

<https://doi.org/10.21516/2072-0076-2021-14-4-130-136>



Кератопластика при кератоконусе: преимущества и недостатки

М.М. Бикбов, Э.Л. Усубов✉, А.Ф. Зайнетдинов

ГБУ «Уфимский НИИ глазных болезней АН Республики Башкортостан», ул. Пушкина, д. 90, Уфа, 450077, Россия

Кератоконус — прогрессирующая двусторонняя эктазия роговицы, сопровождающаяся потерей зрения из-за высокого нерегулярного астигматизма, что является ведущим показанием для трансплантации роговицы. В обзоре представлены имеющиеся на сегодняшний день в арсенале хирургов различные методики трансплантации роговицы при кератоконусе, проанализированы их преимущества и недостатки.

Ключевые слова: кератоконус; глубокая передняя послойная кератопластика; сквозная кератопластика; пересадка роговицы; отторжение трансплантата

Конфликт интересов: отсутствует.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Для цитирования: Бикбов М.М., Усубов Э.Л., Зайнетдинов А.Ф. Кератопластика при кератоконусе: преимущества и недостатки. Российский офтальмологический журнал. 2021; 14 (4): 130-6. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2021-14-4-130-136>

Keratoplasty for keratoconus: advantages and disadvantages

Mukharram M. Bikbov, Emin L. Usubov✉, Artur F. Zaynetdinov

Ufa Eye Research Institute, 90, Pushkin St., Ufa, 450077, Bashkortostan, Russia
emines.us@inbox.ru

Keratoconus is a progressive bilateral corneal ectasia, accompanied by loss of vision due to high irregular astigmatism, which is the leading indication for corneal transplantation. The review presents a variety of surgical corneal transplantation techniques for keratoconus available today and discussed their advantages and disadvantages.

Keywords: keratoconus; deep anterior lamellar keratoplasty; penetrating keratoplasty; corneal transplant; graft rejection

Conflict of interests: there is no conflict of interests.

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

For citation: Bikbov M.M., Usubov E.L., Zaynetdinov A.F. Keratoplasty for keratoconus: advantages and disadvantages. Russian ophthalmological journal. 2021; 14 (4): 130-6 (In Russian). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2021-14-4-130-136>

В данном обзоре представлены современные методы лечения терминальных стадий кератоконуса, которые существенно изменились в последние десятилетия.

Кератоконус (КК) — невоспалительное заболевание, характеризующееся прогрессирующим истончением, выпячиванием и деформацией роговицы, которое может привести к нерегулярному астигматизму и последующему

снижению остроты зрения [1, 2]. Заболевание обычно начинается в период полового созревания и прогрессирует до 30 лет. Согласно данным литературы, распространенность КК значительно варьирует: от 8,8 до 54,4 случая на 100 000 населения, заболевание затрагивает как мужчин, так и женщин. Потеря зрения происходит в первую очередь в связи с развитием нерегулярного астигматизма и

близорукости, а также рубцеванием роговицы. В конечном итоге около 12–20 % людей трудоспособного возраста нуждаются в трансплантации роговицы [3, 4].

Кератопластика — это термин, включающий в себя хирургические процедуры, выполняемые на роговице, в том числе нетрансплантационные. В данном обзоре литературы речь пойдет о трансплантационных методах кератопластики. Но необходимо отметить такие известные нетрансплантационные методики, как фемтолазерная рефракционная аутокератопластика (ФРАК) и интерламеллярная кератопластика.

ФРАК — это хирургическое ремоделирование конически измененной роговицы посредством глубокой двухэтапной непроникающей резекции стромы роговицы с последующим ушиванием роговичной раны, предложенное Г.В. Ситник и соавт. [5]. Таким образом, при применении данного метода производят восстановление более физиологичного профиля и оптических свойств с помощью собственной роговицы. Несомненными преимуществами этой методики является отсутствие необходимости в донорской роговице, непроникающий характер операции и, следовательно, отсутствие риска развития иммунного конфликта [5–7].

Интрастромальная кератопластика состоит в интерламеллярной имплантации различных биосовместимых материалов для уплощения деформированной при КК роговицы. В далеко зашедших случаях производят также имплантацию стромального донорского трансплантата в области истонченного участка роговицы, препятствующего процессу дальнейшей кератэктазии. Метод разработан В.Р. Мамиконяном и соавт. в 2014 г. Его преимуществом является малоинвазивность, безопасность, а также возможность предотвращения применения в дальнейшем радикальных видов кератопластики [8–10].

До недавнего времени единственным методом хирургического лечения КК являлась сквозная кератопластика (СКП), и сейчас этот метод наиболее распространен при далеко зашедших стадиях заболевания, а также при низкой плотности эндотелиальных клеток роговицы реципиента, после перенесенного острого КК и при наличии рубца, затрагивающего глубокие слои роговицы [11, 12].

Выполнение кератопластики при КК имеет ряд своих особенностей, а выбор той или иной методики требует соблюдения определенных постулатов. В случаях, когда отсутствует явная эндотелиальная недостаточность, глубокие стромальные рубцы, затрагивающие десцеметову мембрану (ДМ), и когда рубец не находится в оптической зоне роговицы, можно применять послойные методы. Тем не менее возможны разрывы ДМ в области рубца (при использовании техники «большого пузыря»), и в таком случае операцию вынужденно переводят в СКП.

В целом методика СКП при КК мало отличается от техники, используемой при других заболеваниях, но необходимо учитывать тот момент, что область истончения роговицы должна быть полностью удалена во избежание развития рецидива заболевания [13]. Следовательно, степень истончения роговицы и ее границы должны быть определены перед операцией с помощью щелевой лампы, так как область конуса трудно распознать через операционный микроскоп. При далеко зашедших стадиях лучше определять границы по кольцу Флейшера, так как, ориентируясь только на данные кератотопографии роговицы, можно допустить погрешность в определении границы зоны истончения. Исходя из этих данных определяется размер ложа реципиента, обычно чуть больше диаметра зоны конуса роговицы. Однако в случаях большого размера трансплантата (8,5 мм и выше), частичной

его децентрации относительно оптической оси при сильном истончении роговицы, доходящей до перилимбальной зоны, риск отторжения трансплантата увеличивается, что необходимо учитывать в послеоперационном периоде [14]. Трансплантат, как правило, на 0,25 мм меньше в диаметре, чем ложе роговицы реципиента, для возможности уплощения роговицы при наложении швов, что позволяет уменьшить послеоперационную близорукость [15]. Однако в этом случае может потребоваться наложение дополнительных швов, а в отдаленном послеоперационном периоде могут возникнуть сложности в применении контактных линз, риск невозможности лазерной коррекции, а также получения менее предсказуемых результатов при дальнейшей интраокулярной коррекции [16].

