

<https://doi.org/10.21516/2072-0076-2019-12-4-43-50>

Трансплантация Боуменового слоя при прогрессирующем кератоконусе

О.Г. Оганесян^{1, 2}, В.Р. Гетадарян¹, П.В. Макаров¹, А.А. Грдиканян¹

¹ ФГБУ «НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России, ул. Садовая-Черногрязская, д. 14/19, Москва, 105062, Россия

² ФГБОУ ВО МГМСУ им. А.И. Евдокимова Минздрава России, ул. Делегатская, 20, стр. 1, Москва, 127473, Россия

Цель работы — изучить эффективность трансплантации боуменового слоя (ТБС) в строму роговицы пациентов с прогрессирующим кератоконусом (КК) III–IV стадии. **Материал и методы.** ТБС в интрастромальный карман проведена 30 пациентам (30 глаз) в возрасте на момент операции от 14 до 37 лет (в среднем $26,6 \pm 6,2$ года) с прогрессирующим КК III–IV стадии (по классификации Amsler — Krumeich). До и после операции определяли максимальный кератометрический показатель (Kmax) и показатель минимальной толщины роговицы в наиболее тонком участке (ТТР). Оценивали также остроту зрения до и после операции в жестких склеральных контактных линзах, плотность эндотелиальных клеток (ПЭК) и глубину залегания трансплантата. Показанием к операции послужил отказ от трансплантации роговицы, прогрессирование КК, наличие противопоказаний к выполнению ультрафиолетового кросслинкинга и имплантации интрастромальных сегментов исходя из величины ТТР и Kmax. Средний срок наблюдения составил $26,6 \pm 6,0$ мес (от 6 до 36 мес). **Результаты.** За период наблюдения ни в одном случае не отмечено ухудшение показателей ТТР, Kmax и максимально корригируемой остроты зрения (МКОЗ) в склеральных линзах. **Заключение.** Стабильность показателей Kmax, ТТР и ПЭК в период наблюдения свидетельствуют о стабилизирующем эффекте ТБС на прогресс КК, а отсутствие снижения МКОЗ в склеральных линзах свидетельствует о функциональной безопасности ТБС.

Ключевые слова: роговица донора; кератопластика; трансплантация роговицы; трансплантация боуменового слоя; кератоконус, боуменова мембрана

Конфликт интересов: отсутствует.

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

Для цитирования: Оганесян О.Г., Гетадарян В.Р., Макаров П.В., Грдиканян А.А. Трансплантация Боуменового слоя при прогрессирующем кератоконусе. Российский офтальмологический журнал. 2019; 12 (4): 43–50. doi: 10.21516/2072-0076-2019-12-4-43-50

Bowman layer transplantation in eyes with progressive advanced keratoconus

Oganes G. Oganesyan^{1, 2}, Vostan R. Getadaryan¹, Pavel V. Makarov¹, Arthur A. Grdikanyan¹

¹ Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases, 14/19, Sadovaya Chernogryazskaya St., Moscow, 105062, Russia

² A.I. Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, 20, p. 1, Delegatskaya St., Moscow, 127473, Russia

Purpose: to study the efficiency of Bowman layer transplantation (BLT) in corneal stroma for the treatment of progressive keratoconus (KC). **Material and methods.** 30 patients (30 eyes) with progressive KC stages III to IV (according to Amsler — Krumeich classification), underwent BLT into a mid-stromal pocket. At the time of surgery, the patients were 14 to 37 (averagely 26.6 ± 6.2 years). Before and after the surgery, the maximum keratometry index (Kmax) and the corneal thinnest point (CTP) values were determined. Also, we evaluated visual acuity before and after surgery in scleral contact lenses, endothelial cells density (ECD) and the depth of graft location. The indication for surgery was the refusal of corneal transplantation, progression of KC, contraindications for ultraviolet crosslinking or implantation of intracorneal ring segments based on the CTP and Kmax values. The follow-up continued 6 to 36 months (averagely, 26.6 ± 6.0 months). **Results.** Throughout the observation period, no intra or postoperative complications associated with BLT or deterioration of CTP, Kmax or best corrected visual acuity (BCVA) in scleral lenses were noted. **Conclusions.** Kmax, CTP and ECD values remaining stable during the follow-up is the evidence of a stabilizing BLT effect on the KC progression. The absence of BCVA decrease in scleral lenses indicates a functional safety of BLT.

