

<https://doi.org/10.21516/2072-0076-2022-15-1-64-71>



Влияние повышенного заданного интраоперационного офтальмотонуса при факоэмульсификации на хориоидальный кровоток

Ю.В. Тахтаев¹, Т.Н. Киселева², Р.Б. Шлякман¹ ✉

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

² ФГБУ «НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России, ул. Садовая-Черногрозская, д. 14/19, Москва, 105062, Россия

Цель работы — оценка показателей скорости кровотока в задних коротких цилиарных артериях во время операции факоэмульсификации (ФЭ) при различных уровнях внутриглазного давления (ВГД). **Материал и методы.** Обследовано 29 пациентов в возрасте 62–83 лет (в среднем $71,2 \pm 6,0$ года) с начальной возрастной катарактой. ФЭ производилась с помощью Alcon Centurion Vision System при заданном уровне ВГД 60 мм рт. ст. Скорость кровотока определялась трехкратно при помощи ультразвукового сканера экспертного класса Logiq S8 (GE): непосредственно перед оперативным вмешательством (до вскрытия глазного яблока), интраоперационно при уровне ВГД $58,77 \pm 8,28$ мм рт. ст., а также после операции и нормализации офтальмотонуса. Дополнительно также трехкратно производилось измерение уровня ВГД (тонометр Icare PRO). Уровень артериального давления контролировался стандартным методом на плечевой артерии с использованием системы Draeger Vista 120. Результаты измерений сравнивали с группой контроля, в которую вошло 20 парных здоровых глаз. **Результаты.** Установлено снижение скорости кровотока при достижении уровня ВГД $58,77 \pm 8,28$ мм рт. ст. Максимальная систолическая скорость кровотока в задней короткой цилиарной латеральной артерии снизилась с $14,46 \pm 2,92$ до $11,22 \pm 2,55$ см/с, конечная диастолическая — с $5,11 \pm 1,83$ до $2,97 \pm 1,27$ см/с. Максимальная систолическая скорость кровотока с медиальной стороны также упала с $12,37 \pm 2,74$ до $9,50 \pm 1,68$ см/с, а конечная диастолическая скорость — с $4,54 \pm 1,35$ до $2,73 \pm 0,91$ см/с ($p < 0,05$). **Заключение.** Уровень ВГД во время ФЭ, превышающий определенные значения, приводит к снижению скорости кровотока в задних коротких цилиарных артериях. Важно учитывать при этом, что ауторегуляторные механизмы поддержания стабильной гемодинамики при повышении уровня офтальмотонуса ограничены.

Ключевые слова: катаракта; факоэмульсификация; внутриглазное давление; задние короткие цилиарные артерии; ишемия

Конфликт интересов: отсутствует.

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

Для цитирования: Тахтаев Ю.В., Киселева Т.Н., Шлякман Р.Б. Влияние повышенного заданного интраоперационного офтальмотонуса при факоэмульсификации на хориоидальный кровоток. Российский офтальмологический журнал. 2022; 15 (1): 64–71. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2022-15-1-64-71>

The effect of increased preset intraocular pressure level on choroidal blood flow during phacoemulsification

Yuri V. Takhtaev¹, Tatyana N. Kiseleva², Roman B. Shliakman¹ ✉

¹ I.P. Pavlov First St. Petersburg State Medical University, 6-8, L'va Tolstogo St., St. Petersburg 197022, Russia

² Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases, 14/19, Sadovaya Chernogryazskaya St., Moscow, 105062, Russia

romanshlyakman@gmail.com

Purpose: to evaluate blood flow velocity in the posterior short ciliary arteries during phacoemulsification (PE) at different levels of intraocular pressure (IOP). **Material and methods.** The study included 29 patients aged 62–83 (average 71.2 ± 6.0) with initial-stage age-related cataract. PE was performed using the Alcon Centurion vision system at a preset IOP level of 60 mm Hg. Blood flow velocity was determined three times using an expert-class ultrasound scanner (GE Logiq S8): immediately before surgery (before opening the eyeball), intraoperatively at an IOP level of 58.77 ± 8.28 mm Hg, and after surgery and IOP normalization. Additionally, the IOP level was measured three times (by Icare PRO tonometer). The blood pressure level was monitored by the standard method on the brachial artery using the Drüger Vista 120 system. The measurement results were compared with the control group which included 20 healthy fellow eyes. **Results.** A decrease in blood flow velocity was established upon reaching the IOP level of 58.77 ± 8.28 mm Hg. The maximum systolic blood flow velocity in the posterior short ciliary lateral artery decreased from 14.46 ± 2.92 to 11.22 ± 2.55 cm/s, while the final diastolic blood flow fell from 5.11 ± 1.83 to 2.97 ± 1.27 cm/s. The maximum systolic blood flow velocity on the medial side also fell from 12.37 ± 2.74 to 9.50 ± 1.68 cm/s, and the final diastolic velocity fell from 4.54 ± 1.35 to 2.73 ± 0.91 cm/s ($p < 0.05$). **Conclusion.** During PE, the IOP level exceeding certain values leads to a decrease in blood flow velocity in the posterior short ciliary arteries. It is important to realize, however, that autoregulatory mechanisms for maintaining stable hemodynamics are limited if IOP levels are increased.

Keywords: cataract; phacoemulsification; intraocular pressure; posterior short ciliary arteries; ischemia

Conflict of interests: there is no conflict of interests.

