

НОВЫЙ ВЗГЛЯД НА ФАКТОРЫ РИСКА КАТАРАКТОГЕНЕЗА В ЛАЗЕРНОЙ РЕФРАКЦИОННОЙ ХИРУРГИИ РОГОВИЦЫ

Корниловский И.М.*

ФГБУ «Национальный медико-хирургический Центр им. Н.И. Пирогова», Москва

DOI: 10.25881/20728255_2025_20_4_S1_43

Резюме. Цель. Рассмотреть катарактогенные факторы риска в лазерной рефракционной хирургии роговицы и предложить их балльную оценку.

Пациенты и методы. Проанализированы данные литературы о развитии катаракты после рефракционной хирургии роговицы. Собственный клинический материал охватывает 20-ти летние клинические наблюдения за отдаленными результатами различных кераторефракционных операций с акцентом на состояние хрусталика и развитие катаракты в сроки от 5-ти до 20-ти лет и более после лазерных рефракционных операций на роговице (ФРК, ТрансФРК, ЛАСИК, ФемтоЛАСИК, СМАЙЛ).

Результаты. Анализ данных литературы показал, что после лазерных рефракционных операций на роговице катаракта помолодела в среднем на 10 лет. К основным факторам риска катарактогенеза нами были отнесены такие, как истончение роговицы, высокая степень исходной аметропии, остаточные aberrации низших порядков, индуцированные aberrации высших порядков, возраст пациента, аккомодационные расстройства и пресбиопия. Клинические наблюдения показали, что лазерная коррекция высокой степени аметропии значительно увеличивает риск катарактогенеза. Это связано с большим объемом удаляемой стромы, более выраженной ответной асептической воспалительной реакцией с накоплением перекисных радикалов и окислительным стрессом во всех структурах переднего отдела глаза. В отдаленные сроки после рефракционной операции ослабляется фотопротекторная функция истонченной роговицы, что увеличивает УФ нагрузки на хрусталик, что является одним из важных факторов инициирующих катарактогенез и более раннее развитие катаракты.

Заключение. Для клинически значимого раннего развития катаракты после лазерных рефракционных операций на роговице необходимо сочетание нескольких катарактогенных факторов, таких, как степень истончения роговицы, величина аметропии, выраженность в раннем послеоперационном периоде асептической воспалительной реакции в тканях переднего отрезка глаза, индуцированные aberrации высших порядков и остаточные aberrации низших порядков, слабость аккомодации и пресбиопия.

Ключевые слова: истончение роговицы, оксидативный стресс, индуцированные aberrации высших порядков, остаточные aberrации низших порядков, катарактогенез, лазерная рефракционная хирургия роговицы, факторы риска.

Актуальность

Проведение лазерных рефракционных операций сопровождается уменьшением толщины роговицы. Значимость данного фактора большинство офтальмологов расценивают лишь с позиций риска развития индуцированной кератэктазии. При этом не принимается во внимание тот факт, что роговая оболочка является важной фотопротекторной структурой, значительно блокирующей внешний средний (УФВ) и ослабляющей ближний (УФА) ультрафиолет. При этом неизбежно увеличивается УФ нагрузка на хрусталик, который также является второй фотопротекторной структурой. Именно хрусталик, поглощает практически весь ослабленный поток внешнего УФ излучения и до сетчатки доходит только 1–2% УФ излучения. Таким образом, создаются

A NEW LOOK AT RISK FACTORS FOR CATARACTOGENESIS IN LASER CORNEAL REFRACTIVE SURGERY

Kornilovsky I.M.*

Pirogov National Medical and Surgical Center, Moscow

Abstract. Purpose: To examine cataractogenic risk factors in corneal laser refractive surgery and propose a scoring system for them.

Patient and Methods: Literature data on cataract development after corneal refractive surgery were analyzed. Our own clinical material covers 20 years of clinical observations of the long-term results of various keratorefractive surgeries with an emphasis on the state of the lens and the development of cataracts in periods from 5 to 20 years or more after laser refractive surgeries on the cornea (PRK, TransPRK, LASIK, FemtoLASIK, SMIL).

Results: Literature analysis showed that after corneal laser refractive surgery, cataracts appear to be younger by an average of 10 years. The main risk factors for cataractogenesis included corneal thinning, a high degree of initial ametropia, residual lower-order aberrations, induced higher-order aberrations, patient age, accommodative disorders, and presbyopia. Clinical observations have shown that laser correction of high ametropia significantly increases the risk of cataractogenesis. This is due to the larger volume of stromal tissue removed, a more pronounced aseptic inflammatory response with the accumulation of peroxide radicals and oxidative stress in all structures of the anterior segment of the eye. Late after refractive surgery, the photoprotective function of the thinned cornea weakens, increasing UV stress on the lens, which is one of the important factors initiating cataractogenesis and the earlier development of cataracts.

Conclusion: For clinically significant early development of cataracts after laser refractive surgery on the cornea, a combination of several cataractogenic factors is necessary, such as the degree of corneal thinning, the magnitude of ametropia, the severity of the aseptic inflammatory reaction in the tissues of the anterior segment of the eye in the early postoperative period, induced higher-order aberrations, residual lower-order aberrations, weakness of accommodation and the development of presbyopia.

