

# Сравнение плотности эндотелиальных клеток роговицы после факоэмульсификации плотной катаракты с использованием комбинированного ультразвука и торсионного ультразвука с Intelligent Phaco



С.В. Шухаев



Э.В. Бойко

Санкт-Петербургский филиал ФГАУ «МНТК «Микрохирургия глаза» имени академика С.Н. Федорова»  
Министерства здравоохранения Российской Федерации  
ул. Ярослава Гашена, 21, Санкт-Петербург, 192071, Российская Федерация

## РЕЗЮМЕ

Офтальмология. 2018;15(2S):145–152

**Цель:** выбрать из двух вариантов настроек факоэмульсификатора (комбинированный УЗ и торсионный УЗ с Intelligent Phaco (IP)) более безопасный в отношении сохранения эндотелиальных клеток роговицы и уменьшения послеоперационных осложнений. **Пациенты и методы.** 72 пациентам была выполнена факоэмульсификация с имплантацией ИОЛ. Пациенты случайным образом были разделены на две группы (основная  $n = 33$  и контрольная  $n = 39$ ). На этапе аспирации фрагментов хрусталика в основной группе использовали комбинированный УЗ, в контрольной группе — торсионный УЗ с IP. Подсчет эндотелиальных клеток и другие исследования были проведены через 1 день, 1 неделю и 6 месяцев после операции. **Результаты.** Острота зрения с коррекцией вдаль в исследуемых группах через 1 неделю после операции была сходной: в основной группе —  $0,813 \pm 0,228$ , в контрольной —  $0,765 \pm 0,250$ . Статистически достоверной разницы в толщине роговицы между группами не отмечено: в основной группе —  $533,48 \pm 12,41$ , в контрольной —  $536,44 \pm 10,92$ . В то же время относительно плотности эндотелиальных клеток была выявлена статистически достоверная разница: в основной группе —  $1871,30 \pm 187,41$  (через 1 неделю),  $1865 \pm 178,9$  (через 6 месяцев); в контрольной —  $1809,63 \pm 225,43$  (через 1 неделю),  $1791 \pm 230,82$  (через 6 месяцев). Процент потери эндотелиальных клеток оказался, соответственно, более низким в основной группе во все сроки наблюдения после операции: 3,90% (через 1 день), 4,54% (через 1 неделю), 4,9% (через 6 месяцев). В контрольной группе: 7,71% (через 1 день), 9,25% (через 1 неделю), 10,4% (через 6 месяцев). **Заключение.** Данные исследования показали преимущества комбинированного УЗ по сравнению с торсионным УЗ с IP при аспирации плотного хрусталика. Благодаря меньшему расходу УЗ энергии и более высокой скорости аспирации фрагментов комбинированный УЗ позволяет уменьшить потерю эндотелиальных клеток роговицы и снизить количество и выраженность связанных с ней послеоперационных осложнений.

**Ключевые слова:** факоэмульсификация катаракты, комбинированный ультразвук, торсионный ультразвук с IP, плотность эндотелиальных клеток, плотный хрусталик, послеоперационная кератопатия

**Для цитирования:** 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;15(2S):145–152. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2018-2S-145-152>

**Прозрачность финансовой деятельности:** Никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах

**Конфликт интересов отсутствует**



# Comparison of Cornea Endothelial Cells Density the After Aspiration of Dense Cataracts using Two Variants of Phacoemulsification Parameters

S.V. Shukhaev, E.V. Boiko

The Saint Petersburg Branch of the S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution  
Gashek str., 21, Saint Petersburg, 192071, Russia