J. Lanier и соавт. [17] показали, что передне-задняя осевая (ПЗО) длина глаза может быть важным фактором в возникновении рефракционной ошибки после СКП. ПЗО имеет достаточно большой разброс: от 18 до 27 мм. Уплотнение роговицы в относительно коротком глазу может привести к значительной послеоперационной гиперметропии, поэтому при ПЗО меньше 20,5 мм диаметр трансплантата должен быть равным диаметру ложа роговицы реципиента. С учетом вышесказанного уплощение донорской роговицы может обеспечить хороший визуальный результат пациентам с КК.

СКП следует рассматривать как радикальный и потенциально универсальный метод хирургического лечения КК, позволяющий получить достаточно хороший функциональный результат. Однако у СКП, наряду с главными недостатками, такими как «открытое небо» и неаутологичный эндотелий, есть еще один существенный недостаток — потеря эндотелиальных клеток, вследствие чего срок жизни трансплантата, по данным разных авторов, составляет 15–20 лет [18, 19]. Решением этой проблемы явилось внедрение в клиническую практику шадящего хирургического подхода — глубокой передней послойной кератопластики (DALK), при которой не подверженный патологическим изменениям эндотелиальный слой и ДМ роговицы реципиента остаются незатронутыми, а функциональный результат эквивалентен результатам СКП. В настоящее время метод DALK-хирурги для лечения КК стараются применять все чаще. Основное преимущество DALK перед СКП в долгосрочной перспективе — это непроникающий характер операции и отсутствие контакта трансплантата с внутриглазной жидкостью, что снижает выраженность иммунного ответа, риск эндотелиального отторжения трансплантата и вероятность внутриглазных осложнений.

Основной целью DALK при КК является сохранение глубоких слоев роговицы — ДМ и собственного эндотелиального слоя путем рассечения стромы как можно ближе к ДМ. Несмотря на все преимущества DALK, метод не является широко распространенным. Основным его недостатком является сложность самой процедуры, особенно рассечение стромальной ткани вплоть до ДМ, соответственно требуется больше времени на вмешательство и увеличивается время наркоза пациента.

Одной из основных проблем при DALK является интраоперационная перфорация ДМ. Риск этого осложнения возрастает при толщине роговицы менее 250 мкм, а также недостаточной опытности хирурга [20]. В зависимости от размера перфорации хирург может перейти на СКП, при микроперфорации возможно продолжение выполнения DALK, использование фибринового клея для закрытия разрыва [21]. Проблемой микроперфорации является возникновение двойной передней камеры и постоянный

послеоперационный отек роговицы. Встречаемость псевдо-передней камеры или двойной передней камеры — около 1 %. Это может произойти из-за просачивания влаги из передней камеры через микроперфорацию под трансплантат или из-за неполного удаления вискоэластика между трансплантатом и ДМ. Проблему можно решить дренированием влаги из-под трансплантата и введением воздуха в переднюю камеру, тогда как при небольшой псевдокамере процесс может разрешиться самостоятельно [22].

Перфорация ДМ остается достаточно распространенным осложнением при DALK. За последние годы было предложено много вариаций осуществления стандартной техники выполнения послойного рассечения и удаления поверхностных слоев роговицы. Например, рассечение может быть сделано алмазным ножом, нейлоновой проволокой, микрокератомом или фемтосекундным лазером [23, 24]. Для лучшей визуализации глубины рассечения используют трипановый синий, ультразвук или оптическую когерентную томографию (ОКТ) в реальном времени [25].

Основным способом отделения ДМ от глубоких слоев стромы является метод «большого пузыря», описанный А. Adayem, М. Anwar [26] в 2000 г., М. Anwar, К. Teichmann [27] в 2002 г., предполагающий отслоение ДМ с помощью воздуха. Остатки стромальной ткани над ДМ выкраиваются с помощью ножниц, что создает риски ее повреждения. Для исключения случайной перфорации ДМ в ряде случаев может использоваться вискоэластик. Отделенная ДМ имеет характерную гладкую поверхность [28].

Очень часто при планировании DALK хирург может ограничиться предесцеметической DALK (pdDALK), оставляя остаточную строму для снижения рисков интраоперационных осложнений в виде прорыва ДМ. В литературе кератопластику с неполной стромальной диссекцией и не полностью оголенной ДМ часто называют «предесцеметическая». Ввиду того, что методика выполнения этого этапа операции мануальная, интерфейс получается недостаточно ровным, и нередко возникает помутнение в месте контакта «строма — строма», что сказывается на функциональном результате. Каждый хирург выбирает для себя наиболее удобную технику, нет единого стандарта выполнения такой операции, и чаще всего хирургу приходится выделять ДМ вручную. Частота прорыва ДМ составляет, по данным разных авторов, от 0 до 50 %, что в большинстве случаев подразумевает переход на СКП [29–31].

В 1999 г. G. Melles и соавт. [32] представили метод визуализации толщины роговицы и глубины рассечения стромы во время операции путем создания оптического интерфейса в задней части роговицы за счет заполнения передней камеры воздухом. Разница в показателе преломления между воздухом и тканью роговицы создает характерный рефлекс, который используется для определения расстояния между инструментом и ДМ и оценки количества оставшейся стромы. Для облегчения рассечения ткани роговицы возможно также введение в стромальный карман вискоэластика.