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

For citation: Takhtaev Yu.V., Kiseleva T.N., Shliakman R.B. The effect of increased preset intraocular pressure level on choroidal blood flow during phacoemulsification. Russian ophthalmological journal. 2022; 15 (1): 64–71 (In Russian). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2022-15-1-64-71>

Хирургия катаракты методом ультразвуковой фактоэмульсификации (ФЭ) на сегодняшний день является одной из самых часто выполняемых операций в мире. Принято считать, что тонкая регулировка баланса ирригационно-аспирационных потоков позволяет проводить операцию на нормотоничном глазу. Однако практика показывает, что ФЭ осуществляется при гиперпозитивном внутриглазном давлении (ВГД), которое лучше обеспечивает стабильность передней камеры глаза в момент резкого нарастания аспирационных потоков, особенно в момент прорыва окклюзии, а также при усилении наружной фильтрации. Принудительная подача сбалансированного солевого раствора в переднюю камеру глаза под давлением смещает баланс потоков в пользу ирригации, что приводит к резкому повышению уровня ВГД.

В гравитационных системах интенсивность подачи жидкости в переднюю камеру глаза и уровень ВГД поддерживаются за счет давления столба жидкости и зависят от высоты расположения емкости с ирригационным раствором, обычно фиксированной на уровне от 80 до 110 см, что соответствует ВГД в пределах от 58 до 80 мм рт. ст. [1].

Системы с принудительной подачей ирригационного раствора позволяют устанавливать планируемый к поддержанию уровень офтальмотонуса, который варьирует в зависимости от предпочтений хирурга в диапазоне от 30 до 90 мм рт. ст. и выше. Нижняя граница уровня интраоперационного офтальмотонуса определяется возможностью

поддержания стабильности передней камеры, а вопрос об оптимальном безопасном верхнем уровне ВГД во время хирургического вмешательства остается открытым.

В литературе имеются сведения о влиянии высокого уровня ВГД на структуры глаза человека и животных. Так, в 1996 г. G. Michelson и соавт. [2] исследовали воздействие поэтапного повышения ВГД (до 45 мм рт. ст. выше базового уровня) на состояние кровоснабжения зрительного нерва (ЗН) и сетчатки с помощью лазерной доплеровской флоуметрии у здоровых добровольцев. Авторы регистрировали снижение кровоснабжения юкстапапиллярной сетчатки и переднего отдела ЗН на 7,4 и 8,4 % соответственно при каждом увеличении уровня офтальмотонуса на 10 мм рт. ст.

В 2014 г. He Zheng и соавт. [3] опубликовали работу о влиянии острого повышения ВГД на амплитуду b-волны электроретинограммы (ЭРГ) и состояние ретинального кровотока в эксперименте у крыс на моделях острой и хронической артериальной гипертензии и без нее (контрольная группа). На первом этапе исследования в течение 4 нед животным моделировали повышенный уровень систолического АД (192 ± 4 мм рт. ст.), что вызывало гипертрофию миокарда и утолщение стенок аорты по сравнению с контролем (систолическое АД — 112 ± 3 мм рт. ст.). В этот период изменений функциональной активности сетчатки не наблюдалось. Во время второго этапа в ответ на резкий подъем уровня ВГД регистрировали снижение амплитуды b-волны ЭРГ и по-

казателей скорости кровотока в ретинальных сосудах у всех животных, наиболее выраженное в контрольной группе.

N. Patel и соавт. [4] в эксперименте на приматах отмечали статистически достоверное уменьшение толщины перипапиллярной хориоидеи при повышении офтальмотонуса до 50 мм рт. ст., что подтверждалось снижением индекса плотности сосудов при оптической когерентной томографии (ОКТ) в ангиорежиме. Дальнейшее поэтапное повышение уровня офтальмотонуса до 60 мм рт. ст. сопровождалось изменениями морфометрических параметров диска зрительного нерва (ДЗН): увеличением минимального расстояния (диаметра) между двумя противоположными краями мембраны Бруха (Bruch's membrane opening, ВМО) и уменьшением минимального расстояния от края мембраны Бруха до ближайшей точки внутренней пограничной мембраны (minimum rim width, MRW). Восстановление структур ДЗН до исходного состояния при снижении уровня ВГД происходило постепенно, с задержкой по времени до нескольких суток [4, 5].

Из работ Ю.С. Астахова и соавт. [6–8] известно, что механизмы ауторегуляции глазного кровотока в ответ на острое повышение уровня ВГД не обеспечивают компенсаторного поддержания гемодинамических параметров на стабильном уровне.

По мнению большинства отечественных авторов, нарушение ауторегуляции кровотока в сосудах сетчатки и зрительного нерва является одной из причин возникновения и прогрессирования глаукомной нейрооптикопатии [9–11].

В последние годы продолжается изучение регуляторных механизмов глазного кровотока при повышении офтальмотонуса, что может быть полезным для разработки патогенетически обоснованных методов коррекции нарушений регионарной гемодинамики. В 2020 г. была опубликована работа о влиянии резких изменений уровня ВГД после интравитреальных инъекций ингибиторов ангиогенеза на снижение индекса плотности сосудов в парафовеолярной и перипапиллярной зонах сетчатки у пациентов с возрастной макулярной дегенерацией [12]. В нашем исследовании ранее установлено кратковременное нарушение кровотока в центральной артерии сетчатки (ЦАС) (отсутствие регистрации диастолической скорости) в 30,4% случаев при интраоперационном повышении офтальмотонуса до 55–60 мм рт. ст. Вероятно, отсутствие компенсаторных механизмов ауторегуляции глазного кровотока в ответ на резкое повышение ВГД может приводить к развитию ретинальной ишемии.

Известно, что сосуды хориоидеи представляют собой разветвления задних коротких цилиарных артерий (ЗКЦА), проникающих через склеру у заднего полюса глаза вокруг зрительного нерва. В литературе имеются сведения о нарушении гемодинамики в ЗКЦА при повышении ВГД у пациентов с глаукомой [13–17].