## ABSTRACT

## Ophthalmology in Russia. 2018;15(2S):145–152

**Purpose:** to compare two types of phacoemulsification parameters (combination ultrasound and torsional US with IP) with estimating the number of postoperative complications caused by intraoperative trauma of corneal endothelial cells. **Patients and methods.** 72 patients underwent phacoemulsification with IOL implantation. Patients were randomly divided into two groups (main  $n = 33$  and control  $n = 39$ ). During the aspiration of lens fragments in the main group the combination ultrasound was used, while torsional US with IP was used in the control group. Endothelial cell counting and other examinations were performed 1 day, 1 week and 6 months after the surgery. **Results.** CDVA in the explored groups 1 week after the surgery was similar: the main group —  $0.813 \pm 0.228$ , the control group —  $0.765 \pm 0.250$ . There was also no statistically significant difference in the thickness of the cornea between the groups: the main group —  $533.48 \pm 12.41$ , the control group —  $536.44 \pm 10.92$ . At the same time, a statistically significant difference was found in the density of endothelial cells: the main group:  $1871.30 \pm 187.41$  (after 1 week),  $1865 \pm 178.9$  (after 6 months); control group:  $1809.63 \pm 225.43$  (after 1 week),  $1791 \pm 230.82$  (after 6 months). The percentage of cell loss was, respectively, lower in the main group at all times of observation: 3.90% (after 1 day), 4.54% (after 1 week), 4.9% (after 6 months). In the control group: 7.71% (after 1 day), 9.25% (after 1 week), 10.4% (after 6 months). **Conclusions.** Data obtained in this study has showed the advantages of combination ultrasound in comparison with torsional US with IP, when performing aspiration of dense lenses. Due to lower consumption of ultrasound energy and higher aspiration rate of the fragments, combination ultrasound can reduce the loss of corneal endothelial cells and decrease the number and severity of postoperative complications associated with it.

**Keywords:** phacoemulsification of cataract, combination ultrasound, torsional ultrasound with IP, endothelial cell density, dense lens, postoperative keratopathy

**For citation:** Shukhaev S.V., Boiko E.V. Comparison of Cornea Endothelial Cells Density the After Aspiration of Dense Cataracts using Two Variants of Phacoemulsification Parameters. *Ophthalmology in Russia*. 2018;15(2S):145–152. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2018-2S-145-152>

**Financial Disclosure:** No author has a financial or property interest in any material or method mentioned

**There is no conflict of interests**

## АКТУАЛЬНОСТЬ

Факоэмульсификация катаракты (ФЭК) в настоящее время является золотым стандартом хирургии катаракты [1–3]. Несмотря на стремительное развитие современных технологий и их активное внедрение в клиническую практику, остается большое число осложнений, которые существенно ограничивают реабилитацию пациентов с катарактой. Особенно высок риск осложнений при удалении плотного хрусталика [4]. В этом случае большое значение имеют не только мануальные навыки хирурга, но и гидродинамические и ультразвуковые настройки прибора, которые должны строго соответствовать особенностям хирургического подхода, используемого конкретным хирургом [5–8]. Соответствие настроек тем манипуляциям, которые присущи врачу, обеспечивает безопасность и эффективность процедуры. При неправильно подобранных настройках существенно возрастает риск травматизации окружающих тканей: радужки, цилиарного тела, капсульного мешка и роговицы [4, 9, 10]. Если повреждение радужки или капсульного мешка чаще приводит к серьезным интраоперационным осложнениям, то травма эндотелия роговицы чревата декомпенсацией состояния роговицы в послеоперационном периоде [1–13]. Послеоперационная кератопатия

чаще всего связана с избыточной травмой эндотелия в ходе операции [13, 14]. При снижении плотности клеток ниже порогового уровня —  $400\text{--}500 \text{ кл./мм}^2$  — наступает декомпенсация состояния роговицы, отек и помутнение стромы и эпителия.

## ПАЦИЕНТЫ И МЕТОДЫ

Клиническое исследование было выполнено в Санкт-Петербургском филиале ФГАУ ФГАУ «МНТК «Микрохирургия глаза» имени академика С.Н. Федорова» Минздрава России в период с 2016 по 2017 год. Перед операцией все пациенты подписывали информированное согласие на хирургическое вмешательство. Работа была одобрена локальным этическим комитетом и выполнена согласно нормам Хельсинкской декларации.

Ранее было показано, что предложенный принцип построения УЗ-настроек на основе комбинации продольного и торсионного УЗ показал свое преимущество при удалении плотного хрусталика, но оказался менее эффективным при аспирации мягкого хрусталика по сравнению с классическими настройками, основанными на технологии IP [15]. Однако используемая методика «Фемтосравнение» может оценивать различные ультразвуковые и гидродинамические параметры, которые

С.В. Шухаев, Э.В. Бойко

лишь косвенно позволяют судить о безопасности предложенных настроек.

