

РИСК НАРУШЕНИЯ КРОВОСНАБЖЕНИЯ СЕТЧАТКИ ВО ВРЕМЯ ФАКОЭМУЛЬСИФИКАЦИИ КАТАРАКТЫ У ПАЦИЕНТОВ С АРТЕРИАЛЬНОЙ ГИПОТЕНЗИЕЙ

Тахтаев С.Ю¹., Астахов С.Ю¹., Тахтаев Ю.В¹.

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации. Россия, 197022, г. Санкт-Петербург, ул. Льва Толстого, д. 6-8

Резюме

Введение. Колебания внутриглазного давления при факоэмульсификации могут приводить к нарушению кровотока в сосудах сетчатки и хориоидеи. Верхняя граница уровня внутриглазного давления при факоэмульсификации не определена и зависит от предпочтений хирурга.

Цель исследования — изучить закономерности изменений кровотока заднего сегмента глаза во время факоэмульсификации у пациентов с артериальной гипотензией в сравнении с пациентами с нормальным уровнем артериального давления.

Материалы и методы. В исследование включены 48 глаз (48 пациентов), получавших лечение катаракты методом факоэмульсификации с применением системы поддержания внутриглазного давления. Были сформированы 3 группы исследования в зависимости от уровня артериального давления. Заданный интраоперационный уровень ВГД в системе факоэмульсификатора в 1 и 2 группе составил 40 мм. рт. ст., в 3 группе: 60 мм. рт. ст.

Исследование кровотока в центральной артерии сетчатки и задних коротких цилиарных артериях с регистрацией скорости кровотока выполняли во время

операции факоэмульсификации при разном уровне ВГД 40 мм. рт. ст. и 60 мм. рт. ст.

Для оценки кровотока хориоидеи был использован метод спектрального ОКТ высокого разрешения с использованием встроенных цифровых калиперов для измерения субфовеолярной толщины хориоидеи.

Результаты. Получена достоверная разница в снижении конечной диастолической скорости кровотока между группами с пониженным и нормальным артериальным давлением при ВГД 40 мм.рт.ст. ($p=0,0129$). При 60 мм.рт.ст. разница была более достоверна ($p=0.00026$), при этом в группе с пониженным артериальным давлением у 81% пациентов снижение превысило 50% от исходного значения.

Показатель субфовеолярной толщины хориоидеи характеризовался высокой вариабельностью и составил до операции в группе 1: $244,16 \pm 54,81$ мкм, в группе 2: $224,74 \pm 23,13$ мкм, в группе 3: $290,40 \pm 27,99$ мкм. При повторном измерении получено значимое снижение толщины хориоидеи в группе 1 ($p < 0,001$), и группе 3 ($p < 0,0001$). В группе 2 не получено достоверного изменения толщины хориоидеи до и после операции ($p = 0,293$).

Зафиксирована умеренная статистически значимая ($R^2 = 0,259$ $p = 0.044$) корреляция между величиной прибавки внутриглазного давления и величиной снижения толщины хориоидеи.

Закключение. Отдельных рисков нарушения кровоснабжения сетчатки во время факоэмульсификации у пациентов с низким артериальным давлением при различных значениях ВГД не выявлено, но условиях сниженной перфузии порог наступления нарушений кровотока в сосудах сетчатки является более низким.

Ключевые слова: факоэмульсификация; внутриглазное давление; ВГД; перфузия сетчатки; EDV; PSV

Для корреспонденции. *Тахтаев Сергей Юрьевич, email: stakhtaev@gmail.com*

RISKS OF RETINAL BLOODFLOW FAILURE DURING PHACOEMULSIFICATION IN PATIENTS WITH LOW BLOOD PRESSURE

Takhtaev S.Y¹., Astakhov S.Y¹., Takhtaev Y.V¹.

¹Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education

“Academician I.P. Pavlov First St. Petersburg State Medical University” of the Ministry of Healthcare of Russian Federation, 197022, L.Tolstogo street, 6-8 Saint-Petersburg, Russia

Abstract

Introduction. Fluctuations in intraocular pressure during phacoemulsification may lead to impaired blood flow in the retinal and choroidal vessels. The upper limit of intraocular pressure during phacoemulsification has not been clearly defined and depends on the surgeon's preference.

Purpose. To investigate the patterns of changes in posterior segment blood flow during phacoemulsification in patients with arterial hypotension compared with patients with normal arterial blood pressure.

Methods. The study included 48 eyes of 48 patients divided into three groups depending on arterial blood pressure level. All patients underwent phacoemulsification surgery at different IOP levels of 40 mmHg in 1st and 2nd groups and 60 mmHg in group 3.

Blood flow in retinal arteries was assessed intraoperatively by measuring the blood flow velocity at different intraocular pressure levels.

Choroidal blood flow was assessed by measuring subfoveal choroidal thickness using spectral-domain optical coherence tomography.

Results. A statistically significant difference in the reduction of end-diastolic blood flow velocity was observed between the groups with low and normal arterial blood pressure at an intraocular pressure of 40 mmHg ($p = 0.0129$). At 60 mmHg, the

difference was even more significant ($p = 0.00026$); in the low arterial blood pressure group, the reduction exceeded 50% of the baseline value in 81% of patients.