Keywords: corneal thinning, oxidative stress, induced higher-order aberrations, residual lower-order aberrations, cataractogenesis, laser refractive corneal surgery, risk factors.

условия, при которых истончённая роговица становится одним из важных фактором, стимулирующим катарактогенез. Последнее неизбежно повышает риск более раннего развития катаракты. Имеются публикации о том, что после лазерной рефракционной хирургии роговицы катаракта развивается в среднем на 10 лет раньше [1–10]. Однако данным сообщениям не уделяется должного внимания.

Всё вышеизложенное и предопределило необходимость написания настоящей работы.

Цель работы

Рассмотреть новые данные о факторах, стимулирующих катарактогенез и раннее развитие катаракты после лазерной рефракционной хирургии.

* e-mail: Kornilovsky51@yandex.ru

Материал и методы

Проанализированы данные литературы о хирургии катаракты с имплантацией различных моделей ИОЛ на глазах пациентов после рефракционной хирургии роговицы. Особый акцент был сделан на временной интервал и возрастной диапазон катарактальных пациентов. Собственный клинический материал включал 20-ти летние клинические наблюдения за отдаленными результатами различных кераторефракционных операций (ФРК, ТрансФРК, ЛАСИК, ФемтоЛАСИК, СМАЙЛ) в сроки от 5 до 20 и более лет, выполненных в ФГБУ «НМХЦ им. Н.И. Пирогова» и других офтальмологических учреждениях России. При обследовании прооперированных глаз особый акцент был сделан на изменение толщины роговицы в центральной оптической зоне, состояние биомикроскопической прозрачности и оптической плотности хрусталика, роговицы по данным оптической когерентной томографии и денситометрии. Наряду с традиционными, применялись современные методики дифференциальной aberрометрии, кератотопографии, денситометрии, спектральная ОКТ и оптическая биометрия. Исследования проводили на приборах OPD-Scan (Nidek, Япония), Cirrus HD-OCT 5000 (Carl Zeiss Meditec, Германия), RTVue 100 и RTVue XR100 (Optovue, США), Pentacam HR (Oculus, Германия), Wasko Analyzer, WaveLight Topolyzer VARIO, WaveLight Oculyzer и WaveLight Analyzer (Alcon, США) и TMS-5 (Tomey, Япония).

Результаты и их обсуждение

По мнению ряда исследователей, пусковым фактором к ускорению катарактогенеза может стать выраженный оксидативный стресс в ходе лазерной рефракционной операции на роговице, сопровождающийся накоплением перекисных радикалов в строме, влаге передней камеры и хрусталике. Во всех случаях в раннем послеоперационном периоде развивается асептическая воспалительная реакция, которая усиливает суммарный эффект накопления перекисных радикалов в тканях переднего отдела глаза и хрусталике [10]. Однако, по нашему мнению, ведущим фактором в катарактогенезе в отдаленные сроки после лазерных рефракционных операций является степень истончения роговицы. Это связано с особенностями фотопротекторной функции роговицы по отсечению внешнего УФ излучения. Анализ работ по фотопротекторной защите внутриглазных структур глаза показал, что именно роговой оболочке принадлежит ведущая функция по блокированию среднего ультрафиолета (УФВ) и ослаблению интенсивности потока ближнего (УФА) ультрафиолета на хрусталик. Хрусталик является второй оптической фотопротекторной структурой. Благодаря блокированию внешнего УФ излучения хрусталиком достигается максимальная защита нежных структур стекловидного тела и макулярной области сетчатки. Согласно данным литературы с возрастом фотопротекторная функция роговицы по поглощению внешнего ультрафиолета увеличивается [9].

Наши клинические наблюдения показали, что катарактогенный эффект той или иной фоторефракционной операции зависит от сочетания целого ряда неблагоприятных факторов. Среди этих факторов по длительности неблагоприятного эффекта воздействия на хрусталик ведущим следует считать истончение роговицы в центральной оптической зоне. Это, как уже отмечалось выше, вытекает из её важной фотопротекторной функции по блокированию внешнего УФ излучения. Согласно закону Бугера-Ламберта-Бера, чем толще слой поглощающей среды, тем больше роговицы задерживает внешнее УФ излучение и наоборот. Применительно к фоторефракционной абляции роговицы это означает, что после её завершения истонченная роговица будет меньше поглощать внешнее УФ излучение, что неизбежно усилит УФ нагрузку на хрусталик. При рефракционных операциях на роговице именно величина истончения роговицы напрямую зависит от степени аметропии и объема удаляемой стромы

