

УДУ 617.736–073.756.8:617.7–001.31:617.751

Особенности морфологических изменений структуры сетчатки зоны фовеа по данным спектральной оптической когерентной томографии и их связь с остротой зрения после контузии глазного яблока

Н. П. Грубник, аспирант, Т. А. Красновид, д-р мед. наук, В. В. Вит, д-р мед. наук, проф.

ГУ «Институт глазных болезней и тканевой терапии им.

В. П. Филатова НАМН Украины»; Одесса (Украина)

E-mail: natgrub@mail.ru

Вступ: Контузія очного яблука являється однією з важливих проблем офтальмології.**Мета:** вивчити особливості морфологічних змін сітківки зони фовеа за даними спектральної оптичної когерентної томографії та їх зв'язок з гостротою зору після контузії очного яблука.**Матеріал і методи.** Під наглядом знаходились 43 хворих з контузією очного яблука. За допомогою спектральної оптичної когерентної томографії оцінювались морфологічні зміни шарів сітківки в зоні фовеа: в зовнішньому ядерному шарі, в зовнішній пограничній мембрані, еліпсоїді внутрішніх сегментів фоторецепторів, контактному циліндрі колбочок, пігментному епітелії сітківки. Також вивчався зв'язок цих змін з гостротою зору.**Результати.** Виявлено сильний зворотній кореляційний зв'язок гостроти зору з характером змін зовнішньої пограничної мембрани ($r_s = -0,89$; $p = 0,00001$), еліпсоїда внутрішніх сегментів фоторецепторів ($r_s = -0,90$; $p = 0,00001$), контактного циліндру колбочок ($r_s = -0,77$; $p = 0,00001$), пігментного епітелію сітківки ($r_s = -0,70$; $p = 0,00001$), зовнішнього ядерного шару ($r_s = -0,73$; $p = 0,00001$).**Висновок.** У віддалений період гострота зору у хворих з контузією очного яблука залежить від стану зовнішньої пограничної мембрани, еліпсоїда внутрішніх сегментів фоторецепторів, контактного циліндру колбочок, пігментного епітелію сітківки, зовнішнього ядерного шару.**Ключевые слова:** структуры сетчатки, фовеа, острота зрения, контузия глазного яблока, спектральная оптическая когерентная томография.**Ключові слова:** структури сітківки, фовеа, гострота зору, контузія очного яблука, спектральна оптична когерентна томографія.

Peculiarities of morphologic changes of the retinal structure in the according to the spectral optic coherent tomography and their connection with visual acuity after contusion of the eyeball

Grubnik N. P., Krasnovid T. A., Vit V. V.

State Institution The Filatov Institute of Eye Diseases and Tissue Therapy of the NAMS of Ukraine; Odessa, (Ukraine)

Introduction: Blunt ocular injury is one of the serious problems in ophthalmology.**Purpose:** To study morphological retinal features in the fovea based on spectral optical coherence tomography and their correlations with visual acuity in patients with blunt ocular injury.**Material and methods:** 43 patients with blunt ocular injury were observed. External nuclear layer, external limiting membrane, ellipsoid of the inner segments of photoreceptors, contact cylinder of cones, pigment retinal epithelium were examined using spectral optical coherence tomography. Their correlations with visual acuity were studied.**Results:** We found strong inverse correlations of visual acuity with changes in external limiting membrane ($r_s = -0.89$; $p = 0.00001$), ellipsoid of inner segments of photoreceptors ($r_s = -0.90$; $p = 0.00001$), contact cylinder of cones ($r_s = -0.77$; $p = 0.00001$), retinal pigment epithelium ($r_s = -0.70$; $p = 0.00001$), external nuclear layer ($r_s = -0.73$; $p = 0.00001$).**Conclusion:** In the long term period the visual acuity of patients with blunt ocular injury depends on changes of external limiting membrane, ellipsoid of the inner segments of photoreceptors, contact cylinder of cones, retinal pigment epithelium, external nuclear layer.**Key words:** Morphological retinal features, fovea, spectral optical coherence tomography, visual acuity, blunt ocular injury.

Введение. Контузия глазного яблока является одной из важных проблем офтальмологии. Повреждение сетчатки вследствие контузии глаза нередко является причиной снижения трудоспособности и инвалидизации пострадавших лиц [2].

