

Результаты задней послойной кератопластики с использованием трансплантатов, выкроенных при помощи двух различных фемтосекундных лазеров

Б.Э. Малюгин^{1,2}, А.Н. Паштаев¹, Н.Ф. Шилова¹, К.Н. Кузьмичев¹, К.И. Катмаков³

¹ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Фёдорова» Минздрава России, Москва;

²ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова» Минздрава России;

³ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Фёдорова» Минздрава России, Чебоксарский филиал

РЕФЕРАТ

Цель. Изучить результаты лечения пациентов с псевдофакичной буллезной кератопатией (ПБК) методом задней послойной кератопластики с применением ультратонкого трансплантата, заготовленного при помощи двух различных фемтосекундных лазеров (ФСЛ).

Материал и методы. Под наблюдением в течение 1 года находились 82 пациента (82 глаза), которым была проведена задняя послойная фемто-кератопластика (Ф-ЗПК) по поводу ПБК. В 1-ю группу вошли пациенты с ПБК, которым была выполнена Ф-ЗПК с применением ФСЛ «Фемто-Визум» («Оптосистемы», РФ) – 43 больных (43 глаза). Во 2-ю группу были включены пациенты с ПБК, которым провели Ф-ЗПК с помощью ФСЛ «LDV Z8» (Ziemer, Швейцария) – 39 пациентов (39 глаз). До и после операции оценивали в динамике следующие показатели: некорригированную остроту зрения (НКОЗ), корригированную остроту зрения (КОЗ), послеоперационный астигматизм, центральную толщину роговицы (ЦТР), толщину трансплантата (ТТ), индекс центр-периферия (Ц:П), плотность эндотелиальных клеток (ПЭК), потерю эндотелиальных клеток (ЭК), оптическую плотность (ОП).

Результаты. Прозрачное приживление через 12 мес. после операции было достигнуто на 88% глаз. В 1-й группе НКОЗ=0,22±0,11, КОЗ=0,32±0,12, во 2-й – НКОЗ=0,18±0,08, КОЗ=0,29±0,1 (p>0,05). Максимальная КОЗ в обеих группах – 0,6. Послеоперационный астигматизм

в 1-й и 2-й группах – 1,43±1,1 и 1,38±1,0 дптр соответственно (p>0,05). В 1-й группе ЦТР=549±31 мкм, ТТ в центральной зоне – 83±12 мкм, индекс Ц:П – 0,92±0,05; во 2-й группе ЦТР=546±28 мкм, ТТ – 80±10 мкм, индекс Ц:П – 0,94±0,06 (p>0,05). В 1-й группе ПЭК составила 1326±282 кл/мм², потеря ЭК – 55±6%; во 2-й группе ПЭК – 850±230 кл/мм², а потеря ЭК – 70±7% (p<0,05). ОП задних слоев роговицы и зоны интерфейса «донор-реципиент» как в центральной, так и в парацентральной зонах была выше во 2-й группе. Соответственно, в 1-й группе ОП в задних слоях стромы (усл. ед.) – 16,4±1,2 (0–2 мм) и 15,8±1,0 (2–6 мм), в зоне интерфейса – 14,5±0,9 (0–2 мм) и 13,9±0,8 (2–6 мм); во 2-й группе ОП в задних слоях – 18,3±1,3 (0–2 мм) и 17,9±1,1 (2–6 мм), в зоне интерфейса – 17,3±1,2 (0–2 мм) и 17,0±1,0 (2–6 мм, p<0,05).

Выводы. Эндотелиальная фемто-кератопластика продемонстрировала высокую эффективность реабилитации пациентов с ПБК. Были получены сравнимые функциональные результаты в обеих исследуемых группах, однако применение «Фемто-Визум» сопровождалось лучшей сохранностью эндотелиального слоя трансплантата роговицы в срок до 12 мес. послеоперационного периода

Ключевые слова: псевдофакичная буллезная кератопатия, фемтосекундный лазер, задняя послойная кератопластика, ультратонкий трансплантат, эндотелий. ■

Авторы не имеют финансовых или имущественных интересов в упомянутых материале и методах.

Офтальмохирургия. 2020;4: 36–42.

ABSTRACT

Results of posterior lamellar femto-keratoplasty using two different lasers

B.E. Malyugin^{1,2}, A.N. Pashtaev¹, N.F. Shilova¹, K.N. Kuzmichev¹, K.I. Katmakov³

¹S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Moscow;

²A. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry;

³S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Cheboksary branch

Purpose. To evaluate the results of treatment of patients with pseudophakic bullous keratopathy (PBK) by the method of posterior

lamellar femto-keratoplasty with ultrathin graft (FS-DSEK) harvested using two different lasers.



Material and methods. The results of surgical treatment of 82 patients (82 eyes) underwent posterior lamellar femto-keratoplasty for PBK were analyzed.