Subfoveal choroidal thickness showed high variability and, preoperatively, was $244.16 \pm 54.81 \mu\text{m}$ in group 1, $224.74 \pm 23.13 \mu\text{m}$ in group 2, and $290.40 \pm 27.99 \mu\text{m}$ in group 3. Repeat measurements demonstrated a significant decrease in choroidal thickness in group 1 ($p < 0.001$) and group 3 ($p < 0.0001$). In group 2, no statistically significant change in choroidal thickness was observed before and after surgery ($p = 0.293$).

A moderate statistically significant correlation was found between the magnitude of intraocular pressure increase and the decrease in choroidal thickness ($R^2 = 0.259$; $p = 0.044$).

Conclusion.

No specific risks of retinal blood supply impairment during phacoemulsification were identified in patients with low arterial blood pressure at different intraocular pressure levels. However, under conditions of reduced perfusion, the threshold for the development of retinal vascular blood flow disturbances appears to be lower.

Keywords: Phacoemulsification; IOP; retinal perfusion; EDV; PSV

Contact author: *Sergei Takhtaev, email: stakhtaev@gmail.com*

Введение. Характеристики перфузии глазного яблока, в частности сетчатки и зрительного нерва часто рассматриваются в контексте ишемических нарушений при воспалительных заболеваниях хориоидеи и сетчатки, нарушениях кровотока в магистральных сосудах шеи, окклюзиях сосудов сетчатки, диабетической ретинопатии, возрастной макулярной дегенерации, диагностике опухолей глаза и орбиты, глаукоме, в том числе при нарушении соотношения внутриглазного давления (ВГД) и глазного кровотока, при котором возрастает риск наступления глаукомной оптиконейропатии [1-4].

Регуляция соотношения ВГД и глазного кровотока в здоровом глазу является сложным многофакторным механизмом, имеющим смешанную нервную, гуморальную и миогенную природу, вклад которых различен для сетчатки и сосудистой оболочки. [5]. Имеющиеся данные об ауторегуляции кровотока при повышении внутриглазного давления демонстрируют порог в 40% от исходного уровня в качестве предела возможностей ауторегуляции [6].

Нарушение герметичности глазного яблока во время фактоэмульсификации (ФЭ) и принудительное поддержание гиперпозитивного уровня ВГД для сохранения объема передней камеры глаза и поддержания баланса ирригационно-аспирационных потоков приводит к резкому колебанию уровня ВГД от гипотонии к гипертензии и может приводить к нарушению кровотока в сосудах сетчатки. Например, установленный уровень ирригационного флакона во время ФЭ в 75 см над уровнем глаза пациента повышает ВГД до 100 мм. рт. ст., рисунок 1.

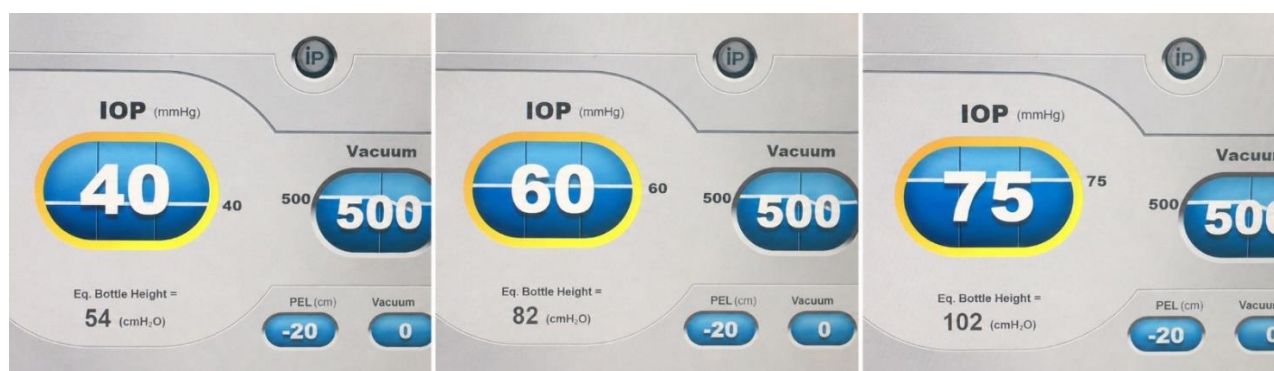


Рисунок 1. Параметры ВГД в системе фактоэмульсификатора Alcon Centurion с системой поддержки инфузии Active fluidics

Длительность и характер такого воздействия связаны с риском нарушения кровотока, вплоть до его полной остановки в ЦАС и ЗКЦА, как в диастолическую, так и в систолическую фазу сердечного цикла. [7].

Поскольку показатель перфузионного давления глаза (ПГД) описывается как разница между артериальным давлением (АД) и ВГД, то очевидно, что одинаковый уровень ВГД будет в разной степени влиять на значение перфузионного давления глаза у пациентов с нормальным уровнем АД в сравнении с более низким его уровнем. В нашем исследовании применяемые формулы имели вид $ПГД = 2/3 АД_{ср} - ВГД$, где $АД_{ср} = АД_{диаст.} + (1/3 (АД_{сист.} - АД_{диаст.}))$. При этом остается актуальным вопрос о допустимых пороговых значениях интраоперационного ВГД у пациентов с пониженным уровнем артериального давления.

