УДК 617.713-089.843 DOI: https://doi.org/10.25276/0235-4160-2021-3-21-27

# Особенности формирования «Big Bubble» при проведении глубокой передней послойной кератопластики

# С.К. Демьянченко, А.В. Терещенко

ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, Калужский филиал

## ΡΕΦΕΡΑΤ

Цель. Определить оптимальные параметры канала в глубоких слоях стромы роговицы при выполнении глубокой передней послойной кератопластики (ГППКП), обеспечивающие максимальную частоту формирования воздушного пузыря, под контролем интраоперационной оптической когерентной томографии (ОКТ). Материал и методы. Исследование проведено на 30 пациентах (30 глаз) с диагнозом кератоконус III стадии. Средний возраст пациентов - 31±7 лет. Все пациенты были разделены на группы по 10 пациентов в зависимости от выбора топографической ориентации канала для пневмодиссекции в глубоких слоях стромы роговицы при выполнении ГППКП: 1-я группа – канал расположен по направлению к центру роговицы; 2-я группа – канал расположен парацентрально к височной стороне; 3-я группа - канал расположен парацентрально к носовой стороне. Во всех случаях ГППКП выполнялась с использованием фемтосекундного лазера Femto LDV Z8 (Ziemer, Швейцария). Протяженность формируемых фемтоканалов варьировала и составила 1,0, 1,5, 2,0, 2,5 и 3,0 мм в каждой группе. Результаты. Использование интраоперационного ОКТ показало, что во всех 30 случаях глубина залегания канала для пневмодиссекции соответствовала предоперационным расчетам и составила 97±5 мкм до десцеметовой мембраны (ДМ). Было

установлено, что залегание канала на расстоянии 100 мкм до ДМ и его периферическая ориентация характеризуются большей частотой формирования пузыря «Big Bubble» в сравнении с его центральной ориентацией: 3-я группа - 90% и 2-я группа - 80% против 1-й группы – 60% случаев. Исследование влияния протяженности канала для пневмодиссекции на простоту формирования «Big Bubble» показало, что при использовании каналов 2,0, 2,5, 3,0 мм требуется большее количество попыток инжекции стерильного воздуха, чем при коротких каналах 1,0, и 1,5 мм (в среднем 3 попытки против 1,5 попыток соответственно). Заключение. Парацентральная ориентация расположения канала для пневмодиссекции сопровождается более высоким процентом формирования пузыря «Big Bubble», чем центральное расположение канала. Мануальное продление фемтоканалов протяженностью 1,0, 1,5 мм микрохирургическим шпателем 30G с последующим введением в канал металлической канюли 27G способствует минимизации количества попыток инжекции стерильного воздуха, что облегчает процесс формирования пузыря «Big Bubble». Проведение ГППКП с использованием функции интраоперационной ОКТ позволяет контролировать точность выполнения всех этапов операции, включая этап формирования большого воздушного пузыря.

Ключевые слова: глубокая передняя послойная кератопластика, Big Bubble, канал для пневмодиссекции

Для цитирования: Демьянченко С.К., Терещенко А.В. Особенности формирования «Big Bubble» при проведении глубокой передней послойной кератопластики. Офтальмохирургия. 2021;3: 21–27. https://doi.org/10.25276/0235-4160-2021-3-21-27.

## ABSTRACT

## Features of the formation of «Big Bubble» during deep anterior lamellar keratoplasty

S.K. Demyanchenko, A.V. Tereshchenko

Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Kaluga branch, Russian Federation

**Purpose.** To determine the optimal channel parameters in the deep layers of the corneal stroma when performing deep anterior lamellar keratoplasty (DALK), providing the maximum frequency of air bubble formation, under the control of intraoperative optical coherence tomography. **Material and methods.** The study was performed at 30 patients (30 eyes) with a diagnosis of stage III keratoconus. The average age of patients is 31±7 years. All patients were divided into groups consisting of 10 patients, depending on the choice of the topographic orientation of the channel for pneumodissection in the deep layers of the corneal stroma when performing DALK: 1st group – the channel is located towards the center of the cornea; 2nd group – the channel is located paracentral to the temporal side; 3rd group – the channel is located paracentral to the nasal side. In all cases, DALK was performed with a femtosecond laser Femto LDV Z8 (Ziemer, Switzerland). The length of the formed femto



