных показателей с внутриглазным давлением [56].

Аксиальная длина глазного яблока имеет статистически значимую отрицательную корреляцию, при увеличении на 1,0 мм осевой длины глаза имеется тенденция к занижению значений тонометрии на 0,29 мм рт.ст. ($p=0,0002$). У женщин средняя осевая длина была на 1,04 мм короче, а среднее внутриглазное давление на 0,54 мм рт.ст. выше, чем у мужчин [57, 58].

Биомеханические параметры зависят от внутриглазного давления, а роговица и склера становятся более упругими по мере увеличения внутриглазного давления [59]. Некоторые факторы, влияющие на внутриглазное давление, остаются до сих пор до конца не изученными.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, по итогам проведения литературно-поиска, нами были определены и структурированы наиболее важные факторы, начиная от влияния внешней среды и заканчивая индивидуальными особенностями анатомии человека, учет которых необходим для правильной трактовки и получения точных значений офтальмотонуса в клинической практике офтальмологов.

Особенно важен учет на значения внутриглазного давления именно биомеханических и кератотопографических показателей роговицы, так как во многих странах для диагностики показателей внутриглазного давления продолжают оставаться актуальными именно апланационные тонометры, такие как тонометр Гольдмана и тонометр Маклакова, которые чрезвычайно чувствительны к поверхностным особенностям роговой оболочки. Следует помнить о влиянии на апланационную тонометрию уже имеющих доказательную базу параметров роговицы, например, таких как толщина и гистезис роговицы, и продолжать исследовать другие биомеханические и кератотопографические характеристики роговой оболочки для понимания значимости влияния на показатели внутриглазного давления и, следовательно, для повышения результативности лечебных мероприятий у пациентов, поскольку в некоторых случаях каждый миллиметр ртутного столба может стать решающим для выбора оптимального метода ведения пациента.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Глаукома первичная открытоугольная. Клинические рекомендации. 2020. Доступно по: <https://eyepress.ru/sbornik.aspx?11025> [Ссылка активна на 30.01.2024] [Primary open-angle glaucoma. Clinical

recommendations. 2020. Available from: <https://eyepress.ru/sbornik.aspx?11025> [Accessed 30th 2024] (In Russ.)]

2. Kim YW, Park KH. Exogenous influences on intraocular pressure. *Br J Ophthalmol*. 2019;103(9): 1209–1216. doi: 10.1136/bjophthalmol-2018-313381

3. Sit AJ. Intraocular pressure variations: causes and clinical significance. *Can J Ophthalmol*. 2014;49(6): 484–488. doi: 10.1016/j.jco.2014.07.008

4. Kim YJ, Lee KS, Lee JR, Na JH, Choi J, Han S, Kook MS. Ocular pulse amplitude as a dynamic parameter and its relationship with 24-h intraocular pressure and blood pressure in glaucoma. *Exp Eye Res*. 2013;115: 65–72. doi: 10.1016/j.exer.2013.06.010

5. Li G, Shih YY, Kiel JW, De La Garza BH, Du F, Duong TQ. MRI study of cerebral, retinal and choroidal blood flow responses to acute hypertension. *Exp Eye Res*. 2013;112: 118–124. doi: 10.1016/j.exer.2013.04.003

6. Perlman JI, Delany CM, Sothorn RB, Skolnick KA, Murray D, Jacobs RW, Shue JL, Kaplan E, Friedman NC, Nemchausky BA, Ryan MD, Kanabrocki EL. Relationships between 24h observations in intraocular pressure vs blood pressure, heart rate, nitric oxide and age in the medical chronobiology aging project. *Clin Ter*. 2007;158(1): 31–47.

7. Tsai AS, Aung T, Yip W, Wong TY, Cheung CY. Relationship of intraocular pressure with central aortic systolic pressure. *Curr Eye Res*. 2016;41(3): 377–382. doi: 10.3109/02713683.2015.1030506

8. Foroozan R, Buono LM, Savino PJ, Sergott RC. Idiopathic dilated episcleral veins and increased intraocular pressure. *Br J Ophthalmol*. 2003;87(5): 652–654. doi: 10.1136/bjo.87.5.652

9. Usha Tejaswini S, Sivakumar P, Upadhyaya S, Venkatesh R. Elevated episcleral venous pressure and its implications: A case of Radius-Maumenee syndrome. *Indian J Ophthalmol*. 2020;68(8): 1683–1685. doi: 10.4103/ijjo.IJO_2407_19