In the 1st group included 43 patients (43 eyes) with PBK underwent FS-DSEK using FS laser Femto-Visum (Optosystems, Russia). In the 2nd group included 39 patients (39 eyes) with PBK underwent FS-DSEK using LDV Z8 (Ziemer, Switzerland). Observation period was 1 year.

Before and after surgery following indicators were evaluated: uncorrected visual acuity (UCVA), best spectacle corrected visual acuity (BSCVA), postoperative astigmatism, central corneal thickness (CCT), graft thickness, center-periphery (C:P) ratio, endothelial cell density (ECD), endothelial cell (EC) loss, optical density.

Results. Transparent engraftment at 1-year observation period was observed in 88% of cases. In the 1st group UCVA=0.22±0.11, BSCVA=0.32±0.12, in the 2nd group UCVA=0.18±0.08, BSCVA=0.29±0.1 (p>0.05). The maximum BSCVA in both groups was 0.6. Postoperative astigmatism was comparative in 2nd groups – 1.43±1.1 and 1.38±1.0 D, respectively (p>0.05). In the 1st group, CCT=549±31, graft thickness in the central zone – 83±12, C:P ratio – 0.92±0.05; in the 2nd group

CCT=546±28, graft thickness – 80±10, C:P ratio – 0.94±0.06 (p>0.05). In the 1st group ECD – 1326±282, EC loss – 55±6%; ECD in the 2nd – 850±230, EC loss – 70±7% (p<0.05).

According to the results of densitometry, optical density of the posterior layers of the cornea and «donor-recipient» interface zone was higher in the 2nd group, both in the central and in the paracentral zones: in the 1st group in the posterior layers of the stroma – 16.4±1.2 (0–2 mm) and 15.8±1.0 (2–6 mm), in the interface zone – 14.5±0.9 (0–2) and 13.9±0.8 (2–6), in the 2nd group in the posterior layers – 18.3±1.3 (0–2 mm) and 17.9±1.1 (2–6 mm), and in the interface zone – 17.3±1.2 (0–2 mm) and 17.0±1.0 (2–6 mm, p<0.05).

Conclusions. FS-DSEK showed high efficiency for treating patients with PBK. Functional results were comparative in 2nd groups. Statistical analysis showed highest safety of transplanted endothelium in the 1st group at 1-year observation period.

Key words: *pseudophakic bullous keratopathy, femtosecond laser, posterior lamellar keratoplasty, corneal endothelium ultrathin graft.* ■

No author has a financial or proprietary interest in any material or method mentioned.

Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery. 2020;4: 36–42.

АКТУАЛЬНОСТЬ

Псевдофакичная буллезная кератопатия (ПБК) занимает одну из лидирующих позиций среди показаний к кератопластике. В последние 1,5 десятилетия основным методом лечения данной категории пациентов является задняя послойная кератопластика (ЗПК), которую в литературе также называют эндотелиальной кератопластикой [1]. Важнейшим этапом развития данной технологии стало применение автоматизированного метода заготовки трансплантата задних слоев роговицы с использованием микрокератома [2].

На следующем витке развития технологии ЗПК исследователи стали изучать возможности фемтосекундного лазера (ФСЛ) по выкраиванию донорского трансплантата. Первые результаты отработки данной методики были опубликованы В. Seitz и соавт. в 2003 г. [3]. Однако клинические результаты лечения пациентов методом задней послойной фемто-кератопластики (Ф-ЗПК), опубликованные в 2007 г. Y. Cheng и соавт., были относительно скромны-

ми, скорректированная острота зрения (КОЗ) не превысила 0,4 [4].

Следует отметить, что сначала выкраивание трансплантата проводили со стороны передней (эпителиальной) поверхности роговицы. Применение ФСЛ для заготовки донорского материала со стороны эндотелия позволило получить равномерный ультратонкий трансплантат, добиться лучшего биологического эффекта операции и повысить функциональные результаты [5–8]. Выбор оптимальных параметров лазерного излучения также, как и оценка конструктивных решений различных лазерных систем, представляет актуальную задачу современной офтальмохирургии и требует углубленного изучения [9–11].

ЦЕЛЬ

Оценить результаты лечения пациентов с ПБК методом Ф-ЗПК с применением ультратонкого донорского роговичного трансплантата, заготовленного с эндотелиальной стороны роговицы при помощи двух различных лазерных систем, использующих низкие значения

энергии импульса (0,1–0,6 мкДж) и высокую их частоту (1–5 МГц).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследование является рандомизированным, проспективным с параллельным контролем. Оно основано на анализе результатов обследования и хирургического лечения 82 пациентов (82 глаза), которым была проведена Ф-ЗПК по поводу ПБК.