В международной классификации болезней артериальная гипотензия определяется как состояние, при котором наблюдается снижение уровня АД более чем на 20% от нормальных значений независимо от пола. Нижняя граница нормального уровня АД была определена на основании показаний суточного мониторингирования [8], хотя единых общепринятых критериев артериальной гипотензии не существует [9]. В популяционных исследованиях разных лет распространенность артериальной гипотензии в России составляет от 0,3–9% у мужчин и 2–15% у женщин [10]. По МКБ [1] выделяют идиопатическую гипотензию (I95.0), ортостатическую гипотензию (I95.1), гипотензию, вызванную лекарственными препаратами (I95.2) и другие виды гипотензии (I95.8) [11].

L. Meng (2021 г.) предлагает выделять 3 типа артериальной гипотензии в зависимости от перфузии органов: артериальная гипотензия приводящая к снижению перфузионного давления, не приводящая к его снижению и гипотензию, влияние которой на перфузию органов не может быть определено с уверенностью [12]. В заключениях экспертных групп по анестезиологии и реаниматологии, значение среднего артериального давления интраоперационно

в диапазоне 60-65 мм. рт. ст. принято в качестве верхней границы риска гипоперфузии жизненно важных органов [13].

Оценка риска гипоперфузии основана в том числе на измерениях показателей кровотока. Одним из наиболее доступных клинических методов исследования кровотока глазного яблока является ультразвуковое доплеровское сканирование в режиме цветного картирования [14].

Характер интраоперационного повышения уровня ВГД различен при использовании гравитационной ирригационной системы и системы активной подачи ирригационной жидкости с помощью дополнительной помпы [15]. Современные системы факоэмульсификаторов оснащены специальными датчиками контроля давления и способны поддерживать заданный хирургом уровень ВГД на протяжении всей операции. Значение и границы поддерживаемого уровня ВГД на сегодняшний день никак не регламентируется и зависят от предпочтений хирурга.

Для пациентов с пониженным уровнем АД подобных исследований по оценке риска развития гипоперфузии сетчатки во время хирургии катаракты не проводилось.

Цель исследования. Изучить закономерности изменений кровотока заднего сегмента глаза во время факоэмульсификации и определить возможный риск ишемических нарушений у пациентов с артериальной гипотензией в сравнении с пациентами с нормальным уровнем АД.

Материалы и методы. В исследование было включено 48 пациентов (48 глаз) с равным количеством мужчин и женщин. Средний возраст составил $68,0 \pm 4,6$ года. Критерием включения в исследование были пациенты с начальной катарактой (значение Pentacam Nucleus Staging (PNS) 1–2), без сопутствующих глазных заболеваний. Пациенты были разделены на 3 группы. В 1 исследуемую группу были включены пациенты со стойким снижением уровня АД не менее чем на 20% от принятого нормального значения 120/80 мм. рт. ст. Уровень АД определяли при первичном обращении и подтверждали по результатам интраоперационного мониторинга. Регистрация показателей АД проводилась на

уровне плечевой артерии с использованием монитора пациента Draeger Vista 120 (Draeger, Германия). Среднее АД ($АД_{ср}$) в течении одного сердечного цикла рассчитывалось по уравнению: $ДАД + 1/3(САД-ДАД)$, где САД – систолическое артериальное давление; ДАД – диастолическое артериальное давление.

Заданный интраоперационный уровень ВГД в системе факоемульсификатора в первой группе пациентов составил 40 мм. рт. ст. Во 2 и 3 группу были включены пациенты с артериальной нормотонией. Заданный интраоперационный уровень ВГД в системе факоемульсификатора во второй группе пациентов составил 40 мм. рт. ст., в третьей группе – 60 мм. рт. ст. Подробная характеристика групп представлена в таблице.

Таблица.

Характеристика групп исследования по показателям среднего уровня АД и заданного интраоперационного уровня ВГД

Характеристика групп	Группа 1 N=16	Группа 2 N=16	Группа 3 N=16
Пол	М:7; ж: 9	М: 8; Ж: 8	М: 9; Ж: 7
Возраст, лет (средн.±станд.откл)	63,7 ± 4,6	68,4 ± 7,2	69,8± 5,2
Рефракция, дптр (средн.±станд.откл)	-1,25 ± 1,1	-0,9 ± 0,94	-1,34 ± 1,62
АД на плечевой артерии, мм.рт.ст (средн.±станд.откл)	САД 88,56±4,39 ДАД 60,56±6,32	САД 133,06±5,34 ДАД 84,37 ± 3,64	САД 128±6,75 ДАД 87,37 ± 3,6
ВГД исходное, мм.рт.ст (средн.±станд.откл)	17,65±2,84	17,58±2,35	19,58±3,7
ВГД при факоемульсификации, мм.рт.ст	40	40	60

Критериями исключения были глаукома, миопия высокой степени со значением ПЗО более 26,0 мм, гипертоническая болезнь 2 и 3 степени, сахарный диабет, перенесенные ранее хирургические вмешательства на глазном яблоке, а также зафиксированные изменения артериального давления за всё время контрольного измерения более чем на 10% от исходного.

Исследование кровотока в центральной артерии сетчатки (ЦАС) и задних коротких цилиарных артериях (ЗКЦА) с регистрацией максимальной систолической (PSV), конечной диастолической (EDV) скорости кровотока выполняли во время операции ФЭ на ультразвуковом сканере Logic S8 (GE, США). Измерения скорости кровотока в ЦАС и ЗКЦА проводили до вскрытия глазного яблока и повторно - на вскрытом глазу при подаче ирригации (положение 1 педали факоэмульсификатора) под различным уровнем ВГД 40 мм. рт. ст. и 60 мм. рт. ст.