10. Murgatroyd H, Bembridge J. Intraocular pressure, continuing education in anaesthesia critical care & pain. 2008;8(3): 100–103. doi: 10.1093/bjaceaccp/mkn015

11. Miller D. Pressure of the lid on the eye. *Arch Ophthalmol*. 1967;78(3): 328–330. doi: 10.1001/archophth.1967.00980030330011

12. Chiselită D, Moțoc I, Danielescu C. Fluctuațiile diurne si nocturne ale presiunii intraoculare si tensiunii arteriale sistemice la pacienții glaucomatoși si nonglaucomatoși [Daily and nightly fluctuation of intraocular pressure and blood pressure in glaucoma and non-glaucoma patients]. *Oftalmologia*. 2008;52(1): 119–125. (In Roman.).

13. Xiao M, Sun XH, Meng FR, Fang ZB, Qiu SY, Guo WY, Qian SH, Wang JY. [Study on changes of intraocular pressure within 24 hours in primary open angle glaucoma and normal eyes]. *Zhonghua Yi Xue Za Zhi*. 2011;91(7): 441–444. (In Chinese).

14. Bahadır Kilavuzoğlu AE, Cosar CB, Bildirici I, Cetin O, Ozbasli E. Estrogen- and progesterone-induced variation in corneal parameters according to hormonal status. *Eye Contact Lens*. 2018;44(S1): S179–S184. doi: 10.1097/ICL.0000000000000376

15. Qureshi IA. Measurements of intraocular pressure throughout the pregnancy in Pakistani women. *Chin Med Sci J*. 1997;12(1): 53–56.

16. Dada T, Bhai N, Midha N, Shakrawal J, Kumar M, Chaurasia P, Gupta S, Angmo D, Yadav R, Dada R, Sihota R. Effect of mindfulness meditation on intraocular pressure and trabecular meshwork gene expression: A randomized controlled trial. *Am J Ophthalmol*. 2021;223: 308–321. doi: 10.1016/j.ajo.2020.10.012

17. Vera J, Perez-Castilla A, Redondo B, De La Cruz JC, Jiménez R, García-Ramos A. Influence of the breathing pattern during resistance training on intraocular pressure. *Eur J Sport Sci*. 2020;20(2): 157–165. doi: 10.1080/17461391.2019.1617354

18. Vera J, Jiménez R, Redondo B, Torrejón A, De Moraes CG, García-Ramos A. Effect of the level of effort during resistance training on intraocular pressure. *Eur J Sport Sci*. 2019;19(3): 394–401. doi: 10.1080/17461391.2018.1505959

19. Li Y, Li S, Wang Y, Zhou J, Yang J, Ma J. Effects of isometric resistance exercise of the lower limbs on intraocular pressure and ocular perfusion pressure among healthy adults: A meta-analysis. *J Fr Ophthalmol*. 2021;44(10): 1596–1604. doi: 10.1016/j.jfo.2021.05.005

20. Vieira GM, Oliveira HB, de Andrade DT, Bottaro M, Ritch R. Intraocular pressure variation during weight lifting. *Arch Ophthalmol*. 2006;124(9): 1251–1254. doi: 10.1001/archophth.124.9.1251

21. Ristin L, Dougherty Wood S, Sullivan-Mee M, Rixon A, Bence B, Ballinger R. Change in intraocular pressure and ocular perfusion pressure due to trendelenburg positioning. *Optom Vis Sci*. 2020;97(10): 857–864. doi: 10.1097/OPX.0000000000001584

22. Baskaran M, Raman K, Ramani KK, Roy J, Vijaya L, Badrinath SS. Intraocular pressure changes and ocular biometry during Sirsasana (headstand posture) in yoga practitioners. *Ophthalmology*. 2006;113(8): 1327–1332. doi: 10.1016/j.ophtha.2006.02.063