В последнее десятилетие, благодаря появлению фемтосекундного лазера, одной из наиболее важных инноваций в области трансплантации роговицы, у хирурга появилась возможность послойной диссекции с высокой точностью. Фемтосекундная лазерная технология позволяет подготовить роговицу донора и реципиента без термического или механического повреждения окружающей ткани для всех видов кератопластики [12, 33]. Она позволяет достичь большей точности, чем обычные ручные методы трепанации и, следовательно, приводит к меньшей неровности горизонтального интерфейса, способствуя более быстрой и качественной визуальной реабилитации пациентов [34, 35].

Использование фемтосекундного лазера при DALK позволяет избежать мануальной трепанации передних слоев роговицы и выкроить роговицу на определенной глубине, близкой к эндотелию. Остаточную строму удаляют, впрыскивая воздух через иглу, введенную между ДМ и остаточной стромой, что приводит к образованию пузыря между этими слоями, обнажая ДМ и облегчая удаление остаточной стромы [36]. По данным С.К. Демьянченко и соавт. [37], применение фемтосекундного лазера при DALK способствует повышению частоты формирования «большого пузыря» по сравнению с традиционной DALK. Таким образом, применение фемтосекундного лазера при DALK значительно снижает частоту перфорации ДМ по сравнению с мануальной техникой.

Учитывая высокий риск возникновения интраоперационного осложнения (перфорации ДМ) при DALK, необходимо отметить, что pdDALK с появлением фемтосекундного лазера стала применяться еще чаще. Благодаря лазеру, фемтоассистированную pdDALK технически осуществить легче, чем DALK, выполненную по типу «большого пузыря» или мануально с выделением ДМ. Преимуществом этого вида кератопластики является техническая простота выполнения и сведение к минимуму возникновения интраоперационного осложнения в виде перфорации ДМ, а также отсутствие послеоперационной потери эндотелиальных клеток в связи с тем, что не происходит механической травмы в момент рассечения стромы над ДМ.

Фемтолазер также позволяет структурировать эти разрезы, придавая им различную форму (часто упоминается грибовидная или зигзагообразная), создавая очень точный разрез путем фокусировки энергии лазера на определенной глубине, а затем и рассечь ткани, не вызывая каких-либо дополнительных повреждений внутренних структур [38]. Это позволяет получить идеальное сопоставление роговицы донора и реципиента и способствует более быстрому восстановлению зрения [39]. Согласно данным литературы [40], зигзагообразные разрезы, благодаря большей площади соприкосновения краев «донор — реципиент», способствуют получению лучшего результата при сопоставлении краев раны, быстрому заживлению в раннем послеоперационном периоде, а также более крепкому послеоперационному рубцу в позднем послеоперационном периоде. Теоретически это должно свести к минимуму послеоперационный астигматизм, такой вид соединения неправильной формы обеспечивает также идеальные клеящиеся поверхности, что позволяет использовать фибриновый клей. В литературе описано применение фибринового клея при кератопластике с прямым разрезом [41]. В других исследованиях показано, что фемтосекундные зигзагообразные разрезы позволили добиться лучшей остроты зрения и меньшего индуцированного астигматизма по сравнению с обычным плоским разрезом [42].

С помощью фемтосекундного лазера pdDALK удалось стандартизировать и выполнять с получением достаточно ровного интерфейса. Однако, учитывая остаточную строму роговицы и фиксацию трансплантата «край в край», при данной методике не удается сделать роговицу достаточно плоской и придать ей правильную сферическую поверхность, даже если применить трансплантат с меньшим диаметром, чем ложе роговицы реципиента, что, соответственно, приводит к более низкому функциональному результату из-за остаточной аметропии [43].

В повседневной клинической практике визуальные результаты DALK могут быть немного хуже или менее предсказуемыми, чем при СКП, в связи с возможными проблемами

в отношении толщины остаточной стромы и складок ДМ. Тем не менее отсутствующий риск развития эндотелиальной недостаточности компенсирует эту разницу.

N. Ardjomand и соавт. [44] продемонстрировали, что качество зрения после кератопластики зависит от толщины остаточной стромы роговицы реципиента. Установлено, что послеоперационная острота зрения после pdDALK аналогична таковой после СКП, если остаточная толщина стромы составляла меньше 20 мкм, а при остаточной толщине стромы больше 80 мкм выявили значительное снижение функционального результата. Этот вопрос пока не до конца изучен, поэтому в дальнейших исследованиях стоит учитывать осевую длину глаза, диаметр трансплантата и толщину остаточной стромы.

Одной из основных причин низкого зрения в отдаленные сроки после кератопластики является прогрессивное снижение плотности эндотелиальных клеток (ПЭК). По данным ряда авторов, DALK обуславливает снижение ПЭК примерно до 10 % за первый год, и эта потеря происходит в основном в раннем послеоперационном периоде, с последующими инволюционными изменениями, что также приводит к снижению ПЭК [45, 46]. Однако имеется существенная разница в динамике потери ПЭК в зависимости от выбранной техники хирургического вмешательства.

По данным W. Reinhart J. и соавт. [47], потеря эндотелиальных клеток в течение 6 мес после проведенной DALK сопоставима с физиологической потерей в неоперированных глазах. В исследовании Y. Chen и соавт. [48] выявлено прогрессивное снижение количества эндотелиальных клеток после DALK и СКП, более значимое в последнем случае: в среднем 9,12 и 20,79 % соответственно. Y. Zhang и соавт. [49] показали, что потеря эндотелиальных клеток достигает 34,6 % после СКП, в то время как после DALK — всего 13,9 %. A. Abdelkader и соавт. [50] связывают уменьшение ПЭК после операции с механической травмой вследствие послойного рассечения ткани над ДМ. Кроме того, воздух, который вводится в переднюю камеру для репозиции внутренних слоев роговицы, токсичен для эндотелия.

Реакция отторжения трансплантата в первые 3 года после DALK возникает намного реже — в 1–5 % случаев, тогда как при СКП она варьирует от 13 до 31 %, при этом увеличение внутриглазного давления (ВГД) отмечается соответственно в 1,3 и 42 % случаев [32, 48]. Это связано с отсутствием необходимости длительного применения стероидов при DALK [51].