channels were variable and amounted to 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 and 3.0 mm in each group. **Results.** The use of intraoperative OCT demonstrated that in all 30 cases the depth of the channel for pneumodissection corresponded to preoperative calculations and amounted to  $97\pm5 \mu$ m to DM. It was found that the bedding of the channel at a distance of 100  $\mu$ m to the descemet membrane (DM) and its paracentral orientation is characterized by a greater frequency of formation of the «Big Bubble» in comparison with its central orientation: 3rd group – 90% and 2nd group – 80% against 1st group – 60% of cases. The study of the effect of the length of the channel for pneumodissection on the ease of formation of the «Big Bubble» demonstrated that more attempts are required to inject sterile air when channels of 2.0, 2.5, 3.0 mm being used than with short channels of 1.0, and 1, 5 mm (average 3 attempts versus 1.5 attempts, respectively). **Conclusion.** The paracentral orientation of the location of the channel for pneumodissection is accompanied by a higher percentage of formation of the «Big Bubble» than the central location of the channel. Manual extension of femtochannels having length of 1.0, 1.5 mm, directly with a microsurgical spatula 30G followed by inserting a metal cannula into the channel minimizes the number of attempts to inject sterile air, that facilitates the formation of the «Big Bubble». Performing DALK applying the function of intraoperative OCT allows to control the accuracy of all stages of the operation, including the stage of formation of a large air bubble. Performing DALK with the applying of the function of intraoperative OCT allows to control the accuracy of all stages of the operation, including the stage of formation of a large air bubble.

**Key words:** deep anterior lamellar keratoplasty, Big Bubble, channel for pneumodissection

For quoting: Demyanchenko S.K., Tereshchenko A.V. Features of the formation of «Big Bubble» during deep anterior lamellar keratoplasty. Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery. 2021;3: 21–27. https://doi.org/10.25276/0235-4160-2021-3-21-27.

Ней послойной кератопластики (ГППКП) (англ. deep anterior lamellar keratoplasty – DALK) перед традиционной сквозной кератопластикой являются снижение риска интраоперационных осложнений, более высокие прочностные характеристики глаза после операции, меньшая частота иммунных реакций, а также потенциально бо́льшая продолжительность жизни трансплантата, что делает это вмешательство операцией выбора при ряде заболеваний роговицы.

Данный вид пересадки роговицы применяется с оптической, рефракционной целью при кератоконусе, пеллюцидной краевой дегенерации роговицы, а также при помутнениях и рубцах роговицы, локализующихся в оптической зоне с распространением на поверхностные и средние слои роговицы без нарушений в глубоких слоях, повреждений десцеметовой мембраны (ДМ) и эндотелиального слоя роговицы. Патогенетическая ориентированность вмешательства заключается в замене измененной стромы пациента и сохранении собственной ДМ и эндотелиального слоя роговицы.

ГППКП была предложена доктором E.A. Archilla в 1980 г. и модифицирована доктором M. Anwar в 2002 г. Модификация касалась способа отсепаровки ДМ при помощи воздуха, нагнетаемого в строму роговицы путем формирования большого воздушного пузыря, который и отслаивал ДМ со слоем эндотелиальных клеток от подлежащей стромы роговицы [1].

#### Для корреспонденции:

Демьянченко Сергей Константинович, к.м.н., врач-офтальмолог ORCID ID: 0000-0002-0839-2876. E-mail: nauka@mntk.kaluga.ru

#### For correspondence:

Sergey Demyanchenko, candidate of medical sciences, ophthalmologist ORCID ID: 0000-0002-0839-2876. E-mail: nauka@mntk.kaluga.ru Данная модификация значительно упростила и в определенной степени стандартизировала хирургическое пособие, что привело к распространению методики в мировой офтальмохирургической практике, несмотря на сохраняющуюся техническую сложность выполнения глубокой передней послойной кератопластики в целом [2].

Особое внимание при проведении ГППКП уделяется технике выполнения «Big Bubble». Большинство случаев перехода на сквозную кератопластику так или иначе сопряжены с этим этапом. Необходимость сформировать канал для пневмодиссекции в непосредственной близости к ДМ несет риск ее перфорации, а поверхностное расположение канала сопряжено с низким процентом формирования большого воздушного пузыря. В свою очередь, переход на мануальную отсепаровку связан с высоким риском повреждения ДМ и переходом на сквозную кератопластику [3–5].