23. Онищенко А.Л., Колбаско А.В., Захарова А.В., Онищенко Е.Г., Жилина Н.М. Офтальмогипотензивный эффект системного применения бета-блокаторов при первичной глаукоме и артериальной гипертензии. Вестник офтальмологии. 2017;133(2): 46–51. [Onishchenko AL, Kolbasko AV, Zakharova AV, Onishchenko EG, Zhilina NM. Ocular hypotensive effect of systemic beta-blockers in patients with primary glaucoma and arterial hypertension. The Russian Annals of Ophthalmology. 2017;133(2): 46–51. (In Russ.)] doi: 10.17116/oftalma2017133246-50
24. Rennie IG, Smerdon DL. The effect of a once-daily oral dose of nadolol on intraocular pressure in normal volunteers. Am J Ophthalmol. 1985;100(3): 445–447. doi: 10.1016/0002-9394(85)90511-2
25. Sun X, Xu CS, Chadha N, Chen A, Liu J. Marijuana for glaucoma: A recipe for disaster or treatment? Yale J Biol Med. 2015;88(3): 265–269.
26. Pinar-Sueiro S, Rodríguez-Puertas R, Vecino E. Aplicaciones de los cannabinoides en glaucoma [Cannabinoid applications in glaucoma]. Arch Soc Esp Oftalmol. 2011;86(1): 16–23. (In Spanish)] doi: 10.1016/j.oftal.2010.11.015
27. Somvanshi RK, Zou S, Kadhim S, Padania S, Hsu E, Kumar U. Cannabinol modulates neuroprotection and intraocular pressure: A potential multi-target therapeutic intervention for glaucoma. Biochim Biophys Acta Mol Basis Dis. 2022;1868(3): 166325. doi: 10.1016/j.bbdis.2021.166325
28. Feroze KB, Khazaeni L. Steroid induced glaucoma. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2022. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28613653/> [Accessed 15th January 2024]
29. Roberti G, Oddone F, Agnifili L, Katsanos A, Michelessi M, Mastropasqua L, Quaranta L, Riva I, Tanga L, Manni G. Steroid-induced glaucoma: Epidemiology, pathophysiology, and clinical management. Surv Ophthalmol. 2020;65(4): 458–472. doi: 10.1016/j.survophthal.2020.01.002
30. Agrawal G, Agarwal M, Taneja S. A randomized comparative study of intraocular pressure and hemodynamic changes on insertion of proseal laryngeal mask airway and conventional tracheal intubation in pediatric patients. J Anaesthesiol Clin Pharmacol. 2012;28(3): 326–329. doi: 10.4103/0970-9185.98325
31. Karaman T, Dogru S, Karaman S, Demir S, Kaya Z, Suren M, Arici S, Kahveci M, Alim S. Intraocular pressure changes: the McGrath video laryngoscope vs the Macintosh laryngoscope; a randomized trial. J Clin Anesth. 2016;34: 358–364. doi: 10.1016/j.jclinane.2016.05.015
32. Gulati M, Mohta M, Ahuja S, Gupta VP. Comparison of laryngeal mask airway with tracheal tube for ophthalmic surgery in paediatric patients. Anaesth Intensive Care. 2004 Jun;32(3): 383–389. doi: 10.1177/0310057X0403200314
33. Fayed MA, Chen TC. Pediatric intraocular pressure measurements: Tonometers, central corneal thickness, and anesthesia. Surv Ophthalmol. 2019;64(6): 810–825. doi: 10.1016/j.survophthal.2019.05.003
34. Kaur HA, Athwal S, Hassan A, Khandwala M. Effect of lower lid tightening surgery with lateral tarsal strip on intraocular pressure. J Plast Reconstr Aesthet Surg. 2022;75(1): 402–406. doi: 10.1016/j.bjps.2021.06.006
35. Ilhan C, Ozgul Yilmazoglu M, Yilmazbas P. The effects of chalazion surgery on intraocular pressure and corneal topography. Int Ophthalmol. 2019;39(5): 1055–1059. doi: 10.1007/s10792-018-0912-4
36. Lee EJ. Use of nitrous oxide causing severe visual loss 37 days after retinal surgery. Br J Anaesth. 2004;93(3): 464–466. doi: 10.1093/bja/ae9213
37. Fu AD, McDonald HR, Elliott D, Fuller DG, Halperin LS, Ramsay RC, Johnson RN, Ai E. Complications of general anesthesia using nitrous oxide in eyes with preexisting gas bubbles. Retina. 2002;22(5): 569–574. doi: 10.1097/00006982-200210000-00006
38. Yang HS, Lee J, Choi S. Ocular biometric parameters associated with intraocular pressure reduction after cataract surgery in normal eyes. Am J Ophthalmol. 2013;156(1): 89–94.e1. doi: 10.1016/j.ajo.2013.02.003
39. Leleu I, Penaud B, Blumen-Ohana E, Rodallec T, Adam R, Laplace O, Akeshbi J, Nordmann JP. Hypertonie intraoculaire retardée liée aux injections intra-vitréennes répétées d'anti-VEGF: des cas nécessitant une chirurgie filtrante [Late and sustained intraocular pressure elevation related to intravitreal anti-VEGF injections: Cases requiring filtering surgery]. J Fr Ophthalmol. 2018;41(9): 789–801. (In French)] doi: 10.1016/j.jfo.2018.03.014
40. Murugesan V, Bypareddy R, Kumar M, Tanuj D, Anita P. Evaluation of corneal biomechanical properties following penetrating keratoplasty using ocular response analyzer. Indian J Ophthalmol. 2014;62(4): 454–460. doi: 10.4103/0301-4738.119317