Важное значение в диагностике повреждения сетчатки при травме глаза в зоне фовеа играет спектральная оптическая когерентная томография (СОКТ), позволяющая оценить микроструктуру сетчатки. СОКТ позволяет визуализировать четыре наружных рефлективных слоя сетчатки, наружный ядерный слой в зоне фовеа. Самый внутренний слой сетчатки характеризует наружную пограничную мембрану (НПМ), которая является соединительным комплексом между мюллеровскими клетками и фоторецепторами [1, 5].

Большинство авторов описывают второй слой в направлении снутри–наружу как соединение между наружными и внутренними сегментами фоторецепторов, а третий — как верхушка наружных сегментов фоторецепторов или мембрана Вергоффа [7, 10, 15–17]. Самый наружный гиперрефлективный слой представляет собой пигментный эпителий сетчатки [6, 10].

Однако Spaide R. F. с соавторами, проанализировав большое количество литературных источников, считают, что более корректно второй слой интерпретировать как эллипсоид внутренних сегментов фоторецепторов, а третий — как контактный цилиндр колбочек [14].

Данные литературы о морфологических особенностях сетчатки в области фовеа, по данным СОКТ, при контузии глазного яблока немногочисленны. Разделяя точку зрения Spaide R. F. с соавторов, мы считаем актуальным изучение особенностей морфологических изменений структуры сетчатки зоны фовеа по данным СОКТ и их связь с остротой зрения после контузии глазного яблока.

Цель: изучить особенности морфологических изменений структуры сетчатки зоны фовеа по данным СОКТ и их связь с остротой зрения после контузии глазного яблока.

Материал и методы

Под наблюдением находились 43 больных с контузией глаза. Мужчины — 38, женщины — 5. Средний возраст 34,6 (12,1) года. Срок наблюдения после травмы 12 месяцев. Оперативное лечение больным не проводилось. Критериями включения были отсутствие помутнений роговицы, катаракты, гемофтальма, травматической оптической нейропатии, субмакулярного кровоизлияния, отслойки сетчатки.

Всем исследуемым проводилась СОКТ (Spectralis (HeidelbergEngineering)) в сроки до 2 месяцев с момента травмы — в ранний посттравматический период. Оценивались морфологические изменения слоев сетчатки в зоне фовеа: в наружном ядерном слое, наружной пограничной мембране, эллипсоиде внутренних сегментов фоторецепторов, контактном цилиндре колбочек, пигментном эпителии сетчатки. Качественные признаки патологических изменений

вышеуказанных слоев сетчатки (по данным СОКТ) были формализованы в полуколичественные переменные, ранжированные от минимального до максимального значения по степени выраженности нарушений структуры, а затем использованы в дальнейшем анализе.

Изучалась корреляционная связь между изменениями структуры сетчатки в зоне фовеа в ранний посттравматический период и остротой зрения в отдаленный период.

При статистическом анализе данных был использован дисперсионный анализ. Анализовались среднее значение и стандартное отклонение M (SD). Для исследования корреляционной связи применялся непараметрический критерий Спирмена. Анализ данных выполнен с применением программы Statistica 7.

Результаты и их обсуждение

Характер распределения остроты зрения в отдаленный период после контузии глазного яблока у наблюдаемых нами больных представлен на рисунке 1.

На представленной гистограмме показана вариабельность распределения остроты зрения у наблюдаемых нами больных. У 21 больного острота зрения составила меньше 0,3; у 7 пациентов — 0,4–0,7; у 15 больных — 0,8–1,0.

Проведена морфологическая оценка состояния четырех наружных рефлективных слоев сетчатки (наружной пограничной мембраны, эллипсоиде внутренних сегментов фоторецепторов, контактного цилиндра колбочек, пигментного эпителия сетчатки), наружного ядерного слоя, отслойки нейроэпителия в зоне фовеа по данным СОКТ. Корреляционный анализ зависимости между остротой зрения в отдаленный период и морфологическим состоянием структур наружных слоев сетчатки зоны фовеа, отмеченных в ранний посттравматический период, выявил сильную обратную корреляционную связь остроты зрения с характером изменений наружной пограничной мембраны ($r_s = -0,89$; $p = 0,00001$), эллипсоида внутренних сегментов фо-