Внедрение фемтосекундных лазеров в хирургию роговицы позволило в значительной степени стандартизировать этапы резекции наружных слоев стромы и формирования канала в глубоких слоях стромы на заданной глубине, что, в свою очередь, привело к минимизации риска перфорации ДМ на данных этапах операции и повышению воспроизводимости методики ГППКП в целом [6–8]

Появление в клинической практике интраоперационных микроскопов с интегрированной функцией интраоперационной оптической когерентной томографии открывает возможность проведения прецизионных вмешательств на роговице с наличием объективного контроля за выполнением тех или иных манипуляций [9, 10].

Однако, несмотря на наличие в арсенале хирургов современного высокотехнологичного оборудования экспертного класса, остается нерешенной проблема гарантированного формирования «Big Bubble» в ходе проведения ГППКП. В этом отношении особый интерес пред-

Особенности формирования «Big Bubble» при проведении глубокой передней...

ХИРУРГИЯ РОГОВИЦЫ



Рис. 1. Схема расположения интрастромального канала различной протяженности: а) канал ориентирован к центру роговицы; б) канал ориентирован парацентрально к виску; в) канал ориентирован парацентрально к носу

Fig. 1. Scheme of the intrastromal canal of various lengths: a) the canal is oriented towards the center of the cornea; δ) the canal is oriented paracentral to the temple; B) the canal is oriented paracentral to the nose

ставляют работы, посвященные изучению распределения напряжения, оказываемого внутриглазной жидкостью на внутреннюю поверхность роговицы в ее различных отделах: центральных и периферических [11–13].

### ЦЕЛЬ

Определить оптимальные параметры канала в глубоких слоях стромы роговицы при выполнении глубокой передней послойной кератопластики, обеспечивающие максимальную частоту формирования воздушного пузыря, под контролем интраоперационной оптической когерентной томографии (ОКТ).

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследование проведено на 30 пациентах (30 глаз) с диагнозом кератоконус III стадии. Средний возраст пациентов – 31±7 лет.

Все пациенты были разделены на группы в зависимости от выбора топографической ориентации канала для пневмодиссекции в глубоких слоях стромы роговицы при выполнении ГППКП:

• 1-я группа – 10 пациентов, которым была проведена ГППКП с расположением канала для пневмодиссекции по направлению к центру роговицы *(рис. 1 а)*;

• 2-я группа – 10 пациентов, которым была выполнена ГППКП с формированием канала для пневмодиссекции, ориентированного парацентрально к височной стороне (*puc. 1 б*);

• 3-я группа – 10 пациентов, которым ГППКП выполнялась с формированием канала для пневмодиссекции, ориентированного парацентрально к носовой стороне (*puc. 1 в*).

Во всех случаях ГППКП выполнялась с использованием фемтосекундного лазера Femto LDV Z8 (Ziemer, Швейцария). Канал программировался следующим образом. Ширина канала составляла 0,6 мм, вход в канал начинался с поверхности ламелярного реза и заканчивался на расстоянии 100 мкм от ДМ. Вход в канал начинался, отступя 0,5 мм от края циркулярного реза. В 1-й группе вход в канал был ориентирован по оси 90°, а во 2-й и 3-й группах – по оси 70° или 110° в зависимости от глаза пациента и локализации височной или носовой стороны.

Протяженность формируемых фемтоканалов варьировала и составила 1,0, 1,5, 2,0, 2,5 и 3,0 мм в каждой группе. Таким образом, в каждой группе выполнялось по 2 однотипных канала в глубоких слоях стромы роговицы. Каналы протяженностью 1,0, 1,5 2,0 и 2,5 мм продлевались микрохирургическим шпателем 30G до пересечения с условной линией горизонтального меридиана, затем в сформированный канал вводилась тупоконечная металлическая канюля 27G, одетая на шприц со стерильным воздухом, после чего проводилась пневмодиссекция. Каналы протяженностью 3,0 мм не продлевались, а инжекция стерильного воздуха в строму роговицы осуществлялась при плотном контакте торцевой части канюли с дном сформированного фемтосекундным лазером канала.

Интраоперационно оценивалась частота формирования большого воздушного пузыря при различной топографической ориентации канала для пневмодиссекции и его протяженности, а также простота формирования «Big Bubble» (количество попыток пневмодиссекции до момента формирования полноценного пузыря «Big Bubble»).