Хирургическое вмешательство выполняли с использованием факоэмульсификатора Centurion Vision System (Alcon, США), оснащенным системой поддержания постоянного уровня ВГД во время операции Active Fluidics и датчиком давления, расположенного в ультразвуковой рукоятке Active Centry.

Уровень ВГД определяли с помощью тонометра iCare Pro (iCare Finland Oy., Финляндия), рисунок 2.



Рисунок 2. Методика измерения ВГД у пациента в положении лежа на спине тонометром iCare Pro

Для оценки кровотока хориоидеи в нашей работе был использован метод спектрального ОКТ сканирования высокого разрешения с анализом изображений быстрого горизонтального Б-сканирования с использованием встроенных цифровых калиперов для измерения толщины субфовеолярной хориоидеи на аппарате ZEISS CIRRUS (Германия). Измерения проводились непосредственно перед укладкой пациента на операционный стол и сразу после операции с минимальным промежутком времени между прекращением подачи ирригационного раствора и повторным измерением.

Оценивалась субфовеолярная толщина хориоидеи от границы мембраны Бруха до хорио-склерального интерфейса, рисунок 3. Указанные стрелками на снимке сегменты соответствуют измерениям в области макулы. При каждом измерении оценивались значения по трём срезам, ближайшим к центру фовеолярной ямки, из которых высчитывалось среднее значение.

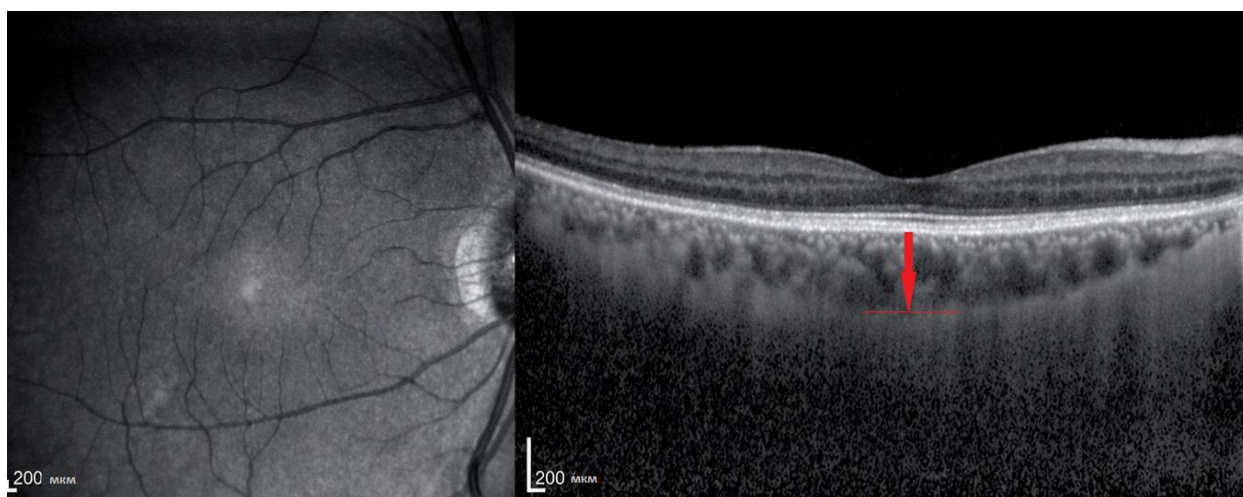


Рисунок 3. Измерение субфовеолярной толщины хориоидеи по видимой на снимке ОКТ высокого разрешения границе от мембраны Бруха до склеры

Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова» (протокол № 280 от 20.11.2023). Все участники исследования добровольно подписали форму информированного согласия до включения в исследование.

Статистическую обработку результатов измерений проводили в программе IBM Statistics SPSS v. 27.0. Значимость отличий оценивали с помощью t-

критерия Стьюдента. Для численных значений представлено среднее $\pm$ стандартное отклонение.

Результаты. В группе 1 среднее значение АД_{ср} составило 77,56 $\pm$ 5,91 мм. рт. ст. Пиковая систолическая скорость кровотока (PSV) в ЦАС при первом измерении – до вскрытия глазного яблока составила 11,34 $\pm$ 2,78 см/с. Конечная диастолическая скорость кровотока (EDV) в ЦАС до операции составила 3,83 $\pm$ 0,87см/с. В ЗКЦА средняя PSV составила 12,34 $\pm$ 2,32см/с, EDV=3,99 $\pm$ 0,81см/с. При повышении уровня ВГД в 1-й исследуемой группе до 40 мм. рт. ст. PSV в ЦАС достоверно снижалась до 7,39 $\pm$ 2,04 см/с (p=0,00051). Значение EDV в ЦАС у пациентов с артериальной гипотонией снижалось и составило при 40 мм. рт. ст. 1,75 $\pm$ 0,75 см/с (p<0,001). В ЗКЦА также наблюдалось достоверное снижение скорости кровотока до значений PSV = 8,42 $\pm$ 2,49 см/с (p<0,001) EDV=1,6 $\pm$ 0,95 см/с (p<0,001).