ЦЕЛЬЮ исследования явилась оценка изменений показателей скорости кровотока в ЗКЦА во время операции ФЭ при различных уровнях ВГД.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В исследование было включено 29 пациентов (29 глаз) в возрасте от 62 до 83 лет (средний возраст — $71,2 \pm 6,0$ года) с диагнозом «начальная возрастная катаракта». Критерием исключения из исследования являлось наличие любой сопутствующей глазной патологии, ранее перенесенные интраокулярные оперативные вмешательства, а также наличие системных заболеваний, влияющих на гемодинамику глаза и орбиты (гемодинамически значимый стеноз и окклюзии сонных артерий, сахарный диабет и т. д.). Группу контроля

составили 20 парных здоровых глаз. Всем пациентам измеряли ВГД тонометром Icare Pro (IcareFinlandOy, Финляндия) и уровень артериального давления (АД) с помощью системы мониторинга Draeger Vista 120 (Draeger Medical GmbH, Германия).

Оценка состояния кровотока в латеральных и медиальных ЗКЦА с регистрацией максимальной систолической скорости кровотока (V_{syst}), конечной диастолической скорости кровотока (V_{diast}) и индекса резистентности (RI) проводилась с помощью цветового дуплексного сканирования (ЦДС) в режимах цветового доплеровского картирования (ЦДК) и импульсной доплерографии (ИД) на приборе Logiq S8 (GE).

Исследования уровня ВГД, артериального давления и глазного кровотока осуществляли трехкратно: непосредственно перед оперативным вмешательством до вскрытия глазного яблока, во время операции на заданном повышенном уровне офтальмотонуса и в конце операции, сразу после герметизации операционных доступов и нормализации офтальмотонуса. Интервал между вторым и третьим измерениями составлял в среднем $4,02 \pm 0,36$ мин.

ФЭ с имплантацией интраокулярной линзы проводилась всем пациентам в одинаковых условиях с использованием системы Centurion Vision System (Alcon, США) со следующими параметрами: скорость аспирации — $27 \text{ см}^3/\text{мин}$, U/S — 100 % Torsional, вакуум — 650 мм рт. ст., уровень предустановленного заданного уровня офтальмотонуса — 60 мм рт. ст. Герметизацию глаза выполняли путем гидратации стромы роговицы сбалансированным солевым раствором. Все операции прошли без осложнений. Среднее время операции составило $7,31 \pm 0,49$ мин.

Статистический анализ полученных результатов проводили с помощью программ Microsoft Excel и IBM SPSS25.0 методом многомерного дисперсионного анализа для связанных выборок. Сравнение с группой контроля осуществлялось попарно с использованием Т-критерия для независимых выборок. Различие между средними величинами считалось достоверным при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В предоперационном периоде у пациентов были зафиксированы различные показатели уровня систолического и диастолического АД (рис. 1). Уровень среднего АД выше 110 мм рт. ст. наблюдался в 11 (37,9%) случаях и ниже 100 мм рт. ст. — в 9 (31%) случаях.

Результаты измерения уровня ВГД на разных этапах исследования представлены на рисунке 2.

До операции у всех пациентов уровень ВГД находился в пределах нормальных значений и составлял в среднем $18,1 \pm 2,8$ мм рт. ст. Во время операции ФЭ уровень офтальмотонуса повышался в среднем до $58,7 \pm 8,2$ мм рт. ст. После герметизации раны у всех пациентов отмечалась нормализация уровня ВГД до $22,0 \pm 7,3$ мм рт. ст. (табл. 1).

Показатели скорости кровотока в ЗКЦА на разных стадиях исследования представлены на рисунке 3.

В латеральных ЗКЦА показатели V_{syst} колебались в пределах от 10,1 до 19,8 см/с и V_{diast} — от 2,2 до 8,4 см/с, в медиальных ЗКЦА показатели V_{syst} находились в интервале от 8,0 до 18,5 см/с и V_{diast} — от 1,9 до 7,47 см/с.

В исследуемых ретробульбарных сосудах было зарегистрировано статистически достоверное снижение средних показателей скорости кровотока и увеличение индекса резистентности (RI) на этапе проведения операции ФЭ (рис. 4).

Влияние уровня ВГД на максимальную систолическую скорость кровотока в латеральной ЗКЦА представлено на рисунке 5.

До операции показатели максимальной Vsyst в латеральных ЗКЦА находились в пределах от 10,1 до 19,8 см/с, конечной Vdiast — от 2,2 до 8,4 см/с. Во время ФЭ отмечалось снижение Vsyst в среднем на 32 % с последующим восстановлением этого показателя до исходного уровня после нормализации офтальмотонуса (рис. 5, 6).

В медиальных ЗКЦА исходный показатель Vsyst колебался в пределах от 8,0 до 18,5 см/с, затем отмечалось его уменьшение в среднем на 23% (от 6,6 до 14,0 см/с) (рис. 7, 8).

У 9 пациентов во время операции при средних показателях ВГД $57,7 \pm 8,0$ мм рт. ст. в этих сосудах регистрировалось наиболее выраженное снижение Vdiast — до 0,0–1,5 см/с.

Как видно из таблицы 2, отмечаются статистические достоверные различия показателей гемодинамики в ЗКЦА во время операции по сравнению с исходным уровнем и группой контроля ($p < 0,05$).

ОБСУЖДЕНИЕ

Ранее нами были представлены данные о негативном влиянии повышенного уровня ВГД во время операции ФЭ на показатели скорости кровотока в ЦАС. В 30,4% случаев кровотоков в ЦАС в диастолическую фазу сердечного цикла не регистрировался [18]. Полученные нами данные согласуются с результатами исследования гемодинамики глаза, представленными в литературе. Так, А. Harris и соавт. [19] при проведении ЦДС ретробульбарных сосудов наблюдали выраженное снижение показателей Vsyst и нулевой диастолический кровоток в ЦАС при достижении уровня ВГД 45 мм рт. ст. О. Findl и соавт. [20] определили снижение средней скорости кровотока в