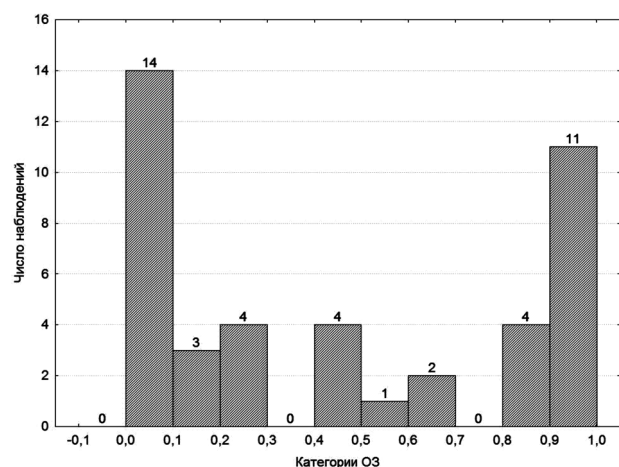


Рис. 1. Гистограмма распределения остроты зрения у больных с контузией глазного яблока разной степени тяжести.

торорецепторов ($r_s = -0,90$; $p = 0,00001$), контактного цилиндра колбочек ($r_s = -0,77$; $p=0,00001$), пигментного эпителия сетчатки ($r_s = -0,70$; $p=0,00001$), наружного ядерного слоя ($r_s = -0,73$; $p=0,00001$). По нашим данным, корреляционной связи между локальной отслойкой нейроэпителия в области фовеа после контузии глазного яблока с остротой зрения в последующем не выявлено ($r_s = -0,22$; $p=0,15$). Анализ показал, что наибольшая корреляционная связь отмечена между остротой зрения и характером изменений в наружной пограничной мембране и эллипсоиде внутренних сегментов фоторецепторов. Чем больше степень нарушений в наружной пограничной мембране и эллипсоиде внутренних сегментов фоторецепторов, тем ниже острота зрения.

В раннем посттравматическом периоде отсутствие изменений структуры наружной пограничной мембраны определялось у 46,5 % больных, фрагментация — у 4,7 %, разрушение с дефектом — у 48,8 % (табл. 1).

Эллипсоид внутренних сегментов фоторецепторов был без изменений либо определялся в виде гиперрефлективного, слегка размытого слоя, с отсутствием гипорефлективного пространства под ним у 30,2 % пациентов, фрагментирован — у 16,3 %, разрушен с дефектом — у 53,5 % (табл. 2).

Контактный цилиндр колбочек в виде гиперрефлективного размытого слоя выявлен у 32,6 % больных, не дифференцируется — у 67,4 %. Изменения структуры пигментного эпителия сетчатки (пигментная эпителиопатия) выявлены у 53,5 % больных, отсутствие изменений ПЭС — у 46,5 %. Локальная отслойка нейроэпителия в фовеа наблюдалась у 13,9 % пациентов. Изменения в наружном ядерном слое в виде дефекта отмечались у 46,5 % больных, без изменений — у 53,5 %.

Таблиц 1. Распределение больных по характеру изменений наружной пограничной мембраны.

Характер изменений наружной пограничной мембраны	Процентное содержание, %	Количество больных, n
Отсутствие изменений	46,5	20
Фрагментация	4,7	2
Дефект	48,8	21

Таблица 2. Распределение больных по характеру изменений эллипсоида внутренних сегментов фоторецепторов.

Характер изменений эллипсоида внутренних сегментов фоторецепторов	Процентное содержание, %	Количество больных, n
Отсутствие изменений, гиперрефлективность слоя с отсутствием гипорефлективного пространства под ним	30,2	13
Фрагментация	16,3	7
Дефект	53,5	23

Таблица 3. Изменения структур сетчатки зоны фовеа и ОЗ.

Изменения структуры сетчатки	Острота зрения M (SD)
Изменения наружной пограничной мембраны	
отсутствие изменений	0,87 (0,18)
фрагментация	0,55 (0,07)
дефект	0,14 (0,09)
Изменения эллипсоида внутренних сегментов фоторецепторов	
отсутствие изменений, гиперрефлективность слоя с отсутствием гипорефлективного пространства под ним	0,97 (0,04)
фрагментация	0,67 (0,17)
дефект	0,17 (0,14)
Изменения контактного цилиндра колбочек	
гиперрефлективность, размытость	0,98 (0,14)
дефект	0,28 (0,27)
Изменения пигментного эпителия сетчатки	
отсутствуют	0,79 (0,3)
да	0,22 (0,22)
Изменения наружного ядерного слоя	
отсутствуют	0,7 (0,29)
да	0,15 (0,12)

При проведении анализа остроты зрения в отдаленный период после контузии глаза у больных с различными изменениями слоев сетчатки зоны фовеа были получены следующие данные (табл. 3).