В связи с этим в данном исследовании было выполнено сравнение потери эндотелиальных клеток при использовании двух вариантов настроек факоэмульсификатора при аспирации плотного хрусталика NC5+ по классификации LOCS III (87). В исследовании участвовали 72 пациента (72 глаза, 43 женщины, 29 мужчин, средний возраст  $71 \pm 3,4$  года), которые случайным образом были разделены на две группы в зависимости от используемых настроек. В основной группе ( $n = 33$ ) для удаления ядра хрусталика использовали комбинированный УЗ, в контрольной группе ( $n = 39$ ) — торсионный УЗ с IP [14].

Критерии исключения из исследования:

- подвывих хрусталика;
- узкий ригидный зрачок;
- патология роговицы (рубцы, помутнения, дистрофические изменения);
- травмы глаза в анамнезе;
- интраоперационные осложнения (разрыв задней капсулы, выпадение стекловидного тела и прочие).

Во время предоперационного диагностического обследования всем пациентам выполняли набор стандартных для ФЭК диагностических исследований. Для количественной оценки повреждения тканей глаза во время факоэмульсификации наиболее подходящим параме-

тром является плотность эндотелиальных клеток (ПЭК), а точнее процент их потери [11, 16]. Эндотелиальную микроскопию осуществляли по следующей методике: сначала выполняли снимок центральной зоны роговицы, затем еще 6 последовательных снимков в 6 точках на средней периферии роговицы, примерно, в 3 мм от лимба (рис. 1).

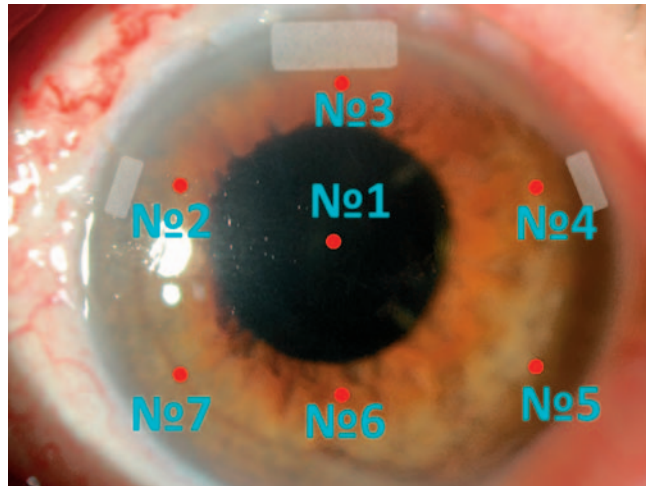


Рис. 1. Схема расположения точек, в которых выполняли снимки с помощью эндотелиального микроскопа

Fig. 1. The layout of the points where the images by an endothelial microscope were taken



Рис. 2. Настройки факомашины на этапах операции (борозда, чоп, кортекс)

Fig. 2. Fakomachine settings at the operation stages [sulcus, chop, cortex]



Рис. 3. Основные настройки и настройки системы IP

Fig. 3. Basic settings and settings of the IP system

Дополнительно использовали данные пахиметрии, которые иногда более точно свидетельствуют о сохранности функции эндотелия, чем ПЭК.

Всем пациентам была выполнена классическая мануальная факоэмульсификация одним хирургом с использованием одной техники дробления ядра (Stop & Chop) [1]. На всех хирургических этапах, кроме аспирации фрагментов, были использованы одинаковые настройки прибора. На этапе формирования борозды применяли линейный торсионный УЗ мощностью от 40 до 100%, при выполнении чопы устанавливали режим вспышки с продольным УЗ мощностью 70%, кортикальные массы аспирировали при вакууме 500 мм рт. ст. при скорости аспирации 20 см<sup>3</sup>/мин (рис. 2).

На этапе удаления фрагментов ядра в первой подгруппе использовали настройки на основании системы IP (рис. 3), во второй — настройки комбинированного УЗ (рис. 4).