Keywords: donor cornea; keratoconus; keratoplasty; Bowman layer transplantation

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: Oganesyan 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

Кератоконус (КК) — многофакторное, билатеральное, чаще ассиметричное конусовидное выпячивание роговицы с истончением, приводящее к нерегулярному астигматизму и ухудшению зрения. Заболевание впервые выявил Benedict Duddell в 1736 г., а подробно описал его J. Nottingham в 1854 г. [1, 2]. Согласно одной из первых теорий развития КК, в его основе лежит патология базальной мембраны эпителия, которая приводит к высвобождению протеолитических ферментов, что в свою очередь вызывает разрушение стромальной ткани, ослабление и истончение роговицы [3].

КК принято относить к дегенеративным невоспалительным заболеваниям, хотя есть публикации, указывающие на его воспалительный компонент [4–9].

Тканесберегающее лечение КК — двунаправленное. С одной стороны, необходимо стабилизировать прогрессирование заболевания, с другой стороны — обеспечить повышение остроты зрения с помощью оптической коррекции. Выбор методик зависит пре-

имущественно от стадии заболевания. На начальных стадиях КК с целью коррекции зрительных функций рекомендуется ношение очков или контактных линз. Для купирования прогрессирования заболевания рекомендуется выполнение ультрафиолетового (УФ) кросслинкинга [10]. С целью реконструкции передней поверхности роговицы и ее уплощения возможна имплантация роговичных сегментов различной конструкции [11–13]. Однако методики УФ кросслинкинга и интрастромальной имплантации сегментов не рекомендованы при показателе минимальной толщины роговицы в наиболее тонком участке (ТТР) менее 400 μm и максимальном кератометрическом показателе (Kmax) более 58 дптр [10]. Эффективность этих методик на далеко зашедших стадиях крайне низка и сопряжена с высоким риском осложнений [11].

Альтернативные методики УФ-кросслинкинга, предложенные при экстремальных кератопахиметрических показателях, имеют меньшую эффективность, больший процент рецидивов и осложнений

в сравнении с Дрезденским протоколом проведения этой процедуры. При далеко зашедшем КК (III–IV стадии), как правило, выполняется сквозная (СКП) либо глубокая передняя послойная (DALK) кератопластика [14].

При эктазиях роговицы наблюдаются разрывы и фрагментация боуменоваго слоя (БС) [15, 16]. Достоверно известно, что при КК БС имеет неравномерную толщину и значительно тоньше, чем на глазах без КК [17, 18]. Исходя из этого, K. van Dijk и соавт. [19] предложили методику трансплантации БС (ТБС) с целью купирования прогрессирования КК у пациентов с высокой остротой зрения в контактных линзах, но имеющих противопоказания к проведению УФ-кросслинкинга и имплантации интрастромальных сегментов.

Считая предложенный подход научно обоснованным, а методику перспективной, мы апробировали данную технологию с применением собственного способа формирования трансплантата.

ЦЕЛЬ работы — изучить эффективность ТБС в строму роговицы пациентов с прогрессирующим КК III–IV стадии.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Всего под наблюдением находились 30 пациентов (30 глаз), из них 27 мужчин и 3 женщины, в возрасте от 14 до 37 лет (средний возраст — $26,6 \pm 6,2$ года). Переносимость жестких склеральных контактных линз и удовлетворенность максимально скорректированной остротой зрения (МКОЗ) составила 100%. По этой причине все пациенты отказались от трансплантации роговицы.

Критериями включения пациентов в исследование явились: прогрессирующий КК, ТТР — $400 \mu\text{m}$ и менее, K_{max} — 58 дптр и более, удовлетворяющая пациентов острота зрения в контактной линзе, отказ от кератопластики.



Рис. 1. Пациент с атопическим дерматитом, множественными расчесами и геморрагическими корками
Fig. 1. Patient with atopic dermatitis, multiple combs and hemorrhagic crusts

Из сопутствующей патологии отмечен атопический дерматит с множественными расчесами и геморрагическими корками (рис. 1), блефариты, аллергические конъюнктивиты, синдром Дауна. Подавляющее большинство имели привычку неконтролируемо «тереть глаза» и спать с компрессией больного глаза. Из внероговичной сопутствующей офтальмопатологии нами выявлена незрелая катаракта.

До операции средняя ТТР составила $346,0 \pm 58,2 \mu\text{m}$, средний $K_{\text{max}} = 65,7 \pm 3,8$ дптр, средняя МКОЗ = $0,66 \pm 0,16$.

Во всех случаях в распоряжении имелись кератопахиметрические показатели обследованных глаз 6–12-месячной давности. Кроме этого, все пациенты обследовались до операции, через 5 дней, 1, 3, 6, 12 мес и ежегодно. Средний срок наблюдения составил $26,6 \pm 6,0$ мес.