Наряду с осложнениями после СКП (воспалительного характера, эндотелиальное отторжение, болезнь трансплантата), связанными с самой техникой операции («открытое небо» и неаутологичный эндотелий), в литературе описываются случаи других осложнений, например в 1962 г. A. Urrets-Zavalía (Аргентина) опубликовал статью о фиксированном расширенном зрачке и вторичной глаукоме у больных, которые перенесли СКП по поводу КК. Автор описал 5 клинических случаев с осложнениями среди 225 прооперированных больных на протяжении 12 лет, у которых наблюдались необратимый мириаз, атрофия радужки и повышенное ВГД. Данное осложнение значительно реже встречается после DALK, но есть специфические осложнения, которые возникают при передних послойных кератопластиках [52].

Y. Lu и соавт. [53] оценили послеоперационную близорукость, которая составила в группе пациентов после pdDALK: $-9,43 \pm 7,44$ D (8 из 10 глаз имели послеоперационную близорукость больше $-6,0$ D) — и в группе после

стандартной DALK: $-1,03 \pm 1,13$ D (все 10 глаз имели послеоперационную близорукость меньше $-3,0$ D).

С.Б. Измайлова и соавт. [54] предложили способ интраоперационной профилактики посткератопластического астигматизма, заключающийся в формировании интраламеллярного кармана в периферической части роговицы, куда имплантируют интрастромальное кольцо с последующей фиксацией трансплантата, не захватывая кольцо.

L. Girard и соавт. [55] сообщили об уменьшении величины послеоперационной миопии в случае применения донорского трансплантата при pdDALK диаметром на 0,25 мм меньше, чем у реципиента. В ряде работ указано, что диаметр донорского трансплантата прямо пропорционально зависит от осевой длины глазного яблока [56, 57].

В литературе представлены результаты исследования, подтверждающие улучшение остроты зрения после фемтосекундной лазерной pdDALK у пациентов с КК [53]. Показано, что никакой разницы в максимально скорректированной остроте зрения между pdDALK и стандартной DALK не наблюдается, в то время как функциональные показатели восстанавливаются быстрее в группе стандартной DALK [50, 58].

В ряде работ отмечено, что после СКП наблюдается прогрессивное увеличение астигматизма — в 70 % случаев через 10 лет после снятия швов. По данным литературы [13], астигматизм может увеличиться до $5,48 \pm 3,11$ D через 10 лет, тогда как через год величина астигматизма составляла $4,05 \pm 2,29$ D, что свидетельствует о возможном позднем развитии рецидива КК. Вероятность выполнения повторной СКП в течение 20 лет составляет 10 %, и со временем этот процент только увеличивается [59]. Учитывая молодой возраст пациентов с КК, можно сделать вывод, что повторная операция после СКП будет выполнена в большинстве случаев.

Известно, что при некоторых стромальных дистрофиях роговицы, таких как зернистая или решетчатая, описываются случаи болезни трансплантата, тогда как при КК случаи рецидива болезни трансплантата описаны в единичных случаях [60]. Чаще всего развитие повторной эктазии и прогрессирующего астигматизма происходит из-за истончения стромы реципиента в месте соединения «донор — реципиент» [13].

S. Feizi и соавт. [61] сообщили о единичном случае, когда возник повторный КК через 49 мес после DALK. Но, учитывая относительно недавнее начало повсеместного применения DALK и длительность промежутка, в течение которого может возникнуть рецидив заболевания после СКП, следует заявить о необходимости дальнейших исследований отдаленных результатов DALK [62].

Еще одним серьезным осложнением после DALK является глубокий кератит, встречающийся достаточно редко, вызванный *Candida*, *Klebsiella pneumonia* и нетуберкулезными микобактериями [63–65]. Консервативное лечение обычно безуспешно, и в большинстве случаев необходима терапевтическая СКП. Васкуляризация может возникнуть из-за воспалительных процессов, вызванных инфекцией или травмой, которые поддаются лечению инъекцией препаратов анти-VEGF [66].

С целью снижения вероятности осложнений в хирургии КК появляются новые методы и техники кератопластик [67]. K. van Dijk и соавт. [68], О.Г. Оганесян и соавт. [69] описали новую технику, когда пациентам с далеко зашедшим КК интрастромально пересаживался боуменов слой, что способствовало незначительному улучшению функциональных результатов, а также остановке прогрессирования заболевания. О. Оганесян и соавт. [70] предложили похожую технику,

но с пересадкой интрастромально ДМ. Пересадка боуменова слоя или ДМ интрастромально позволяет избежать кератопластики или отложить ее проведение.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За последние десятилетия трансплантационная хирургия при КК претерпела революционное развитие. Современные технологии способствуют оптимизации и повышению точности хирургической техники, что снижает риск развития осложнений и в конечном итоге приводит к улучшению функциональных результатов лечения. На сегодняшний день DALK стала оптимальным хирургическим вмешательством при КК. Внедрение фемтосекундной лазерной технологии повысило точность и предсказуемость отдельных этапов хирургического лечения. Однако в связи с наличием недостатков у каждого из применяемых на сегодняшний день методов кератопластики при КК необходимо дальнейшее совершенствование хирургической техники и, возможно, использования новых методов хирургии далеко зашедших стадий КК.

