

Математическое обоснование паттерновой лазерной коагуляции сетчатки с использованием гексагональной формы паттерна в лечении активных стадий ретинопатии недоношенных

А.В. Терещенко¹, И.Г. Трифаненкова¹, Ю.А. Сидорова¹, В.В. Фирсова¹, В.Ю. Кириллов²

¹ ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, Калужский филиал;

² ООО «Эверест»

РЕФЕРАТ

Цель. Математически обосновать тканесберегающее воздействие на сетчатку гексагональной формы паттерна в ходе лазерного лечения активной ретинопатии недоношенных.

Материал и методы. На первом этапе исследования было проведено математическое обоснование применения гексагональной формы паттерна для обеспечения тканесберегающего воздействия на сетчатку по сравнению с традиционной паттерновой ЛКС матричными (прямоугольными) паттернами.

Вторым этапом выполняли клинические исследования в двух группах пациентов с неблагоприятным типом течения II и III стадий активной РН. В основную группу вошли 44 младенца, которым была проведена гексагональная (7 аппликаторов в одном «сотовидном» паттерне) ЛКС. В контрольную – 41 младенец, которым выполняли матричную (9 аппликаторов в одном «прямоугольном» паттерне) ЛКС.

Результаты. На первом этапе было доказано, что гексагональная форма паттерна является математически обоснованной и обеспечивает равномерное распределение лазерных аппликаторов на сферической

поверхности сетчатки за счет равноудаленного расположения спотов внутри одного паттерна и оптимальной стыковки соседних паттернов.

В результате проведения второго этапа исследований в обеих группах регресс после лазерного лечения был получен более чем в 97% случаев на 2 стадии РН и в 94% случаев на 3 стадии РН. Суммарная энергетическая нагрузка в основной группе были меньше, чем в контрольной. Увеличение межспотового расстояния в гексагональном паттерне на 0,25 диаметра коагулята по сравнению с матричным паттерном позволило сохранить высокую клиническую эффективность и обеспечить тканесберегающее воздействие на сетчатку.

Заключение. Оптимизация метода паттерновой ЛКС с использованием паттерна гексагональной формы позволяет сократить продолжительность вмешательства с сохранением высокой клинической эффективности лечения активной РН.

Ключевые слова: активные стадии ретинопатии недоношенных, паттерновая лазерная коагуляция сетчатки, гексагональная форма паттерна, математическое обоснование. ■

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

Офтальмохирургия. 2020;1: 40–46.

ABSTRACT

Mathematical substantiation of retinal laser coagulation pattern using hexagonal pattern form in the treatment of active stages of retinopathy of prematurity

A.V. Tereshchenko¹, I.G. Trifanenkova¹, Y.A. Sidorova¹, V.V. Firsova¹, V.Y. Kirillov²

¹ The Kaluga branch of the S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution;

² Everest LLC

Purpose. To substantiate mathematically the tissue-preserving effect on the retinal hexagonal pattern during the laser treatment of active retinopathy of prematurity.

Material and methods. At the first stage of the study, a mathematical rationale of the application of a hexagonal pattern was carried out to

provide a tissue-sparing effect on the retina compared to the traditional laser coagulation pattern with matrix (rectangular) patterns.

The second stage was performed as clinical studies in two groups of patients with an unfavorable course type II and III stages of active ROP. The main group consisted of 44 infants, which underwent hexagonal



laser coagulation (7 applications in one «honeycomb» pattern). The control group involved 41 infants who had a matrix laser coagulation (9 applications in one «rectangular» pattern).

Results. At the first stage, it was proved that the hexagonal shape of the pattern is mathematically substantiated and ensures a uniform distribution of laser applicates on the spherical surface of the retina due to the equidistant location of the spots inside one pattern and optimal matching of neighboring patterns.

As a result of the second stage of research in both groups, a regression after laser treatment was obtained in more than 97% of cases at the ROP stage 2 and in 94% of cases at the ROP stage 3. The total energy load in the main group was less than in the control group. The increase in the

inter-spot distance in the hexagonal pattern by 0.25 of the coagulum diameter in comparison with the matrix pattern made it possible to maintain a high clinical efficacy and to ensure tissue-preserving effects on the retina.