Рис. 4. Настройки комбинированного УЗ

Fig. 4. Settings for combination US

В послеоперационном периоде наблюдение за пациентами проводили согласно установленным в клинике рекомендациям. В раннем послеоперационном периоде оценивали воспалительную реакцию глаза, уровень внутриглазного давления и степень выраженности послеоперационной кератопатии [11]. Кроме того, в первый день после операции, через 1 неделю и через 6 месяцев определяли следующие показатели: остроту зрения вдаль с коррекцией (МКОЗ), толщину роговицы в центральной зоне и эндотелиальную биомикроскопию по той же схеме, что и до операции.

## МЕТОДЫ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

При оценке данных пахиметрии и МКОЗ проводили непараметрическое сравнение двух выборок по парному критерию Уилкоксона (signed-rank test). Получение *p*-value меньше чем 0,05 свидетельствует о значимом различии в выборках. Для сравнения среднего количества потерь клеток после операции у двух групп пациентов использовали *t*-критерий Стьюдента. Вначале данные нормировались (переход к проценту потерянных клеток), после чего применялся сам тест. *P*-value меньше чем 0,05 означает, что процент потерь клеток различается в двух группах и что это различие значимо.

Результаты описательной статистики представлены в виде  $M \pm m$ , где  $M$  — среднее значение,  $m$  — ошибка среднего.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Обе группы пациентов были сопоставимы по демографическим характеристикам, сопутствующей глазной патологии (табл. 1).

Острота зрения с коррекцией вдаль в исследуемых группах до и после операции была сходной (табл. 2).

На всех этапах наблюдения (через 1 день, 1 неделю и 6 месяцев после операции) статистически достоверной разницы в толщине роговицы между группами не наблюдали (табл. 3).

**Таблица 1.** Социально-демографические характеристики пациентов**Table 1.** Socio-demographic characteristics of patients

Параметры parameters	Основная группа Main	Контрольная группа Control	p
Пол / Gender: мужчины / male женщины / female	14 19	15 24	
Возраст Age	72,04 ± 7,09	71,07 ± 8,01	0,74

**Таблица 2.** Острота зрения вдаль с коррекцией в сравниваемых группах**Table 2.** Corrected distance visual acuity in the compared groups

Острота зрения Visual acuity	Основная группа Main group	Контрольная группа Control group	p
До операции Before the surgery	0,298 ± 0,253	0,352 ± 0,572	0,895
Через 1 неделю после операции One week after the surgery	0,813 ± 0,228	0,765 ± 0,250	0,475

**Таблица 3.** Динамика толщины центральной части роговицы до и после операции**Table 3.** Dynamics of the thickness of the central part of the cornea before and after surgery

Центральная толщина роговицы (3-мм зона) (мкм) Central thickness of the cornea	Основная группа Main group	Контрольная группа Control group	p
До операции Before the surgery	531,83 ± 16,23	532,26 ± 16,92	0,59
Через 1 день после операции One day after the surgery	547,13 ± 13,88	557,07 ± 41,01	0,49
Через 1 неделю после операции One week after the surgery	533,48 ± 12,41	536,44 ± 10,92	0,18
Через 6 месяцев после операции 6 months after the surgery	532,57 ± 14,28	534,81 ± 14,16	0,30

В то же время была выявлена статистически достоверная разница в плотности эндотелиальных клеток. Она оказалась более высокой в основной группе, а процент потери клеток был, соответственно, более низким во все сроки наблюдения (табл. 4).

**Таблица 4.** Динамика плотности эндотелиальных клеток и процент их потери после операции в обеих группах во все сроки наблюдения**Table 4.** Dynamics of the endothelial cells density and the percentage of their loss after surgeries in both groups at all times of observation

Плотность эндотелиальных клеток и процент их потери The density of endothelial cells and the percentage of their loss	Основная группа Main group	Контрольная группа Control group	p
До операции Before the surgery	1942,74 ± 194,02	1949,33 ± 203,10	0,662
Через 1 день после операции One day after the surgery	1881,26 ± 184,46 3,90%	1830,26 ± 208,72 7,71%	0,009
Через 1 неделю после операции One week after the surgery	1871,30 ± 187,41 4,54%	1809,63 ± 225,43 9,25%	0,006
Через 6 месяцев после операции 6 months after the surgery	1865 ± 178,9 4,9%	1791 ± 230,82 10,4%	0,002

Послеоперационный период у всех пациентов в основном протекал гладко. В контрольной группе (торсионный УЗ + IP) у двух пациентов имел место фибринозный иридоциклит в раннем послеоперационном периоде. В основной группе (комбинированный УЗ) аналогичных случаев не выявлено.