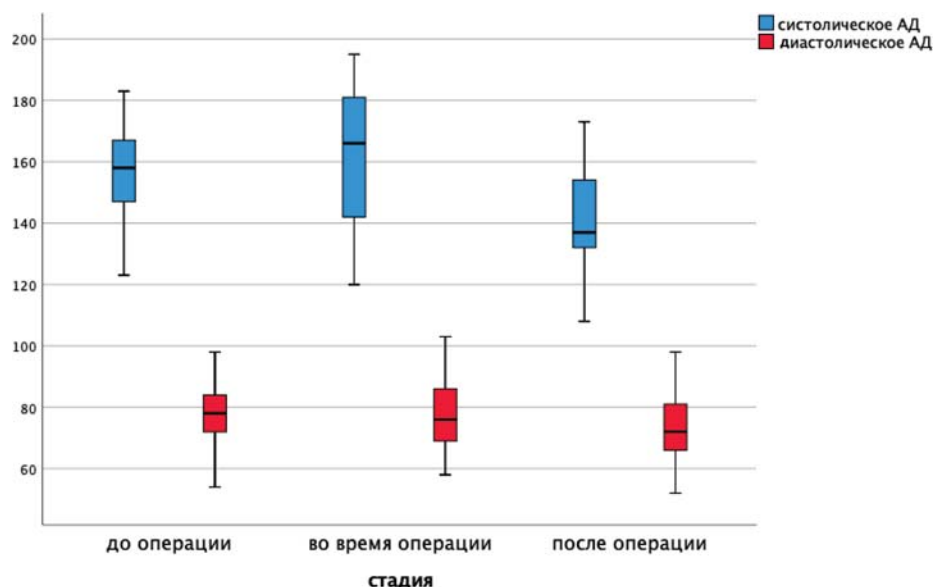


Рис. 1. Диапазон уровня артериального давления на разных стадиях исследования
Fig. 1. Range of blood pressure (diastolic and systolic) levels at the various study stages (before, during and after surgery)

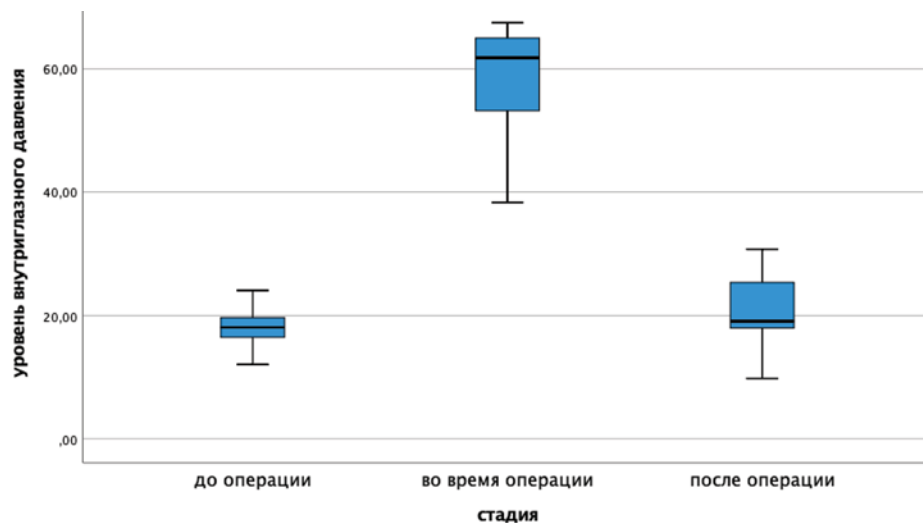


Рис. 2. Уровень внутриглазного давления на разных стадиях исследования
Fig. 2. The IOP level at different study stages (before, during and after surgery)

Таблица 1. Средние показатели уровней артериального давления (АД) и ВГД на разных стадиях исследования
Table 1. Mean blood pressure (BP) and IOP level at different stages of the study

Показатели Values	Этапы исследования Stages of the study		
	до операции before surgery n = 29	во время операции during surgery n = 29	в конце операции, сразу после нормализации офтальмотонуса after surgery n = 29
ВГД, мм рт. ст. IOP, mm Hg	18,1 ± 2,8	58,7 ± 8,2*.*	22,0 ± 7,3
Систолическое АД, мм рт. ст. Systolic BP, mm Hg	157,3 ± 21,9	162,21 ± 21,13*.*	142,64 ± 16,993
Диастолическое АД, мм рт. ст. Diastolic BP, mm Hg	77,21 ± 10,231	78,72 ± 13,57*.*	73,79 ± 10,973

Примечание. n — число глаз, * — $p < 0,05$ — достоверность относительно показателей до операции; ** — $p < 0,05$ — достоверность относительно показателей парного здорового глаза.

Note. n — number of eyes, * — $p < 0.05$ — confidence relative to the indicators before the operation; ** — $p < 0.05$ — confidence relative to the indicators of healthy fellow eyes.

Рис. 3. Скорость кровотока в ЗКЦА на различных стадиях исследования. Vsyst — максимальная систолическая скорость кровотока; ЗКЦМА — задняя короткая цилиарная артерия с медиальной стороны, ЗКЦЛА — задняя короткая цилиарная артерия с латеральной стороны, Vdiast — конечная диастолическая скорость кровотока

Fig. 3. The blood flow rate in the SPCA at different study stages. Vsyst — peak systolic blood flow velocity; MSPCA — short posterior ciliary artery from the medial side, LSPCA — short posterior ciliary artery with the lateral side, Vdiast — end diastolic velocity of blood flow