Conclusion. Optimization of the pattern laser coagulation method using a hexagonal-shaped pattern allows to shorten the duration of the intervention maintaining a high clinical efficacy in the treatment of active ROP.

Key words: active retinopathy stages of prematurity, pattern laser coagulation of the retina, hexagonal pattern form, mathematical rationale. ■

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

Fedorov Journal of Ophthalmic Surgery. 2020;1: 40–46.

АКТУАЛЬНОСТЬ

Лазерная коагуляция аваскулярных зон сетчатки является эффективным и безопасным методом лечения активных стадий ретинопатии недоношенных (РН). Технологии лазерного лечения РН совершенствуются, ведется поиск оптимальных энергетических параметров и режимов коагуляции [1–5].

Аваскулярная зона сетчатки на стадиях РН, требующих лечения, занимает обширную площадь, что обуславливает необходимость нанесения большого количества лазерных коагулятов – до нескольких тысяч. При этом продолжительность сеанса коагуляции, а следовательно, наркозного пособия недоношенному младенцу, в среднем составляет 40 минут.

В Калужском филиале МНТК «Микрохирургия глаза» с 2010 г. в клиническую практику лазерного лечения активной РН внедрена паттерновая лазерная коагуляция сетчатки (ЛКС) с использованием квадратных матричных паттернов («решетка» 2×2 (суммарно 4 спота в паттерне) до 5×5 (суммарно 25 спотов в паттерне)) [3, 4].

Переход на паттерновую ЛКС позволил значительно сократить продолжительность лазерного лечения и наркозного пособия недоношенному ребенку, повысить точность постановки лазерных коагулятов, обеспечить высокую дозированность лазерного воздействия и воз-

можность выполнения лазерного лечения за один сеанс, вне зависимости от локализации патологического процесса [4].

В 2017 г. на отечественном рынке офтальмологического оборудования появилась паттерновая система «Integre Pro Scan» 561 нм (Ellex, Австралия). Установка обладает расширенным набором паттернов, включая гексагональные («пчелиные соты»), возможностью их масштабирования и ротации, что открывает новые перспективы в совершенствовании методов ЛКС у недоношенных с активной РН.

ЦЕЛЬ

Математически обосновать тканесберегающее воздействие на сетчатку гексагональной формы паттерна в ходе лазерного лечения активной ретинопатии недоношенных.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Для усиления тканесберегающего эффекта паттерновой ЛКС при РН нами была выбрана гексагональная форма лазерного паттерна, состоящего из семи аппликаторов: шесть, расположенных в вершинах правильного шестиугольника; седьмой – в центре шестиугольника, по типу «пчелиных сот».

На первом этапе исследования было проведено математическое обоснование применения гексаго-

нальной формы паттерна для обеспечения тканесберегающего воздействия на сетчатку по сравнению с традиционной паттерновой ЛКС матричными (прямоугольными) паттернами.

Вторым этапом выполняли клинические исследования в двух группах пациентов с неблагоприятным типом течения II и III стадий активной РН (клинико-морфометрическая классификация РН А.В. Терещенко с соавт., 2007) [6]. В основную группу вошли 44 младенца, которым была проведена гексагональная (7 аппликаторов в одном «сотовидном» паттерне) ЛКС. В контрольную – 41 младенец, которым выполняли матричную (9 аппликаторов в одном «прямоугольном» паттерне) ЛКС.

Возраст детей на момент лечения в обеих группах составил 5–7 недель, постконцептуальный возраст варьировал от 34 до 38 недель (табл. 1).

Всем пациентам проводилась непрягая бинокулярная офтальмоскопия и цифровая ретиноскопия с использованием широкопольной цифровой ретиальной педиатрической видеосистемы «RetCam-3» («Massie Research Laboratories Inc», Dublin, Ирландия).