Демографические и дооперационные кератопахиметрические показатели обследованных пациентов представлены в таблице 1.

Визометрию осуществляли в мезопических условиях. Определяли остроту зрения без коррекции и МКОЗ в очках и в жестких склеральных контактных линзах (до операции и не ранее чем через 3 мес после операции). Биомикроскопическое исследование сопровождалось фото- и видеорегистрацией изображений роговой оболочки и переднего отрезка глаза при каждом визите пациента (рис. 2). Кератотомография на основе шеймпфлюг-камеры осуществлялась на кератоанализаторе Galilei G6 (Ziemer Ophthalmic Systems AG, Швейцария) (рис. 3). Фиксировались K_{max} и пахиметрические карты с обязательным выделением локализации и величины ТТР (табл. 1).

Оптическая когерентная томография (ОКТ) роговицы на аппарате Spectralis HRA+OCT (Heidelberg, Германия) осуществлялась для оценки глубины залегания и толщины трансплантата. Глубину залегания определяли в процентном соотношении от толщины роговицы путем измерения толщины роговицы и расстояния трансплантата от эпителия в проекции центра зрачка (рис. 4).

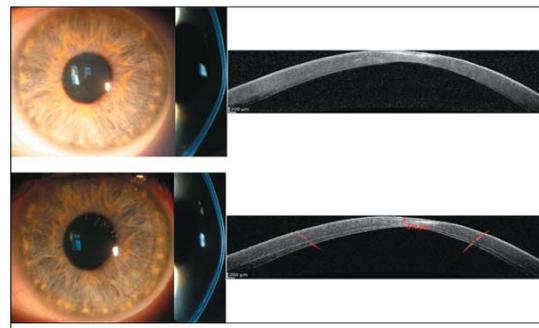


Рис. 2. Биомикроскопическая картина и ОКТ глаза пациента до ТБС и спустя 36 мес после нее
Fig. 2. Slit-lamp and OCT images of the patient before BLT and 36 months after the surgery

Таблица 1. Демографические и дооперационные кератопахиметрические показатели обследованных пациентов
Table 1. Demographics and preoperative keratopachimetric values of examined patients

Пациент №/пол/возраст, лет Patient's №/sex/age, yrs	Срок наблюдения, мес Follow-up, month	ТТР, μm СТР, μm	Кmax, D	ПЭК, mm^2 ECD, mm^2
1/М/25	36	405	64,6	2552
2/М/29	33	388	63,7	2645
3/Ж(Ф)/35	32	356	59,5	2489
4/М/27	31	265	70,1	2310
5/М/26	31	367	64,7	2528
6/М/25	29	423	63,7	2673
7/М/30	29	409	67,6	2791
8/М/21	29	397	62,6	3100
9/М/22	29	375	59,1	2653
10/М/14	27	367	69,1	2487
11/М/32	27	324	65,7	2871
12/М/38	25	335	70,2	2910
13/М/23	24	185	69,1	2762
14/Ж(Ф)/17	23	415	67	3012
15/М/25	21	376	66	2991
16/Ж(Ф)/37	20	265	53,4	2764
17/М/17	19	367	64,9	2291
18/М/17	18	403	65,6	2670
19/М/29	18	409	68,1	2791
20/М/19	15	397	66,3	2940
21/М/38	15	359	61,2	2653
22/М/29	15	312	64,2	2487
23/М/27	12	298	66,2	2871
24/М/25	12	258	69,1	2347
25/М/32	10	324	68,6	2879
26/М/26	10	367	69,3	2843
27/М/26	10	254	66,5	2762
28/М/29	9	342	67,2	3019
29/М/30	6	343	68,5	2461
30/М/27	6	295	70,5	2856
М \pm SD	27,7 \pm 8,9	346,0 \pm 58,2	65,7 \pm 3,8	2705 \pm 230

Примечание. ПЭК — плотность эндотелиальных клеток.
Note. СТР — corneal thinnest point. ECD — endothelial cells density.