У больных с локальной отслойкой нейроэпителия в фовеа и без нее статистически значимых различий в остроте зрения не обнаружено. У больных со структурными изменениями пигментного эпителия сетчатки в виде диспигментации среднее значение остроты зрения составило 0,22 (0,22), что ниже, чем у пациентов без нарушения пигментного эпителия сетчатки 0,79 (0,3), ($p=0,00001$). Однако у больных с нарушением пигментного эпителия сетчатки выявлены сопутствующие изменения и в других структурах наружных слоев сетчатки.

У больных с неизменной наружной пограничной мембраной среднее значение остроты зрения составило 0,87 (0,18), а с дефектом — 0,14 (0,09). У больных с фрагментацией наружной пограничной мембраной острота зрения — 0,55 (0,07). При сравнении средних значений остроты зрения в этих группах были получены статистически значимые различия. У пациентов с неизменной наружной пограничной мембраной острота зрения выше, чем в группе с фрагментацией ($p=0,001$) и с дефектом наружной пограничной мембраны ($p=0,0001$). У лиц с фрагментацией наружной пограничной мембраны острота зрения более высокая, чем у больных с дефектом ($p=0,0001$).

У пациентов с отсутствием изменений либо с гиперрефлективностью слоя эллипсоида внутренних сегментов фоторецепторов и исчезновением гипо-

рефлективного пространства под ним в отдаленный период острота зрения составила 0,97 (0,04). У больных с фрагментацией слоя эллипсоида внутренних сегментов фоторецепторов острота зрения составила 0,67 (0,17), а с дефектом — 0,17 (0,14). Острота зрения при отсутствии изменений либо с наличием гиперрефлективности эллипсоида внутренних сегментов фоторецепторов выше, чем острота зрения у больных с фрагментацией этого слоя ($p=0,001$), а также относительно больных, у которых определяется дефект этого слоя ($p=0,0001$). У лиц с фрагментацией эллипсоида внутренних сегментов фоторецепторов острота зрения выше относительно остроты зрения больных, у которых определялся дефект этого слоя ($p=0,0001$).

У больных с гиперрефлективностью контактного цилиндра колбочек в отдаленный период острота зрения составила 0,98 (0,14), а с дефектом — 0,28 (0,27). Различия в остроте зрения у этих пациентов статистически значимы ($p=0,004$).

У пациентов с изменениями наружного ядерного слоя ниже, чем у больных с отсутствием изменений ($p=0,0001$).

Клинический пример № 1. Больной О., 30 лет, диагноз: правый глаз—контузия глазного яблока. Острота зрения в отдаленный период 1,0. Данные СОКТ представлены на рисунке 2. Определяется гиперрефлективность эллипсоида внутренних сегментов фоторецепторов, дефект контактного цилиндра колбочек, отсутствие изменений пигментного эпителия сетчатки, наружной пограничной мембраны, наружного ядерного слоя в зоне фовеа.

Клинический пример № 2. Больной С., 34 года, диагноз: правый глаз — контузия глазного яблока, вторичная дегенерация макулы. Острота зрения в отдаленный период 0,6 не корр. Данные СОКТ представлены на рисунке 3. Определяется фрагментация эллипсоида внутренних сегментов фоторецепторов, дефект контактного цилиндра колбочек, отсутствие изменений наружной по-

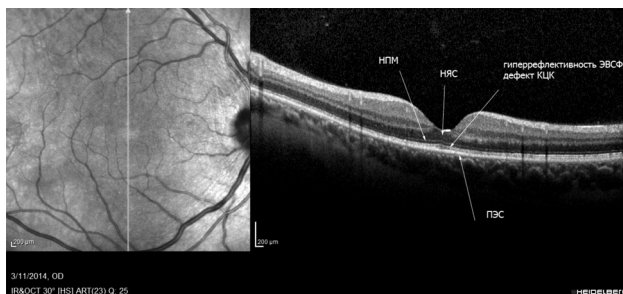


Рис. 2. Вертикальный скан СОКТ. Гиперрефлективность ЭВСФ, дефект КЦК, отсутствие изменений ПЭС, НПМ, НЯС в зоне фовеа. ЭВСФ — эллипсоид внутренних сегментов фоторецепторов, КЦК — контактный цилиндр колбочек, ПЭС — пигментный эпителий сетчатки, НПМ — наружная пограничная мембрана, НЯС — наружный ядерный слой.