Для корреспонденции:

Трифаненкова Ирина Георгиевна, канд. мед. наук, зам. директора по научной работе
ORCID ID: 0000-0001-9202-5181
E-mail: nauka@mntk.kaluga.ru

Таблица 1

Распределение пациентов по стадиям активной РН в основной и контрольной группах

Table 1

The distribution of patients in stages of active ROP in the main and control groups

	Основная группа Main group		Контрольная группа Control group	
	II стадия неблагоприятный тип Stage II adverse type	III стадия неблагоприятный тип Stage III adverse type	II стадия неблагоприятный тип Stage II adverse type	III стадия неблагоприятный тип Stage III adverse type
Количество детей (глаз) Number of children (eyes)	16 (16)	28 (28)	12 (12)	29 (29)
Возраст на момент лечения, недель Age during treatment, weeks	5-6	6-7	5-6	6-7
ПКВ на момент лечения, недель PCV during treatment, weeks	34-37	36-38	34-37	36-38

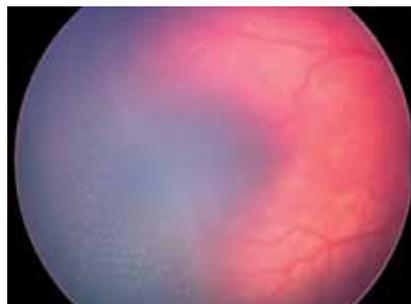


Рис. 1. Технология паттерновой гексагональной ЛКС в основной группе

Fig. 1. The technology of pattern hexagonal laser coagulation of the retina in the main group

Лазерная коагуляция сетчатки в обеих группах проводилась в паттерновом режиме на офтальмокоагуляторе «IntegreProScan» 561 нм (Ellex, Австралия), транспупиллярно с использованием роговичной контактной линзы «Quad Pediatric Fundus Lens» («Volk», США), под аппаратно-масочным наркозом (севофлуран с кислородо-воздушной смесью), с использованием ларингеальной маски, в положении ребенка лежа на боку (рис. 1, 2).

На оставшиеся интактными после паттерновой ЛКС участки аваскулярной сетчатки коагуляты наносили в режиме одиночного импульса.

Проведение паттерновой лазерной коагуляции аваскулярной зоны сетчатки осуществлялось по диффе-

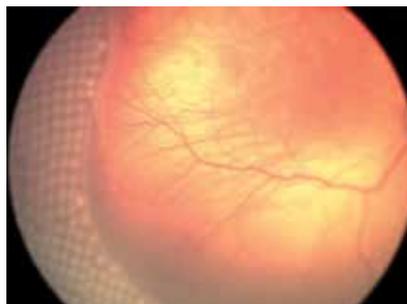


Рис. 2. Технология паттерновой матричной ЛКС в контрольной группе

Fig. 2. The technology of pattern matrix laser coagulation of the retina in the control group

ренцированному подходу, основанном на учёте мощности, экспозиции, диаметра пятна и плотности коагуляции [4].

В группах исследования параметры коагуляции отличались только плотностью коагуляции. Межспотовое расстояние в основной группе было на 0,25 диаметра коагулята больше, чем в контрольной. Параметры и объем коагуляции представлены в табл. 2 и 3 соответственно.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Первый этап

Сравнительный анализ геометрии гексагональных и матричных паттернов показал следующее.

Основой гексагонального паттерна является правильный треугольник, все 7 точек (спотов) в паттерне равноудалены друг от друга (рис. 3). Основой матричного паттерна является равнобедренный треугольник, поэтому споты внутри него (9 спотов в матричной решетке 3x3) находятся на разном расстоянии друг от друга: либо на расстоянии длины боковой стороны, либо на расстоянии основания равнобедренного треугольника (рис. 4).

Размещение гексагональных и матричных паттернов на сферической поверхности

Использование паттернов, основанных на правильной треугольной (гексагональный паттерн) или равнобедренной треугольной (матричный паттерн) решетках обеспечивает оптимальную и интуитивно понятную их стыковку на плоскости. Это достоинство данных паттернов проявляется только при размещении на регулярной структуре – решетке. Изменение положения или ориентации паттерна относительно решетки нивелирует его достоинства [7].