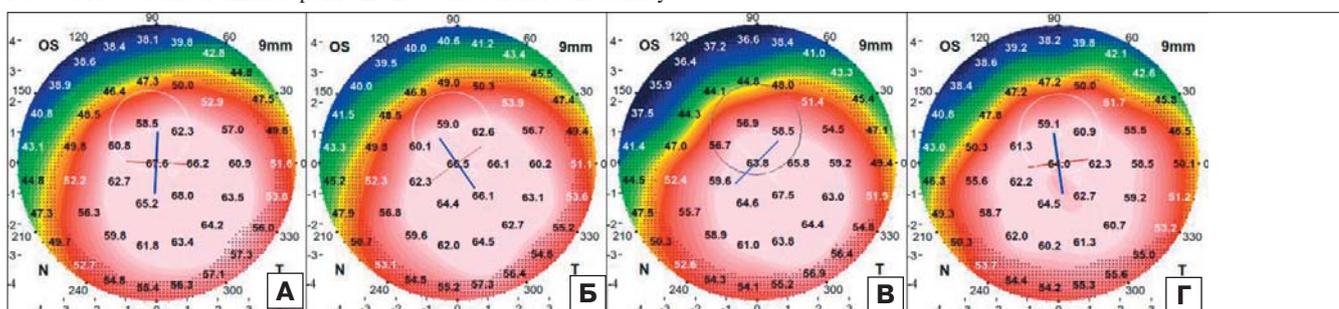


Рис. 3. Аксиальная карта передней кривизны роговицы. А — до ТБС. Б — через 3 мес после ТБС. В — через 6 мес после ТБС. Г — через 36 мес после ТБС
Fig. 3. Axial map of the anterior curvature of the cornea. А — before BLT. Б — 3 months after BLT. В — 6 months after BLT. Г — 36 months after BLT

ПЭК определяли в мануальном режиме методикой фиксированной рамки после получения изображений контактным способом на аппарате Confoscan 4 (Nidek Co.Ltd., Япония) (рис. 5).

Техника операции. Все операции выполнены под местной инстилляционной и субконъюнктивальной анестезией. Во всех случаях источником трансплантата явились корнеосклеральные диски доноров без десцеметовой мембраны. Последняя была предварительно отслоена со всех корнеосклеральных дисков, в том числе разделена на 2 или 4 части, и трансплантирована в ходе нескольких Descemet Membrane Endothelial Keratoplasty (DMEK), в том числе частичных [19–21].

Формирование трансплантата БС. Корнеосклеральный диск фиксировался в искусственной передней камере (Katena, Rockmed, Oirschot, the Netherlands). После полной дезэпителизации осуществлялась разметка роговицы циркулярным разметчиком 9 мм и трипановым синим. В 1–2 мм периферичнее от нее производилась насечка кератомическим алмазным ножом с микрометром (патент РФ № 2647197). После этого плоским микрохирургическим пинцетом БС отслаивался от подлежащей стромы. Трансплантат на 30 с погружали в 70 % раствор этилового спирта для полной дезэпителизации, после чего на 30 с погружали в сбалансированный физиологический раствор (BSS) (рис. 7). Далее трансплантат окрашивался 0,06 % раствором трипа-

нового синего (Vision Blue™, DORC International), омывался в растворе BSS и помещался на контактную линзу, расположенную в подставке высекателя роговицы (Barron punch, Katena, USA), для последующей трепанации.

Формирование интрастромального кармана. В меридиане 11–13 ч осуществлялся разрез конъюнктивы по лимбу. После коагуляции склеральных сосудов в 2 мм от лимба и параллельно ему лезвием производили 3-мм надрез на 1/2 глубины склеры. Копьевидным ножом выполняли роговичный парцентез, через который переднюю камеру заполняли воздухом. Ножом-расслаивателем, начиная с меридиана 12 ч, формировали интрастромальный карман на 2/3 глубины роговицы в пределах лимбального кольца. Воздух из передней камеры частично выводили.

ТБС. После трепанации трансплантата диаметром 8–9 мм с помощью глайда для передней камеры сложенный трансплантат БС вводили в сформированный карман роговицы реципиента и путем манипуляций *ab interno* расправляли и центрировали его в слоях роговицы. Операцию заканчивали наложением одного конъюнктивального шва в меридиане 12 ч.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Ни в одном случае не было выбраковки трансплантата БС, что мы связываем с методикой формирования трансплантата с применением кератомического ножа. Интраоперационных осложнений не отмечено ни в одном случае. Ход операций во всех случаях был стандартным. Наибольшую сложность представляло расслаивание тонкой роговицы реципиента на вершине КК. Тем не менее перфораций удалось избежать во всех случаях. После операционный период во всех случаях протекал без особенностей.