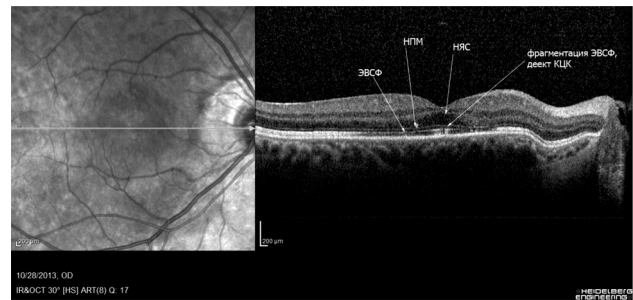


Рис. 3. Горизонтальный скан СОКТ. Фрагментация ЭВСФ, дефект КЦК, отсутствие изменений НПМ, НЯС в зоне фовеа. ЭВСФ — эллипсоид внутренних сегментов фоторецепторов, КЦК — контактный цилиндр колбочек, НПМ — наружная пограничная мембрана, НЯС — наружный ядерный слой.

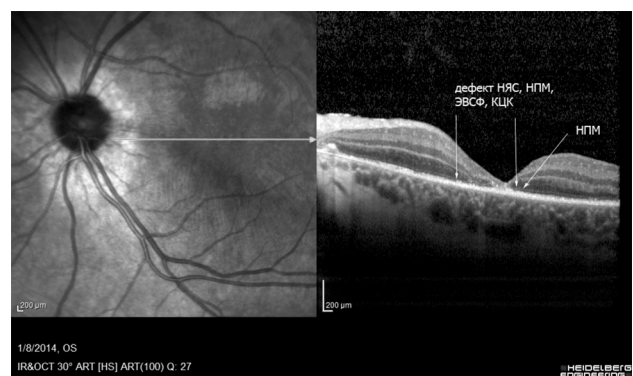


Рис. 4. Горизонтальный скан СОКТ. Определяется дефект НЯС, НПМ, ЭВСФ, КЦК в зоне фовеа. ЭВСФ — эллипсоид внутренних сегментов фоторецепторов, КЦК — контактный цилиндр колбочек, НПМ — наружная пограничная мембрана, НЯС — наружный ядерный слой.

граничной мембраны, наружного ядерного слоя в зоне фовеа.

Клинический пример № 3. Больной К., 21 год, диагноз: левый глаз— контузия глазного яблока, вторичная дегенерация макулы. Острота зрения в отдаленный период 0,2 не корр. Данные СОКТ представлены на рисунке 4. Определяется дефект наружного ядерного слоя, наружной пограничной мембраны, эллипсоида внутренних сегментов фоторецепторов, контактного цилиндра колбочек в зоне фовеа.

Из этого следует, что высокие показатели остроты зрения в отдаленном периоде наблюдались у больных с менее выраженными повреждениями наружных слоев сетчатки, которые по данным СОКТ проявлялись в виде повышения гиперрефлективности, размытости слоя контактного цилиндра колбочек и гиперрефлективности слоя эллипсоида внутренних сегментов с отсутствием гипорефлективного пространства под ним. Наружные сегменты фоторецепторов, о состоянии которых свиде-

тельствует слой контактного цилиндра колбочек, вовлечены в посттравматический процесс во всех случаях, однако в разной степени. Повышенная гиперрефлексивность возможно, связана с нарушением строгой однонаправленной структурной организации наружных сегментов фоторецепторов, которая может восстанавливаться после их регенерации и переработки их дегенеративных элементов пигментным эпителием сетчатки. В экспериментальной работе на кроликах при контузии глазного яблока легкой степени нами также подтверждено повреждение наружных сегментов и митохондрий фоторецепторной клетки, пигментного эпителия сетчатки [3].