Литература/References

1. Бикбов М.М., Бикбова Г.М. Эктазии роговицы (патогенез, патоморфология, клиника, диагностика, лечение). Москва: изд-во «Офтальмология», 2011. [Bikbov M.M., Bikbova G.M. Ectasia of the cornea pathogenesis, pathomorphology, clinic, diagnostics, therapy. Moscow: Oftal'mologiya. 2011 (in Russian)].
2. Бикбов М.М., Бикбова Г.М., Халимов А.Р. и др. Эктазии роговицы. Избранные лекции ГБУ «Уфимский научно-исследовательский институт глазных болезней АН Республики Башкортостан». Москва: изд-во Апрель; 2018. [Bikbov M.M., Bikbova G.M., Khalimov A.R., et al. Ectasia of the cornea. Selected Lectures. Moscow: April; 2018 (in Russian)].
3. Jhanji V., Sharma N., Vajpayee R.B. Management of keratoconus: current scenario. Br. J. Ophthalmol. 2011; 95 (8): 1044–50. doi: 10.1136/bjo.2010.185868
4. Бикбов М.М., Усубов Э.Л., Суркова В.К. и др. Клинико-эпидемиологические характеристики первичных кератоконусов в Республике Башкортостан. Точка зрения. Восток-Запад. 2016; 4: 8–10. [Bikbov M.M., Usubov E.L., Surkova V.K., et al. Clinical and epidemiological characteristics of primary keratoconus in the Republic of Bashkortostan. Tochka zrenija. Vostok–Zapad. 2016; 4: 8–10 (in Russian)].
5. Ситник Г.В., Слонимский А.Ю., Слонимский Ю.Б. Фемтолазерная рефракционная аутокератопластика: первые результаты и перспективы. Офтальмология. 2015; 12 (3): 22–9. [Sitnik G.V., Slonimskij A.Yu., Slonimskij Yu.B. Femtolasers refractive autokeratoplasty: first results and prospects. Ophthalmology in Russia. 2015; 12 (3): 22–9 (in Russian)]. doi:10.18008/1816-5095-2015-3-22-29
6. Ситник Г.В., Слонимский А.Ю., Слонимский Ю.Б., Имишенецкая Т.А. Эффективность фемтолазерной рефракционной аутокератопластики при кератоконусе. Современные технологии в офтальмологии. 2017; 3: 250–2. [Sitnik G.V., Slonimskij A.Yu., Slonimskij Yu.B., Imsheneckaja T.A. Efficiency of femtolasers refractive autokeratoplasty in keratoconus. Modern technologies in ophthalmology. 2017; 3: 250–2 (in Russian)].
7. Тимофеев М.А., Терещенко А.В., Демьянченко С.К. Фемтолазерная рефракционная аутокератопластика — анализ среднесрочных результатов. Современные технологии в офтальмологии. 2019; 5: 241–4. [Timofeev M.A., Tereshhenko A.V., Dem'janchenko S.K. Femtolasers refractive autokeratoplasty — analysis of medium-term results. Modern technologies in ophthalmology. 2019; 5: 241–4 (in Russian)]. doi: 10.25276/2312-4911-2019-5-241-244
8. Мамиконян В.Р., Аветисов С.Э., Осипян Г.А. и др. Интерламеллярная бандажная кератопластика для лечения прогрессирующего кератоконуса (предварительное сообщение). Вестник офтальмологии. 2015; 131 (1): 18–23. [Mamikonjan V.R., Avetisov S.E., Osipjan G.A., et al. Interlamellar bandage keratoplasty for the treatment of progressive keratoconus (preliminary report). Vestnik oftal'mologii. 2015; 131 (1): 18–23 (in Russian)]. doi: 10.17116/oftalma2015131118-23
9. Осипян Г.А., Храйстин Х. Возможности межслойной кератопластики в реабилитации пациентов с кератоконусом. Офтальмология. 2019; 16 (2): 169–73. [Osipjan G.A., Khrajstin Kh. Possibilities of interlayer keratoplasty in the rehabilitation of patients with keratoconus. Ophthalmology in Russia. 2019; 16 (2): 169–73 (in Russian)]. doi: 10.18008/1816-5095-2019-2-169-173
10. Осипян Г.А., Шелудченко В.М., Храйстин Х. Современные хирургические методы лечения кератоконуса. Вестник офтальмологии. 2019; 135 (2): 138–43. [Osipjan G.A., Sheludchenko V.M., Khrajstin H. Modern surgical