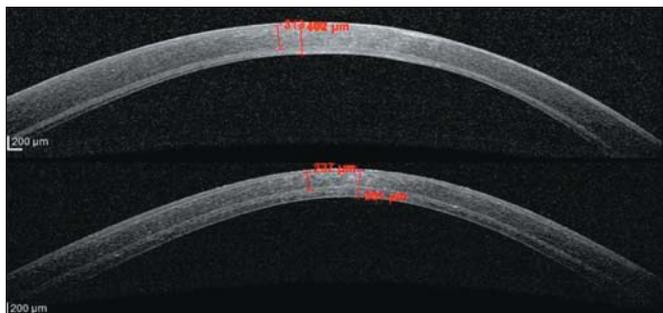


Рис. 4. ОКТ роговицы. Боуменов слой в зависимости от глубины расположения

Fig. 4. OCT images of BL in stromal pocket

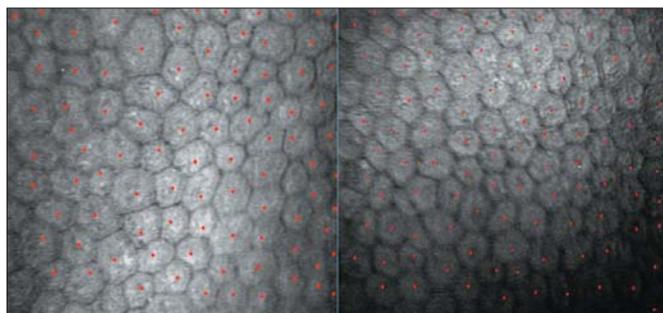


Рис. 5. ПЭК до и спустя 36 мес после операции

Fig. 5. ECD before and 36 months after the surgery



Рис. 6. Изолированный боуменов слой в жидкой среде

Fig. 6. Isolated BL in a liquid medium

В таблице 2 представлены послеоперационные кератопахиметрические показатели, а также их разница с дооперационными данными. В итоге в сравнении с дооперационным уровнем Kmax уменьшился в среднем на $0,6 \pm 0,5$ дптр, а ТТР увеличилась в среднем на $36,7 \pm 13,9$ μm . Отсутствие отрицательной динамики в кератопахиметрических величинах после ТБС свидетельствует, по нашему мнению, о стабилизирующем влиянии методики

на прогресс КК. Острота зрения без коррекции после ТБС улучшилась у 4 пациентов с $0,03 \pm 0,04$ до $0,08 \pm 0,01$. В то же время МКОЗ в склеральных линзах ни в одном случае не изменилась. Полученные данные свидетельствуют о функциональной безопасности ТБС. Результаты ОКТ показали, что глубина расположения трансплантата варьировала от 65 до 80 % и в среднем составила $75,5 \pm 6,6$ % (табл. 3). Во всех случаях трансплантат располагался в рого-

Таблица 2. Послеоперационные кератопахиметрические показатели
Table 2. Postoperative keratopachimetry data

Пациент № Patient's №	Срок наблюдения, мес Follow-up, month	ТТР, μm СТР, μm				Kmax, D			
		1 мес 1 month	6 мес 6 month	последнее обследование Latest exam	разница между дооперационным и последним исследованием Δ pre-op to latest exam	1 мес 1 month	6 мес 6 month	последнее обследование Latest exam	разница между дооперационным и последним исследованием Δ pre-op to latest exam
1	36	452	441	438	36	64,4	65,2	64,1	-0,5
2	33	449	417	412	24	64,1	64,4	63,3	-0,4
3	32	430	399	402	46	60,2	60,8	59,2	-0,3
4	31	376	291	301	36	69,9	69,8	68,6	-1,5
5	31	399	387	385	18	65,2	65,9	64,5	-0,2
6	29	478	451	449	26	63,9	63,5	63,1	-0,6
7	29	432	426	431	22	67,3	65,5	66,2	-1,4
8	29	465	426	429	32	61,6	62,7	61,5	-1,1
9	29	410	391	395	20	58,4	58,8	58	-1,1
10	27	420	389	387	20	69	68,7	68	-1,1
11	27	372	361	366	42	65,6	65,6	65,6	-0,1
12	25	390	384	377	42	70,7	70,3	69,8	-0,4
13	24	289	276	255	70	69,5	69	68,7	-0,4
14	23	492	449	451	36	68,1	67,2	67,2	-0,9
15	21	461	413	419	43	66,2	65,8	66,2	+0,2
16	20	357	312	291	26	54	53,3	53,5	+0,1
17	19	406	394	400	33	62,9	63,1	64,1	-0,8
18	18	447	449	452	49	66,6	65,5	64,9	-0,7
19	18	470	467	461	52	66,7	66,8	67,9	-0,2
20	15	423	425	431	34	66,3	66,2	66	-0,3
21	15	398	379	381	22	61	60,6	60,8	-0,4
22	15	373	365	373	61	63,7	64,6	64,1	-0,1
23	12	356	342	339	41	65,6	65,5	66	-0,2
24	12	272	270	281	23	69	68,8	68,6	-0,5
25	10	380	376	366	42	68,2	67,8	67,7	-0,9
26	10	400	391	395	28	69	68,6	68,7	-0,6
27	10	310	289	321	67	65,5	65,7	65,5	-1
28	9	392	382	373	31	66,8	66,1	65,9	-1,3
29	6	388	371	371	28	68,2	68	68,1	-0,4
30	6	352	347	347	52	69,9	69,8	68,9	-1,6
M \pm SD	27,7 \pm 8,9	402,0 \pm 55,7	367,0 \pm 53,3	382,0 \pm 52,1	36,7 \pm 13,9	64,6 \pm 3,1	65,4 \pm 3,6	65,1 \pm 3,7	-0,6 \pm 0,5

