

ОЦЕНКА КЛИНИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ НОВОГО СПОСОБА АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ИНФУЗИЕЙ ПРИ ФАКОЭМУЛЬСИФИКАЦИИ

Б. М. Азнабаев^{1,2}, Т. Р. Мухамадеев^{1,2}, Т. Н. Исмагилов^{1,2}✉, Т. И. Дибаяев^{1,2}

¹ Башкирский государственный медицинский университет, Уфа, Россия

² Закрытое акционерное общество «Оптимедсервис», Уфа, Россия

Важной задачей для обеспечения безопасности факоемульсификации (ФЭК) является снижение негативных воздействий на внутриглазные структуры интраоперационных колебаний внутриглазного давления — постокклюзионных волн (ПОВ). В связи с этим был разработан новый способ управления инфузией при ФЭК, основанный на контроле скорости инфузионного и аспирационного потоков в совокупности с мониторингом параметров вакуума. Целью исследования было дать сравнительную оценку клинико-функциональных показателей глаз пациентов после ФЭК с применением нового и существующего способов адаптивного управления инфузией. По поводу катаракты были прооперированы 38 пациентов в возрасте $66,4 \pm 7,8$ года (15 мужчин и 23 женщины) в основной группе (система Оптимед Профи с применением нового способа), 35 пациентов в возрасте $68,7 \pm 7,5$ года (16 мужчин и 19 женщин) в контрольной группе (система Centurion Vision System с функцией Active Fluidics). До операции, а также на 1-е, 7-е, 30-е сутки, на 3-й и 6-й месяцы после операции пациентам проводили комплексное офтальмологическое обследование. У пациентов основной группы с III и IV степенью плотности катаракты отмечена меньшая потеря эндотелиальных клеток роговицы на 3-й и 6-й месяцы после операции ($p < 0,05$). По результатам сравнения параметров микроциркуляции макулярной области, в основной группе к 6-му месяцу послеоперационного наблюдения отмечено снижение площади ФАЗ, а также увеличение общей плотности сосудов глубокой сосудистой сети ($p < 0,001$). В контрольной группе, к 6-му месяцу послеоперационного наблюдения отмечено статистически значимое снижение общей плотности поверхностного и глубокого сосудистых сплетений ($p < 0,05$). Использование нового способа адаптивного управления инфузией способствует эффективному выполнению факоемульсификации катаракт различной плотности с меньшим процентом потери эндотелиальных клеток роговицы в отдаленном послеоперационном периоде.

Ключевые слова: факоемульсификация, постокклюзионная волна, внутриглазное давление, эндотелий роговицы, глазное перфузионное давление, оптическая когерентная томография

Вклад авторов: Б. М. Азнабаев — разработка концепции, утверждение окончательного варианта статьи; Т. Р. Мухамадеев — разработка концепции, редактирование текста; Т. Н. Исмагилов — проведение исследования, подготовка и редактирование текста; Т. И. Дибаяев — подготовка и редактирование текста.

Соблюдение этических стандартов: исследование одобрено этическим комитетом Башкирского государственного медицинского университета (протокол № 10 от 15 декабря 2021 г.). Все пациенты подписали добровольное информированное согласие на хирургическое лечение и обработку персональных данных.

✉ **Для корреспонденции:** Тимур Наилевич Исмагилов
ул. Ленина, д. 3, г. Уфа, 450008, Россия; ismagilov-timur@bk.ru

Статья получена: 19.01.2024 **Статья принята к печати:** 10.02.2024 **Опубликована онлайн:** 28.02.2024

DOI: 10.24075/vrgmu.2024.009

ASSESSING CLINICAL EFFICACY OF NEW METHOD FOR ADAPTIVE INFUSION CONTROL IN PHACOEMULSIFICATION

Aznabaev BM^{1,2}, Mukhamadeev TR^{1,2}, Ismagilov TN^{1,2}✉, Dibaev TI^{1,2}

¹ Bashkir State Medical University, Ufa, Russia

² ZAO "Optimedservis", Ufa, Russia

Reduction of the adverse effects of intraoperative intraocular pressure fluctuation referred to as post-occlusion surge on the intraocular structures is an important task for ensuring phacoemulsification safety. In this regard, the method to control infusion during phacoemulsification based on controlling the infusion and aspiration flow rates in combination with monitoring of vacuum parameters was developed. The study was aimed to provide comparative assessment of clinical and functional characteristics of the eye in patients after phacoemulsification using the new and already existing adaptive infusion control methods. A total of 38 patients aged 66.4 ± 7.8 years (15 males and 23 females) in the index group (Optimed Profi system with the use of new method) and 35 patients aged 68.7 ± 7.5 years (16 males and 19 females) in the control group (Centurion Vision System with Active Fluidics) underwent surgery due to cataract. The patients underwent comprehensive eye examination before surgery and on days 1, 7, 30, months 3, 6 after surgery. The smaller loss of corneal endothelial cells on months 3 and 6 after surgery was observed in patients of the index group with grade III and IV cataract ($p < 0.05$). Comparison of macular microcirculation parameters revealed the reduced FAZ area by month 6 of postoperative follow-up in the index group, along with the increased total vascular density of the deep vasculature ($p < 0.001$). A significant decrease in the total density of the superficial and deep vascular plexuses by month 6 of postoperative follow-up was observed in the control group ($p < 0.05$). The use of new adaptive infusion control method contributes to effective phacoemulsification of cataracts of varying density with the lower percentage of the corneal endothelial cells lost in the late postoperative period.

Keywords: phacoemulsification, postocclusion surge, intraocular pressure, corneal endothelium, ocular perfusion pressure, optical coherence tomography

Author contribution: Aznabaev BM — developing the concept, approving final version of the article; Mukhamadeev TR — developing the concept, manuscript editing; Ismagilov TN — research procedure, manuscript writing and editing; Dibaev TI — manuscript writing and editing.