- methods for the treatment of keratoconus. Vestnik oftal'mologii. 2019; 135 (2): 138–43 (in Russian)]. doi: 10.17116/oftalma2019135021138
11. Душин Н.В., Фролов М.А., Гончар П.А. Кератопластика в лечении заболеваний глаз (оптическая, рефракционная, лечебная, косметическая). Москва: РУДН. 2008. [Dushin N.V., Frolov M.A., Gonchar P.A. Keratoplasty in the treatment of eye diseases (optical, refractive, medical, cosmetic). Moscow: RUDN. 2008 (in Russian)].
 12. Слонимский Ю.Б., Слонимский А.Ю., Корчуганова Е.А. К вопросу о рациональном ведении пациентов с острым кератоконусом. Офтальмология. 2015; 11 (4): 17–25. [Slonimskij Yu.B., Slonimskij A. Yu., Korchuganova E.A. To the question of rational administered to patients with acute keratoconus. Ophthalmology in Russia. 2015; 11 (4): 17–25 (in Russian)].
 13. de Toledo J.A., de la Paz M.F., Barraquer R.I., Barraquer J. Long-term progression of astigmatism after penetrating keratoplasty for keratoconus: evidence of late recurrence. Cornea. 2003 May; 22 (4): 317–23. doi: 10.1097/00003226-200305000-00008
 14. Sharif K.W., Casey T.A. Penetrating keratoplasty for keratoconus: complications and long-term success. Br. J. Ophthalmol. 1991; 75 (3): 142–6. doi: 10.1136/bjo.75.3.142
 15. Javadi M.A., Mohammadi M.J., Mirdehghan S.A., Sajjadi S.H. A comparison between donor-recipient corneal size and its effect on the ultimate refractive error induced in keratoconus. Cornea. 1993; 12 (5): 401–5. doi: 10.1097/00003226-199309000-00006
 16. Kuryan J., Channa P. Refractive surgery after corneal transplant. Curr. Opin. Ophthalmol. 2010; 21 (4): 259–64. doi: 10.1097/ICU.0b013e32833a9abb
 17. Lanier J.D., Bullington Jr. R.H., Prager T.C. Axial length in keratoconus. Cornea. 1992 May; 11 (3): 250–4. PMID:1587134.
 18. Малюгин Б.Э., Шилова Н.Ф., Антонова О.П. и др. Сравнительный анализ клинико-функциональных результатов передней глубокой послойной и сквозной кератопластики по поводу кератоконуса. Офтальмохирургия. 2015; (4): 44–9. [Maljugin B.E., Shilova N.F., Antonova O.P., et al. Comparative analysis of the clinical and functional results of anterior deep layer-by-layer and through keratoplasty for keratoconus. Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery. 2015; 4: 44–9 (in Russian)].
 19. Fontana L., Parente G., Tassinari G. Clinical outcomes after deep anterior lamellar keratoplasty using the big-bubble technique in patients with keratoconus. Am. J. Ophthalmol. 2007; 143 (1): 117–24. doi: 10.1016/j.ajo.2006.09.025
 20. Romano V., Steger B., Kaye S.B. Spontaneous descemet membrane tear after uneventful big-bubble deep anterior lamellar keratoplasty. Cornea. 2015; 34 (4): 479–81. doi: 10.1097/ICO.0000000000000373
 21. Rana M., Savant V. A brief review of techniques used to seal corneal perforation using cyanoacrylate tissue adhesive. Contact Lens and Anterior Eye. 2013; 36 (4): 156–8. doi: 10.1016/j.clae.2013.03.006
 22. Sarnicola V., Toro P., Gentile D., Hannush S.B. Descemet DALK and predescemet DALK: outcomes in 236 cases of keratoconus. Cornea. 2010; 29 (1): 53–9. doi: 10.1097/ICO.0b013e3283181a1aea
 23. Bilgihan K., Ozdek S.C., Sari A., Hasanreisoglu B. Microkeratome-assisted lamellar keratoplasty for keratoconus: stromal sandwich. J. Cataract Refract. Surg. 2003; 29 (7): 1267–72. doi: 10.1016/S0886-3350(02)02055-2
 24. Слонимский Ю.Б., Слонимский А.Ю. Кератоконус сегодня: проблемы и решения. Офтальмология. 2006; (3): 159–61. [Slonimskij Ju.B., Slonimskij A.Ju. Keratoconus today: problems and solutions. Ophthalmology in Russia. 2006; 3: 159–61 (in Russian)].
 25. De Benito-Llopis L., Mehta J.S., Angunawela R.I., Ang M., Tan D.T. Intraoperative anterior segment optical coherence tomography: a novel assessment tool during deep anterior lamellar keratoplasty. Am. J. Ophthalmol. 2014 Feb; 157 (2): 334–41. doi: 10.1016/j.ajo.2013.10.001
 26. Atayem A.F., Anwar M. Fluid lamellar keratoplasty in keratoconus. Ophthalmology. 2000; 107 (1): 76–9. doi: 10.1016/S0161-6420(99)00002-0
 27. Anwar M., Teichmann K.D. Big-bubble technique to bare descemet's membrane in anterior lamellar keratoplasty. J. Cataract Refract. Surg. 2002; 28 (3): 398–403. doi: 10.1016/S0886-3350(01)01181-6
 28. Оганесян О.Г., Макаров П.В., Грдиканян А.А., Гетадарян В.Р. Новая стратегия кератопластики: расслоение и разделение роговицы донора. Российский офтальмологический журнал. 2018; 11 (3): 11–8. [Oganesyan O.G., Makarov P.V., Grdikanjan A.A., Getadarjan V.R. New strategy for keratoplasty: dissection and dissection of the donor cornea. Russian ophthalmological journal. 2018; 11 (3): 11–8 (in Russian)]. doi: 10.21516/2072-0076-2018-11-3-11-18
 29. Parker J.S., van Dijk K., Melles G.R.J. Treatment options for advanced keratoconus: a review. Survey of ophthalmology. 2015; 60 (5): 459–80. doi: 10.1016/j.survophthal.2015.02.004
 30. Белодедова А.В., Антонова О.П., Малюгин Б.Э. Передняя глубокая послойная кератопластика с фемтосопровождением и созданием интрастромальных туннелей для формирования «большого пузыря» у пациентов с кератоконусом. Первые клинико-функциональные результаты. Практическая медицина. 2018; 16 (4): 13–7. [Belodedova A.V., Antonova O.P., Maljugin B.E. Anterior deep lamellar keratoplasty with femto support and