Критерием включения пациентов в исследование являлось наличие верифицированного диагноза ПБК в развитой или далеко зашедшей стадии. Критериями исключения являлись: отказ от участия в исследовании, выраженные фиброзные изменения в строме роговицы, глаукома терминальной стадии, амблиопия высокой степени, рубцовая форма возрастной макулярной дегенерации (ВМД), макулярный отек, неоперабельная отслойка сетчатки, тя-

Для корреспонденции:

Паштаев Алексей Николаевич,
к.м.н., научный сотрудник
ORCID ID: 0000-0003-2305-1401
E-mail: PashtaevMD@gmail.com

желое соматическое состояние пациента, не позволяющее провести хирургическое лечение.

В ходе исследования использовали две фемтолазерные системы – LDV Z8 (Ziemer, Швейцария) и «Фемто-Визум» («Оптосистемы», РФ).

«Фемто-Визум» – первый стационарный ФСЛ российского производства. Он основан на волоконной оптике и имеет длину волны 1030–1040 нм и частоту 1 МГц. Нами использованы следующие настройки для формирования плоскостного реза роговицы: энергия импульса – 0,6 мкДж, расстояние между точками – 5,0 мкм, между рядами – 5,0 мкм, растровый паттерн сканирования. Диаметр трансплантата задавали равным 8,0 мм, толщину – 130 мкм, время выкраивания трансплантата составляло 20 с. Апланацию интерфейса лазера к трансплантату производили с помощью электрического сервопривода операционного стола.

LDV Z8 является мобильной лазерной системой с оригинальным апланационным интерфейсом, подключенным к основному блоку с помощью шарнирного штатива. Данный лазер имеет длину волны 1020–1060 нм и частоту более 5 МГц. Настройки для формирования горизонтального среза роговицы были следующими: энергия импульса – 0,1 мкДж, расстояние между точками – 1,0 мкм, между рядами – 1,0 мкм, растровый паттерн сканирования. Диаметр трансплантата выбирали равным 8,0 мм, толщину – 130 мкм, время работы лазера при выкраивании составляло 90 с. Апланация интерфейса лазера к трансплантату производится с помощью мануального механического привода при установке глаза в искусственную переднюю камеру глаза (Ziemer, Швейцария).

В 1-ю группу вошли пациенты с ПБК, которым была выполнена Ф-ЗПК с применением трансплантата, заготовленного с эндотелиальной поверхности роговицы при помощи ФСЛ «Фемто-Визум». В нее были включены 43 пациента (43 глаза), возраст пациентов составил

72±12 лет (М±σ), из них мужского пола – 22 (51%), женского – 21 (49%).

Во 2-ю группу были включены пациенты с ПБК, которым провели Ф-ЗПК с применением ультратонкого трансплантата, заготовленного с эндотелиальной поверхности роговицы при помощи ФСЛ LDV Z8. В эту группу вошли 39 пациентов (39 глаз), возраст которых составил 71±10 лет (М±σ), из них мужского пола 17 (51%), женского – 22 (49%).

Всем пациентам до операции и в динамике послеоперационного периода проводили комплексное обследование. Подсчет плотности эндотелиальных клеток (ПЭК) выполняли с помощью эндотелиального микроскопа Tomey EM-3000 (Япония). Исследование толщины роговицы и трансплантата выполняли методом оптической когерентной томографии (ОКТ) на приборах Visante (Carl Zeiss, Германия) и Ortopvue (США). Денситометрию роговицы проводили с помощью прибора Pentacam HR (Oculus, Германия). Срок наблюдения за пациентами составил 1 год.

При дооперационном обследовании пациентов была выявлена разнообразная сопутствующая патология: миопия и гиперметропия различной степени, открытоугольная глаукома, компенсированная медикаментозно или при помощи антиглаукомных вмешательств, ретрокорнеальная мембрана, дисфункция эндотелия после ранее выполненной эндотелиальной или сквозной кератопластики, афакия, астигматизм (различными видами интраокулярной линзы (ИОЛ) – зрачковой, переднекамерной (ПК)), наличием иридохрусталиковой диафрагмы (ИХД), авитрии, ВМД «сухой» формы.

Достоверность различий между независимыми данными оценивали с помощью t-критерия Стьюдента. Оценку различий между зависимыми (динамическими) данными проводили по t-критерию Стьюдента для зависимых данных. Для оценки различий между относительными величинами, использовали кри-

терий Хи-квадрат. Коэффициент достоверности во всех случаях обозначали знаком p, при этом p<0,05 считали статистически значимым.