Во 2-й исследуемой группе значение АД_{ср} составило 100,6 $\pm$ 4,16 мм. рт. ст. PSV в ЦАС до операции составила 16,9 $\pm$ 2,019 см/с, и достоверно снижалась при повышении уровня ВГД 40 мм. рт. ст. до значения PSV в ЦАС 12,51 $\pm$ 1,718 см/с (p<0,001), EDV в ЦАС составила 4,09 $\pm$ 0,93 см/с до операции и достоверно снижалась при повышении уровня ВГД до 40 мм. рт. ст. до значения 2,05 $\pm$ 0,73 см/с (p<0,001). В ЗКЦА PSV до вскрытия глазного яблока составила 12,73 $\pm$ 2,5 см/с, EDV в ЗКЦА составила 5,33 $\pm$ 0,91см/с. При повышении ВГД до 40 мм. рт. ст. значения PSV в ЗКЦА достоверно снижалась до 9,85 $\pm$ 1,7 см/с. Не было зафиксировано достоверного снижения EDV в группе 2 с нормальным артериальным давлением при уровне ВГД 40 мм. рт. ст.: значение составило EDV=4,22 $\pm$ 1,34 см/с и статистически не отличалось от измерения до операции. (p= 0,075).

В группе 3 среднее значение АД_{ср} составило 100,9 $\pm$ 4,2 мм. рт. ст. При повышенных настройках интраоперационного уровня ВГД до 60 мм. рт. ст., зафиксировано достоверное снижение скорости кровотока в ЦАС относительно уровня до операции: PSV=7,63 $\pm$ 1,73 см/с (p=0,000715), EDV=0.73 $\pm$ 0.63 см/с

($p=0,0000258$). Значение в ЗКЦА на отметке 60 мм. рт. ст. также снижалось достоверно и составило $PSV = 7,41 \pm 1,57 \text{ см/с}$. ($p=0,0000875$) и $EDV = 0,86 \pm 1,34 \text{ см/с}$ ($p=0,000005$).

Для сравнения различий изменения скорости кровотока между группами 1 и 2, 1 и 3 применяли U-критерий Манна-Уитни. При сравнении значений между группами 2 и 3 применялся t-критерий Стьюдента для независимых выборок.

Анализ показал отсутствие достоверных различий в изменении PSV в ЦАС между группами 1 и 2 на отметке 40 мм. рт. ст. ($p=0.913$). Различия в изменении PSV в ЦАС между группой 1 и группой 3 были малозначимы ($p=0,0731$).

Зафиксирована достоверная разница в снижении PSV в ЗКЦА при сравнении между группой 1 и группой 3 ($p=0.0016$), но различий между группой 1 и группой 2 не было ($p=0.158$).

При оценке различий снижения EDV в ЦАС между группами получена достоверная разница при сравнении групп 1 и 3 ($p=0.0024$). Между группами 1 и 2 значимой разницы в снижении EDV не наблюдается ($p=0.913$). При оценке связи между снижением EDV в ЦАС и величиной прибавки ВГД для групп 1 и 3 методом линейной регрессии достоверной корреляции не получено ($R=0,15$, $p=0,582$ для группы 1, $R = -0.1$ $p=0,72$ для группы 3).

Анализ показал статистически достоверную разницу в снижении EDV в ЗКЦА между группой 1 и группой 2 на отметке 40 мм. рт. ст. В группе 1 среднее снижение EDV составило $2,39 \pm 1,31 \text{ см/с}$, и в 25% наблюдений превышало 50% от исходного. В группе 2 это значение было меньше и составило $1,11 \pm 1,43 \text{ см/с}$, и ни в одном случае не превысила 50% от исходного значения, наблюдалась статистическая достоверность данных различий ($p=0,0129$).

При сравнении между группой 1 и группой 3 разница была более достоверна ($p=0.00026$), при этом среднее снижение в группе 3 составило $4,47 \pm 1,51 \text{ см/с}$, и у 81% пациентов превысило 50% от исходного значения, рисунок 4.