Невозможность точного отображения регулярных плоских структур (правильный треугольник, равнобедренный треугольник) на сферу (сферическую поверхность сет-

Таблица 2

Параметры транспупиллярной матричной и гексагональной паттерновой ЛКС у детей с неблагоприятным типом течения II и III стадий активной РН

Table 2

Parameters of the transpupillary matrix and hexagonal pattern laser photocoagulation in children with adverse types of stages II and III of active ROP

Стадии РН, тип течения ROP Stage, Type of disease course	Диаметр пятна, мкм Spot diameter, μm		Экспозиция, мс Exposure, ms		Плотность коагуляции Density of coagulations		Интенсивность коагуляции, ст Intensity of coagulation, St	
	матричная matrix	гексагональная hexagonal	матричная matrix	гексагональная hexagonal	матричная matrix	гексагональная hexagonal	матричная matrix	гексагональная hexagonal
II стадия РН, неблагоприятный тип ROP Stage II, adverse type	200	200	20	20	0,5	0,75	2	2
III стадия РН, неблагоприятный тип ROP Stage III, adverse type	300	300	30	30	0,25	0,5	3	3

Таблица 3

Объем транспупиллярной матричной и гексагональной паттерновой ЛКС у детей с неблагоприятным типом течения II и III стадий активной РН

Table 3

Volume of the transpupillary matrix and hexagonal pattern of laser photocoagulation in children with adverse types of stages II and III of active ROP

Стадия РН, тип течения ROP Stage, type of disease course	Общее количество коагулятов Total number of coagulates		Количество одиночных коагулятов Number of single coagulates		Суммарная энергетическая нагрузка, Дж/см ² Total energy load, J/cm ²	
	матричная matrix	гексагональная hexagonal	матричная matrix	гексагональная hexagonal	матричная matrix	гексагональная hexagonal
II стадия РН, неблагоприятный тип ROP stage II, adverse type	1149 \pm 8	904 \pm 5	112 \pm 1,7	30 \pm 0,4	2447 \pm 12,8	1780 \pm 7
III стадия РН, неблагоприятный тип ROP stage III, adverse type	1741 \pm 11	1365 \pm 9	165 \pm 1,9	41 \pm 0,5	2855 \pm 15,9	2238 \pm 9,7

чатки) является серьезной проблемой. Равномерное проецирование равнобедренного треугольника на сферу приводит к необходимости либо изменения формы паттерна (аналог сетки на глобусе – она неравномерна при изменении долготы) – это невозможно для фиксированной формы паттерна в при-

боре, – либо нарушения регулярности за счет изменения формы и/или ориентации паттерна, что в значительной степени нивелирует преимущества паттерновой технологии при использовании матричных паттернов.

Для правильной треугольной решетки (гексагональный паттерн)

существует хорошее компромиссное решение, известное в технике как «геодезический купол» (Geodesic dome) на базе правильного икосаэдра (regular icosahedron), которое позволяет разместить сферу на правильные треугольники с исключением всего в 12 точках с пренебрежимо малым искажением [7].

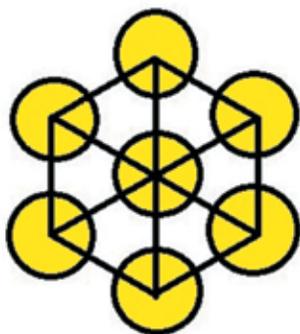


Рис. 3. Гексагональный паттерн: решетка состоит из правильных треугольников

Fig. 3. Hexagonal pattern: the lattice consists of regular triangles

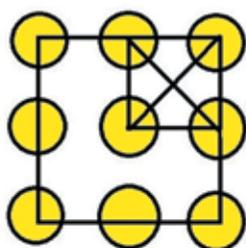
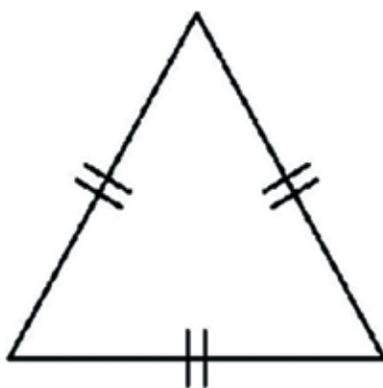
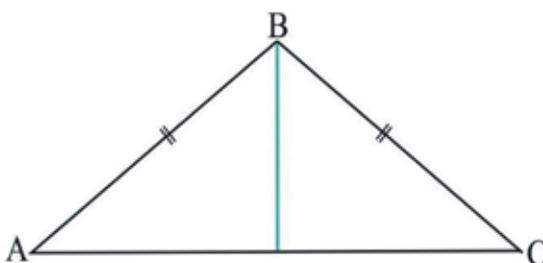


Рис. 4. Матричный паттерн 3x3: решетка состоит из равнобедренных треугольников

Fig. 4. Matrix pattern 3x3: the lattice consists of isosceles triangles



Таким образом, исходя из задачи равномерного распределения точек коагуляции по сферической поверхности сетчатки, предпочтительным является применение паттернов с решеткой, которую составляют правильные треугольники.