Compliance with ethical standards: the study was approved by the Ethics Committee of the Bashkir State Medical University (protocol № 10 dated 15 December 2021). All patients submitted the informed consent to surgical treatment and personal data processing.

✉ **Correspondence should be addressed:** Timur N. Ismagilov
Lenina, 3, Ufa, 450008, Russia; ismagilov-timur@bk.ru

Received: 19.01.2024 **Accepted:** 10.02.2024 **Published online:** 28.02.2024

DOI: 10.24075/brsmu.2024.009

Наиболее распространенным методом хирургического лечения катаракты во всем мире является факоэмульсификация (ФЭК) — операция, при которой хрусталик фрагментируют и эмульсифицируют под действием ультразвука, после чего имплантируют интраокулярную линзу (ИОЛ) [1–3].

Основными тенденциями катарактальной хирургии в настоящее время считают снижение интраоперационной травмы и инвазивности операционного вмешательства. Ведущей задачей по обеспечению безопасности факоэмульсификации является снижение повреждающих воздействий на внутриглазные структуры колебаний внутриглазного давления вследствие нарушения баланса между притоком и оттоком жидкости из передней камеры глаза (постокклюзионные волны) [4–8].

Один из ведущих способов противодействия ПОВ — управление инфузионной составляющей хирургической системы. Подача инфузионной жидкости — неотъемлемый компонент в катарактальной хирургии, за счет которого поддерживается стабильность передней камеры [9–11]. Эффективное управление инфузией невозможно без непрерывного мониторинга гидродинамических параметров системы (уровня вакуума аспирационной линии, скорости перистальтического аспирационного насоса, давления в инфузионной магистрали) [12–17]. С этой целью в современных хирургических системах реализованы способы адаптивного управления инфузионным потоком, которые корректируют инфузионное давление под изменяющиеся гидродинамические условия операции. Несмотря на существующие методы по обеспечению гидродинамической стабильности ФЭК, проблема возникновения ПОВ наблюдается даже при операциях на современных хирургических системах, в большинстве из которых используют способы адаптивного управления инфузионным потоком [18–20].

При управлении инфузией большого внимания требует достоверная и быстрая оценка проходимости факоиглы при различных гидродинамических состояниях. Важной стороной проблемы является своевременная дифференциация хирургической системой гидродинамических состояний, следующих друг за другом — состояния окклюзии факоиглы, а также состояний прорыва окклюзии и проходимой факоиглы.

Решением вопроса достоверной оценки проходимости факоиглы может стать бесконтактный контроль скорости потоков в магистралях системы, так как скорость потока перманентна на всем протяжении трубки. Кроме того, совместный контроль скорости жидкости в инфузионной и аспирационной магистрали позволит выявить малейшие флуктуации потока, которые могут быть предвестниками прорыва окклюзии.

На базе хирургической системы «Оптимед Профи» (РУ № ФСР 2011/11396 от 11.11.2013) сотрудниками кафедры офтальмологии БГМУ совместно с инженерами отдела микрохирургического оборудования ЗАО «Оптимедсервис» разработан новый способ адаптивного управления инфузией при ФЭК (Патент РФ на изобретение № 2788289 от 17.01.2023). Изобретенный способ позволяет уменьшить интраоперационные колебания внутриглазного давления (постокклюзионных волн) за счет рационального управления инфузионным потоком в зависимости от значений параметров скорости аспирационного и инфузионного потоков, а также уровня вакуума в аспирационной линии [21, 22]. Актуальна сравнительная оценка клинико-функциональных

показателей у пациентов с возрастной катарактой, прооперированных методом ФЭК с использованием нового способа адаптивного управления инфузией на базе системы «Оптимед Профи» и существующего способа управления инфузией на базе системы Centurion Vision System (Alcon; США).

Цель исследования — сравнительная оценка клинико-функциональных показателей глаз пациентов после ФЭК с применением нового и существующего способов адаптивного управления инфузией.

ПАЦИЕНТЫ И МЕТОДЫ

Критерии включения пациентов в исследование: наличие возрастной катаракты с I–IV степенью плотности ядра хрусталика с количеством эндотелиальных клеток роговицы более 1500 кл/мм²; отсутствие дистрофических изменений роговицы и перенесенных офтальмологических операций в анамнезе. Пациенты были прооперированы на базе кафедры офтальмологии ФГБОУ ВО БГМУ — в центре лазерного восстановления зрения Optimed (г. Уфа). В основной группе пациентов ($n = 38$) факоэмульсификацию проводили на хирургической системе «Оптимед Профи» с применением нового способа адаптивного управления инфузией. В контрольной группе пациентов ($n = 35$) операции выполняли на хирургической системе Centurion Vision System с функцией Active Fluidics.

Принципиальным отличием нового способа адаптивного управления инфузией при ФЭК от существующего являются оценка проходимости факоиглы и управление инфузионным давлением не на основании контроля инфузионного давления, которое может иметь вариабельность в различных участках магистрали, а с помощью комплексного мониторинга скорости инфузионного и аспирационного потока, которые перманентны на протяжении всей магистрали. Третьим контролируемым параметром является уровень вакуума в аспирационной магистрали.

Алгоритм работы способа включает идентификацию как минимум трех гидродинамических состояний на основании характерных изменений параметров скорости инфузионного и аспирационного потоков и уровня вакуума в аспирационной линии: «проходимая факоигла», «окклюзия факоиглы» и «прорыв окклюзии»; при этом инфузионная компенсация постокклюзионных волн происходит одновременно с идентификацией состояния «прорыв окклюзии».

Преимуществом разработанного способа является обеспечение адаптивного управления инфузией, которое позволяет повысить точность и достоверность определения гидродинамических состояний, связанных с проходимость факоиглы во время факоэмульсификации, а также уменьшить интраоперационные колебания ВГД, связанные с постокклюзионными волнами.

При наборе пациентов тщательно формировались клинические группы, что определялось необходимостью создания идентичных условий для оценки клинико-функциональных результатов операции. Для формирования сопоставимых групп исследования учитывались: плотность ядра хрусталика (по общепринятой классификации Буратто), особенности коморбидного фона, а также половой и возрастной состав [23].