41. Stefan C, Rădulescu D, Cucea R, Nicolae A, Mușat A, Balas M. Glaucomul postcontuziv [Postcontusion glaucoma]. Oftalmologia. 2000;52(3): 41–43. (In Roman.)
42. Iftikhar M, Mir T, Seidel N, Rice K, Trang M, Bhowmik R, Chun J, Goldberg MF, Woreta FA. Epidemiology and outcomes of hyphema: a single tertiary centre experience of 180 cases. Acta Ophthalmol. 2021;99(3): e394–e401. doi: 10.1111/aos.14603
43. Agrawal RV, Murthy S, Sangwan V, Biswas J. Current approach in diagnosis and management of anterior uveitis. Indian J Ophthalmol. 2010;58(1): 11–19. doi: 10.4103/0301-4738.58468
44. Terauchi R, Ogawa S, Noro T, Ito K, Kato T, Tatemichi M, Nakano T. Seasonal fluctuation in intraocular pressure and retinal nerve fiber layer thinning in primary open-angle glaucoma. Ophthalmol Glaucoma. 2021;4(4): 373–381. doi: 10.1016/j.ogla.2020.11.005
45. Nannini D, Torres M, Chen YD, Taylor KD, Rotter JI, Varma R, Gao X. African ancestry is associated with higher intraocular pressure in Latinos. Ophthalmology. 2016;123(1): 102–108. doi: 10.1016/j.ophtha.2015.08.042
46. Hennis A, Wu SY, Nemesure B, Leske MC; Barbados Eye Studies Group. Hypertension, diabetes, and longitudinal changes in intraocular pressure. Ophthalmology. 2003;110(5): 908–914. doi: 10.1016/S0161-6420(03)00075-7
47. Kim HT, Kim JM, Kim JH, Lee JH, Lee MY, Lee JY, Won YS, Park KH, Kwon HS; Korean Ophthalmological Society. Relationships between anthropometric measurements and intraocular pressure: The Korea national health and nutrition examination survey. Am J Ophthalmol. 2017;173: 23–33. doi: 10.1016/j.ajo.2016.09.031
48. Karabulut GO, Kaynak P, Altan C, Ozturker C, Aksoy EF, Demirok A, Yilmaz OF. Corneal biomechanical properties in thyroid eye disease. Kaohsiung J Med Sci. 2014;30(6): 299–304. doi: 10.1016/j.kjms.2014.02.015
49. Бубнова И.А., Асатрян С.В. Биомеханические свойства роговицы и показатели тонометрии. Вестник офтальмологии. 2019;135(4): 27–32. [Bubnova IA, Asatryan SV. Biomechanical properties of the cornea and tonometry measurements. The Russian Annals of Ophthalmology. 2019;135(4): 27–32. (In Russ.)] doi: 10.17116/oftalma201913504127
50. McCafferty S, Tetrault K, McColgin A, Chue W, Levine J, Muller M. Intraocular pressure measurement accuracy and repeatability of a modified Goldmann prism: Multicenter randomized clinical trial. Am J Ophthalmol. 2018;196: 145–153. doi: 10.1016/j.ajo.2018.08.051
51. Jóhannesson G, Hallberg P, Eklund A, Lindén C, Pascal, ICare and Goldmann applanation tonometry – a comparative study. Acta Ophthalmol. 2008;86(6): 614–621. doi: 10.1111/j.1600-0420.2007
52. Holladay JT, Allison ME, Prager TC. Goldmann applanation tonometry in patients with regular corneal astigmatism. Am J Ophthalmol. 1983;96(1): 90–93. doi: 10.1016/0002-9394(83)90459-2
53. Fukuoka S, Aihara M, Iwase A, Araie M. Intraocular pressure in an ophthalmologically normal Japanese population. Acta Ophthalmol. 2008;86(4): 434–439. doi: 10.1111/j.1600-0420.2007.01068.x
54. Jethani J, Dave P, Jethani M, Desai Y, Patel P. The applicability of correction factor for corneal thickness on non-contact tonometer measured intraocular pressure in LASIK treated eyes. Saudi J Ophthalmol. 2016;30(1): 25–28. doi: 10.1016/j.sjopt.2015.11.001
55. Shah S, Laiquzzaman M, Mantry S, Cunliffe I. Ocular response analyser to assess hysteresis and corneal resistance factor in low tension, open angle glaucoma and ocular hypertension. Clin Exp Ophthalmol. 2008;36(6): 508–513. doi: 10.1111/j.1442-9071.2008.01828.x
56. Grise-Dulac A, Saad A, Abitbol O, Febraro JL, Azan E, Moulin-Tyrode C, Gatinel D. Assessment of corneal biomechanical properties in normal tension glaucoma and comparison with open-angle glaucoma, ocular hypertension, and normal eyes. J Glaucoma. 2012;21(7): 486–489. doi: 10.1097/IJG.0b013e318220dafa
57. Mark HH, Robbins KP, Mark TL. Axial length in applanation tonometry. J Cataract Refract Surg. 2002;28(3): 504–506. doi: 10.1016/s0886-3350(01)01091-4
58. Ma D, Wei S, Sun Y, Li SM, An WZ, Hu JP, Cao K, Yang XH, Lin CX, Guo JY, Li H, Fu J, Wang N. Distribution of IOP and its relationship with refractive error and other factors: the Anyang University Students Eye Study. Int J Ophthalmol. 2021;14(4): 554–559. doi: 10.18240/ijo.2021.04.12
59. Roberts, Cynthia J. Importance of accurately assessing biomechanics of the cornea. Curr Opin Ophthalmol. 2016;27(4): 285–291. doi: 10.1097/ICU.0000000000000282