В приборе их два типа: треугольник (оптимальный размер 6 или 10 точек) и шестиугольник, «сота», названный производителем Circle – filled (7 spots). По геометрическим свойствам они эквивалентны, но различны по технологичности.

Так, даже на плоской поверхности укладка (tiling) треугольников требует кропотливой операции поворота для совмещения соседних фигур. Для сот смены ориентации не требуется. И это является критическим технологическим преимуществом.

Исходя из вышеизложенного, шестигранная «пчелиная» ячейка – идеальная геометрическая форма для максимального использования единиц площади и объема [7].

Сравнение плотности укладки спотов в гексагональном и матричном паттернах

В гексагональном паттерне каждый коагулят соседствует с шестью, находящимися на расстоянии шага коагуляции. В матричном паттерне каждый коагулят имеет только четырех соседей. Расстояние от точки, равноудаленной от центров коагулятов в гексагональной решетке, равно $1/\sqrt{3}$ (0,577), а в матричной – $1/\sqrt{2}$ (0,707) от расстояния между центрами коагулятов. Таким образом, отношение удельной плотности коагуляции между гексагональной и матричной решетками составляет 1,1547.

Сравнение плотности упаковок спотов в гексагональном и матричном паттернах можно выполнить, разбив площадь ЛКС на элементарные треугольники или квадраты и посчитав, сколько спотов будет в поле операции при треугольной и квадратичной разбивке. Для вычис-

ления площади гексагональной коагуляции использовалась формула $S=\sqrt{3}r^2$, а для вычисления площади матричной коагуляции – $S=(2r+d)^2$.

Наглядно разница в площади коагуляции отображена в табл. 4.

Из значений площади сетчатки, представленных в табл. 4, следует, что максимальной является «упаковка» спотов в гексагональном паттерне. Это дает возможность увеличить межспотовое расстояние в гексагональном паттерне по сравнению с матричным с сохранением клинической эффективности коагуляции.

Второй этап

Результаты клинического этапа показали, что суммарное количество коагулятов, количество одиночных импульсов, а также суммарная энергетическая нагрузка при паттерновой ЛКС гексагональными паттернами оказались меньше, чем матричными (табл. 3).

Продолжительность сеанса ЛКС гексагональными паттернами была меньше по сравнению с ЛКС матричными паттернами (табл. 5).

Регресс активной РН при неблагоприятном типе течения 2 и 3 стадии был достигнут в подавляющем большинстве случаев после ЛКС как гексагональными, так и матричными паттернами (табл. 5).

Таким образом, гексагональная паттерновая ЛКС обеспечивает тканесберегающее воздействие на сетчатку за счет возможности увеличения межспотового расстояния на 0,25 диаметра коагулята по сравнению с матричными паттернами, обеспечивает высокую эффективность лазерного лечения активных стадий ретинопатии недоношенных и позволяет сократить продолжительность сеанса лазеркоагуляции и время пребывания ребенка в наркозе по сравнению с ЛКС с использованием матричных паттернов.

ОБСУЖДЕНИЕ

Лазерная коагуляция сетчатки в течение многих лет доказывает свою

Таблица 4

Сравнение площади ЛКС при использовании гексагонального и матричного паттернов

Table 4

Comparison of laser photocoagulation area using hexagonal and matrix patterns

Расстояние между лазерными аппликатами в паттерне (Ø аппликата) Distance between the laser applicates in the pattern (Ø of applicate)		0	0,25	0,5	0,75	1
Площадь сетчатки, покрытая коагулятами Area of coagulated retina	Гексагональный паттерн Hexagonal pattern	90,69%	58,04%	40,31%	29,61%	22,67%
	Матричный паттерн Matrix pattern	78,54%	50,27%	34,91%	25,65%	19,63%
Площадь сетчатки, не покрытая коагулятами Area of retina without coagulates	Гексагональный паттерн Hexagonal pattern	9,31%	41,96%	59,69%	70,39%	77,33%
	Матричный паттерн Matrix pattern	21,46%	49,73%	65,09%	74,35%	80,37%