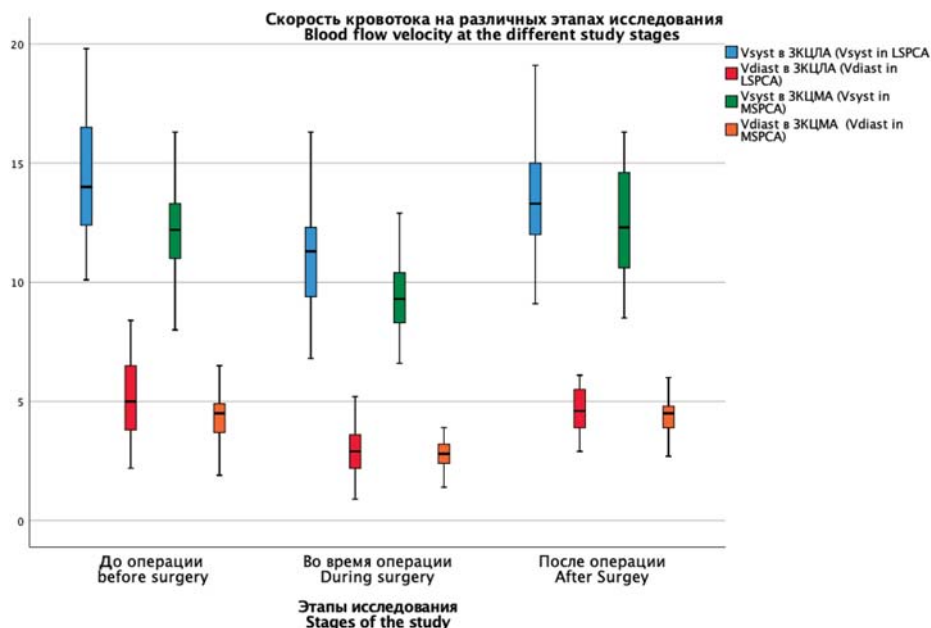


Рис. 4. Показатели индекса резистентности в ЗКЦА на разных стадиях исследования

Fig. 4. The resistance index interquartile ranges in SPCA at different study stages

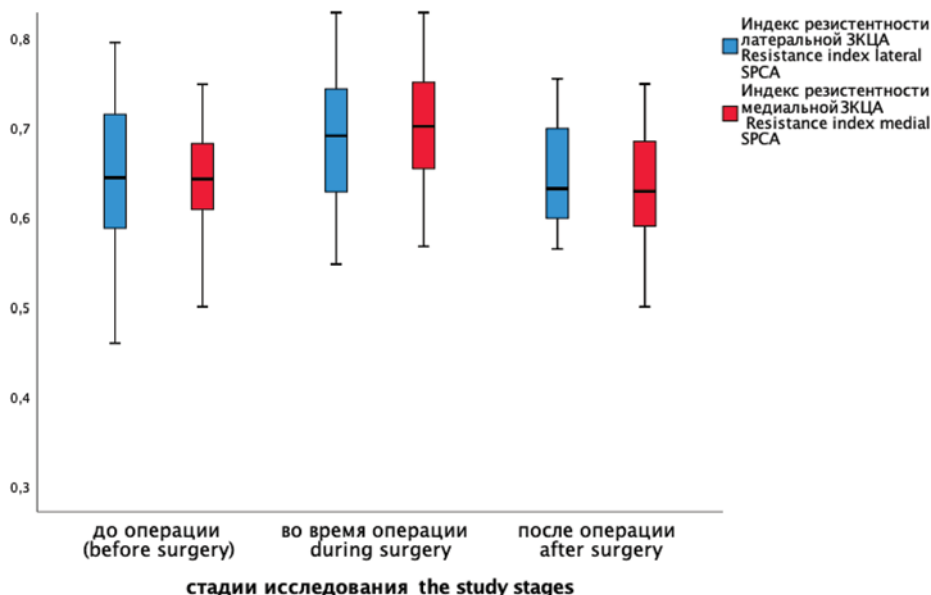
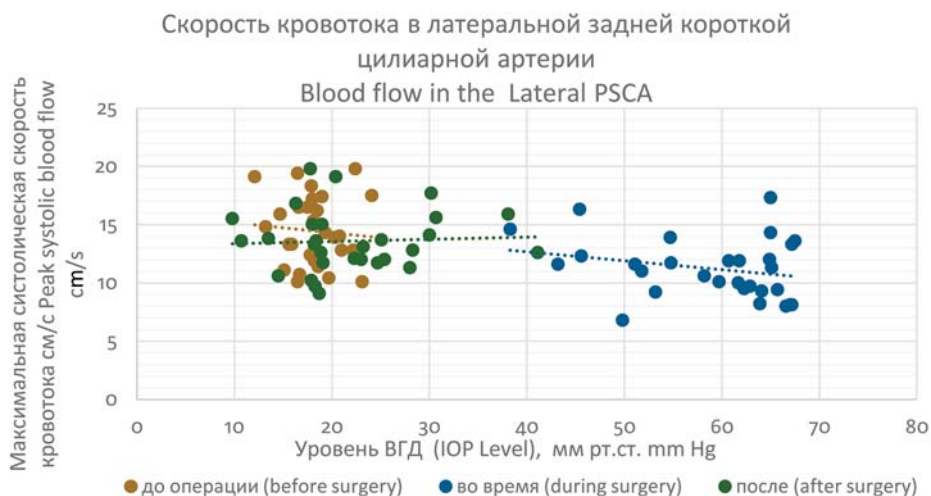


Рис. 5. Влияние уровня ВГД на максимальную систолическую скорость кровотока в латеральной ЗКЦА

Fig. 5. The effect of IOP level on the peak systolic blood flow rate in the lateral SPCA



ЦАС на 5–15% при подъеме ВГД на 10–20 мм рт. ст.

К. Joos и соавт. [21] при изучении влияния поэтапного увеличения уровня ВГД (25, 30, 40 и 50 мм рт. ст.) на гемодинамику в ЗКЦА показали последовательное ухудшение хориоидального кровотока при повышении офтальмотонуса на каждые 10 мм рт. ст.