Критерии невключения в исследование: наличие осложнений и травматических катаракт; плотность катаракты V степени по классификации Буратто;

Таблица 1. Настройки хирургических систем в основной и контрольной группах исследования

Параметр	Группы	
	Основная (n = 38) «Оптимед Профи»	Контрольная (n = 35) Centurion Vision System
Предел вакуума, мм рт. ст.	400	400
Производительность аспирации, мл/мин	35	35
Режим аспирации	Фиксированный	Фиксированный
Целевое ВГД, мм рт. ст.	45	45
Форма ультразвуковых колебаний	Трехмерные	Торсионные + продольные
Мощность ультразвука, %	0–80	0–80
Режим ультразвука	Гиперпульс	Гиперпульс
Калибр факоиглы	21G	21G
Внутренний диаметр аспирационной и инфузионной линии, мм	1,3 / 3,25	1,3 / 3,25

псевдоэксфолиативный синдром; сопутствующая офтальмологическая патология, в том числе аметропия высокой степени; диабетическая ретинопатия и другие тяжелые соматические заболевания.

Пациентам обеих групп проводили комплексное офтальмологическое исследование, включавшее определение максимально скорректированной остроты зрения (МКОЗ) по десятичной системе, биомикроскопию, подсчет потери эндотелиальных клеток роговицы с помощью эндотелиального микроскопа EM-3000 (Tomey; Япония). С целью анализа сосудистой плотности поверхностного и глубокого сосудистых сплетений в парафовеа и перифовеа и подсчета площади фовеальной аваскулярной зоны (ФАЗ), в каждой группе исследования 25 пациентам проводили оптическую когерентную томографию с функцией ангиографии (ОКТА) на томографе Avanti XR (Optovue; США).

Кроме того, до операции и во все сроки после нее у пациентов обеих групп оценивали среднее глазное перфузионное давление (СГПД) по следующей формуле:

$$\text{СГПД} = 2/3 \text{ СрАД} - \text{ВГД},$$

где СрАД (среднее артериальное давление) = $1/3$ САД (систолическое артериальное давление) + $2/3$ ДАД (диастолическое артериальное давление), ВГД — внутриглазное давление [24].

Все операции проводили под местной анестезией в амбулаторных условиях. Настройки хирургических систем представлены в табл. 1.

Внутренний диаметр трубок аспирационной и инфузионной магистралей был идентичен в обеих группах — 1,3 и 3,25 мм соответственно. Операции выполняли на уровне целевого ВГД — 45 мм рт. ст., согласно рекомендациям в мировом сообществе катарактальных хирургов, по данным которых оптимальный диапазон целевого ВГД с точки зрения эффективности и безопасности ФЭК составляет 45–60 мм рт. ст. [25–27].

После выполнения роговичных разрезов и окрашивания передней капсулы хрусталика выполняли круговой капсулорексис. По завершении этапа гидродиссекции и гидроделинеации начинали этап разлома и фрагментации ядра хрусталика. Мощность ультразвука устанавливали индивидуально в зависимости от степени плотности катаракты. Как правило, при удалении ядер I степени плотности устанавливаемая мощность ультразвука не

превышала 20%. При удалении ядер II степени плотности применяли мощность 20–35%, III степени плотности — 40–50%, IV степени плотности — 50% и выше. Применяемые в ходе операции гидродинамические настройки хирургических систем (скорость аспирационного насоса, режим аспирации, уровень вакуума в аспирационной линии и целевое ВГД) были идентичны при всех степенях плотности ядра. Для раскола ядра использовали метод «Phaco Quick Chop». Имплантацию гибкой интраокулярной линзы осуществляли в капсульный мешок.

Контрольные осмотры пациентов в послеоперационном периоде для оценки клинико-функциональных показателей зрения, а также для оценки послеоперационных осложнений проводили на 1-е, 7-е и 30-е сутки, а также на 3-й и 6-й месяцах.

Для статистической обработки результатов использовали пакет программ SPSS ver. 27 (IBM Corporation; США). После проверки данных на нормальность распределения использовали параметрический *t*-критерий Стьюдента или непараметрический *U*-критерий Манна-Уитни при статистической значимости различий двух независимых выборок ($p < 0,05$). При нормальном распределении данных результаты представляли в виде среднего и стандартного отклонения ($M \pm Sd$), в случае отличного от нормального распределения данных — в виде медианы и межквартильного размаха $Me (Q_1; Q_3)$. Дисперсионный анализ для связанных выборок проводили с применением критерия Фридмана ($p < 0,05$).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Клинико-демографические данные пациентов представлены в табл. 2.

В обеих группах исследования к 30-м суткам после операции были отмечены высокие показатели МКОЗ ($0,86 \pm 0,13$ в основной группе, $0,83 \pm 0,16$ в контрольной группе). К 6-му месяцу послеоперационного наблюдения МКОЗ в основной группе составила $0,87 \pm 0,14$, в контрольной группе — $0,85 \pm 0,15$. Статистически значимые различия по данному показателю между группами отсутствовали ($p > 0,05$).

Основным осложнением раннего послеоперационного периода стал клинически значимый отек роговицы — в трех случаях в основной группе (7,9%) и в четырех случаях в контрольной (11,4%). Клинически значимый отек роговицы сопровождался снижением прозрачности роговицы, преимущественно в оптической зоне, утолщением стромы,

Таблица 2. Клинико-демографические данные пациентов в основной и контрольной группах исследования

Параметр	Основная группа (n = 38)	Контрольная группа (n = 35)
Возраст, М ± Sd	66,4 ± 7,8	68,7 ± 7,5
Пол мужской женский	15 (34,78%) 23 (65,22%)	16 (45,71%) 19 (54,29%)
Степень плотности катаракты по Буратто		
I	8 (21,05%)	7 (20,00%)
II	14 (36,84%)	13 (37,14%)
III	10 (26,32%)	9 (25,72%)
IV	6 (15,79%)	6 (17,14%)

а также формированием складок десцеметовой мембраны. Данное осложнение регрессировало под действием терапии к седьмым суткам послеоперационного периода.