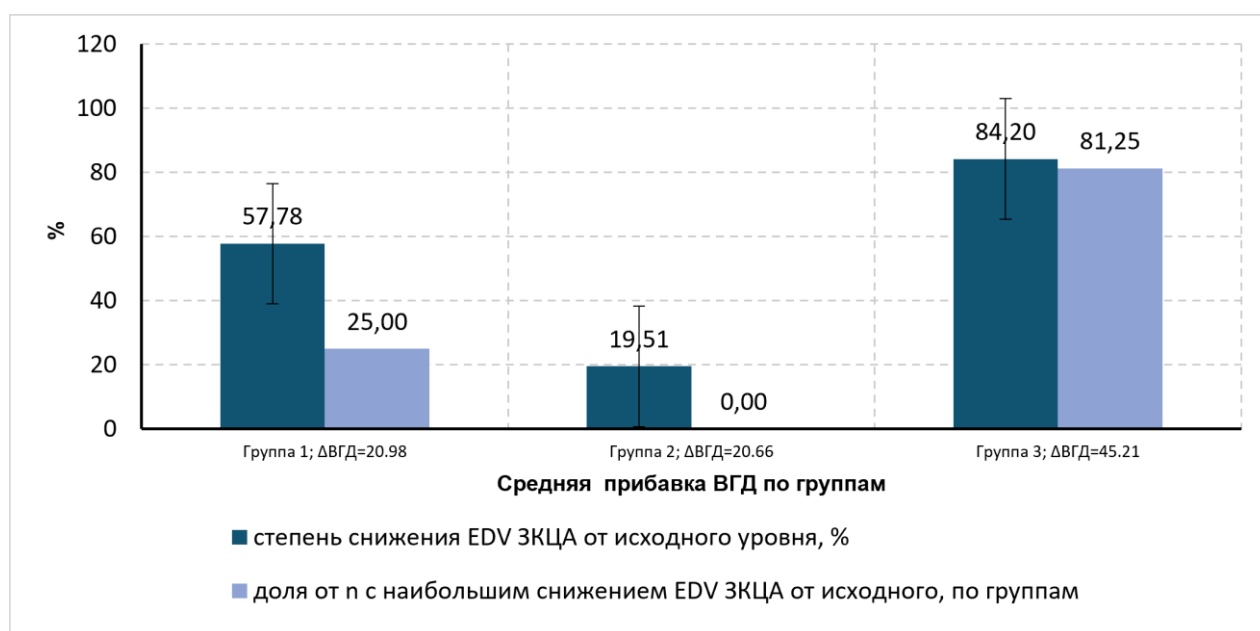


Рисунок 4: Снижение показателя EDV в ЗКЦА у пациентов с нормальным и пониженным АД при разном уровне ВГД во время факоэмульсификации

Показатель субфовеолярной толщины хориоидеи (СФТХ) характеризовался высокой вариабельностью значений между группами и составил до операции в группе 1: $244,16 \pm 54,81$ мкм, в группе 2: $224,74 \pm 23,13$ мкм, в группе 3: $290,40 \pm 27,99$ мкм. При повторном измерении в группе 1 значение СФТХ составило $208,4 \pm 61,29$ мкм, в группе 2: $223,85 \pm 22,56$ мкм, в группе 3: $284,15 \pm 26,74$ мкм.

Значимая разница изменений была получена при сравнении в двух контрольных точках в группе 1 ($p < 0,001$) и в группе 3 ($p < 0,0001$), при этом средняя величина изменения в группе 1 ($30,25$ мкм) пятикратно превышала среднюю величину изменения СФТХ в группе 3 ($6,25$ мкм). В группе 2 не получено достоверного изменения СФТХ при сравнении в двух контрольных точках до и после операции ($p = 0,293$). Для оценки достоверности различий изменений СФТХ между группами 1 и 3 применялся t-критерий Стьюдента для независимых выборок ($p < 0,001$), что соответствует значимым различиям.

Для оценки влияния уровня АД на изменение толщины хориоидеи проведён анализ линейной регрессии для значений САД, ДАД и АД_{ср} с изменением СФТХ между группами 1 и 3. Ни в одной из пар сравнений не получено статистически

значимой связи между изменением СФТХ и значением артериального давления. Наиболее заметная, но незначимая связь ($p=0,224$) наблюдалась между уровнем САД и изменением СФТХ в группе с пониженным АД.

Анализ линейной регрессии при оценке влияния показателя EDV на изменение СФТХ выявил слабую положительную связь в группе с низким артериальным давлением, однако связь была статистически незначима для предоперационного значения EDV в ЦАС ($p=0,245$) и минимально значима для значения EDV в ЗКЦА ($p=0,098$).

По данным однофакторного анализа линейной регрессии в группе 1 зафиксирована достоверная умеренная статистически значимая ($R^2 = 0,259$ $p=0,044$) корреляция между величиной прибавки внутриглазного давления и степенью снижения толщины субфовеолярной хориоидеи.

Обсуждение. Патогенез остро возникающего нарушения артериального глазного кровотока описывается моделью повреждения ишемии-реперфузии при поражениях сосудистого русла а. *ophthalmica* и её ветвей, и по современным представлениям учитывает три основных компонента – снижение показателей глазного кровотока и комплекс тканевых нарушений вследствие венозного стаза, с последующим реперфузионным повреждением на уровне усиления некротических процессов в клетках и активации клеточных механизмов апоптоза [16].

Как правило, настройки поддерживаемого автоматически уровня ВГД в системе факоэмульсификатора завышены и соотносятся с настройками уровня вакуума и степени наружной фильтрации, комфортных и привычных для хирурга [17]. Часто на практике используются разные наборы параметров для катаракт различной плотности, но при выборе рабочих параметров в каждом случае крайне редко учитываются имеющиеся риски нарушения глазного кровотока.

В представленной работе предлагается расширить понимание безопасности проведения факоэмульсификации с позиции неочевидного риска развития сосудистых нарушений в макуле как наиболее метаболически активной анатомической области организма человека.

В работах, посвященных факоэмульсификации, основными факторами низкой остроты зрения в раннем послеоперационном периоде (до 7 дней) указываются, как правило, состояние роговицы в виде наличия её отёка, повреждения десцеметовой мембраны, нарушение положения и фиксации ИОЛ, а также последствия интраоперационных осложнений (выпадение стекловидного тела в переднюю камеру, отслойка сетчатки). В период от 7 дней до 1 месяца в качестве основных причин неполной остроты зрения фиксируются рефракционные ошибки, постэкстракционный макулярный отёк, невыявленные ранее заболевания сетчатки и зрительного нерва. [18]

В условиях современной хирургии хрусталика, часто при минимальном его помутнении, высоких рефракционных требованиях к послеоперационной остроте зрения, вопрос о скорости зрительной реабилитации является одним из ключевых. По данным литературы, до 20% пациентов не имеют полной остроты зрения в первые сутки после неосложненной факоэмульсификации, при отсутствии явных указаний на осложнения самой хирургии. Одной из причин может являться замедленное восстановление функциональной активности центральной сетчатки, метаболизм которой имеет ряд уникальных особенностей.