Контроль глубины залегания канала для пневмодиссекции и контроль местоположения канюли внутри канала в процессе формирования большого воздушного пузыря, а также процесс распространения воздуха



Рис. 2. Интраоперационная ОКТ: контроль глубины интрастромального канала по местоположению шпателя (эхотень шпателя в непосредственной близости от ДМ отмечена стрелкой)

**Fig. 2.** Intraoperative OCT: control of the depth of the intrastromal canal by the location of the spatula (the echo of the spatula in the immediate vicinity of the DM (Descemet's membrane) is marked with an arrow)

в глубоких слоях стромы в ходе формирования пузыря «Big Bubble» осуществлялся непосредственно по ходу операции с использованием функции интраоперационной ОКТ, интегрированной в операционный микроскоп Hi-R Neo 900 (Haag-Streit Surgical, Германия) (рис. 2, 3). Для определения фактической глубины канала, сформированного фемтолазером, при помощи интраоперационной ОКТ определялась общая толщина роговицы в области дна канала. Затем в канал вводился шпатель 30G, и при прохождении луча сканирования интраоперационной ОКТ по концу рабочей части шпателя, введенного в сформированный канал, на ОКТ-картинке четко визуализировались контуры шпателя в толще стромы роговицы (рис. 2). Далее измерялась толщина роговицы над шпателем. Разница между общей толщиной роговицы и толщиной роговицы над шпателем в области дна канала оценивалась как дистанция от дна канала до ДМ.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Использование интраоперационной ОКТ показало, что во всех 30 случаях глубина залегания канала для пневмодиссекции соответствовала предоперационным расчетам и составила 97±5 мкм до ДМ.

В 1-й группе, с центральным расположением канала, большой воздушный пузырь удалось сформировать в 6 случаях (60%.) При протяженности канала для пневмодиссекции 1,0, 1,5 и 2,0 мм большой пузырь был сформирован, в то время как при протяженности 2,5 и 3 мм происходила тотальная пневматизация стромы без формирования «Big Bubble», что потребовало дальнейшей мануальной отсепаровки, при этом в одном случае операцию пришлось конвертировать в сквозную кератопластику связи с нарушением целостности ДМ на этапе мануальной диссекции.

Для формирования большого воздушного пузыря при протяженности канала 1,0 1,5, 2,0 мм в среднем потребовалось 2 попытки инжекции стерильного воздуха, а при протяженности канала 2,5 и 3,0 мм были предприняты 3 и 4 попытки соответственно, что привело к полной пневматизации стромы без образования «Big Bubble».

Во 2-й группе, с расположением канала парацентрально к виску, формирование большого воздушного пузыря отмечалось при протяженности канала для пневмодиссекции 1,0, 1,5, 2,0 и 2,5 мм (8 глаз, 80% случаев), в то время как при протяженности 3,0 мм произошла тотальная пневматизация стромы без формирования «Big Bubble», что потребовало дальнейшей мануальной отсепаровки. Для формирования большого воздушного пузыря при протяженности канала 1,0 и 1,5 мм в среднем потребовалось 1,5 попытки инжекции стерильного воздуха, а при протяженности канала 2,0 и 2,5 мм – по 2 попытки соответственно, при этом при протяженности канала 3,0 мм инжекция стерильного воздуха выполнялась 4-кратно, что приводило к полной пневматизации стромы без формирования «Big Bubble».

В 3-й группе, с расположением канала парацентрально к носу, формирование большого воздушного пузыря отмечалось при протяженности канала для пневмодиссекции 1,0, 1,5, 2,0 и 2,5 мм во всех случаях и в одном случае с каналом протяженностью 3,0 мм (9 глаз, 90% случаев), в то время как в одном случае с протяженностью канала 3,0 мм произошла тотальная пневматизация стромы без формирования «Big Bubble», что потребовало дальнейшей мануальной отсепаровки. Для формирования большого воздушного пузыря при протяженности канала 1,0 и 1,5, мм в среднем потребовалось 1,5 попытки инжекции стерильного воздуха, а при протяженности канала 2,0, 2,5 и 3,0 мм было предпринято по 3 попытки соответственно.

Таким образом, полученные результаты показали более высокую частоту формирования большого воздушного пузыря при периферической ориентации канала в глубоких слоях стромы роговицы, чем при центральном расположении. При этом при ориентации канала на периферии к носу была отмечена максимальная частота формирования пузыря «Big Bubble» (90% случаев).

Формирование фемтосекундным лазером каналов протяженностью более 1,5 мм (2,0 2,5 и 3,0 мм) во всех группах потребовало большего количества попыток инжекции стерильного воздуха до момента образования «Big Bubble».