Техника операции

Наиболее благоприятным вариантом для выполнения последующих этапов хирургии является наличие неосложненной артифакции, при которой ИОЛ располагается внутри капсульного мешка в правильном положении. При наличии у пациента афакии выполняли имплантацию 3-частной гидрофобной заднекамерной ИОЛ с ее шовной фиксацией к радужной оболочке глаза. Если у пациента обнаруживали ПК ИОЛ или ИОЛ со зрачковой фиксацией, выполняли ее замену на заднекамерную модель линзы. При выявлении дислокации либо децентрации ИОЛ проводили ее шовную фиксацию к радужке.

Выполнение десцеметорексиса диаметром 8 мм проводили с помощью обратно загнутого крючка типа Сински при заполнении передней камеры глаза пациента когезивным вискоэластиком (1% раствор гиалуроната натрия). Формировали базальную колобому радужки на 6 часах при помощи микрокрючка и изогнутой одноразовой иглы калибра 27G. Трансплантацию осуществляли через 4,5-миллиметровый роговичный лимбальный или корнеосклеральный темпоральный туннельный разрез с помощью модифицированного глайда типа Бузина (рис. 1 а, б) при постоянной подаче ирригационного раствора в переднюю камеру глаза через парацентез. После введения трансплантата в переднюю камеру операционный разрез герметизировали 2 узловыми швами (нейлон 10-0), после чего камеру заполняли пузырьком стерильного воздуха. В случае необходимости осуществляли центрацию трансплантата путем компрессии на внешнюю поверхность роговицы. Операцию завершали инъекцией дексаметазона (0,4% – 0,5 мл) под конъюнктиву глаза реципиента, инстилляцией раствора антибиотика (моксифлок-

сацин 0,5%) и наложением асептической монокулярной повязки.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Во всех случаях отделение заготавливаемого трансплантата от подлежащей стромы удалось провести без его перфорации и выбраковки.

Послеоперационный период протекал адекватно. Пациенты получали стандартную терапию, включающую инстилляцию антибиотика, гипотензивного и стероидного препаратов, кератопротекторных капель и гелей, а также субконъюнктивальные инъекции глюкокортикостероидов (в количестве 3–5 в раннем периоде после операции).

Благодаря интраоперационному формированию базальной коллоидной радужки, зрачкового блока в представленном исследовании не наблюдали. Также не отмечали дислокаций трансплантата в послеоперационном периоде. Необходимости в повторном введении воздуха или газозооной смеси в переднюю камеру для лечения центральной или периферической отслойки трансплантата не выявляли.

Периферическую отслойку трансплантата отмечали у 2 пациентов (по 1 в каждой группе). В обоих случаях наблюдали положительную динамику с достижением самостоятельной полной его адгезии, без дополнительных манипуляций. Гифему диагностировали в 2 случаях (по 1 в каждой группе) – у пациентов, которым проведена замена зрачковой ИОЛ с пластикой радужки. Эпителизацию наблюдали на $8 \pm 3,2$ сут. после операции.

Первичную недостаточность трансплантата диагностировали в 10 случаях: 4 – в 1-й группе, 6 – во 2-й ($p > 0,05$), из них 3 было ассоциировано с имплантированной ранее ИХД, 5 – с оперированной глаукомой, 1 – с заменой зрачковой ИОЛ и пластикой радужки. Всем пациентам была выполнена ре-кератопластика (ЗПК) в различные сроки послеоперационного периода.

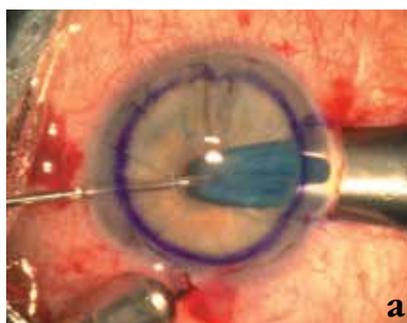


Рис. 1. Трансплантация через корнеосклеральный доступ размером 4,5 мм у пациента с ПБК после РКТ (а); Трансплантат расправлен и центрирован (б)

Fig. 1. Transplantation through a 4.5 mm corneo-scleral incision in a patient with PBK (a); The graft is unfolded and centered (б)

Прозрачное приживление через 3 мес. после операции подтвердили у 91% пациентов в 1-й группе и 85% – во 2-й ($p > 0,05$). Роговичные швы удаляли на том же сроке.

Через 1 год после операции роговица реципиента и трансплантат сохраняли прозрачность (рис. 2). В послеоперационном периоде выявлено увеличение показателей некорригированной остроты зрения (НКОЗ) и КОЗ в обеих группах наблюдения по сравнению с дооперационными значениями ($p < 0,05$). В 1-й группе – НКОЗ= $0,22 \pm 0,11$, КОЗ= $0,32 \pm 0,12$, во 2-й – НКОЗ= $0,18 \pm 0,08$, КОЗ= $0,29 \pm 0,1$. Статистический анализ не выявил достоверных различий между группами ($p > 0,05$). Максимальная КОЗ, которой удалось достичь у пациентов с ПБК в обеих группах, составила 0,6. Такой показатель получили по 3 пациента в каждой группе.