Таким образом, можно предположить, что существующие механизмы ауторегуляции глазного кровотока не способны компенсировать влияние резкого подъема уровня ВГД на гемодинамику глаза, что проявляется снижением кровотока в ЗКЦА. Однако, как показало наше исследование, сразу после нормализации офтальмотонуса кровотоки в ЗКЦА практически полностью восстанавливаются, достигая исходного уровня. Вопрос о негативном влиянии кратковременного повышения уровня ВГД на функциональное состояние сетчатки и ЗН остается открытым и является предметом будущих исследований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Острое повышение уровня ВГД в среднем до $58,7 \pm 8,2$ мм рт. ст. может приводить к выраженному снижению показателей скорости кровотока в ЗКЦА и, следовательно, дефициту хориоидального кровотока. Уровень заданного офтальмотонуса во время оперативного вмешательства не должен превышать определенный пороговый уровень, который в нашем исследовании составил 40–45 мм рт. ст., поскольку при этих значениях ВГД значительных изменений показателей кровотока в ЗКЦА не регистрируется. Вопрос об оптимальном безопасном уровне ВГД при проведении ФЭ катаракты и других внутриглазных оперативных вмешательств, сопровождающихся длительным повышением уровня ВГД, остается открытым и требует дальнейшего детального изучения.

Литература/References

1. Khng C., Packer M., Fine I.H., et al. Intraocular pressure during phacoemulsification. J. Cataract Refract. Surg. 2006 Feb; 32 (2): 301–8. doi:10.1016/j.jcrs.2005.08.062
2. Michelson G., Groh M.J., Langhans M. Perfusion of the juxtapapillary retina and optic nerve head in acute ocular hypertension. German J. Ophthalmol. 1996; 5 (6): 315–21 (in Germany). https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9479511/
3. He Z., Vingrys A.J., Armitage J.A., et al. Chronic hypertension increases susceptibility to acute IOP challenge in rats. Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 2014; 55: 7888–95. doi:10.1167/iov.14-15207
4. Patel N., McAllister F., Pardon L., et al. The effects of graded intraocular pressure challenge on the optic nerve head. Exp. Eye. Res. 2018; 169: 79–90. doi:10.1016/j.exer.2018.01.025

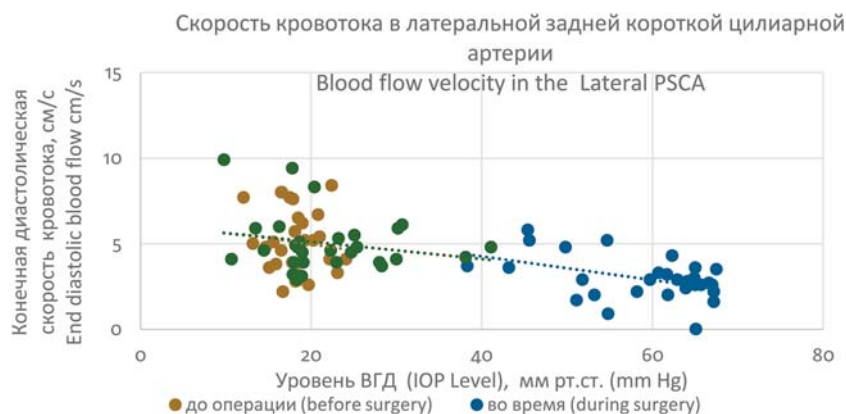


Рис. 6. Влияние уровня ВГД на конечную диастолическую скорость кровотока в латеральной ЗКЦА

Fig. 6. The effect of IOP level on the end diastolic blood flow rate in the lateral SPCA

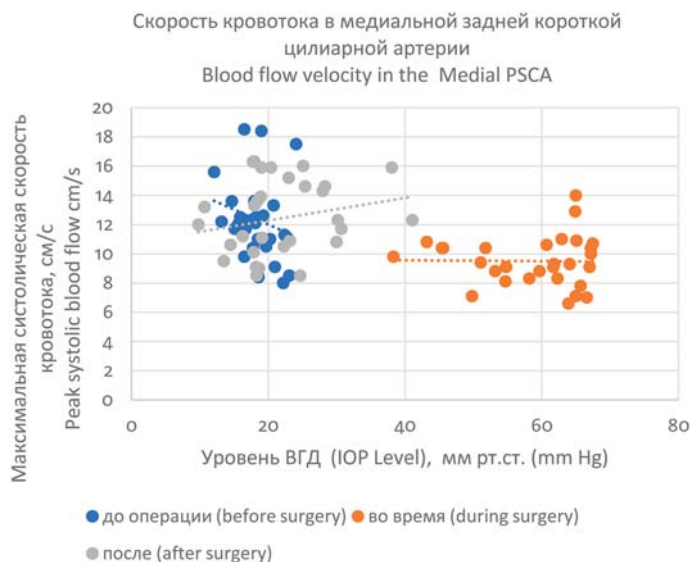


Рис. 7. Влияние уровня ВГД на максимальную систолическую скорость кровотока в медиальной ЗКЦА

Fig. 7. The IOP level effect on the peak systolic blood flow rate in the medial SPCA

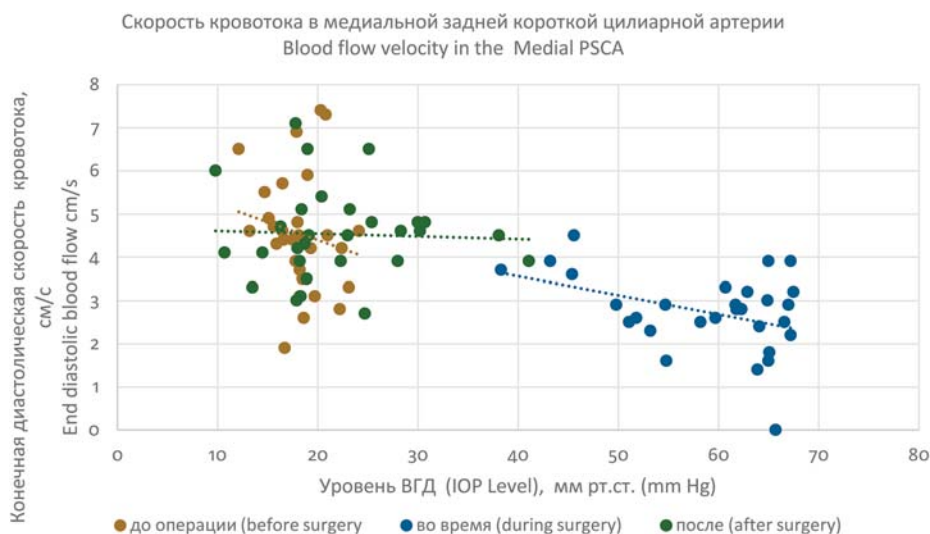


Рис. 8. Влияние уровня ВГД на конечную диастолическую скорость кровотока в медиальной ЗКЦА