Заключение. При существующей сложности клинической оценки показателей кровотока *in vivo*, существует ряд доступных показателей, косвенно свидетельствующих о допустимых границах интраоперационного повышения ВГД во время ФЭ. В проведенном исследовании не выявлено признаков наличия отдельных рисков нарушения кровоснабжения сетчатки во время ФЭ у пациентов с низким артериальным давлением при умеренно высоких значениях ВГД. Но в условиях изначально сниженной перфузии порог наступления нарушений кровотока в ЦАС и ЗКЦА является более низким, и все последующие патофизиологические механизмы проявляются при меньших значениях ВГД. Дальнейшие исследования необходимы для оценки возможных последствий этих изменений. Изученные в работе аспекты кровоснабжения глаза во время ФЭ у пациентов с пониженным АД являются доступными ориентирами при

обосновании клинических подходов в осложненных случаях хирургии катаракты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Киселева Т.Н., Зайцев М.С., Рамазанова К.А., Луговкина К.В. Возможности цветового дуплексного сканирования в диагностике сосудистой патологии глаза. *Российский офтальмологический журнал*. 2018; 11(3): 84–94. doi: 10.21516/2072-0076-2018-11-3-84-94
2. Курышева Н.И., Паршунина О.А., Маслова Е.В., Шаталова Е.О., Киселева Т.Н., Лагутин М.Б. Диагностическая значимость исследования глазного кровотока в раннем выявлении первичной открытоугольной глаукомы. *Национальный журнал Глаукома*. 2015; 14(3): 19–29.
3. Hayreh S.S. *Ischemic optic neuropathies*. Springer; 2011. doi: 10.1007/978-3-642-11852-4
4. Harris A., Primus S., Siesky B., Zore M., Abrams Tobe L. *Ophthalmic imaging of ocular circulation for detecting disease. Biomedical Imaging: applications and advances*. Elsevier; 2014: 163–185. doi:10.1533/9780857097477.2.163
5. Schmidl D., Garhofer G., Schmetterer L. The complex interaction between ocular perfusion pressure and ocular blood flow - relevance for glaucoma. *Exp Eye Res*. 2011; 93(2): 141–55. doi: 10.1016/j.exer.2010.09.002. Epub 2010 Sep 22. PMID: 20868686
6. Polska E., Simader C., Weigert G., Doelemeyer A., Kolodjaschna J., Scharmann O., Schmetterer L. Regulation of choroidal blood flow during combined changes in intraocular pressure and arterial blood pressure. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci*. 2007; 8: 3768–3774.
7. Тахтаев С.Ю., Астахов С.Ю., Тахтаев Ю.В., Киселева Т.Н. Зависимость скорости кровотока в центральной артерии сетчатки от величины внутриглазного давления при факоэмульсификации с использованием функции принудительной ирригации. *Офтальмологические ведомости*. 2025; 18(2): 51–60. doi:[10.17816/OV678519](https://doi.org/10.17816/OV678519)

8. Staessen J.A., Fagard R., Thijs L., et al. A consensus view on the technique of ambulatory blood pressure monitoring. The Fourth International Consensus Conference on 24-Hour Ambulatory Blood Pressure Monitoring. *Hypertension*. 1995; 26(6 Pt 1): 912–918.
9. Вилков В.Г., Баланова Ю.А., Капустина А.В., и др. Артериальная гипотензия и дожитие: диагностические критерии в популяциях Российской Федерации и Соединенных Штатов Америки. *Российский кардиологический журнал*. 2021; 26(5): 4365.
10. Вилков В.Г., Шальнова С.А., Баланова Ю.А., и др. Распространенность артериальной гипотензии в популяциях Российской Федерации и Соединенных Штатов Америки в тридцатилетней перспективе. *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. 2020; 19(3): 2497.
11. Vidal-Petiot E., Pathak A., Azulay J.P., Pavy-Le Traon A., Hanon O. Orthostatic hypotension: Review and expert position statement. *Rev Neurol*. 2024; 180(1-2): 53–64. doi:10.1016/j.neurol.2023.11.001
12. Meng L. Heterogeneous impact of hypotension on organ perfusion and outcomes: a narrative review. *Br J Anaesth*. 2021; 127(6): 845–861.
13. Kamenetsky E., Hogue C.W. Is a mean arterial pressure less than 65 mm hg an appropriate indicator of the quality of anesthesia care? *Anesth Analg*. 2021; 132(4): 942-945. doi:10.1213/ANE.00000000000005281
14. Юсеф Ю., Казарян Э.Э., Рафаэлян А.А., Шашорина С.А. Особенности глазного кровотока и методы его исследования. *Офтальмология*. 2023; 20(1): 33–40. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2023-1-33-40>
15. Vasavada V., Vasavada A.R., Vasavada V.A., Vasavada S.A., Bhojwani D. Real-time dynamic changes in intraocular pressure after occlusion break: comparing 2 phacoemulsification systems. *J Cataract Refract Surg*. 2021 Sep 1; 47(9): 1205-9. DOI: [10.1097/j.jcrs.0000000000000666](https://doi.org/10.1097/j.jcrs.0000000000000666)
16. Киселева Т.Н., Чудин А.В., Хорошилова-Маслова И.П., и др. Морфологические изменения в тканях сетчатки при регионарной ишемии-

реперфузии в эксперименте *in vivo*. *Бюллетень экспериментальной биологии и медицины*. 2019; 167(2): 250–256.