вичном кармане равномерно, без складок, на одинаковом расстоянии от задней поверхности роговицы. В то же время, как показала эндотелиальная микроскопия в динамике, хирургическое вмешательство и присутствие БС поблизости от задней поверхности роговицы не оказали негативного влияния на ПЭК (табл. 3).

ОБСУЖДЕНИЕ

КК остается самой частой дегенерацией роговицы и входит в тройку ведущих показаний к СКП и/или DALK. В последнее десятилетие в клиническую практику широко вошли методики УФ-кросслинкинга и имплантации интрастром-

мальных имплантов, которые при своевременном применении показывают достаточно высокую эффективность и позволяют отсрочить либо избежать трансплантации роговицы. Однако эти методики нецелесообразны при чрезмерно тонкой (400 μm и менее) и крутой (58 дптр) роговице ввиду высокого риска осложнений и низкой эффективности. Несмотря на это, в последние годы предложены методики УФ-кросслинкинга при толщине роговицы менее 400 μm , однако результаты остаются противоречивыми [22–26]. В то же время значительная часть больных, которым противопоказаны УФ-кросслиндинг и имплантация интрастромальных сегментов, удовлетворены зрением в контактной линзе или могут иметь высокое зрение при условии правильного подбора контактных линз, но вынуждены соглашаться на СКП или DALK по причине отсутствия на этих стадиях заболевания корнеосохранных методик.

Данные литературы свидетельствуют о том, что трансплантация роговицы сопровождается развитием посткератопластического астигматизма, что потребует коррекции, в том числе контактной линзой. В раннем послеоперационном периоде после СКП астигматизм может достигать 3–7 дптр, что соответствует астигматизму неоперированных пациентов с КК [27, 28], а разброс сферического эквивалента после СКП составляет от -6,75 до +7,25 дптр [28, 29].

Кроме того, биологическая эффективность трансплантата ограничена во времени. Математическое моделирование прогноза выживаемости кератотрансплантата показывает, что через 15 лет после СКП теоретически останутся прозрачными 48 % трансплантатов, через 20 лет — 27 % и через 30 лет — всего 2 % пересаженных роговиц [30].

Методика ТБС, предложенная K. van Dijk и соавт. [19], является корнеосохранной и имеет целью стабилизировать эктатический процесс, избежать пересадки роговицы и улучшить переносимость контактной коррекции, которая может обеспечить высокое зрение.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная методика формирования трансплантата БС исключает его выбраковку. Операция ТБС технически проста в исполнении, не оказывает негативного влияния на МКОЗ. Операция ТБС оказывает стабилизирующий эффект на прогресс КК, что позволяет избежать кератопластики у пациентов с далеко зашедшим КК.

Литература/References

1. Grzybowski A., McGhee C.N. The early history of keratoconus prior to Nottingham's landmark 1854 treatise on conical cornea: a review. Clin. Exp. Optom. 2013 Mar; 96: 140–5. doi: 10.1111/cxo.12035

Таблица 3. Данные глубины залегания трансплантата и ПЭК
Table 3. The graft depth and endothelial cell density (ECD)

Глубина залегания трансплантата, % The graft depth, %	ПЭК, мм ² ECD, mm ²
66	2461
84	2639
75	2518
71	2401
85	2310
70	2631
72	2656
83	3098
79	2326
65	2523
71	2913
83	2893
79	2818
68	2973
75	2879
72	2817
85	2303
68	2721
83	2827
78	2829
67	2735
74	2518
68	2882
84	2259
72	2763
85	2783
69	2675
74	3004
79	2547
81	2742
M \pm SD 75,5 \pm 6,6	2681 \pm 224