## ОБСУЖДЕНИЕ

Трудоемкость проведения ГППКП и вариабельность выполнения ряда этапов операции оставляют открытыми вопросы модификации и стандартизации оперативного пособия.

Благодаря внедрению фемтосекундных лазеров в клиническую практику данный вид хирургии стал более предсказуемым. Тем не менее воспроизводимость методики ГППКП во многом зависит от успешности аэросепарации ДМ со слоем эндотелиальных клеток путем формирования большого воздушного пузыря.

По данным разных авторов, частота формирования «Big Bubble» варьирует от 56 до 88% в зависимости от патологии, квалификации хирурга и ряда хирургических факторов [14–18].

Многочисленные исследования показали, что частота формирования большого воздушного пузыря находится в прямой зависимости от глубины залегания канала и непосредственной близости к ДМ. Оптимальной глубиной расположения канала в глубоких слоях стромы для успешного формирования большого воздушного пузыря считается дистанция в 100 мкм до ДМ [19–21].

Ряд авторов отмечают зависимость частоты формирования большого воздушного пузыря от уровня внутриглазного давления (ВГД). Оптимальным уровнем ВГД оказалось 10–20 мм рт.ст. При значениях ВГД менее 10 мм рт.ст. и более 30 мм рт.ст. большой воздушный пузырь формировался с меньшим диаметром или не формировался вовсе [22]. В связи с этим крайне интересными представляются имеющиеся в литературе данные, свидетельствующие о наличии неравномерного распределения напряжения, оказываемого внутриглазной жидкостью на внутреннюю поверхность роговицы при кератоконусе в центральных отделах и на периферии [12, 13]. Проведенное исследование показало, что напряжение на оболочки на периферии роговицы меньше, чем в центральных отделах.

Помимо того, согласно закону Лапласа, касающемуся распределения напряжений, действующих на тонкостенные мембраны, располагающиеся на полусферической поверхности в жидкостной среде с постоянным давлением, степень адгезии мембраны на вершине полусферы будет выше, чем на периферии, а следовательно, чтобы отслоить эту мембрану на периферии полусферы, необходимо приложить меньшие усилия, чем в центральной зоне полусферы [11].

Однако известны работы по исследованию частоты формирования большого воздушного пузыря от топографии расположения канала в глубоких слоях стромы роговицы, в которых авторы не выявили значимых различий при его центральной и периферической ориентации [23, 24]. При этом авторы не учитывали реальную глубину расположения канала для пневмодиссекции и не оценивали близость его фактического положения к ДМ, что является одним из принципиальных факторов, определяющих частоту формирования большого воздушного пузыря.

Исследования, проведенные Н. Dua и соавт. в 2015 г., показали, что просачивание воздуха через строму роговицы при формировании пузыря «Big Bubble» происходит диффузно, как в центре, так и в парацентральной



Рис. 3. Интраоперационная ОКТ: этап формирования большого воздушного пузыря

Fig. 3. Intraoperative OCT: the stage of formation of a large air bubble

области [25]. Это может означать, что поступление достаточного количества воздуха для формирования «Big Bubble» будет происходить как при центральном расположении канала, так и при его парацентральной локализации. При этом существуют физические силы, препятствующие формированию пузыря, в виде внутриглазной жидкости и создаваемого ей ВГД [22].

В нашей работе мы постарались консолидировать накопленный опыт и с использованием новейшего современного операционного оборудования определить факторы, обеспечивающие более высокий процент формирования пузыря «Big Bubble» и, как следствие, повышающие процент воспроизводимости ГППКП.

Стандартизация этапа формирования канала для аэросепарации в непосредственной близости к ДМ при помощи фемтосекундного лазера, наличие возможности интраоперационного ОКТ-контроля за положением канюли в глубоких слоях стромы в процессе формирования пузыря «Big Bubble» позволили нам определить наиболее оптимальную для успешного формирования большого воздушного пузыря локализацию и глубину канала.

Результаты работы показали, что залегание канала на расстоянии 100 мкм до ДМ и его парацентральная ориентация характеризуются большей частотой формирования пузыря «Big Bubble» в сравнении с центральной его ориентацией (3-я группа – 90% и 2-я группа – 80% против 1-й группы – 60% случаев). Полученные результаты согласуются с данными ранее проведенных исследований по распределению механических напряжений в роговице при различных видах корнеальной хирургии, а также с теоретическими предпосылками [11–13].