17. Solomon K.D., Lorente R., Fanney D., Cionni R.J. Clinical study using a new phacoemulsification system with surgical intraocular pressure control. *J Cataract Refract Surg* 2016; 42(4): 542–549. 10.1016/j.jcrs.2016.01.037

18. Grzybowski A., Kanclerz P. Do we need day-1 postoperative follow-up after cataract surgery? *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2019; 257(5): 855–861. doi:10.1007/s00417-018-04210-0

REFERENCES:

1. Kiseleva T.N., Zaitsev M.S., Ramazanov K.A., Lugovkina K.V. Possibilities of color duplex imaging in the diagnosis of ocular vascular pathology. *Russian ophthalmological journal*. 2018; 11(3): 84–94. (in Russian) doi: 10.21516/2072-0076-2018-11-3-84-94.
2. Kuryshcheva N.I., Parshunina O.A., Maslova E.V., Shatalova E.O., Kiseleva T.N., Lagutin M.B. Role of eye hemoperfusion in the progress of primary open-angle glaucoma. *National journal glaucoma*. 2015; 14(3): 19–29. (in Russian)
3. Hayreh S.S. *Ischemic optic neuropathies*. Springer; 2011. doi: 10.1007/978-3-642-11852-4
4. Harris A., Primus S., Siesky B., Zore M., Abrams Tobe L. *Ophthalmic imaging of ocular circulation for detecting disease. Biomedical Imaging: applications and advances*. Elsevier; 2014: 163–185. doi:10.1533/9780857097477.2.163
5. Schmidl D., Garhofer G., Schmetterer L. The complex interaction between ocular perfusion pressure and ocular blood flow - relevance for glaucoma. *Exp Eye Res*. 2011; 93(2): 141–55. doi: 10.1016/j.exer.2010.09.002. Epub 2010 Sep 22. PMID: 20868686
6. Polska E., Simader C., Weigert G., Doelemeyer A., Kolodjaschna J., Scharmann O., Schmetterer L. Regulation of choroidal blood flow during combined changes in intraocular pressure and arterial blood pressure. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci*. 2007; 8: 3768–3774.

7. Takhtaev S.Yu., Astakhov S.Yu., Takhtaev Yu.V., Kiseleva T.N. Dependence of blood flow velocity in the central retinal artery on intraocular pressure during phacoemulsification with active fluidics. *Ophthalmology reports*. 2025; 18(2): 51–60. (in Russian) doi:10.17816/OV678519
8. Staessen J.A., Fagard R., Thijs L., et al. A consensus view on the technique of ambulatory blood pressure monitoring. The Fourth International Consensus Conference on 24-Hour Ambulatory Blood Pressure Monitoring. *Hypertension*. 1995; 26(6 Pt 1): 912–918.
9. Vilkov V.G., Balanova Yu.A., Kapustina A.V., et al. Hypotension and survival: diagnostic criteria in Russian and United States population. *Russian journal of cardiology*. 2021; 26(5): 4365. (in Russian)
10. Vilkov V.G., Shal'nova S.A., Balanova Yu.A., et al. Prevalence of hypotension in populations of the Russian Federation and the United States of America according to 30-year follow-up. *Cardiovascular therapy and prevention*. 2020; 19(3): 2497. (in Russian)
11. Vidal-Petiot E., Pathak A., Azulay J.P., Pavy-Le Traon A., Hanon O. Orthostatic hypotension: Review and expert position statement. *Rev Neurol*. 2024; 180(1–2): 53–64. doi:10.1016/j.neurol.2023.11.001
12. Meng L. Heterogeneous impact of hypotension on organ perfusion and outcomes: a narrative review. *Br J Anaesth*. 2021; 127(6): 845–861.
13. Kamenetsky E., Hogue C.W. Is a mean arterial pressure less than 65 mm hg an appropriate indicator of the quality of anesthesia care? *Anesth Analg*. 2021; 132(4): 942-945. doi:10.1213/ANE.00000000000005281
14. Yusef Yu., Kazaryan E.E., Rafaelyan A.A., Shashorina S.A. Features of Ocular Blood Flow and Methods for Its Study. *Ophthalmology in Russia*. 2023; 20(1): 33–40. (in Russian) <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2023-1-33-40>
15. Vasavada V., Vasavada A.R., Vasavada V.A., Vasavada S.A., Bhojwani D. Real-time dynamic changes in intraocular pressure after occlusion break: comparing 2 phacoemulsification systems. *J Cataract Refract Surg*. 2021 Sep 1; 47(9): 1205-9. DOI: 10.1097/j.jcrs.0000000000000666

16. Kiseleva T.N., Chudin A.V., Khoroshilova-Maslova I.P., et al. Morphological changes in the retina under conditions of experimental regional ischemia/reperfusion in vivo. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*. 2019; 167(2): 250–256. (in Russian)
17. Solomon K.D., Lorente R., Fanney D., Cionni R.J. Clinical study using a new phacoemulsification system with surgical intraocular pressure control. *J Cataract Refract Surg* 2016; 42(4): 542–549. 10.1016/j.jcrs.2016.01.037
18. Grzybowski A., Kanclerz P. Do we need day-1 postoperative follow-up after cataract surgery? *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2019; 257(5): 855–861. doi:10.1007/s00417-018-04210-0