Локальная фрагментация наружной пограничной мембраны, фрагментация эллипсоида внутренних сегментов фоторецепторов с дефектом КЦК приводили к умеренному снижению остроты зрения после контузии глазного яблока. Более выраженное стойкое снижение остроты зрения отмечено у больных с грубыми нарушениями наружных слоев сетчатки в зоне фовеа — дефектами наружной пограничной мембраны, эллипсоида внутренних сегментов фоторецепторов, контактного цилиндра колбочек, наружного ядерного слоя. Характерными для больных с более тяжелыми повреждениями сетчатки являются также изменения структуры пигментного эпителия сетчатки. Вовлечение в патологический процесс наружной пограничной мембраны и эллипсоида внутренних сегментов фоторецепторов приводит к более низкому восстановлению остроты зрения в последующем, что воз-

можно, связано с разрушением связи между мюллеровскими клетками и фоторецепторами, а также с повреждением митохондрий фоторецепторов.

По мнению некоторых авторов, высокая уязвимость внутренних и наружных сегментов фоторецепторов может быть обусловлена отсутствием поддержки их мюллеровскими клетками, комплекс которых появляется на уровне наружной пограничной мембраны и распространяется в наружном ядерном слое [8]. Снижение остроты зрения в отдаленный период после контузии глаза может быть следствием развития апоптоза и некроза фоторецепторов, возникающего после травмы, что было показано в экспериментальных работах [4].

Таким образом, изменения наружных слоев сетчатки в разной степени проявления, выявленные при контузии глазного яблока разной степени тяжести, в том числе легкой, могут свидетельствовать о высокой уязвимости этих структур при травме глаза, что согласуется с данными литературы [9, 11–13].

Выводы

Выявлена сильная обратная корреляционная связь между остротой зрения в отдаленный период и морфологическим состоянием структур наружных слоев сетчатки зоны фовеа, отмеченных в ранний посттравматический период, а именно с характером изменений наружной пограничной мембраны, эллипсоида внутренних сегментов фоторецепторов, контактного цилиндра колбочек, пигментного эпителия сетчатки, наружного ядерного слоя.

Литература

1. **Вит В. В.** Строение зрительной системы человека / В. В. Вит // Одесса: Астропринт. — 2010. — 664 с.
2. **Гундорова Р. А.** Травмы глаза / Р. А. Гундорова, В. В. Нероев, В. В. Кашников // Москва, 2009. — 553 с.
3. **Думброва Н. Е.** Ультраструктурные изменения хорио-ретинального комплекса при моделировании контузии глаза у кроликов / Н. Е. Думброва, В. В. Вит, Т. А. Красновид, Н. И. Молчанюк, Н. П. Грубник // Офтальмол. журн. — 2013. — № 5. — С. 67–73.
4. **Blanch R. J.** Neuroretinal cell death in a murine model of closed globe injury: pathological and functional characterization / R. J. Blanch et al. // Invest Ophthalmol Vis Sci. — 2012. — Vol. 53. — P. 7220–6.
5. **Drexler W.** Enhanced visualization of macular pathology with the use of ultrahigh-resolution optical coherence tomography / W. Drexler et al. // Arch Ophthalmol. — 2003. — Vol. 121. — P. 695–706.
6. **Gloesmann M.** Histologic correlation of pig retina radial stratification with ultrahigh-resolution optical coherence tomography / M. Gloesmann et al. // Invest Ophthalmol Vis Sci. — 2003. — Vol. 44. — P. 1696–1703.
7. **Ko T. H.** Comparison of ultrahigh- and standard-resolution optical coherence tomography for imaging macular hole pathology and repair / T. H. Ko et al. // Ophthalmology. — 2004. — Vol. 111 (11). — P. 2033–43.
8. **Mansour A. M.** Histopathology of commotio retinae / A. M. Mansour, W. R. Green, C. Hogge // Retina. — 1992. — Vol. 12. — P. 24–28.
9. **Oh J.** Commotio retinae with spectral domain optical coherence tomography / J. Oh et al. // Retina. — 2011. — Vol. 31. — P. 2044–2049.
10. **Puche N.** High-resolution spectral domain optical coherence tomography features in adult onset foveomacular vitelliform dystrophy / N. Puche et al. // Br J Ophthalmol. — 2010. — Vol. 94. — P. 1190–1196.
11. **Saleh M.** Long-term outcomes of acute traumatic maculopathy / M. Saleh et al. // Retina. — 2011. — Vol. 31. — P. 2037–2043.
12. **Sipperley J. O.** Traumatic retinopathy in primates. The explanation of commotio retinae / J. O. Sipperley, H. A. Quigley, D. M. Gass // Arch Ophthalmol. — 1978. — Vol. 96. — P. 2267–2273.
13. **Souza-Santos F.** Spectral domain optical coherence tomography in patients with commotio retinae / F. Souza-Santos et al. // Retina. — 2012. — Vol. 32. — P. 711–718.
14. **Spaide R. F.** Anatomical correlates to the bands seen in the outer retina by optical coherence tomography: Literature