- creation of intrastromal tunnels for the formation of a “Big-bubble” in patients with keratoconus. The first clinical and functional results. Practical medicine. 2018; 16 (4): 13–7 (in Russian)]. doi: 1032000/2072-1757-2018-16-4-13-17
31. Терещенко А.В., Трифаненкова И.Г., Демьянченко С.К., Головач Н.А., Вишнякова Е.Н. Оптимизированная технология глубокой передней послойной кератопластики (DALK) с фемтолазерным сопровождением. Вестник Волгоградского государственного медицинского университета. 2017; 1 (61): 119–20. [Tereshhenko A.V., Trifanenkova I.G., Dem'yanchenko S.K., Golovach N.A., Vishnjakova E.N. Optimized technology of deep anterior lamellar keratoplasty (dalk) with femtolaser support. Bulletin of Volgograd State Medical University. 2017; 1 (61): 119–20 (in Russian)].
 32. Melles G.R., Lander F., Rietveld F.J., et al. A new surgical technique for deep stromal, anterior lamellar keratoplasty. Br. J. Ophthalmol. 1999; 83 (3): 327–33. doi: 10.1136/bjo.83.3.327
 33. Аветисов С.Э. Кератоконус: современные подходы к изучению патогенеза, диагностике, коррекции и лечению. Вестник офтальмологии. 2014; 130 (6): 37–43. [Avetisov S.E. Keratoconus: modern approaches to the study of pathogenesis, diagnosis, correction and treatment. Vestnik oftal'mologii. 2014; 130 (6): 37–43 (in Russian)].
 34. Ченцова Е.В., Ракова А.В. Передняя послойная фемтолазерная кератопластика. Практическая медицина. 2012; 1 (4): 59. [Chentsova E.V., Rakova A.V. Anterior lamellar femtolaser keratoplasty. Practical Medicine. 2012; 1 (4): 59 (in Russian)].
 35. Kazakbaev R.A., Bikbov M.M., Usubov E.L., Kazakbaeva G.M. Femtolaser assisted vs manual anterior lamellar keratoplasty in patients with keratoconus. Acta Ophthalmologica. 2017; 95. doi: 10.1111/j.1755-3768.2017.05014
 36. Huang T., Zhang X., Wang Y., et al. Outcomes of deep anterior lamellar keratoplasty using the big-bubble technique in various corneal diseases. Am. J. Ophthalmol. 2012; 154: 282–9. doi: 10.1016/j.ajo.2012.02.025
 37. Демьянченко С.К., Терещенко А.В., Трифаненкова И.Г., Паномарева С.В. Оптимизированная технология глубокой передней послойной кератопластики с фемтосекундным сопровождением — стандартизированный подход. Современные технологии в офтальмологии. 2017; (5): 5–9. [Dem'yanchenko S.K., Tereshhenko A.V., Trifanenkova I.G., Panomareva S.V. Optimized technology of deep anterior lamellar keratoplasty with femtosecond support — standardized approach. Modern technologies in ophthalmology. 2017; (5): 5–9 (in Russian)].
 38. Труфанов С.В., Будникова Е.А., Розникова В.Н. Современные модификации сквозной кератопластики со сложным профилем разреза. Вестник офтальмологии. 2019; 135 (5–2): 260–6. [Trufanov S.V., Budnikova E.A., Rozinova V.N. Modern modifications of end-to-end keratoplasty with a complex incision profile. Vestnik oftal'mologii. 2019; 135 (5–2): 260–6 (in Russian)]. doi: 10.17116/oftalma2019135052260
 39. Shehadeh-Mashor R., Chan C.C., Bahar I., et al. Comparison between femtosecond laser mushroom configuration and manual trephine straight-edge configuration deep anterior lamellar keratoplasty. Br. J. Ophthalmol. 2014; 98 (1): 35–9. doi: 10.1136/bjophthalmol-2013-303737
 40. Farid M., Kim M., Steinert R.F. Results of penetrating keratoplasty performed with a femtosecond laser zigzag incision initial report. Ophthalmology. 2007; 114: 2208–12. doi: 10.1016/j.ophtha.2007.08.048
 41. Malta J.B., Soong H.K., Shtein R., et al. Femtosecond laser-assisted keratoplasty: laboratory studies in eye bank eyes. Curr. Eye Research. 2009; 34: 18–25. doi: 10.1080/02713680802535255
 42. Farid M., Steinert R.F., Gaster R.N., et al. Comparison of penetrating keratoplasty performed with a femtosecond laser zig-zag incision versus conventional blade trephination. Ophthalmology. 2009; 116: 1638–43. doi: 10.1016/j.ophtha.2009.05.003
 43. Малюгин Б.Э., Паштаев Н.П., Паштаев А.Н. и др. Фемтолазерная передняя послойная кератопластика: пилотное клиническое исследование. Офтальмохирургия. 2015; 2: 24–8. [Maljugin B.E., Pashtae N.P., Pashtae A.N., et al. Femtolaser anterior layered keratoplasty: a pilot clinical study. Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery. 2015; 2: 24–8 (in Russian)].
 44. Arjmand N., Hau S., McAlister J.C., et al. Quality of vision and graft thickness in deep anterior lamellar and penetrating corneal allografts. Am. J. Ophthalmol. 2007; 143: 228–35. doi: 10.1016/j.ajo.2006.10.043
 45. Sugita J., Kondo J. Deep lamellar keratoplasty with complete removal of pathological stroma for vision improvement. Br. J. Ophthalmol. 1997; 81: 184–8. doi: 10.1136/bjo.81.3.184
 46. Al-Torbak A.A., Al-Motowa S., Al-Assiri A., et al. Deep anterior lamellar keratoplasty for keratoconus. Cornea. 2006; 25: 408–12. doi: 10.1097/01.ico.0000220777.70981.46
 47. Reinhart W.J., Musch D.C., Jacobs D.S., et al. Deep anterior lamellar keratoplasty as an alternative to penetrating keratoplasty a report by the American Academy of Ophthalmology. Ophthalmology. 2011; 118: 209–18. doi: 10.1016/j.ophtha.2010.11.002
 48. Chen Y., Hu D.N., Xia Y., et al. Comparison of femtosecond laser-assisted deep anterior lamellar keratoplasty and penetrating keratoplasty for keratoconus. BMC ophthalmology. 2015 Oct; 27 (15): 144. doi: 10.1186/s12886-015-0140-x
 49. Zhang Y.M., Wu S.Q., Yao Y.F. Long-term comparison of full-bed deep anterior lamellar keratoplasty and penetrating keratoplasty in treating keratoconus. J. Zhejiang Univ. Sci. B. 2013 May; 14 (5): 438–50. doi: 10.1631/jzus.B1200272
 50. Abdelkader A., Kaufman H.E. Descemet versus pre-descemet lamellar keratoplasty: clinical and confocal study. Cornea. 2011; 30 (11): 1244–52. doi: 10.1097/ICO.0b013e318219bc1a
 51. Musa F.U., Patil S., Rafiq O., et al. Long-term risk of intraocular pressure elevation and glaucoma escalation after deep anterior lamellar keratoplasty. Clin. Exp. Ophthalmol. 2012; 40 (8): 780–5. doi: 10.1111/j.1442-9071.2012.02796.x
 52. Niknam S., Rajabi M.T. Fixed dilated pupil (Urrets — Zavalía syndrome) after deep anterior lamellar keratoplasty. Cornea. 2009; 28 (10): 1187–90. doi: 10.1097/ICO.0b013e31819aa9ff
 53. Lu Y., Grisolia A.B.D., Ge Y.R., et al. Comparison of femtosecond laser-assisted descemet and pre-descemet lamellar keratoplasty for keratoconus. Indian journal of ophthalmology. 2017; 65 (1): 19. doi: 10.4103/ijo.IJO_688_16
 54. Измайлова С.Б., Малюгин Б.Э., Новиков С.В. и др. Способ проведения кератопластики с одномоментной имплантацией интрастромального кольца для профилактики послеоперационного астигматизма. Патент РФ № 2674889 от 13.12.2018. [Izmaylova S.B., Maljugin B.E., Novikov S.V., et al. A method of conducting keratoplasty with simultaneous implantation of an intrastromal ring for the prevention of postoperative astigmatism. Patent RF № 2674889, 13.12.2018 (in Russian)].
 55. Girard L.J., Egeuz I., Esnaola N., Barnett L., Maghaby A. Effect of penetrating keratoplasty using grafts of various sizes on keratoconic myopia and astigmatism. J. Cataract Refract. Surg. 1988; 14: 541–7. doi: 10.1016/S0886-3350(88)80013-0
 56. Mosca L., Fasciani R., Tamburelli C., et al. Femtosecond laser-assisted lamellar keratoplasty: Early results. Cornea 2008; 27: 668–72. doi: 10.1097/ICO.0b013e31816736b1
 57. Doyle S.J., Harper C., Marcyniuk B., Ridgway A.E. Prediction of refractive outcome in penetrating keratoplasty for keratoconus. Cornea 1996 Sep; 15: 441–5. PMID: 8862918
 58. Sarnicola V., Toro P., Gentile D., Hannush S.B. Descemet DALK and pre-descemet DALK: outcomes in 236 cases of keratoconus. Cornea. 2010; 29 (1): 53–9. doi: 10.1097/ICO.0b013e3181a31aea
 59. Niziol L.M., Musch D.C., Gillespie B.W., Marcotte L.M., Sugar A. Long-term outcomes in patients who received a corneal graft for keratoconus between 1980 and 1986. Am. J. Ophthalmol. 2013; 155 (2): 213–9. doi: 10.1016/j.ajo.2012.08.001
 60. Brookes N.H., Niederer R.L., Hickey D., McGhee C.N., Sherwin T. Recurrence of keratoconic pathology in penetrating keratoplasty buttons originally transplanted for keratoconus. Cornea. 2009; 28 (6): 688–93. doi: 10.1097/ICO.0b013e3181967024
 61. Feizi S., Javadi M.A., Rezaei K.M. Recurrent keratoconus in a corneal graft after deep anterior lamellar keratoplasty. J. Ophthalmic Vis. Res. 2012 Oct; 7 (4): 328–31. PMID: 23503805
 62. Dang T.Q., Molchan R.P., Taylor K.R., et al. Novel approach for the treatment of corneal ectasia in a graft. Cornea. Mar; 33 (3): 310–2. doi: 10.1097/ICO.0000000000000052
 63. Kanavi M.R., Foroutan A.R., Kamel M.R., Afsar N., Javadi M.A. Candida interface keratitis after deep anterior lamellar keratoplasty: clinical, microbiologic, histopathologic, and confocal microscopic reports. Cornea. 2007 Sep; 26 (8): 913–6. doi: 10.1097/ICO.0b013e3180ca9a61
 64. Zarei-Ghanavati S., Sedaghat M.R., Ghavami-Shahri A. Acute Klebsiella pneumoniae interface keratitis after deep anterior lamellar keratoplasty. Jpn J Ophthalmol. 2011; 55 (1): 74–6.
 65. Murthy S.I., Jain R., Swarup R., Sangwan V.S. Recurrent non-tuberculous mycobacterial keratitis after deep anterior lamellar keratoplasty for keratoconus. BMJ Case Rep. 2013; 2013. doi: 10.1136/bcr-2013-200641
 66. Hashemian M.N., Zare M.A., Rahimi F., Mohammadpour M. Deep intrastromal bevacizumab injection for management of corneal stromal vascularization after deep anterior lamellar keratoplasty, a novel technique. Cornea. 2011 Feb; 30 (2): 215–8. doi: 10.1097/ICO.0b013e3181e291a6
 67. Бикбов М.М., Бикбова Г.М. Современные аспекты хирургии кератоконуса. Вестник Оренбургского государственного университета. 2008; 12–2. [Bikbov M.M., Bikbova G.M. Current aspects of keratoconus surgery. Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta. 2008; 12–2 (in Russian)].
 68. van Dijk K., Parker J., Tong C.M., et al. JAMA Ophthalmol. 2014; 132 (4): 495–501. doi:10.1001/jamaophthalmol.2013.5841
 69. Оганесян О.Г., Гетадарян В.Р., Макаров П.В., Грдиканян А.А. Трансплантация боуменова слоя при прогрессирующем кератоконусе. Российский офтальмологический журнал. 2019; 12 (4): 43–50. [Oganesyanyan O.G., Getadaryan V.R., Makarov P.V., Grdikanyan A.A. Bowman layer transplantation in eyes with progressive advanced keratoconus. Russian ophthalmological journal. 2019; 12 (4): 43–50 (in Russian)]. doi: 10.21516/2072-0076-2019-12-4-43-50
 70. Oganesyanyan O., Getadaryan V., Oganesyanyan C., van Dijk K., Melles G. Intrastromal descemet membrane transplantation as a potential alternative to bowman layer inlays in eyes with advanced keratoconus. Eye & Contact Lens. 2021 Apr 1; 47 (4): 223–5. doi: 10.1097/ICL.0000000000000749