У трех пациентов основной группы и у 8 пациентов контрольной была определена послеоперационная кератопатия различной степени выраженности.

**Таблица 5.** Послеоперационные осложнения**Table 5.** Postoperative complications

	Основная группа (OZIL IP) Main group	Контрольная группа (комби) Control group
Фибринозный иридоциклит Fibrinous iridocyclitis	0%	5,1%
Кератопатия Keratopathy	9%	20,50%
Гипертензия Hypertension	0%	5,1%

Таким образом, в настоящем клиническом исследовании мы получили достоверные отличия относительно потери эндотелиальных клеток роговицы между группами. При использовании комбинированных настроек в процессе удаления плотных хрусталиков потеря ПЭК на всех этапах была меньше, чем при использовании торсионного УЗ с IP. Частота послеоперационных осложнений была намного меньше в группе с комбинированным УЗ. Данные исследования подтверждают результаты работы, в которой было показано преимущество комбинированного УЗ, касающееся меньшего расхода УЗ энергии и более быстрой скорости аспирации плотного хрусталика [15]. Следует подчеркнуть, что комбинированный УЗ лучше использовать при аспирации только плотного хрусталика. Для мягкой и средней катаракты применение только торсионного УЗ или в комбинации с технологией IP показывает высокий уровень безопасности и эффективности [17, 18].

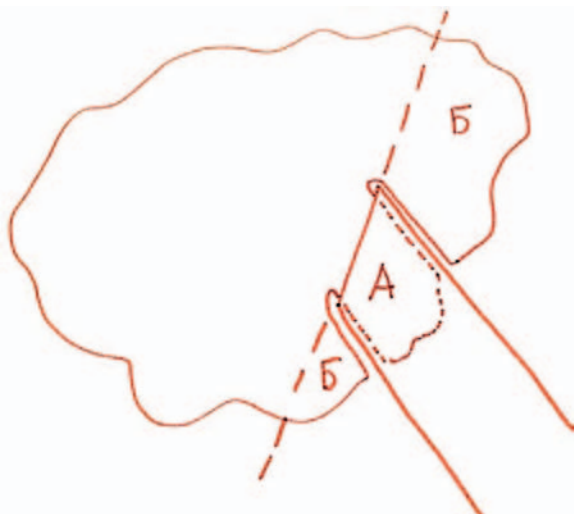
В предложенном варианте комбинированных настроек уменьшение ирригационной травмы, с одной стороны, можно объяснить низкими гидродинамическими параметрами. Низкий уровень вакуума и невысокая скорость аспирации приводят к снижению скорости и объема перекачиваемой через переднюю камеру ирригационного раствора вместе с частицами хрусталика и вискоэластиком уменьшает механическое повреждение эндотелия, кроме того, скорость вымывания слоя дисперсионного вискоэластика, адгезированного к эндотелию, падает, а присутствие главного «защитника» — один из основных факторов безопасности эндотелиальных клеток. С другой стороны, важны не только гидродинамические настройки в отдельности, важно также их правильное сочетание с УЗ-параметрами. Короткие импульсы УЗ не только гораздо эффективнее длительных, но и позволяют легче удерживать фрагмент за счет вакуума или быстрее возвращать его к просвету иглы за счет аспирации, если произошло отталкивание. Любой вариант прерывного УЗ позволяет экономить УЗ-энергию, практически не снижая ее разрушающей способности по сравнению с непрерывной модуляцией. Комбинация двух типов УЗ, разрушающих субстрат по разным принципам, дает огромные возможности относительно улучшения эффективности аспирации и безопасности окружающих тканей, в первую очередь эндотелия.

В процессе аспирации необходимо, чтобы удаляемый фрагмент при продольном импульсе находился перед иглой, то есть строго на срезе, так как при аксиальных колебаниях основное негативное излучение происходит перед иглой, то есть по оси движения. При торсионных колебаниях образование акустических волн и «отстрел» кавитационных пузырьков осуществляется в стороны. Следовательно, при торсионном импульсе желательно, чтобы фрагмент окружал наконечник или закрывал хотя бы частично зоны, находящиеся справа и слева от последнего, при положении срезом вверх или вниз. Ис-

пользование комбинированных настроек отчасти позволяет добиться такого удобного положения фрагмента во время аспирации.