Fig. 8. IOP level effect on the end diastolic blood flow rate in the medial SPCA

Таблица 2. Средние показатели кровотока в сосудах глаза на разных этапах исследования
Table 2. Mean values of the eye vessels blood flow at different study stages

Показатели кровотока Blood flow indicators	Этапы исследования Stages of the study			Группа контроля Control group n = 20
	до операции before surgery n = 29	во время операции during surgery n = 29	сразу после операции after surgery n = 29	
ЗКЦЛА Vsyst, cm/c LSPCA Vsyst, cm/s	14,46 ± 2,92	11,22 ± 2,55*, **	13,58 ± 2,61	15,60 ± 1,37
ЗКЦЛА Vdiast, cm/c LSPCA Vdiast, cm/s	5,11 ± 1,83	2,97 ± 1,27*, **	5,02 ± 1,68	5,22 ± 0,57
RI	0,64 ± 0,08	0,69 ± 0,08*, **	0,63 ± 0,08	0,60 ± 0,04
ЗКЦМА Vsyst, cm/c MSPCA Vsyst, sm/s	12,37 ± 2,74	9,50 ± 1,68*, **	12,44 ± 2,48	13,45 ± 0,43
ЗКЦМА Vdiast, cm/c MSPCA Vdiast, sm/c	4,54 ± 1,35	2,73 ± 0,91*, **	4,53 ± 1,04	4,58 ± 0,28
RI	0,64 ± 0,07	0,71 ± 0,08*, **	0,64 ± 0,09	0,58 ± 0,04

Примечание. n — число глаз, * — $p < 0,05$ — достоверность относительно показателей до операции, ** — $p < 0,05$ — достоверность относительно показателей в группе контроля, Vsyst — максимальная систолическая скорость кровотока; ЗКЦМА — задняя короткая цилиарная артерия с медиальной стороны, ЗКЦЛА — задняя короткая цилиарная артерия с латеральной стороны, Vdiast — конечная диастолическая скорость кровотока; RI — индекс резистентности.

Note. n — number of eyes, * — $p < 0.05$ — confidence relative to the indicators before the operation; ** — $p < 0.05$ — confidence relative to the indicators of healthy fellow eyes, Vsyst — peak systolic blood flow velocity; MSPCA — short posterior ciliary artery from the medial side, LSPCA — short posterior ciliary artery with the lateral side, Vdiast — end diastolic velocity of blood flow.