Таблица 5

Эффективность матричной и гексагональной паттерновой ЛКС

Table 5

Efficiency of matrix and hexagonal pattern laser coagulation of the retina

Стадия РН, тип течения ROP Stage, Type of disease course	Регресс после ЛКС, % случаев Regression after Laser coagulation, % of cases		Общее время ЛКС, минуты Total time of laser coagulation, minutes	
	матричная Matrix pattern	гексагональная Hexagonal pattern	матричная Matrix pattern	гексагональная Hexagonal pattern
2 стадия РН, неблагоприятный тип ROP stage II, adverse type	97%	99%	12,2±0,7	10,1±0,9
3 стадия РН, неблагоприятный тип ROP stage III, adverse type	94%	94%	14±0,6	11,3±0,8

эффективность в лечении активных стадий РН [2, 4, 5].

Применение паттерновой технологии ЛКС у пациентов с активной РН обеспечивает значительное сокращение продолжительности сеанса лазерного лечения и наркозного пособия недоношенному младенцу [3].

Метод паттерновой коагуляции при РН имеет ряд особенностей. Основным видом паттерна выступает матричный (квадратный – решетка от 5×5 до 2×2). Выбор разме-

ра паттерна зависит от площади аваскулярной зоны сетчатки и локализации патологического процесса. В начале коагуляции используются паттерны с максимальным количеством спотов, а затем матричные решетки меньшего размера. На оставшиеся интактными участки аваскулярной сетчатки наносятся лазерные коагуляты в режиме одиночного импульса [3, 4].

При этом, несмотря на очевидные преимущества использования матричных паттернов по сравнению с

одиночными импульсами, лазерный хирург в процессе паттерновой ЛКС сталкивается с определенными трудностями.

Расфокусировка при работе на сферической поверхности сетчатки и, как следствие, неравномерность лазерного воздействия являются главными недостатками при работе с регулярными матричными паттернами, особенно больших размеров (от 12 спотов в паттерне), а сложность их стыковки при повороте линзы или глаза пациента уве-

личивает время проведения лазерного вмешательства.

Учитывая индивидуально неповторимую форму границы васкуляризированной с аваскулярной сетчаткой, имеющую причудливую форму у каждого младенца, укладка матричных паттернов вблизи от вала экстраретинальной пролиферации становится затруднительной, что требует использования большого количества одиночных импульсов.

С появлением нового поколения лазерных установок типа «Integre Pro Scan» помимо «стандартной» матричной технологии стало возможным проведение гексагональной (сотовой) паттерновой лазерной коагуляции с использованием паттерна гексагональной формы (шестиугольник с точкой в центре) [8].

В ходе проведенного исследования было показано, что использование паттернов гексагональной формы при проведении лазеркоагуляции аваскулярных зон сетчатки в лечении активных стадий РН позволяет решить вышеперечисленные проблемы.

Целесообразность применения ЛКС гексагональными паттернами вначале была доказана нами математически, а затем подтверждена клинически.

Математическая обоснованность предложенной методики доказывается максимально плотной «упаковкой» спотов в гексагональном паттерне и равномерностью расположения коагулятов внутри него [7]. Шестигранная форма паттерна позволяет повторить любую форму патологического процесса при любой его локализации (вплоть до зубчатой линии).

В обеих группах исследования регресс после лазерного лечения был получен более чем в 97% случаев на 2 стадии РН и в 94% случаев на 3 стадии РН. При этом суммарная энергетическая нагрузка в основной группе (гексагональная ЛКС) была меньше, чем в контрольной (матричная ЛКС). Увеличение межспотового расстояния в гексагональном паттерне на 0,25 диаметра коагулята по сравнению с матричным паттерном позволило сохранить высокую клиническую эффективность и обеспечить тканесберегающее воздействие на сетчатку недоношенного младенца.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Гексагональная форма паттерна является математически обоснованной и обеспечивает равномерное распределение лазерных аппликатов на сферической поверхности сетчатки за счет равноудаленного расположения спотов внутри одного паттерна и оптимальной стыковки соседних паттернов.