Мы попробовали описать возможную последовательность событий при аспирации с помощью настроек комбинированного УЗ. Фрагмент полностью мобилен и удерживается на срезе иглы за счет вакуума. Поскольку фрагмент очень плотный и имеет неровные контуры, в этом состоянии не может возникнуть полная наружная окклюзия, вакуум не достигает максимума, а будет зависеть от того, насколько плотно obturирован просвет иглы на уровне среза. Ножная педаль переводится в третье положение, включается цикл ультразвука и начинается аспирация. Поскольку цикл очень короткий, принципиально, какой импульс будет первым. Допустим, вначале идет импульс торсионного УЗ. При этом происходит сбивание слоя за слоем вещества хрусталика, а фрагмент чаще всего вращается, комфортно удерживаясь у среза даже при невысоком уровне вакуума. Если при этом не случается внутренней окклюзии или отталкивания, то создается ощущение, что если использовать линейный торсионный УЗ, этого достаточно для комфортного и безопасного удаления фрагмента. Но чем плотнее ядро, тем чаще возникает внутренняя окклюзия или эффект отталкивания, когда фрагмент отскакивает от наконечника, чаще всего в сторону при положении иглы срезом вниз или вверх. Если же наконечник расположен срезом в бок, то фрагмент, скорее всего, переместится вниз и под иглу. При использовании постоянного торсионного УЗ с IP все эти эффекты возникают очень часто, при этом процесс аспирации затягивается. При использовании комбинированного УЗ торсионный импульс достаточно короткий (40 мс), поэтому чаще всего происходит короткое вращательное движение фрагмента, при этом внутрь просвета с небольшой долей вероятности может попасть достаточно крупная часть, способная вызвать внутреннюю окклюзию, а основной фрагмент почти всегда остается на срезе. После промежутка в 5 мс следует импульс продольного УЗ. Далее есть два варианта развития событий. Первый — если произошла внутренняя окклюзия, импульс продольного УЗ разрушает фрагмент, вызвавший ее, и освобождает внутренний просвет иглы — цикл замыкается. Поскольку импульс продольного УЗ очень короткий, с постоянной мощностью, и выполняется после короткого промежутка, процесс прорыва окклюзии происходит незаметно для хирурга, практически сразу же после его возникновения, что значительно ускоряет процесс аспирации и выглядит как единый непрерывный механизм аспирации. Важно отметить, что при включении продольного УЗ основной фрагмент все еще находится на срезе и экранирует УЗ-излучение. В другом варианте в момент торсионного импульса внутренней окклюзии не происходит и объект остается у среза, то есть в оптимальном расположении для работы продольного УЗ. Короткий импульс продольного УЗ приводит к тому, что

игла углубляется внутрь вещества хрусталика, который фиксируется на наконечнике за счет вакуума, возникает наружная окклюзия. При этом внутри просвета иглы сохраняется небольшой кусочек цилиндрической формы, который пока остается единым целым с основным фрагментом (рис. 2, помечено буквой А). Вокруг иглы имеются еще небольшие участки вещества хрусталика (рис. 5, помечено буквой Б).



**Рис. 5.** Схема положения удаляемого фрагмента ядра хрусталика на момент окончания импульса продольного УЗ

**Fig. 5.** The layout of the removed fragment of the lens nucleus at the end of the longitudinal ultrasound pulse

Как видно, самое безопасное для торсионного УЗ положение фрагмента — когда он окружает наконечник со всех сторон и предотвращает негативное действие кавитации и акустических колебаний среды. При последующем импульсе торсионного УЗ наконечник начинает совершать поперечные колебания, срезая участок А с основного фрагмента и сбивая участки Б, которые могут

быть аспирированы или вызывают внутреннюю окклюзию, которая, в свою очередь, будет разрешена с помощью последующего импульса продольного УЗ. Можно сказать, что импульс продольного УЗ создает благоприятные условия для импульса торсионного УЗ, формируя довольно объемный субстрат из вещества хрусталика, который будет аспирирован во время импульса торсионного УЗ. Кроме того, продольный УЗ гарантирует прорыв окклюзии в случае ее возникновения, а во время следующего торсионного импульса снова происходит небольшая ротация фрагмента, и он опять надежно фиксируется на срезе в оптимальном положении для следующего продольного импульса, и общий цикл замыкается. Конечно, в реальности процесс аспирации не идет строго по описанной здесь схеме, но даже если в 50% циклов этот механизм срабатывает, этого достаточно, чтобы значительно улучшить скорость удаления хрусталика и минимизировать УЗ-нагрузку. Это подтверждается клиническими данными, представленными в нашем исследовании.