2. *Nottingham J.* Practical observations on conical cornea: and on the short sight, and other defects of vision connected with it. J. Churchill (London). 1854; 270: 32.
3. *Teng C.C.* Electron microscope study of the pathology of keratoconus. Part 1. Am. J. Ophthalmol. 1963; 5518–47.
4. *Binder P.S., Lindstrom R.L., Stulting R.D., et al.* Keratoconus and corneal ectasia after LASIK. J. Refract. Surg. 2005; 21 (6 Nov.–Dec.): 749–52. PMID:16329368
5. *Li X., Rabinowitz Y.S., Rasheed K., Yang H.* Longitudinal study of the normal eyes in unilateral keratoconus patients. Ophthalmology. 2004; 111: 440–6. doi: 10.1016/j.ophtha.2003.06.020
6. *Li X., Yang H., Rabinowitz Y.S.* Longitudinal study of keratoconus progression. Exp. Eye. Res. 2007 Oct; 85: 502–7. doi: 10.1016/j.exer.2007.06.016
7. *Li X., Yang H., Rabinowitz Y.S.* Keratoconus: classification scheme based on videokeratography and clinical signs. J. Cataract Refract. Surg. 2009 Sep; 35: 1597–603. doi: 10.1016/j.jcrs.2009.03.050
8. *Rabinowitz Y.S., Rasheed K.* KISA% index: a quantitative videokeratography algorithm embodying minimal topographic criteria for diagnosing keratoconus. J. Cataract Refract. Surg. 1999; 25 (Oct.): 1327–35. doi:10.1016/s0886-3350(99)00195-9
9. *Klyce S.D., Karon M.D., Smolek M.K.* Screening patients with the corneal navigator. J. Refract. Surg. 2005; 21 (5 Suppl; Sep.–Oct.): S. 617–22.
10. *Wollensak G., Spoerl E., Seiler T.* Riboflavin/ultraviolet-a induced collagen crosslinking for the treatment of keratoconus. Am. J. Ophthalmol. 2003; 135 (May): 620–7. doi: 10.1016/s0002-9394(02)02220-1
11. *Coskunseven E., Kymionis G.D., Tsiklis N.S., et al.* Complications of intrastromal corneal ring segment implantation using a femtosecond laser for channel creation: a survey of 850 eyes with keratoconus. Acta Ophthalmol. 2011; 89 (Feb.): 54–7. doi: 10.1111/j.1755-3768.2009.01605.x
12. *Colin J., Malet F.J.* Intacs for the correction of keratoconus: two-year follow-up. J. Cataract Refract. Surg. 2007; 33 (1 Jan.): 69–74. doi:10.1016/j.jcrs.2006.08.057
13. *Daxer A., Ettl A., Hörantner R.* Long-term results of MyoRing treatment of keratoconus. J Optom. 2017; 10 (2 Apr. — Jun.): 123–9. doi: 10.1016/j.optom.2016.01.002
14. *Jones M.N., Armitage W.J., Ayliffe W., et al.* Penetrating and deep anterior lamellar keratoplasty for keratoconus: a comparison of graft outcomes in the United Kingdom. Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 2009; 50 (Dec.): 5625–9. doi: 10.1167/iovs.09-3994
15. *Romero-Jimenez M., Santodomingo-Rubido J., Wolffsohn J.S.* Keratoconus: a review. Cont. Lens Anterior Eye. 2010; 33 (4): 157–66. doi: 10.1016/j.clae.2010.04.006
16. *Ambekar R., Toussaint K.C.Jr., Wagoner Johnson A.* The effect of keratoconus on the structural, mechanical, and optical properties of the cornea. J. Mech. Behav. Biomed. Mater. 2011; 4 (3 Apr.): 223–36. doi: 10.1016/j.jmbbm.2010.09.014
17. *Abou Shousha M., Perez V.L., Fraga Santini Canto A.P., et al.* The use of Bowman's layer vertical topographic thickness map in the diagnosis of keratoconus. Ophthalmology. 2014; 121 (5 May): 988–93. doi: 10.1016/j.ophtha.2013.11.034
18. *Sawaguchi S., Fukuchi T., Abe H., et al.* Three-dimensional scanning electron microscopic study of keratoconus corneas. Arch. Ophthalmol. 1998; 116 (1): 62–8.
19. *van Dijk K., Parker J., Tong C.M., et al.* Midstromal isolated Bowman layer graft for reduction of advanced keratoconus: a technique to postpone penetrating or deep anterior lamellar keratoplasty. JAMA Ophthalmol. 2014 Apr 1; 132 (4): 495–501. doi: 10.1001/jamaophthalmol.2013.5841
20. *Oganesyan O.G., Neroev V.V., Grdikanyan A.A., Getadaryan V.R.* Five keratoplasties from one donor cornea. Cornea. 2018; 37 (5 May): 667–71. doi: 10.1097/ICO.0000000000001551
21. *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. doi: 10.21516/2072-0076-2018-11-3-11-18
22. *Oganesyan O.G., Makarov P.V., Grdikanyan A.A., Getadaryan V.R.* The new strategy of keratoplasty: splitting and division of donor cornea. Russian ophthalmological journal. 2018; 11 (3): 11–8. <https://roj.igb.ru/jour/article/view/164/186>. doi: 10.21516/2072-0076-2018-11-3-11-18
23. *Raiskup F., Spoerl E.* Corneal cross-linking with hypo-osmolar riboflavin solution in thin keratoconic corneas. Am. J. Ophthalmol. 2011; 152: 28–32. doi: 10.1016/j.ajo.2011.01.016
24. *Hafezi F.* Limitation of collagen cross-linking with hypoosmolar riboflavin solution: failure in an extremely thin cornea. Cornea. 2011; 30: 917–9. doi: 10.1097/ICO.0b013e31820143d1
25. *Hafezi F., Mrochen M., Iseli H.P., Seiler T.* Collagen crosslinking with ultraviolet-A and hypoosmolar riboflavin solution in thin corneas. J. Cataract Refract. Surg. 2009; 35: 621–4.
26. *Meek K.M., Hayes S.* Corneal cross-linking: a review. Ophthalmic Physiol. Opt. 2013; 33 (Mar): 78–93. doi: 10.1111/opo.12032
27. *Maeno A., Naor J., Lee H.M., et al.* Three decades of corneal transplantation: indications and patient characteristics. Cornea. 2000; 19 (1 Jan.): 7–11. doi:10.1097/00003226-200001000-00002
28. *Riddle H., Parker D., Price F.* Management of postkeratoplasty astigmatism. Curr. Opin. Ophthalmol. 1998; 9 (4 Aug.): 15–28. doi: 10.1097/00055735-199808000-00004
29. *Duran J.A., Malvar A., Diez E.* Corneal dioptric power after penetrating keratoplasty. Br. J. Ophthalmol. 1989; 73 (8 Aug.): 657–60. doi: 10.1136/bjo.73.8.657
30. *Isager P., Hjortdal J., Ehlers N.* Stability of graft refractive power after penetrating keratoplasty. Acta Ophthalmol. Scand. 2000; 78 (6 Dec.): 623–6. doi: 10.1034/j.1600-0420.2000.078006623.x
31. *Borderie V.M., Boëlle P.Y., Touzeau O., et al.* Predicted long-term outcome of corneal transplantation. Ophthalmology. 2009; 116 (12 Dec.): 2354–60. doi: 10.1016/j.ophtha.2009.05.009