Паттерновая лазерная коагуляция сетчатки гексагональными паттернами обеспечивает тканесберегающее воздействие на сетчатку за счет возможности увеличения межспотового расстояния на 0,25 диаметра коагулята по сравнению с матричными паттернами. Суммарная энергетическая нагрузка при паттерновой ЛКС гексагональными паттернами меньше, чем матричными.

Оптимизация метода паттерновой ЛКС с использованием паттерна гексагональной формы позволяет сократить продолжительность вмешательства с сохранением высокой

клинической эффективности лечения активной РН.

ЛИТЕРАТУРА

1. Либман Е.С. Инвалидность вследствие патологии органа зрения / В кн. Офтальмология. Национальное руководство. М.: Изд-во «ГЭОТАР-Медиа»; 2006. [Libman ES. Disability due to pathology of the organ of vision / In the book. Ophthalmology. National leadership. M.: Izd-vo «GEOTAR-Media»; 2006. (In Russ.)]
2. Федеральные клинические рекомендации «Диагностика, мониторинг и лечение активной фазы ретинопатии недоношенных» (Национальный протокол). Рос. педиатр. офтальмол. 2015;(1): 54–60. [Federal clinical guidelines «Diagnosis, monitoring and treatment of the active phase of retinopathy of prematurity» (National Protocol). Ros. pediatr. oftalmol. 2015;(1): 54–60. (In Russ.)]
3. Терещенко А.В., Чухраёв А.М. Современные аспекты диагностики, лечения и организации высокотехнологичной офтальмологической помощи детям с активными стадиями ретинопатии недоношенных. М.: Изд-во «Офтальмология»; 2016. [Tereshchenko AV, Chukhrayov AM. Modern aspects of diagnosis, treatment and organization of high-tech eye care for children with active stages of retinopathy of prematurity. M.: Izd-vo «Oftalmologiya»; 2016. (In Russ.)]
4. Терещенко А.В. Современная система диагностики, лечения и организации высокотехнологичной офтальмологической помощи детям с активными стадиями ретинопатии недоношенных: Автореф. дис. ... докт. мед. наук. / А.В. Терещенко. М.; 2014. [Tereshchenko AV. Modern system of diagnostics, treatment and organization of high-tech ophthalmologic care for children with active stages of retinopathy of prematurity: author. [Dissertation]. M.; 2014. (In Russ.)]
5. Асташева И.Б., Сидоренко Е.И., Аксенова И.И. Лазеркоагуляция в лечении различных форм ретинопатии недоношенных. Вестн. офтальмологии. 2005;2: 31–4. [Astasheva IB, Sidorenko YEI, Akseanova II. Laser coagulation in the treatment of various forms of retinopathy of prematurity. Vestn. Oftalmologii. 2005;2: 31–4. (In Russ.)]
6. Терещенко А.В., Белый Ю.А., Трифаненкова И.Г., Терещенкова М.С. Рабочая классификация ранних стадий ретинопатии недоношенных. Офтальмохирургия. 2008;1: 32–4. [Tereshchenko AV, Belyy YUA, Trifanenkova IG, Tereshchenkova MS. Working classification of the early stages of retinopathy of prematurity. Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery. 2008;1: 32–4. (In Russ.)]
7. Слоэн Н.Дж.А. Упаковка шаров. В мире науки. 1984;3: 72–82. [Sloen NDzha. Packing of balls. V mire nauki. 1984;3: 72–82. (In Russ.)]
8. Терещенко А.В., Трифаненкова И.Г., Сидорова Ю.А., Терещенкова М.С. Инновационная интегрированная паттерновая система «Integre Pro Scan»: первый опыт лечения активных стадий ретинопатии недоношенных. Современные технологии в офтальмологии. 2017;5(18): 58–60. [Tereshchenko AV, Trifanenkova IG, Sidorova YUA, Tereshchenkova MS. Innovacionnaya integrirovannaya patternovaya sistema «Integre Pro Scan»: pervyj opyt lecheniya aktivnyh stadij retinopatii nedonoshennyh. Sovremennye tekhnologii v oftalmologii. 2017;5(18): 58–60. (In Russ.)]

Поступила 28.04.2019