Информация об авторах

Александр Николаевич Самойлов, д.м.н., профессор, зав. кафедрой офтальмологии, samoilovan16@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0863-7762>

Виктор Алексеевич Усов, к.м.н., ассистент кафедры офтальмологии, vik-usov@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0549-783X>

Наиль Равилевич Ахметов, аспирант, ahmetov17@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8216-5025>

Information about the authors

Aleksandr N. Samoilov, Doctor of Sciences of Medicine, Professor, Head of the Department of Ophthalmology, <https://orcid.org/0000-0003-0863-7762>, samoilovan16@gmail.com

Viktor A. Usov, PhD in Medicine, Assistant of the Department of Ophthalmology, vik-usov@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0549-783X>,

Nail' R. Akhmetov, PhD Student, akhmetovn17@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8216-5025>

Вклад авторов в работу:

А.Н. Самойлов: существенный вклад в концепцию и дизайн работы, статистическая обработка данных, редактирование, окончательное утверждение версии, подлежащей публикации.

В.А. Усов: существенный вклад в концепцию и дизайн работы, статистическая обработка данных, редактирование.

Н.Р. Ахметов: существенный вклад в концепцию и дизайн работы, сбор, анализ и обработка материала, написание текста.

Authors' contribution:

A.N. Samoilov: significant contribution to the concept and design of the work, statistical data processing, editing, final approval of the version to be published.

V.A. Usov: significant contribution to the concept and design of the work, statistical data processing, editing.

N.R. Akhmetov: significant contribution to the concept and design of the work, collection, analysis and processing of material, writing.

Финансирование: Авторы не получили конкретный грант на это исследование от какого-либо финансирующего агентства в государственном, коммерческом и некоммерческом секторах.

Согласие пациента на публикацию: Письменного согласия на публикацию этого материала получено не было. Он не содержит никакой личной идентифицирующей информации.

Конфликт интересов: Отсутствует.

Funding: The authors have not declared a specific grant for this research from any funding agency in the public, commercial or not-for-profit sectors.

Patient consent for publication: No written consent was obtained for the publication of this material. It does not contain any personally identifying information.

Conflict of interest: There is no conflict of interest.

Поступила: 09.07.2023

Переработана: 14.09.2023

Принята к печати: 30.01.2024

Originally received: 09.07.2023

Final revision: 14.09.2023

Accepted: 30.01.2024