Поступила: 28.10.2019

Переработана: 01.11.2019

Принята к печати: 02.11.2019

Originally received: 28.10.2019

Final revision: 01.11.2019

Accepted: 02.11.2019

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

ФГБУ «НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России, ул. Садовая-Черногрязская, 14/19, Москва, 105062, Россия

Оганес Георгиевич Оганесян, д-р мед. наук, ведущий научный сотрудник отдела травматологии и реконструктивной хирургии, профессор кафедры глазных болезней ФГБОУ ВО МГМСУ им. А.И. Евдокимова

Востан Рафаелович Гетадарян, аспирант отдела травматологии и реконструктивной хирургии

Павел Васильевич Макаров, д-р мед. наук, ведущий научный сотрудник отдела травматологии и реконструктивной хирургии

Артур Александрович Грдиканян, врач отдела травматологии и реконструктивной хирургии

Для контактов: Оганес Георгиевич Оганесян, oftalmolog@mail.ru

Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases, 14/19, Sadovaya Chernogryazskaya St., Moscow, 105062, Russia

Oganes G. Oganesyan, Dr of Med. Sci., department of viral and allergic eye diseases

Vostan R. Getadaryan, PhD student, department of ocular trauma and reconstructive surgery

Pavel V. Makarov, Dr of Med. Sci., leading researcher, department of ocular trauma and reconstructive surgery

Arthur A. Grdikanyan, ophthalmologist, department of ocular trauma and reconstructive surgery

Contact information: Oganes G. Oganesyan, oftalmolog@mail.ru