Исследование влияния протяженности канала для пневмодиссекции на простоту формирования «Big Bubble» показало, что при использовании каналов 2,0, 2,5, 3,0 мм требуется большее количество попыток инжекции стерильного воздуха, чем при коротких кана-

лах 1,0 и 1,5 мм (в среднем 3 попытки против 1,5 попытки соответственно). На наш взгляд, вероятной причиной данных результатов является герметичность канала. При коротких фемтоканалах (1,0, 1,5 мм) требовалось их мануальное продление на большем протяжении, чем при длинных (2,0, 2,5, 3,0 мм), поэтому канюля наиболее плотно «обхватывалась» окружающей стромой роговицы при длине фемтоканала 1,0 и 1,5 мм. Соответственно, чем больше протяженность канала, сформированного фемтосекундным лазером, тем короче зона плотного обхвата металлической канюли стромой роговицы и, следовательно, хуже герметичность канала. Влияние герметичности канала на частоту формирования «Big Bubble» также было отмечено и в работах зарубежных авторов [26].

Более высокий процент успешного формирования большого воздушного пузыря, отмеченный в 3-й группе по сравнению со 2-й группой, на наш взгляд, может быть связан с особенностями проведения циркулярного реза роговицы. Циркулярный рез при кератопластике, как правило, несколько смещен к носу по горизонтальной оси в связи с несовпадением оптического и анатомического центра роговицы. Таким образом, при ориентации канала к носу край канала находится ближе к лимбу, чем при ориентации канала к виску, другими словами, край канала, ориентированного к носовой стороне, является более периферичным, чем край канала, ориентированного к височной стороне.

Таким образом, полученные результаты позволяют считать, что для успешного выполнения пневмодиссекции ДМ путем формирования большого воздушного пузыря ориентация канала к периферии более оправдана, чем к центру.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Формирование канала в глубоких слоях стромы при помощи фемтосекундного лазера характеризуется прецизионной точностью, отсутствием риска повреждения ДМ и сопровождается высокой частотой формирования большого воздушного пузыря «Big Bubble».

Парацентральная ориентация расположения канала для пневмодиссекции сопровождается более высоким процентом формирования пузыря «Big Bubble», чем центральное расположение канала.

Мануальное продление фемтоканалов протяженностью 1,0, 1,5, мм микрохирургическим шпателем 30G с последующим введением в канал металлической канюли 27G способствует минимизации количества попыток инжекции стерильного воздуха, что облегчает процесс формирования пузыря «Big Bubble».

Проведение ГППКП с использованием функции интраоперационной ОКТ позволяет контролировать точность выполнения всех этапов операции, включая этап формирования большого воздушного пузыря.

#### Вклад авторов в работу:

С.К. Демьянченко: существенный вклад в концепцию и дизайн работы, сбор, анализ и обработка материла, статистическая обработка данных, написание текста. А.В. Терещенко: существенный вклад в концепцию и дизайн работы, редактирование, окончательное утверждение версии, подлежащей публикации.

#### Authors contribution:

S.K. Demyanchenko: significant contribution to the concept and design of the work, collection, analysis and processing of material, statistical data processing, writing the text.

**A.V. Tereshchenko:** significant contribution to the concept and design of the work, editing, final approval of the version to be published.

Финансирование: Авторы не получали конкретный грант на это исследование от какого-либо финансирующего агентства в государственном, коммерческом и некоммерческом секторах.

Авторство: Все авторы подтверждают, что они соответствуют действующим критериям авторства ICMJE.

Согласне пациента на публикацию: Письменного согласия на публикацию этого материала получено не было. Он не содержит никакой личной идентифицирующей информации.

Конфликт интересов: Отсутствует.

ORCID ID: Демьянченко С.К. 0000-0002-0839-2876

Funding: The authors have not declared a specific grant for this research from any funding agency in the public, commercial or not-for-profit sectors.