Вклад авторов в работу: М.М. Бикбов — финальное редактирование статьи; Э.Л. Усубов — идея и дизайн исследования, научное редактирование текста; А.Ф. Зайнетдинов — обработка материала, написание текста.

Author's contribution: M.M. Bikbov — final editing and approval of the article for publication; E.L. Usubov — research idea and design, editing of the article; A.F. Zaynetdinov — literature data analysis, writing of the article.

Поступила: 24.07.2020. Переработана: 23.10.2020. Принята к печати: 23.10.2020

Originally received: 24.07.2020. Final revision: 23.10.2020. Accepted: 23.10.2020

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

ГБУ «Уфимский НИИ глазных болезней АН Республики Башкортостан», ул. Пушкина, д. 90, Уфа, 450077, Россия

Мухаррам Мухтарамович Бикбов — д-р. мед. наук, профессор, директор

Эмин Логманович Усубов — канд. мед. наук, ведущий научный сотрудник отделения хирургии роговицы и хрусталика

Артур Фанилевич Зайнетдинов — аспирант, врач-офтальмолог 2-го микрохирургического отделения

Для контактов: Эмин Логманович Усубов,
emines.us@inbox.ru

Ufa Eye Research Institute, 90, Pushkin St., Ufa, 450077, Bashkortostan, Russia

Mukharram M. Bikbov — Dr. of Med. Sci., professor, director

Emin L. Usubov — Cand. of Med. Sci., leading researcher, department of surgery of the cornea and lens

Artur F. Zaynetdinov — PhD student, ophthalmologist 2 microsurgical department.

For contacts: Emin L. Usubov,
emines.us@inbox.ru