На сроке наблюдения 1 год в 1-й и 2-й группах послеоперационный астигматизм был равен $1,43 \pm 1,1$ и $1,38 \pm 1,0$ дптр соответственно ($p > 0,05$).

Через 1 год после операции наблюдали адгезию трансплантата по всей площади и равномерную эпителизацию. Отек стромы не определяли (рис. 3). Пахиметрическая карта реципиента соответствовала показателям здоровой роговицы. В 1-й группе центральная толщина роговицы (ЦТР) составила 549 ± 31 мкм, толщина трансплантата в центральной зоне – 83 ± 12 мкм, индекс



Рис. 2. Вид глаза на сроке 1 год после Ф-ЗПК с применением ФСЛ «Фемто-Визум». Роговица прозрачна

Fig. 2. View of the eye for 1 year after FS-DSEK using FS laser Femto-Visum. The cornea is clear

центр–периферия (Ц:П) – $0,92 \pm 0,05$; во 2-й – ЦТР= 546 ± 28 мкм, толщина трансплантата – 80 ± 10 мкм, индекс Ц:П= $0,94 \pm 0,06$ ($p > 0,05$).

В динамике послеоперационного периода у пациентов фиксировали постепенное снижение ПЭК. На сроке 1 год после операции в 1-й группе ПЭК= $1\,326 \pm 282$ кл/мм², потеря эндотелиальных клеток (ЭК) – $55 \pm 6\%$; во 2-й группе ПЭК= 850 ± 230 кл/мм², потеря ЭК – $70 \pm 7\%$. При проведении статистического анализа были выявлены достоверные различия между 1-й и 2-й группами. Во всех случаях ПЭК была выше, а потеря ЭК ниже в 1-й группе ($p < 0,05$).

Динамика показателей общей денситометрии (ОД) в центральной (0–2 мм) и парацентральной (2–6 мм) зонах отражена в таблице 1. Через 1 год после операции на-

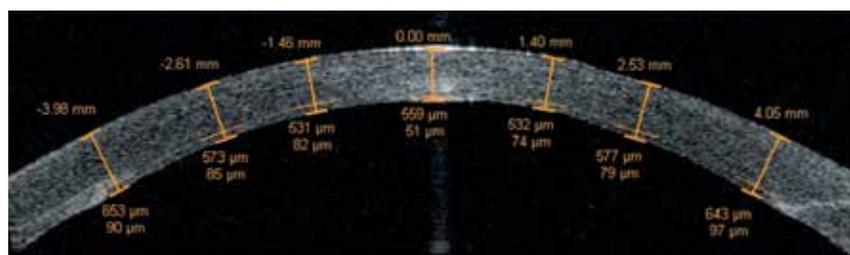


Рис. 3. ОКТ на сроке 1 год после операции с применением ФСЛ «Фемто-Визум». Трансплантат полностью адаптирован к задней поверхности роговицы реципиента. Толщина в центральной зоне 51 мкм

Fig. 3. OCT for a period of 1 year after surgery using FS laser Femto-Visum. The graft is fully adapted to the posterior surface of the recipient's cornea. The thickness in the central zone is 51 μm

блюдали снижение показателей ОД роговицы как в центральной, так и в парацентральной зоне, по сравнению со сроком наблюдения 3 мес. ($p < 0,05$). При этом статистически достоверных различий между показателями ОД в 1-й и 2-й группах обнаружить не удалось ($p > 0,05$). Данные представлены в *таблице 2*.

Анализ значений оптической плотности различных слоев роговицы на сроке наблюдения 1 год выявил достоверные различия между значениями денситометрии задних слоев роговицы (ДЗС) и в центральной, и в парацентральной зонах ($p < 0,05$). Для более детальной оценки выраженности изменений

в зоне интерфейса «донор–реципиент» была изучена оптическая плотности этой области в зонах 0–2 и 2–6 мм на том же сроке наблюдения. Статистическая обработка данных продемонстрировала наличие достоверных различий между 1-й и 2-й группами ($p < 0,05$). Данные отражены в *таблице 2*.

ОБСУЖДЕНИЕ

Достигнутые нами клинические результаты использования фемтолазер-ассистированной ЗПК в части достижения средней и максимальной КОЗ, ЦТР, толщины и фор-

мы трансплантата в целом соответствуют опубликованным ранее данным [6, 12, 13]. Следует подчеркнуть, что в силу наличия сопутствующей патологии глазного яблока, в частности деградации коллагенового остова роговицы вследствие длительно персистирующего отека, а также фибропластических изменений субэпителиальных ее слоев, у пациентов с ПБК крайне редко достижима острота зрения выше 0,6, несмотря на прозрачное приживление трансплантата [5, 14].