Сравнение потерь эндотелиальных клеток роговицы, в соответствии с данными литературы, проводили на третьем и шестом месяцах послеоперационного периода, так как большинство офтальмологов придерживаются мнения, что восстановление дефектов эндотелия происходит, как правило, с третьего месяца после операции [28]. Результаты сравнения потерь эндотелиальных клеток между группами представлены в табл. 3.

По результатам сравнения процента потерь эндотелиоцитов между группами в послеоперационном периоде отмечены следующие особенности: среди пациентов с I степенью плотности катаракты статистически значимые различия через три месяца ($p = 0,206$) и шесть месяцев ($p = 0,155$) не обнаружены. Оценка потери эндотелиоцитов у пациентов со II степенью плотности катаракты также показала отсутствие статистически значимых межгрупповых различий через три ($p = 0,135$) и шесть ($p = 0,087$) месяцев после операции. Потеря эндотелиальных клеток роговицы у пациентов с III степенью плотности катаракты в основной группе было статистически значимо меньше на 3-й ($p = 0,012$) и 6-й ($p = 0,025$) месяцы послеоперационного наблюдения.

Таблица 3. Динамика потерь эндотелиоцитов роговицы в основной и контрольной группах через 3 и 6 месяцев после операции, % (Me (Q₁; Q₃))

Плотность катаракты	Основная группа		Контрольная группа	
	3-й месяц	6-й месяц	3-й месяц	6-й месяц
I	5,29 (4,88; 5,67)	5,49 (4,83; 6,25)	5,77 (5,29; 6,18)	5,86 (5,55; 6,32)
II	7,31 (6,63; 7,91)	7,42 (6,81; 8,03)	7,53 (7,31; 8,23)	7,79 (7,37; 8,49)
III	9,22 (8,16; 10,34)	9,83 (9,16; 10,42)	10,24 (9,69; 10,67)	10,59 (9,93; 11,35)
IV	10,72 (9,95; 11,62)	11,59 (9,86; 12,24)	11,78 (11,13; 12,59)	11,89 (10,42; 12,67)

Таблица 4. Послеоперационная динамика СГПД в основной и контрольной группах исследования, мм рт. ст. (M ± Sd)

Сроки наблюдения	Основная группа (n = 38)	Контрольная группа (n = 35)
До операции	52,44 ± 7,95	52,83 ± 8,83
1-е сутки	52,27 ± 8,80	52,53 ± 9,19
7-е сутки	52,59 ± 7,68	53,14 ± 8,77
30-е сутки	52,91 ± 7,48	53,29 ± 7,53
3 месяца	53,81 ± 6,78	53,70 ± 7,52
6 месяцев	54,54 ± 7,15	54,31 ± 7,66

Таблица 5. Послеоперационная динамика ОКТА-параметров макулярной зоны в основной группе (n = 25; M ± Sd)

Параметр	1-е сутки	7-е сутки	30-е сутки	3-й месяц	6-й месяц	p-value
Общая плотность ПСС, %	48,21 ± 4,39	50,73 ± 4,46	51,32 ± 4,80	51,48 ± 5,13	51,14 ± 5,05	$p = 0,113$
Общая плотность ГСС, %	46,98 ± 5,42	48,22 ± 5,02	49,63 ± 4,89	50,54 ± 5,58	51,02 ± 4,72	$p < 0,001^*$
Площадь ФАЗ, мм ²	0,296 ± 0,082	0,271 ± 0,079	0,270 ± 0,091	0,275 ± 0,068	0,274 ± 0,091	$p < 0,001^*$

Примечание: * — статистическая значимость по критерию Фрийдмана для связанных выборок.

Таблица 6. Послеоперационная динамика ОКТА-параметров макулярной зоны в контрольной группе (n = 25; M ± Sd)

Параметр	1-е сутки	7-е сутки	30-е сутки	3-й месяц	6-й месяц	p-value
Общая плотность ПСС, %	48,62 ± 5,02	50,49 ± 4,73	50,97 ± 5,11	51,09 ± 5,05	50,80 ± 4,69	p = 0,012*
Общая плотность ГСС, %	47,42 ± 4,89	48,93 ± 5,05	49,52 ± 4,73	50,49 ± 4,22	50,07 ± 4,84	p < 0,001*
Площадь ФАЗ, мм ²	0,281 ± 0,082	0,275 ± 0,101	0,270 ± 0,121	0,268 ± 0,186	0,269 ± 0,193	p = 0,206

Примечание: * — статистическая значимость по критерию Фридмана для связанных выборок.

уровне поверхностного и глубокого сосудистых сплетений макулярной области, а также площади ФАЗ не выявлены во все сроки исследования (p > 0,05).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Исходя из полученных результатов, можно заключить, что при факоземulsionификации с новым способом адаптивного управления инфузией на базе хирургической системы «Оптимед Профи» отмечается сопоставимая динамика потери эндотелиоцитов роговицы с существующим способом управления инфузией на базе системы Centurion Vision System, несмотря на имеющиеся статистически значимые различия при отдельных межгрупповых сравнениях, которые не изменяли общую тенденцию.

Полученные результаты согласуются с данными литературы, где отмечены меньшие потери эндотелиальных клеток роговицы при использовании адаптивного управления инфузией при ФЭК по сравнению с применением традиционной инфузии гравитационного типа [29, 30]. Оценивая потери эндотелиальных клеток, необходимо учитывать многофакторность эндотелиальной травмы, причиной которой могут стать как механические, так и гидродинамические факторы [31]. Тем не менее, меньшие потери эндотелиальных клеток роговицы на 3-й и 6-й месяцы послеоперационного периода при использовании нового способа адаптивного управления инфузией можно связать с меньшей интраоперационной амплитудой постокклюзионных волн и сокращением

времени восстановления внутриглазного давления до целевого уровня, что было показано ранее в условиях тестовой среды [22].