Authorship: All authors confirm that they meet the current ICMJE authorship criteria. Patient consent for publication: No written consent was obtained for the publication of this material. It does not contain any personally identifying information. Conflict of interest: There is no conflict of interest. ORCID ID: Demyanchenko S.K. 0000-0002-0839-2876

#### Anwar M, Teichmann KD. 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

ЛИТЕРАТУРА

2. Smadja D, Colin J, Krueger RR, et al. Outcomes of deep anterior lamellar keratoplasty for keratoconus: learning curve and advantages of the big bubble technique. Cornea. 2012;31(8): 859–863. doi: 10.1097/ICO.0b013e318242fdae

 Feizi S, Javadi MA, Jamali H, Mirbabaee F. Deep anterior lamellar keratoplasty in patients with keratoconus: big-bubble technique. Cornea. 2010;29(2): 177–182. doi: 10.1097/ICO.0b013e3181af25b7

4. Fontana L, Parente G, Sincich A, Tassinari G. Influence of graft-host interface on the quality of vision after deep anterior lamellar keratoplasty in patients with keratoconus. Cornea. 2011;30(5): 497–502. doi: 10.1097/ico.0b013e3181d25e4d

 Goweida MB. Intraoperative review of different bubble types formed during pneumodissection (big-bubble) deep anterior lamellar keratoplasty. Cornea. 2015;34(6): 621–624. doi: 10.1097/ico.0000000000000407

 Buzzonetti I, Laborante A, Petrocelli G. Standardized big-bubble technique in deep anterior lamellar keratoplasty assisted by the femtosecond laser. J Cataract Refract Surg. 2010;36(10): 1631–1636. doi: 10.1016/j.jcrs.2010.08.013

7. Белодедова А.В., Антонова О.П., Малюгин Б.Э. Передняя глубокая послойная кератопластика с фемтосопровождением и созданием интрастромальных тунелей для формирования «большого пузыря» у пациентов с кератоконусом. Первые клинико-функциональные результаты. Практическая медицина. 2018;16(4):13-17. [Belodedova AV, Antonova OP, Malyugin BE. Anterior deep layer-by-layer keratoplasty with femto tracking and the creation of intrastromal tunnels for the formation of a «big bladder» in patients with keratoconus. The first clinical and functional results. Practical medicine. 2018;16(4): 13–17. (In Russ.)]

 Терещенко А.В., Трифаненкова И.Г., Демьянченко С.К., Головач Н.А., Вишнякова Е.Н. Оптимизированная технология глубокой передней послойной кератопластики с фемтолазерным сопровождением. Вестник ВолгТМУ. 2017; 1 (61): 119–120. [Tereshchenko AV, Trifanenkova IG, Dem'yanchenko SK, Golovach NA, Vishnyakova EN. Optimized technology for deep anterior layered keratoplasty with femtolaser support. Bulletin of Volgograd State Medical University. 2017;1(61): 119– 120. (In Russ.)]

 De Benito-Llopis L, Mehta JS, Angunawela RI, et al. Intraoperativeanterior segment optical coherence tomography: a novel assessment tool during deep anterior lamellar keratoplasty. Am J Ophthalmol. 2014;157(2): 334–341. doi: 10.1016/j. ajo.2013.10.001

10. Au J, Goshe J, Dupps WJ, et al. Intraoperative optical coherence tomography for enhanced depth visualization in deep anterior lamellar keratoplasty from the pioneer study. Cornea. 2015;34(9): 1039–1043. doi: 10.1097/ICO.0000000000000508

11. Першин В.Ф., Селиванов Ю.Т. Расчет на прочность тонкостенных оболочек вращения и толстостенных цилиндров: Методическое пособие. Тамбов: Издательство Тамбовского Государственного технического университета; 2002. [Pershin VF, Selivanov YuT. Strength calculation of thinwalled shells of revolution and thick-walled cylinders: Methodological manual. Tambov: Publishing House of the Tambov State Technical University; 2002. (In Russ.)]

 Анисимов С.И., Анисимова С.Ю., Смотрич Е.А., Завгородняя Т.С., Золоторевский К.А. Кератотензотопография – новые диагностические возможности изучения биомеханических свойств роговицы. Офтальмология. 2011;8(4): 13–17. [Anisimov SI, Anisimova SYu, Smotrich EA, Zavgorodnyaya TS, Zolotorevskij K.A. Keratotenzotopography – new diagnostic possibilities for studying the biomechanical properties of the cornea. Ophthalmology. 2011;8(4): 13–17. (In Russ.)]

13. Анисимов С.И., Анисимова С.Ю., Трубилин В.Н., Смотрич Е.А. Расчет кератотензотопограммы с применением оптических и ультразвуковых пахиме-тров. Катарактальная и рефракционная хирургия. 2012;12(2): 45-47. [Anisimov SI, Anisimova SYu, Trubilin VN, Smotrich EA. Calculation of keratotensotograms using optical and ultrasonic pachymeters. Cataract and refractive surgery. 2012;12 (2): 45-47 (In Russ.)]