## ВЫВОДЫ

При удалении плотной катаракты использование комбинированного ультразвука (торсионный + продольный) приводит к снижению травмы эндотелия роговицы по сравнению с торсионным ультразвуком с IP.

Частота и степень выраженности послеоперационной воспалительной реакции значительно меньше при использовании комбинированных настроек.

Частота и степень выраженности послеоперационной кератопатии меньше при использовании комбинированных настроек УЗ.

## УЧАСТИЕ АВТОРОВ:

Шухаев С.В. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, статистическая обработка, написание текста статьи и подготовка иллюстраций; Бойко Э.В. — концепция и дизайн исследования, контроль за выполнением всех этапов исследования, конечная редакция текста статьи.

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Азнабаев Б.М. Ультразвуковая хирургия катаракты — факоэмульсификация. Москва: Август; 2005:136. [Aznabaev B.M. Ultrasound cataract surgery — phacoemulsification. Moscow: August; 2005:136. (In Russ)]
2. Буратто Л. Хирургия катаракты. Переход от экстракапсулярной экстракции катаракты к факоэмульсификации. Москва: Fabiano; 1999:474. [Buratto L. Cataract surgery. Transition from extracapsular extraction of cataract to phacoemulsification. Moscow: Fabiano; 1999:474. (In Russ)]
3. Kelman C.D. Phaco-emulsification and aspiration. A new technique of cataract removal. A preliminary report. *Am J Ophthalmol.* 1967;64(1):23–35. DOI: 10.1016/0002-9394(67)93340-5
4. Singh R., Vasavada A.R., Janaswamy G. Phacoemulsification of brunescant and black cataracts. *J Cataract Refract Surg.* 2001 Nov;27(11):1762–9. DOI: 10.1016/S0886-3350(01)00839-2
5. Jun B., Berdahl J.P., Kim T. Thermal study of longitudinal and torsional ultrasound phacoemulsification: tracking the temperature of the corneal surface, incision, and handpiece. *J Cataract Refract Surg.* 2010 May;36(5):832–7. DOI: 10.1016/j.jcrs.2009.11.015
6. Zeng M., Liu X., Liu Y., Xia Y., Luo L., Yuan Z., Zeng Y., Liu Y. Torsional ultrasound modality for hard nucleus phacoemulsification cataract extraction. *Br J Ophthalmol.* 2008 Aug;92(8):1092–6. Epub 2008 Jun 20. DOI: 10.1136/bjo.2007.128504
7. Wang Y., Xia Y., Zeng M., Liu X., Luo L., Chen B., Liu Y., Liu Y. Torsional ultrasound efficiency under different vacuum levels in different degrees of nuclear cataract. *J Cataract Refract Surg.* 2009 Nov;35(11):1941–5. DOI: 10.1016/j.jcrs.2009.05.055
8. Fakhry M.A., Shazly M.I. Torsional ultrasound mode versus combined torsional and conventional ultrasound mode phacoemulsification for eyes with hard cataract. *Clin Ophthalmol.* 2011;5:973–8. Epub 2011 Jul 15. DOI: 10.2147/OPTH.S22879
9. Sippel K.C., Pineda R. Jr. Phacoemulsification and thermal wound injury. *Semin Ophthalmol.* 2002 Sep-Dec;17(3–4):102–9.
10. Nagy Z.Z., Takacs A.I., Filkorn T., Kránitz K., Gyenes A., Juhász É., Sándor G.L., Kovacs I., Juhász T., Slade S. Complications of femtosecond laser-assisted cataract surgery. *J Cataract Refract Surg.* 2014 Jan;40(1):20–8. DOI: 10.1016/j.jcrs.2013.08.046
11. Астахов С.Ю. Кератопатия после факоэмульсификации. *Новое в офтальмологии.* 2014;3. [Astahov S.Y. Keratopathy after phacoemulsification. New in ophthalmology=Novoe v oftalmologii. 2014;3. (In Russ)]
12. Копаяев С.Ю., Борзенко С.А., Копаяев В.Г., Алборова В.У. Состояние заднего эпителия роговицы после лазерной и ультразвуковой факофрагментации. электронно-микроскопическое исследование в эксперименте. Сообщение 3. *Офтальмохирургия.* 2014;(2):6–9. Копаяев С.Ю., Борзенко С.А., Копаяева В.Г., Алборова В.У. Corneal endothelium cells response after laser and ultrasound phacoemulsification. electron microscopy in experiment. Report 3. *Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery=Oftalmokhirurgiya.* 2014;(2):6–9. (In Russ.) DOI: 10.25276/0235-4160-2014-2-6-9
13. Майчук Д.Ю. Асептические реакции при хирургии катаракты. *Российская офтальмология онлайн.* № 11. [Maychuk D.Y. Aseptic reactions in cataract surgery. *Russian ophthalmology online.* № 11. URL: <http://www.eyepress.ru/article.aspx?11931>