- Review and Model. / R. F. Spaide, C. A. Curcio // *Retina*. — 2011. — Vol. September; 31 (8). — P.1609–1619.
15. **Srinivasan V. J.** Noninvasive volumetric imaging and morphometry of the rodent retina with high-speed, ultrahigh-resolution optical coherence tomography / V. J. Srinivasan et al. // *Invest Ophthalmol Vis Sci*. — 2006. — Vol.47. — P.5522–5528.
16. **Srinivasan V. J.** Characterization of outer retinal morphology with high-speed, ultrahigh-resolution optical coherence tomography / V. J. Srinivasan et al. // *Invest Ophthalmol Vis Sci*. — 2008. — Vol.49. — P.1571–1579.
17. **Zawadzki R. J.** Adaptive-optics optical coherence tomography for high-resolution and high-speed 3D retinal in vivo imaging / R. J. Zawadzki et al. // *Opt Express*. — 2005. — Vol.13. — P. 8532–8546.

Поступила 13.20.2014

References

1. **Vit VV.** The structure of the human visual system. Odessa: Astroprint; 2010. 664 p.
2. **Gundorova RA, Neroev VV, Kashnikov VV.** Traumas of the eye. Moscow; 2009. 553 p.
3. **Dumbrova NE, Vit VV, Krasnovid TA, Molchanyuk NI, Grubnik NP.** Ultrastructural changes of chorioretinal complex in experimental model of eye contusion in rabbits. *Oftalmol Zh.* 2013; 5: 67–72. Russian.
4. **Blanch RJ et al.** Neuroretinal cell death in a murine model of closed globe injury: pathological and functional characterization. *RJ Blanch Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2012;53:7220–6.
5. **Drexler W et al.** Enhanced visualization of macular pathology with the use of ultrahigh-resolution optical coherence tomography. *Arch Ophthalmol.* 2003;121:695–706.
6. **Gloesmann M et al.** Histologic correlation of pig retina radial stratification with ultrahigh-resolution optical coherence tomography. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2003;44:1696–703.
7. **Ko TH** Comparison of ultrahigh- and standard-resolution optical coherence tomography for imaging macular hole pathology and repair. *TH Ko et al. Ophthalmology.* 2004; Nov 111(11):2033–43.
8. **Mansour AM, Green WR, Hogge C.** Histopathology of commotio retinae. *Retina.* 1992;12:24–8.
9. **Oh J et al.** Commotio retinae with spectral domain optical coherence tomography. *Retina.* 2011;31:2044–9.
10. **Puche N et al.** High-resolution spectral domain optical coherence tomography features in adult onset foveomacular vitelliform dystrophy. *Br J Ophthalmol.* 2010;94:1190–6.
11. **Saleh M et al.** Long-term outcomes of acute traumatic maculopathy. *Retina.* 2011;31:2037–43.
12. **Sipperley JO, Quigley HA, Gass DM.** Traumatic retinopathy in primates. The explanation of commotio retinae. *Arch Ophthalmol.* 1978; 96: 2267–73.
13. **Souza-Santos F et al.** Spectral domain optical coherence tomography in patients with commotio retinae. *Retina.* 2012;32:711–718.13.
14. **Spaide RF, Curcio CA.** Anatomical correlates to the bands seen in the outer retina by optical coherence tomography: Literature Review and Model. *Retina.* 2011;Sep 31(8):1609–19.
15. **Srinivasan VJ et al.** Noninvasive volumetric imaging and morphometry of the rodent retina with high-speed, ultrahigh-resolution optical coherence tomography. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2006;47:5522–8.
16. **Srinivasan VJ et al.** Characterization of outer retinal morphology with high-speed, ultrahigh-resolution optical coherence tomography. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2008;49:1571–9.
17. **Zawadzki RJ et al.** Adaptive-optics optical coherence tomography for high-resolution and high-speed 3D retinal in vivo imaging. *Opt Express.* 2005;13:8532–46.

Received 13.20.2014