Результаты нашего исследования по оценке МКОЗ в контрольной группе сопоставимы с данными зарубежного исследования, в котором МКОЗ (LogMAR) к 1-му месяцу после операции с применением существующего способа адаптивного управления инфузией (система Centurion Vision System с функцией Active Fluidics) составила 0,04, что соответствует остроте зрения 0,84–0,85 по десятичной системе [32].

Развитие у пациентов клинически значимого отека роговицы в раннем послеоперационном периоде является неспецифическим осложнением, которое встречалось с одинаковой частотой в обеих группах исследования преимущественно у пациентов с IV степенью плотности ядра. По нашему мнению, данное осложнение не имеет связи с работой гидродинамической составляющей хирургических систем, а его причиной могла стать работа на более высоком уровне мощности ультразвука у пациентов с плотной катарактой.

Полученное в обеих группах количественное значение СГПД согласуется с данными мировой литературы, согласно которым значение данного параметра после неосложненной ФЭК составляет 45–60 мм рт. ст. [33]. Несмотря на зависимость СГПД от вариабельности параметров АД и ВГД, увеличение показателя в послеоперационном периоде может косвенно свидетельствовать о функциональной гиперемии макулярной области [34].

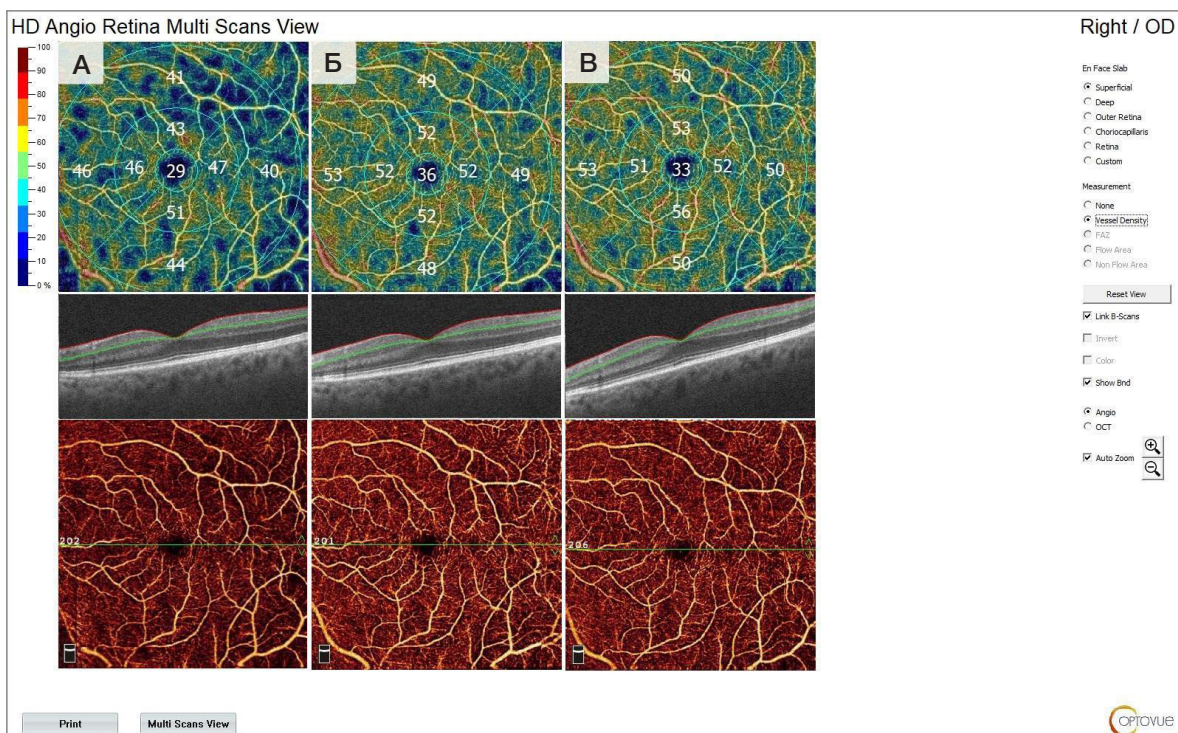


Рис. Увеличение общей сосудистой плотности макулярной области в основной группе по данным ОКТА-ангиографии в режиме Multi Scans: на 7-й день (А), на 3-й месяц (Б) и на 6-й месяц (В) после ФЭК

По результатам исследования данных ОКТА, в обеих группах исследования к 6-му месяцу после ФЭК были выявлены признаки функциональной гиперемии макулярной области в виде увеличения площади, занимаемой сосудами, а также снижения площади ФАЗ, что ранее описывалось в литературе [34]. Особенности изменения сосудистой плотности в макулярной зоне после ФЭК, как правило, связаны со снижением ВГД, внутриглазных факторов воспаления, а также лучшей сохранностью перфузии сетчатки [32].

Ограничением нашего исследования является использование различных хирургических систем в каждой из групп пациентов, что препятствует полной идентичности ультразвуковых параметров факомашин, а именно типа ультразвуковых колебаний. Однако в ранее проведенных исследованиях была доказана сопоставимость хирургических систем, использующих трехмерные и сочетание торсионных и продольных ультразвуковых колебаний в отношении режущей способности, удерживаемости фрагментов хрусталика, а также потерям эндотелиальных клеток в послеоперационном периоде [35, 36]. Сопоставимость гидродинамических настроек обеих хирургических систем была определена нами на доклинических этапах данного исследования в рамках медико-технических экспериментов при моделировании

ПОВ в идентичных условиях *in vitro* в тест-камере и *ex vivo* на сепаратных свиных глазах, а также *in vivo* при экспериментальных ФЭК на глазах лабораторных животных (кролики шиншиллы) [22].

Несмотря на ограничения, нами были подобраны наиболее приближенные к идентичным настройки обеих хирургических систем, которые можно считать оптимальными для обеих факомашин согласно рекомендациям производителей и данным литературы.