14. Иошин И.Э., Хачатрян Г.Т., Оздербаева А.А. Анализ результатов применения технологии Ozil IP при факоэмульсификации катаракты высокой плотности. *Офтальмохирургия*. 2011;2:59–63. [Ioshin I.E., Khachatryan G.T., Ozderbaeva A.A. Analysis of the results of application of Ozil IP technology in phacoemulsification of high density cataract. *Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery=Ofital'mokhirurgiya*. 2011;2:59–63. (In Russ)]
15. Tomilova E., Shukhaev S. A novel method to compare phacoemulsification parameters *in vivo*: two halves of one nucleus. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2016 Aug;254(8):1579–84. DOI: 10.1007/s00417-016-3376-0
16. Трубилин В.Н., Ильинская И.А., Кобаев С.Ю. Достоверность показателей приборов, измеряющих геометрические параметры роговицы. *Офтальмохирургия*. 2014;(4):50–54. [Trubilin V.N., Il'inskaya I.A., Kopyayev S.Y. Reliability of indicators of devices measuring geometric parameters of cornea. *Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery=Ofital'mokhirurgiya*. 2014;(4):50–54. (In Russ.)] DOI: 10.25276/0235-4160-2014-4-50-54
17. Cionni R.J., Crandall A.S., Felsted D. Length and frequency of intraoperative occlusive events with new torsional phacoemulsification software. *J Cataract Refract Surg*. 2011 Aug 18. DOI: 10.1016/j.jcrs.2011.04.027
18. Ratnarajan G., Packard R., Ward M. Combined occlusion-triggered longitudinal and torsional phacoemulsification during coaxial microincision cataract surgery: effect on 30-degree mini-flared tip behavior. *J Cataract Refract Surg*. 2011 May;37(5):825–9. Epub 2011 Mar 25. DOI: .10.1016/j.jcrs.2010.11.038

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Санкт-Петербургский филиал ФГАУ «МНТК «Микрохирургия глаза» имени академика С.Н. Федорова» Министерства здравоохранения Российской Федерации  
Шухаев Сергей Викторович  
врач-офтальмолог  
ул. Ярослава Гашека, 21, Санкт-Петербург, 192283, Российская Федерация

Санкт-Петербургский филиал ФГАУ «МНТК «Микрохирургия глаза» имени академика С.Н. Федорова» Министерства здравоохранения Российской Федерации  
Бойко Эрнест Витальевич  
доктор медицинских наук профессор, директор филиала  
ул. Ярослава Гашека, 21, Санкт-Петербург, 192283, Российская Федерация

## ABOUT THE AUTHORS

S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Saint Petersburg brunch.  
Shukhaev Sergey V.  
ophthalmologist  
Y. Gashek str., 21, Saint Petersburg, 192283, Russia

S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Saint Petersburg brunch.  
Boiko Ernest V.  
MD, PhD, professor, director  
Y. Gashek str., 21, Saint Petersburg, 192283, Russia