Потеря ЭК в обеих группах (55 и 70% соответственно) были выше, чем при выполнении автоматизированной ЗПК, основанной на заготовке трансплантата при помощи микрокератома. По данным литературы, данная величина составляет порядка 38% [15]. Наиболее очевидными причинами повышенной потери ЭК при использовании ФСЛ представляются следующие: наличие механической травмы при непосредственном контакте жесткого полимерного интерфейса лазера с эндотелием, воздействие лазерной энергии, а также интенсивность манипуляций по отделению трансплантата от подлежащих слоев стромы. Последнее напрямую взаимосвязано с энергетическими параметрами

Таблица 1

Динамика показателей общей оптической плотности роговицы (ОД) в центральной и парацентральной зонах у пациентов с ПБК на сроке наблюдения 12 месяцев, усл. ед. ($M \pm \sigma$)

Table 1

Dynamics of indicators of the total optical density of the cornea (OD) in the central and paracentral zones in patients with PBK at a follow-up period of 12 months, conv. units ($M \pm \sigma$)

Группа	3 мес. 3 months		12 мес. 12 months	
	0–2 мм 0–2 mm	2–6 мм 2–6 mm	0–2 мм 0–2 mm	2–6 мм 2–6 mm
1-я группа Group 1	25,1 \pm 3,8	24,3 \pm 3,6	17,7 \pm 2,9	17,5 \pm 3,0
2-я группа Group 2	24,1 \pm 3,9	25,5 \pm 3,5	18,4 \pm 2,8	18,1 \pm 2,7
p	p>0,05		p>0,05	

Таблица 2

Сравнительный анализ показателей денситометрии различных слоев роговицы в центральной и парацентральной зонах в группах пациентов с ПБК на сроке наблюдения 12 месяцев, усл. ед. (M±σ)

Table 2

Comparative analysis of densitometry indices of various layers of the cornea in the central and paracentral zones in groups of patients with PBK at a follow-up period of 12 months, conv. units (M±σ)

Группа	Передний слой Front layer		Центральный слой Center layer		Задний слой Back layer		Интерфейс Interface	
	0-2 мм 0-2 mm	2-6 мм 2-6 mm	0-2 мм 0-2 mm	2-6 мм 2-6 mm	0-2 мм 0-2 mm	2-6 мм 2-6 mm	0-2 мм 0-2 mm	2-6 мм 2-6 mm
1-я группа Group 1 (n=40)	27,0±2,8	25,6±2,2	16,7±1,9	16,2±1,8	16,4±1,2	15,8±1,0	14,5±0,9	13,9±0,8
2-я группа Group 2 (n=32)	26,1±2,5	24,3±2,9	17,1±2,8	16,2±2,1	18,3±1,3	17,9±1,1	17,3±1,2	17,0±1,0
p	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05

лазера и наличием остаточных непросеченных «мостиков» между поверхностными и глубокими слоями роговицы.

A. Bernard и соавт. в своем опыте продемонстрировали, что выкраивание трансплантата при помощи установки LDV Z6 (Ziemer, Швейцария) с эндотелиальной стороны донорской роговицы позволяет достичь более качественной и равномерной поверхности, по сравнению с заготовкой со стороны эпителия, однако прямой контакт лазерного интерфейса с эндотелием увеличивает потерю ЭК на 30% [6]. В другой работе, изучившей механическое и энергетическое воздействие ФСЛ «Фемто-Визум» на донорский эндотелий с помощью витальных красителей, не было выявлено значимых различий в потере ЭК между инвертной заготовкой трансплантата (подразумевающей влияние лазерного излучения при формировании плоскостного рассеяния стромы в сочетании с механическим воздействием апланированного интерфейса) и изолированной апланацией лазерного интерфейса на то же время [11]. Представленные данные свидетельствуют о значимости механического компонента в травматизации эндотелиального слоя трансплантата при применении ФСЛ.

Достоверная разница в показателях ПЭК и потери ЭК между двумя исследуемыми группами может быть следствием ряда технических особенностей двух лазерных систем. При применении LDV Z8 хирург вручную устанавливает головку лазера, соединяя ее с держателем донорской роговицы. Это не позволяет минимизировать движение по осям «x» и «y» во время апланации лазерного интерфейса к эндотелиальной поверхности донорской роговицы. При этом этап докинга «Фемто-Визум» производят с помощью электрического сервопривода. Скорее всего, такое техническое решение позволяет минимизировать нежелательные движения и способствует сохранности эндотелиального слоя [10, 11]. Возможным решением проблемы может служить использование слоя вискоэластика для защиты ЭК при контакте с головкой ФСЛ [7, 16]. Следует подчеркнуть, что выбор наиболее подходящего вискоэластика, так же как оптимизация методов апланации, уровней лазерной энергии и ряд других технических решений, требует дальнейшего изучения и оптимизации.