- Yanhui M., Pavlatos E., Keyton C., et al. Mechanical deformation of human optic nerve head and peripapillary tissue in response to acute IOP elevation. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2019; 60 (4): 913–20. doi: 10.1167/iov.18-26071
- Бохон Н.Н., Астахов Ю.С., Борцов В.Н. Основные направления в исследовании гемодинамики глаза и ее роли в регуляции офтальмотонуса. В кн.: Вопросы экспериментальной и клинической офтальмологии. Ленинград; 1972: 9–35. [Bohon N.N., Astakhov Yu.S., Borcov V.N. The main directions in the study of the eye hemodynamics and its role in the regulation of IOP level. In: Issues of experimental and clinical ophthalmology. Leningrad; 1972: 9–35 (in Russian)].
- Астахов Ю.С. Увеальный кровоток и некоторые факторы, воздействующие на него. В кн.: Вопросы экспериментальной и клинической офтальмологии. Ленинград; 1972: 49–57. [Astakhov Yu.S. Uveal blood flow and some factors affecting it. In: Issues of experimental and clinical ophthalmology. Leningrad; 1972: 49–57 (in Russian)].
- Астахов Ю.С., Лисочкина А.Б., Тарасова О.В. Исследование внутриглазного и системного кровообращения у больных первичной глаукомой. В кн.: Глаукома, диагностика, клиника и лечение. Ленинград; 1988: 52–8. [Astahov Yu.S., Lisochnikina A.B., Tarasova O.V. Study of intraocular and systemic circulation in patients with primary glaucoma. In: Glaucoma, diagnostics, clinic and therapy. Leningrad; 1988: 52–8 (in Russian)].
- Хадикова Э.В. Ауторегуляция сосудов глаза. Клиническая геронтология. 2006; 12 (7): 41–3. [Hadikova Je.V. The eye's blood vessels autoregulation. *Klinicheskaja gerontologija*. 2006; 12 (7): 41–3 (in Russian)].
- Канченска К., Рич Р., Траверсо К.Э. и др. Синдром Фламмера. Национальный журнал глаукома. 2016; 15 (4): 3–11. [Kanchenska K., Ritch R., Traverso C.E., et al. Flammer syndrome. *National Journal Glaucoma*. 2016; 15 (4): 3–11 (in Russian)]. <https://www.glaucomajournal.ru/jour/article/view/122/123>
- Фомин Н.Е., Куроедов А.В. Маркеры сосудистой ауторегуляции при первичной открытоугольной глаукоме. РМЖ «Клиническая офтальмология». 2019; 19 (4): 218–23. [Fomin N.E., Kuroyedov A.V. Markers of vascular autoregulation in primary open-angle glaucoma. *Russian journal of clinical ophthalmology*. 2019; 19 (4): 218–23 (in Russian)]. doi: 10.32364/2311-7729-2019-19-4-218-223
- Barash A., Chui T.Y.P., Garcia P., et al Acute macular and peripapillary angiographic changes with intravitreal injections. *Retina*. 2020; 40 (4): 648–56. doi:10.1097/IAE.0000000000002433
- Егорова Э.В., Фабрикантов О.Л., Николашин и др. Особенности нарушения гемодинамики у пациентов с терминальной глаукомой. Офтальмохирургия. 2014; (4): 55–9. [Egorova E.V., Fabrikantov O.L., Nikolashin S.I., et al. Features of hemodynamic disorders in patients with terminal glaucoma. *Fyodorov journal of ophthalmic surgery*. 2014; (4): 55–9 (in Russian)].
- Курьшьева Н.И., Паршунина О.А., Арджевнишвили Т.Д. и др. Новые технологии в диагностике первичной открытоугольной глаукомы. Национальный журнал глаукома. 2015; 14 (2): 22–31. [Kuryshcheva N.I., Parshunina O.A., Ardzhevishvili T.D., et al. New technologies in primary open-angle glaucoma diagnostics. *National journal glaucoma*. 2015; 14 (2): 22–31 (in Russian)].
- Степанова Е.А., Лебедев О.И., Печерица Г.Г., Артамонова О.В., Стороженко Н.Е. Изменения гемодинамики в сосудах глаза и орбиты при глаукоме с нормальным давлением и их сравнение с аналогичными показателями при первичной и вторичной неглаукоматозной атрофии зрительного нерва. Практическая медицина. 2018; 3 (114): 164–6. [Stepanova E.A., Lebedev O.I., Pecheritsa G.G., Artamonova O.V., Storozhenko N.E. Changes of hemodynamics in eye and orbit vessels under normal pressure glaucoma and their comparison with the same parameters under primary and secondary non-glaucomatous optic nerve atrophy. *Prakticheskaya Meditsina*. 2018; 3 (114): 164–6 (in Russian)].
- Zeit O., Galambos P., Wagenfeld L., et al. Glaucoma progression is associated with decreased blood flow velocities in the short posterior ciliary artery. *Br. J. Ophthalmol*. 2006 Oct; 90 (10): 1245–8. doi: 10.1136/bjo.2006.093633
- Meng N., Zhang P., Huang H., et al. Color Doppler imaging analysis of retrobulbar blood flow velocities in primary open-angle glaucomatous eyes: a meta-analysis. *PLoS One*. 2013 May 13; 8 (5): e62723. doi: 10.1371/journal.pone.0062723
- Takhtaev Ю.В., Киселева Т.Н., Шлякман Р.Б. Влияние заданного интраоперационного офтальмотонуса при факоэмульсификации на скорость кровотока в центральной артерии сетчатки. Офтальмологические ведомости. 2019; 12 (4): 5–12. [Takhtaev Yu.V., Kiseleva T.N., Shliakman R.B. The effect of preset intraoperative intraocular pressure during phacoemulsification on the blood flow velocity in the central retinal artery. *Ophthalmology vedomosti*. 2019; 12 (4): 5–12 (in Russian)]. <https://doi.org/10.17816/OV17802>
- Harris A., Joos K., Kay M., et al. Acute IOP elevation with scleral suction: effects on retrobulbar haemodynamics. *Br. Journ. Ophthalmol*. 1996; 80: 1055–9. doi: 10.1136/bjo.80.12.1055
- Findl O., Strenn K., Wolzt M. Effects of changes in intraocular pressure on human ocular haemodynamics. *Curr. Eye Res*. 1997; 16 (10): 1024–29. doi: 10.1076/ceyr.16.10.1024.9024
- Joos K.M., Kay M.D., Pillunat L.E., et al. Effect of acute intraocular pressure changes on short posterior ciliary artery haemodynamics. *Br. Journ. of Ophthalmol*. 1999; 83: 33–8. <https://bjo.bmj.com/content/83/1/33.long>

Вклад авторов в работу: Ю.В. Тахтаев, Т.Н. Киселева — разработка концепции и дизайна исследования, анализ результатов, финальная подготовка статьи к публикации; Р.Б. Шлякман — сбор, статистическая обработка и интерпретация данных, написание текста статьи.
Authors' contribution: Yu.V. Takhtaev, T.N. Kiseleva — concept and design of research, analysis of the results, final preparation of the article for publication; R.B. Shliakman — data collection, processing and interpretation, writing of the article.

Поступила: 16.02.2021. Переработана: 03.03.2021. Принята к печати: 14.03.2021
Originally received: 16.02.2021. Final revision: 03.03.2021. Accepted: 14.03.2021

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова» Минздрава России, ул. Льва Толстого, д. 6-8, Санкт-Петербург, 197022, Россия

Юрий Викторович Тахтаев — д-р мед. наук, профессор кафедры офтальмологии, ORCID 0000-0003-2770-7674

Роман Борисович Шлякман — аспирант кафедры офтальмологии с клиникой

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

Татьяна Николаевна Киселева — д-р мед. наук, профессор, начальник отдела ультразвуковых исследований, ORCID 0000-0002-9185-6407

Для контактов: Роман Борисович Шлякман,
romanshlyakman@gmail.com

I.P. Pavlov First St Petersburg State Medical University, 6-8, L'va Tolstogo St., St Petersburg, 197022, Russia

Yuri V. Takhtaev — Dr. of Med. Sci., professor, chair of ophthalmology, ORCID 0000-0003-2770-7674

Roman B. Shliakman — PhD student, chair of ophthalmology
Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases, 14/19, Sadovaya Chernogryazskaya St., Moscow, 105062, Russia

Tatyana N. Kiseleva — Dr. of Med. Sci., professor, head of ultrasound research department, ORCID 0000-0002-9185-6407

Contact information: Roman B. Shliakman,
romanshlyakman@gmail.com