ВЫВОДЫ

Таким образом, на основании полученных результатов можно сделать вывод о том, что использование нового способа адаптивного управления инфузией способствует эффективному выполнению факоэмульсификации катаракт различной плотности с меньшим процентом потери эндотелиальных клеток роговицы в отдаленном послеоперационном периоде с достижением высокой остроты зрения и низкой частотой послеоперационных осложнений. При применении нового и существующего способов адаптивного управления инфузии при факоэмульсификации отмечается увеличение среднего глазного перфузионного давления, а также сосудистой плотности макулярной области.

Литература

1. Аветисов С. Э., Юсеф Ю. Н., Юсеф С. Н., Аветисов К. С., Иванов М. Н., Фокина Н. Д. и др. Современные возможности хирургии старческой катаракты. Клиническая геронтология. 2017; (11–12): 84–96.
2. Куликов А. Н., Чурашов С. В., Даниленко Е. В., Шамрей Д. В. Сравнительная оценка вариантов хирургического лечения катаракты, осложненной слабостью связочного аппарата хрусталика. Офтальмология. 2020; 17 (3): 577–84.
3. Bourne R, Steinmetz J, Saylan M, Mersha A, Weldemariam A, Wondmeneh T, et al. Causes of blindness and vision impairment in 2020 and trends over 30 years, and prevalence of avoidable blindness in relation to VISION 2020: The Right to Sight: An analysis for the Global Burden of Disease Study. *Lancet Glob Heal*. 2021; 9 (2): e144–e160.
4. Шухаев С. В., Бойко Э. В. Сравнение плотности эндотелиальных клеток роговицы после факоэмульсификации плотной катаракты с использованием комбинированного ультразвука и торсионного ультразвука с Intelligent Phaco. Офтальмология. 2018; 2 (15): 145–52.
5. Лоскутов И. А., Федорова А. И. Факоэмульсификация с имплантацией ИОЛ при критическом уровне эндотелиальных клеток роговицы. Офтальмологические ведомости. 2023; 3 (16): 63–69.
6. Anwar N, Qasim MS. Effect of phacoemulsification surgery on central Macular thickness. *Ann Med Health Sci Res*. 2021; 11: 1536–9.
7. Bissen-Miyajima H, Weikert MP, Koch DD. Cataract surgery: Maximizing outcomes through research. *Cataract Surgery: Maximizing Outcomes Through Research*. Springer, 2014; 211 p.
8. Benjamin L. Fluidics and rheology in phaco surgery: What matters and what is the hype? *Eye*. Nature Publishing Group. 2018; 32 (2): 204–9.
9. Agarwal A, Agarwal A, Agarwal S. Air pump to prevent Surge. In: Agarwal S. *Advances in Ophthalmology*. Jaypee Brothers Medical Publishers, 2002; 3000 p. DOI: 10.5005/jp/books/10033_13.
10. Pérez-Arteaga A. Anterior vented gas forced infusion system of the Accurus surgical system in phakonit. *Journal of cataract and refractive surgery*. 2004; 30 (4): 933–35.
11. Jensen D, Jensen B, Boulter B, Nathan G, Lambert B, Zaugg B, et al. Intraocular pressure study using monitored forced-infusion system phacoemulsification technology. *J Cataract Refract Surg*. 2016; 42 (5): 768–71.
12. Hopkins MA, inventor., Novartis AG inc. Aspiration control via flow or impedence: United States patent 8246580 B2. 2012; p. 1–5.
13. Hajjshah A, inventor, Abbott Medical Optics inc. Advanced occlusion management methods for a phaco system: United States patent US 2019/0099526 A1. 2019; (1): 1–24.
14. Mehta D, inventor, Johnson & Johnson Surgical Vision inc. System, apparatus and method for monitoring anterior chamber intraoperative intraocular pressure: United States patent US 11071816. 2021; p. 6.
15. Gordon R, inventor, Alcon Research Ltd. Pressure control in phacoemulsification: United States patent US 9119701 B2. 2015; p. 13.
16. Peterson J, Cooper C, Ungricht E. Measurement of phacoemulsification vacuum pressure in the Oertli CataRhex3. *Clinical Ophthalmology*. 2022; 16 (April): 1731–7.
17. Miller KM, Dyk D, Yalamanchili S. Experimental study of occlusion break surge volume in 3 different phacoemulsification systems. *Journal of cataract and refractive surgery*. 2021; 47 (11): 1466–72.
18. Kim YJ, Park SH, Choi KS. Fluctuation of infusion pressure during microincision vitrectomy using the constellation vision system. *Retina*. 2015; 35 (12): 2529–36.
19. Thorne A, Dyk A, Fanney D, Miller D, Kevin M. Phacoemulsifier occlusion break surge volume reduction. *J Cataract Refract Surg*. United States. 2018; 44 (12): 1491–6.
20. Zhou J, Han D. Post-occlusion surge and anterior chamber stability in a new phacoemulsification machine with small-bore, dual-durometer aspiration tubing. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2021; 62: 574.
21. Азнабаев Б. М., Мухаммадеев Т. Р., Дибаяев Т. И. Исмагилов Т. Н., авторы; ЗАО «Оптимедсервис», патентообладатель. Способ адаптивного управления инфузией во время факоэмульсификации. Патент РФ № 2788289 С1. 17.01.2023.
22. Исмагилов Т. Н., Азнабаев Б.М., Мухаммадеев Т. Р., Дибаяев Т. И. Количественная оценка постокклюзионной волны при факоэмульсификации с новым способом адаптивного управления инфузией. *Современные проблемы науки и образования*. 2023; 2: 73.