Другой возможной причиной большей потери ЭК во 2-й группе может являться разница энергетических параметров двух лазерных си-

стем при формировании горизонтального среза. Несмотря на низкую энергию импульса в 0,1 мкДж, LDV Z8 имеет более высокое значение плотности энергии на площадь поверхности роговицы, чем ФСЛ «Фемто-Визум», примененный с энергией импульса 0,6 мкДж. Эта разница связана с различным расстоянием между импульсами и рядами, которое составляет 5/5 мкм для ФСЛ «Фемто-Визум» и 1/1 мкм для ФСЛ LDV Z8. Плотность энергии можно рассчитать по формуле:

$$W = E \times \frac{1000000}{a \times b},$$

где:

W – плотность энергии на площадь поверхности, мкДж/мм²;

E – энергия импульса, мкДж;

a – расстояние между импульсами, мкм;

b – расстояние между рядами, мкм;

1 000 000 – количество мкм² в 1 мм².

Таким образом, плотность энергии на площадь поверхности плоскостного среза роговицы для ФСЛ «Фемто-Визум» составляет 24 000 мкДж/мм², или 24 Дж/мм², а для ФСЛ LDV Z8 – 100 000 мкДж/мм², или 100 Дж/мм². Влияние плотности энергии на ткань роговицы соотносится с опубликованными ранее данными о пролиферативном

ответе кератоцитов и формировании помутнения («хейза») в зоне интерфейса «донор–реципиент» после ЗПК [8, 14]. Полученные нами результаты ОД зоны интерфейса «донор–реципиент», которые были выше во 2-й группе, являются, с нашей точки зрения, одним из факторов, подтверждающих данное предположение.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Метод реабилитации больных с ПБК на основе ЗПК с использованием донорского роговичного трансплантата, заготовленного с эндотелиальной поверхности роговицы при помощи двух видов лазеров, работающих на высоких частотах, продемонстрировал высокую эффективность на сроке наблюдения до 1 года после операции. Исследование выявило ряд особенностей техники формирования ультратонкого трансплантата с эндотелиальной стороны. В частности: отсутствие риска перфорации роговицы, прогнозируемую толщину и форму линтики. Однако повышенная потеря ЭК в исследуемых группах является основанием для поиска эффективных путей защиты эндотелиального слоя роговицы при проведении оперативных вмешательств данного типа.