14. Sarnicola V. Toro P. Gentile D. Hannush SB. Descemetic DALK and predescemetic DALK: outcomes in 236 cases of keratoconus. Cornea. 2010;29: 53-59. doi: 10.1097/ ICO.0b013e3181a31aea

15. Fogla R, Padmanabham P. Results of deep lamellar keratoplasty using the big bubble technique in patients with keratoconus. Am J Ophthalmol. 2006;141(2): 254-259. doi: 10.1016/j.ajo.2005.08.064

16. Fontana L, Parente G, Tass nari G. Clinical outcomes after deep anteriorlamellar keratoplasty using the big-bubble technique in patients withkeratoconus. Am J Ophthalmol. 2007;143(1): 117–124 doi: 10.1016/j.ajo.2006.09.025

17. Han DC, Mehta JS, Por YM, et al. Comparison of outcomes of lamellar keratoplasty and penetrating keratoplasty in keratoconus. Am J Ophthalmol. 2009;148(5): 744-751. doi: 10.1016/j.ajo.2009.05.028

2009;148(5): /44-/51.40: 10.1010/j.aj0.2009.05.060
18. Li J, Chen W, Zhao Z, Wang H, Gui Q, Jhanji V, Zheng Q. Factors Affecting Formation of Type-1 and Type-2 Big Bubble during deep anteriorlamellar keratoplasty. Current eye research. 2019;44(7): 701–706. doi: 10.1080/02713683.2019.1597889 19. Ghanem RC, Ghanem MA. Pachymetry-guided intrastromal air injection

(«pachy-bubble») for deep anterior lamellar keratoplasty. Cornea. 2012;31: 1087 1091. doi: 10.1097/ICO.0b013e31823f8f2d

20. Scorcia V, Busin M, Lucisano A, et al. Anterior segment optical coherence tomography-guided big-bubble technique. Ophthalmology. 2013;120(3): 471-476. doi: 10.1016/j.ophtha.2012.08.041

212

21. Yoo YS, Whang WJ, Kang MJ, Hwang JH, Byun YS, Yoon G, Shin S, Jung W, Moon S, Joo CK. Effect of air injection depth on big-bubble formation in lamellar keratoplasty: an ex vivo study. Sci Rep. 2019;9(1): 3785. doi: 10.1038/s41598-018-36522-w

22. Bhullar PK, Carrasco-Zevallos OM, Dandridge A, Pasricha ND, Keller B, Shen L, Izatt JA, Toth CA, Kuo AN. Intraocular pressure and big bubble diameter in deep anterior lamellar keratoplasty: an ex-vivo microscope-integrated OCT with heads-up display study. Asia-Pac J Ophthalmol. 2017;6(5): 412-417. doi: 10.22608/APO.2017265

23. Feizi S, Faramarzi A, Javadi MA, Jafarinasab MR. Modified big-bubble deep anterior lamellarkeratoplasty using peripheral air injection. Br J Ophthalmol. 2014;98(11): 1597-1600. doi: 10.1136/bjophthalmol-2014-304868

24. Feizi S, Javadi MA, Karimian F. Big-bubble deep anterior lamellar keratoplasty using central vs peripheral air injection: a clinical trial. Eur J Ophthalmol. 2016; 26 (4): 297-302. doi: 10.5301/ejo.5000702

25. Dua HS, Mastropasqua L, Faraj L, Nubile M, Elalfy MS, Lanzini M, Calienno R, Said DG. Big bubble deep anterior lamellar keratoplasty: the collagen layer in the wall of the big bubble is unique. Acta Ophthalmol. 2015;93(5): 427-430. doi: 10.1111/aos.12714

26. Guindolet D, Nguyen D, Bergin C, Doan S, Cochereau I, Gabison E. Doubledocking technique for femtosecond laser-assisted deep anterior lamellar keratoplasty. Cornea. 2018;37(1): 123-126. doi: 10.1097/ICO.00000000001442

> Поступила: 23.04.21 Переработана: 01.06.21 Принята к печати: 25.08.21

Originally received: 23.04.21 Final revision: 01.06.21 Accepted: 25.08.21



ФГБУ «НМХЦ им. Н.И. Пирогова» Минздрава России

Москва