23. Buratto L. Phacoemulsification/ SLACK. 1998; 544 pp.
24. Rossi T, Querzoli G, Gelso A, Angelini G, Rossi A, Corazza P. Ocular perfusion pressure control during pars plana vitrectomy: testing a novel device. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2017; 255 (12): 2325–30.
25. Zhao Z, Yu X, Yang X, Zhang J, Zhang D, Sun N. Elevated intraocular pressure causes cellular and molecular retinal injuries, advocating a more moderate intraocular pressure setting during phacoemulsification surgery. *Int Ophthalmol Springer Netherlands*. 2020; 40 (12): 3323–36.
26. Malik PK, Dewan T, Patidar A, Kr Sain E. Effect of IOP based infusion system with and without balanced phaco tip on cumulative dissipated energy and estimated fluid usage in comparison to gravity fed infusion in torsional phacoemulsification. *Eye Vis. London*. 2017; 4: 22.
27. Boukhny M, Mackool RJ, Lindstrom RL. Cataract & Refractive surgery today. The Centurion Vision System: the next step in cataract surgery. 2014; pp. 1–8.
28. Малюгин Б. Э. Медико-технологическая система хирургической реабилитации пациентов с катарактой на основе ультразвуковой фактоэмульсификации с имплантацией интраокулярной линзы [диссертация]. М., 2002.
29. Chaudhry P, Prakash G, Jacob S. Safety and efficacy of gas-forced infusion (air pump) in coaxial phacoemulsification. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*. 2010; 36 (12): 2139–45.
30. Sorrentino FS, Matteini S, Imburgia A. Torsional phacoemulsification: a pilot study to revise the “harm scale” evaluating the endothelial damage and the visual acuity after cataract surgery. *PloS One*. 2017; 12 (10): e0186975.
31. Nayak BK, Shukla RO. Effect on corneal endothelial cell loss during phacoemulsification: fortified balanced salt solution versus Ringer lactate. *Journal of cataract and refractive surgery*. 2012; 38 (9): 1552–8.
32. Luo Y, Li H, Chen W. Active-fluidics versus gravity-fluidics system in phacoemulsification for age-related cataract (AGSPC): study protocol for a prospective, randomised, double-blind, controlled clinical trial. *BMJ open*. 2022; 12 (1): e059062.
33. Kim M, Kim S, Kwon H, Koh H, Lee S. Association between choroidal thickness and ocular perfusion pressure in young, healthy subjects: Enhanced depth imaging optical coherence tomography study. *Investig Ophthalmol Vis Sci*. 2012; 53 (12): 7710–7.
34. Križanović A, Bjeloš M, Bušić M, Elabjer, Kuzmanović B, Rak B. Macular perfusion analysed by optical coherence tomography angiography after uncomplicated phacoemulsification: benefits beyond restoring vision. *BMC Ophthalmol*. 2021; 21 (1): 1–11.
35. Дибаяев Т. И., Рамазанов В. Н., Рахимов А. Ф. Оценка режущей способности отечественного ультразвукового инструмента для фактоэмульсификации, основанного на непродольных колебаниях. *Современные технологии в офтальмологии*. 2015; 3: 61–63.
36. Азнабаев Б. М., Мухаммадеев Т. Р., Дибаяев Т. И. Клинические результаты ультразвуковой фактоэмульсификации на основе трехмерных колебаний. *Современные технологии в офтальмологии*. 2015; 4: 11–14.

References

1. Avetisov SJe, Jusef JuN, Jusef SN, Avetisov KS, Ivanov MN, Fokina ND, i dr. *Sovremennye vozmozhnosti hirurgii starcheskoj katarakty. Klinicheskaja gerontologija*. 2017; (11–12): 84–96. Russian.
2. Kulikov AN, Churashov SV, Danilenko EV, Shamrej DV. *Sravnitel'naja ocenka variantov hirurgicheskogo lechenija katarakty, oslozhnennoj slabost'ju svjazochnogo apparata hrustalika. Oftal'mologija*. 2020; 17 (3): 577–84. Russian.
3. Bourne R, Steinmetz J, Saylan M, Mersha A, Weldemariam A, Wondmeneh T, et al. Causes of blindness and vision impairment in 2020 and trends over 30 years, and prevalence of avoidable blindness in relation to VISION 2020: The Right to Sight: An analysis for the Global Burden of Disease Study. *Lancet Glob. Heal*. 2021; 9 (2): e144–e160.
4. Shuhaev SV, Bojko JeV. *Sravnienie plotnosti jendotelial'nyh kletok rogovicy posle fakojemul'sifikacii plotnoj katarakty s ispol'zovaniem kombinirovannogo ul'trazvuka i torsionnogo ul'trazvuka s Intelligent Phaco. Oftal'mologija*. 2018; 2 (15): 145–52. Russian.
5. Loskutov IA, Fedorova AI. *Fakojemul'sifikacija s implantaciej IOL pri kriticheskom urovne jendotelial'nyh kletok rogovicy. Oftal'mologicheskie vedomosti*. 2023; 3 (16): 63–69. Russian.
6. Anwar N, Qasim MS. Effect of phacoemulsification surgery on central Macular thickness. *Ann Med Health Sci Res*. 2021; 11: 1536–9.
7. Bissen-Miyajima H, Weikert MP, Koch DD. *Cataract surgery: Maximizing outcomes through research. Cataract Surgery: Maximizing Outcomes Through Research*. Springer, 2014; 211 p.
8. Benjamin L. Fluidics and rheology in phaco surgery: What matters and what is the hype? *Eye. Nature Publishing Group*. 2018; 32 (2): 204–9.
9. Agarwal A, Agarwal A, Agarwal S. Air pump to prevent Surge. In: Agarwal S. *Advances in Ophthalmology*. Jaypee Brothers Medical Publishers, 2002; 3000 p. DOI: 10.5005/jp/books/10033_13.
10. Pérez-Arteaga A. Anterior vented gas forced infusion system of the Accurus surgical system in phakonit. *Journal of cataract and refractive surgery*. 2004; 30 (4): 933–35.
11. Jensen D, Jensen B, Boulter B, Nathan G, Lambert B, Zaugg B, et al. Intraocular pressure study using monitored forced-infusion system phacoemulsification technology. *J Cataract Refract Surg*. 2016; 42 (5): 768–71.
12. Hopkins MA, inventor., Novartis AG inc. Aspiration control via flow or impedance: United States patent 8246580 B2. 2012; p. 1–5.
13. Hajjshah A, inventor, Abbott Medical Optics inc. Advanced occlusion management methods for a phaco system: United States patent US 2019/0099526 A1. 2019; (1): 1–24.
14. Mehta D, inventor, Johnson & Johnson Surgical Vision inc. System, apparatus and method for monitoring anterior chamber intraoperative intraocular pressure: United States patent US 11071816. 2021; p. 6.
15. Gordon R, inventor, Alcon Research Ltd. Pressure control in phacoemulsification: United States patent US 9119701 B2. 2015; p. 13.
16. Peterson J, Cooper C, Ungricht E. Measurement of phacoemulsification vacuum pressure in the Oertli CataRhex3. *Clinical Ophthalmology*. 2022; 16 (April): 1731–7.
17. Miller KM, Dyk D, Yalamanchili S. Experimental study of occlusion break surge volume in 3 different phacoemulsification systems. *Journal of cataract and refractive surgery*. 2021; 47 (11): 1466–72.
18. Kim YJ, Park SH, Choi KS. Fluctuation of infusion pressure during microincision vitrectomy using the constellation vision system. *Retina*. 2015; 35 (12): 2529–36.
19. Thorne A, Dyk A, Fanney D, Miller D, Kevin M. Phacoemulsifier occlusion break surge volume reduction. *J Cataract Refract Surg. United States*. 2018; 44 (12): 1491–6.
20. Zhou J, Han D. Post-occlusion surge and anterior chamber stability in a new phacoemulsification machine with small-bore, dual-durometer aspiration tubing. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2021; 62: 574.
21. Aznabaev BM, Muhamadeev TR, Dibaev TI, Ismagilov TN, avtory; ZAO «Optimedservis», patentoobladatel'. *Sposob adaptivnogo upravlenija infuziej vo vremja fakojemul'sifikacii*. Patent RF # 2788289 S1. 17.01.2023. Russian.
22. Ismagilov TN, Aznabaev BM, Muhamadeev TR, Dibaev TI. *Kolichestvennaja ocenka postokkjuzionnoj volny pri fakojemul'sifikacii s novym sposobom adaptivnogo upravlenija infuziej. Sovremennye problemy nauki i obrazovanija*. 2023; 2: 73. Russian.
23. Buratto L. Phacoemulsification/ SLACK. 1998; 544 pp.
24. Rossi T, Querzoli G, Gelso A, Angelini G, Rossi A, Corazza P. Ocular perfusion pressure control during pars plana vitrectomy: testing a novel device. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2017; 255 (12): 2325–30.
25. Zhao Z, Yu X, Yang X, Zhang J, Zhang D, Sun N. Elevated intraocular pressure causes cellular and molecular retinal injuries, advocating a more moderate intraocular pressure setting during