ЛИТЕРАТУРА

- Guerra FP, Anshu A, Price MO, Price FW. Endothelial keratoplasty: Fellow eyes comparison of Descemet stripping automated endothelial keratoplasty and Descemet membrane endothelial keratoplasty. *Cornea*. 2011;30: 1382–1386. doi: 10.1097/ICO.0b013e31821ddd25
- Gorovoy MS. Descemet-stripping automated endothelial keratoplasty. *Cornea*. 2006;8: 886–889. doi: 10.1097/01.icco.0000214224.90743.01
- Seitz B, Langenbucher A, Hofmann-Rummelt C. Nonmechanical posterior lamellar keratoplasty using the femtosecond laser (femto-PLAK) for corneal endothelial decompensation. *Am J Ophthalmol*. 2003;136: 769–772. doi: 10.1016/s0002-9394(03)00449-5
- Cheng YY, Pels E, Nuijts RM. Femtosecond laser assisted Descemet's stripping endothelial keratoplasty. *J Cataract Refract Surg*. 2007;33(1): 152–155. doi: 10.1016/j.jcrs.2006.07.044
- Погорелова С.С., Ченцова Е.В., Грдиканян А.А., Милаш С.В., Оганесян О.Г. Анализ плотности эндотелиальных клеток в среднесрочный период наблюдения после эндотелиальной кератопластики с формированием трансплантата фемтосекундным лазером со стороны эндотелия. *Российский медицинский журнал*. 2016;22(1): 10–13. [Pogorelova SS, Chentsova EV, Grdikanyan AA, Milash SV, Oganesyanyan OG. The analysis of density of endothelium cells in medium-term period of observation after endothelium keratoplasty with formation of transplant using femtosecond laser from the side of endothelium. *Rossiiskii meditsinskii zhurnal*. 2016;22(1): 10–13. (In Russ.)] doi: 10.18821/0869-2106-2016-22-1-10-13
- Bernard A, He Z, Gauthier AS, Trone MC, Baubeau E, Forest F, et al. Femtosecond Laser Cutting of Endothelial Grafts. *Cornea*. 2015;34(2): 209–217. doi:10.1097/ico.0000000000000314
- Sikder S, Snyder RW. Femtosecond laser preparation of donor tissue from the endothelial side. *Cornea*. 2006;25(4): 416–422. doi: 10.1097/01.icco.0000195948.86071.98
- Hjortdal J, Nielsen E, Vestergaard A, Søndergaard A. Inverse cutting of posterior lamellar corneal grafts by a femtosecond laser. *Open Ophthalmol*. 2012;6: 19–22. doi: 10.2174/1874364101206010019
- Малюгин Б.Э., Шилова Н.Ф., Антонова О.П., Анисимова Н.С., Шормаз И.Н. Сравнительный анализ клинико-функциональных результатов задней послойной кератопластики с использованием фемтосекундного лазера и микрокератома. *Офтальмохирургия*. 2019;1: 20–26. [Malyugin BE, Shilova NF, Antonova OP, Anisimova NS, Shormaz IN. Clinical and functional results following femtosecond laser-assisted DSEK versus microkeratome-assisted DSAEK surgeries. A comparative study. *Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery*. 2019;1: 20–26. (In Russ.)] doi: 10.25276/0235-4160-2019-1-20-26
- Комарова О.Ю., Лапшин К.Э., Бурдель К.В., Шацких А.В., Зимина М.В., Пахтаев А.Н., Новиков С.В., Вартапетов С.К., Измайлова С.Б. Инновационные технологии в хирургии роговицы глаза в эксперименте ex vivo. *Современные технологии в медицине*. 2018;10(4): 84–93. [Komarova OYu, Lapshin KE, Burdel KV, Shatskikh AV, Zimina MV, Pashtaev AN, Novikov SV, Vartapetov SK, Izmailova SB. Innovative technologies in experimental corneal surgery ex vivo. *Sovremennye tehnologii v medicine* 2018;10(4): 84–93 (In Russ.)] doi: 10.17691/stm2018.10.4.10
- Шипунов А.А., Поздеева Н.А., Пахтаев А.Н., Мухина И.В., Коротченко С.А., Николаев И.А. Экспериментальное обоснование заготовки ультратонкого трансплантата для задней послойной кератопластики со стороны эндотелия роговицы с помощью фемтосекундного лазера «Визум». *Современные технологии в офтальмологии*. 2018;3: 40–44. [Shipunov AA, Pozdeyeva NA, Pashtaev AN, Mukhina IV, Korotchenko SA, Nikolaev IA. Eksperimental'noye obosnovaniye zagotovki ul'tratonkogo transplantata dlya zadney posloynnoy keratoplastiki so storony endoteliya rogovitsy s pomoshch'yu rossiyskogo femtosekundnogo lazera «Vizum». *Sovremennyye tekhnologii v oftal'mologii*. 2018;3: 40–44. (In Russ.)]
- Пахтаев А.Н., Пахтаев Н.П., Малюгин Б.Э., Поздеева Н.А., Елаков Ю.Н., Катмаков К.И. Клинические результаты задней послойной фемтокератопластики при эндотелиальной дистрофии роговицы. *Вестник офтальмологии*. 2020;136(3): 25–31. [Pashtaev AN, Pashtaev NP, Malyugin BE, Pozdeyeva NA, Elakov UN, Katmakov KI. Clinical results of posterior lamellar femto-keratoplasty in patients with corneal endothelial dystrophies. *Vestnik Oftalmologii*. (In Russ.)] doi: 10.17116/oftalma202013603125
- Shilova NF, Livny E, Anisimova NS, Antonova OP, Malyugin BE. Refractive outcomes following cataract combined with lamellar keratoplasty: femtosecond-DSEK versus microkeratome-DSEK. *Int Ophthalmol*. 2020. doi: 10.1007/s10792-020-01619-7
- Baratz KH, McLaren JW, Maguire LJ, Patel SV. Corneal haze determined by confocal microscopy 2 years after descemet stripping with endothelial keratoplasty for fuchs corneal dystrophy. *Arch Ophthalmol*. 2012;130: 868–874. doi: 10.1001/archophthalmol.2012.73
- Price MO, Gorovoy M, Benetz BA, Price FW, Menegay HJ, Debanne SM, Lass JH. Descemet's stripping automated endothelial keratoplasty outcomes compared with penetrating keratoplasty from the cornea donor study. *Ophthalmology*. 2010;117(3): 438–444. doi: 10.1016/j.ophtha.2009.07.036
- Liu YC, Teo EP, Adnan KB, Yam GH, Peh GS, Tan DT, Mehta JS. Endothelial approach ultrathin corneal grafts prepared by femtosecond laser for Descemet stripping endothelial keratoplasty. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2014;55(12): 8393–8401. doi: 10.1167/iovs.14-15080

Поступила 26.10.2020

«Российская офтальмология онлайн» – Ваш информационный партнер!



- ✓ Электронные журналы
- ✓ Электронные сборники
- ✓ Видеосборники
- ✓ Online-трансляции конференций

В базе данных более 20 000 статей по офтальмологии