- phacoemulsification surgery. *Int Ophthalmol* Springer Netherlands. 2020; 40 (12): 3323–36.
26. Malik PK, Dewan T, Patidar A, Kr Sain E. Effect of IOP based infusion system with and without balanced phaco tip on cumulative dissipated energy and estimated fluid usage in comparison to gravity fed infusion in torsional phacoemulsification. *Eye Vis*. London. 2017; 4: 22.
 27. Boukhny M, Mackool RJ, Lindstrom RL. *Cataract & Refractive surgery today. The Centurion Vision System: the next step in cataract surgery*. 2014; pp. 1–8.
 28. Maljugin BJe. Mediko-tehnologicheskaja sistema hirurgicheskoy reabilitacii pacientov s kataraktoj na osnove ul'trazvukovoj fakojemul'sifikacii s implantaciej intraokuljarnoj linzy [dissertacija]. M., 2002. Russian.
 29. Chaudhry P, Prakash G, Jacob S. Safety and efficacy of gas-forced infusion (air pump) in coaxial phacoemulsification. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*. 2010; 36 (12): 2139–45.
 30. Sorrentino FS, Matteini S, Imburgia A. Torsional phacoemulsification: a pilot study to revise the “harm scale” evaluating the endothelial damage and the visual acuity after cataract surgery. *PLoS One*. 2017; 12 (10): e0186975.
 31. Nayak BK, Shukla RO. Effect on corneal endothelial cell loss during phacoemulsification: fortified balanced salt solution versus Ringer lactate. *Journal of cataract and refractive surgery*. 2012; 38 (9): 1552–8.
 32. Luo Y, Li H, Chen W. Active-fluidics versus gravity-fluidics system in phacoemulsification for age-related cataract (AGSPC): study protocol for a prospective, randomised, double-blind, controlled clinical trial. *BMJ open*. 2022; 12 (1): e059062.
 33. Kim M, Kim S, Kwon H, Koh H, Lee S. Association between choroidal thickness and ocular perfusion pressure in young, healthy subjects: Enhanced depth imaging optical coherence tomography study. *Investig Ophthalmol Vis Sci*. 2012; 53 (12): 7710–7.
 34. Križanović A, Bjeloš M, Bušić M, Elabjer, Kuzmanović B, Rak B. Macular perfusion analysed by optical coherence tomography angiography after uncomplicated phacoemulsification: benefits beyond restoring vision. *BMC Ophthalmol*. 2021; 21 (1): 1–11.
 35. Dibaev TI, Ramazanov VN, Rahimov AF. Ocenka rezhushhej sposobnosti otechestvennogo ul'trazvukovogo instrumenta dlja fakojemul'sifikacii, osnovannogo na neprodol'nyh kolebanijah. *Sovremennye tehnologii v oftal'mologii*. 2015; 3: 61–63. Russian.
 36. Aznabaev BM, Muhamadeev TR, Dibaev TI. Klinicheskie rezul'taty ul'trazvukovoj fakojemul'sifikacii na osnove trehmernyh kolebanij. *Sovremennye tehnologii v oftal'mologii*. 2015; 4: 11–14. Russian.