Увеличение УФ нагрузки на хрусталик при истончении роговицы, на наш взгляд, является одним из решающих факторов в катарактогенезе после лазерных кераторефракционных операций. Немаловажное значение имеет исходное состояние хрусталика и его аккомодационная функция. Хорошо известно, что различная степень нарушения аккомодации зависит от степени аметропии, длительности и правильности выбранного метода коррекции и, конечно же, возраста пациента. Немаловажное значение имеет тот факт, насколько рефракционная операция будет способствовать улучшению работоспособности аккомодационного аппарата глаза, а точнее работе всего иридоциклохрусталикового комплекса. Не случайно сегодня аккомодацию можно рассматривать, как сердце глаза, бьющегося в определенном ритме в зависимости от характера зрительной нагрузки. Более того, согласно современным представлениям, аккомодация является мощным стимулятором гидродинамической и гемодинамической систем глаза [10; 11]. Как показали наши клинические наблюдения, при фоторефракционной коррекции слабых и средних степеней миопии у лиц молодого возраста отмечается улучшение объема абсолютной и относительной аккомодации, показателей гидро- и гемодинамики глаза. Это может компенсировать ослабление фотопротекторной функции истонченной роговицы. Вот почему у лиц молодого возраста со слабыми и средними степенями аметропий после лазерных рефракционных операций риск раннего развития катаракты незначительный. Данный риск нарастает при наличии таких факторов, как увеличение aberраций высших порядков, остаточные aberрации низших порядков и их неполная коррекция, а также при эффекте регенераторной миопизации в отдаленные сроки после операции. К факторам риска следует отнести слабость аккомодации и пресбиопию. Риск более раннего развития катаракты значительно повышается при коррекции высоких степеней аметропий, особенно у лиц с высокой

близорукостью. В качестве примера приводим следующее клиническое наблюдение.

Пациентка К, (1976 г.р.) Диагноз: Миопия высокой степени, изометропическая, не прогрессирующая обоих глаз. Многие годы пользовалась мягкими контактными линзами и в 18 лет приняла решение о проведении лазерной рефракционной операции (ФРК) первоначально только на левом глазу с высокой степенью миопии (-8,0 Дптр.).

От проведения операции ФРК на правом глазу с аналогичной высокой степенью миопии она отказалась, из-за неприятных ощущений в ходе операции на левом глазу и выраженного болевого роговичного синдрома в раннем послеоперационном периоде. В течение последующих 20 лет на правом глазу продолжала носить мягкую контактную линзу.

В 38 лет пациентка стала замечать туман и снижение зрения на оперированном левом глазу. При обследовании была выявлена ядерная катаракта. Острота зрения на левом глазу колебалась от 0,1 до 0,2 и не поддавалась коррекции. При выполнении ОКТ роговицы и исследовании на кератотопографе TMS-5 с функциями Шеймфлюг сканирования и денситометрии было отмечено истончение роговицы до 420 мкм в центре оптической зоны. Это было на 100 мкм меньше по сравнению с роговицей правого глаза. В центральной оптической зоне хрусталика при биомикроскопии и по данным Шеймфлюг сканирования определялась ядерная катаракта и повышение оптической плотности (Рис. 1). На правом глазу толщина роговицы в центре оптической зоны составила 520 мкм, хрусталик прозрачный (Рис. 2). На левом глазу была выполнена факоэмульсификация катаракты с имплантацией ИОЛ. После операции острота зрения составила 0,4 с корр. Sph (-) 2,0 дптр. cyl (-) 0,75 дптр. = 0,6-0,7. На правом глазу острота зрения 0,02 с коррекцией сфера (-) 8,0 дптр. = 1,0. В контактной линзе -7,50 дптр. = 1,0.

Развитие ядерной катаракты на левом глазу в возрасте 38 лет хорошо укладывается в концепцию увеличения УФ нагрузки на хрусталик, из-за ослабления фотопротек-

торной функции роговицы, из-за её истончения после ФРК. Фактор травмы и другие возможные причины развития катаракты были исключены. При этом следует ещё раз сделать акцент на том, что до фоторефракционной операции была равная степень миопии на обоих глазах.

Наши клинические наблюдения и объективные инструментальные исследования позволили выявить следующие основные факторы катарактогенеза в лазерной рефракционной хирургии роговицы:

- истончение роговицы в центральной оптической зоне роговицы;
- выраженная послеоперационная асептическая воспалительная реакция в тканях переднего отрезка глаза;
- высокая степень аметропии;
- индуцированные aberrации высших порядков, остаточные aberrации низших порядков;
- слабость аккомодации и пресбиопия;
- возраст пациента старше 40 лет.

Для оценки риска развития катаракты после лазерных рефракционных операций на роговице каждому из катарактогенных факторов риска была дана балльная оценка степени выраженности. При этом минимальная степень оценивалась в 1 балл и повышалась на 0,5 балла с увеличением глубины абляции на каждые 50 мкм, а также при увеличении оптической и переходных зон. Аналогичный подход был применён к анализу всех остальных факторов катарактогенеза (см. табл.). Величина суммы всех баллов предопределяло риск раннего развития катаракты.

Клинические наблюдения показали, что именно при коррекции высоких степеней аметропии резко увеличивается количество факторов риска и сумма баллов по всем факторам катарактогенеза. Это, прежде всего, касается фоторефракционной коррекции миопии высокой степени. Наши клинические наблюдения показали, что начальные признаки катарактальных изменений в хрусталике могут появляться уже в течение первых десяти лет после фоторефракционной операции.

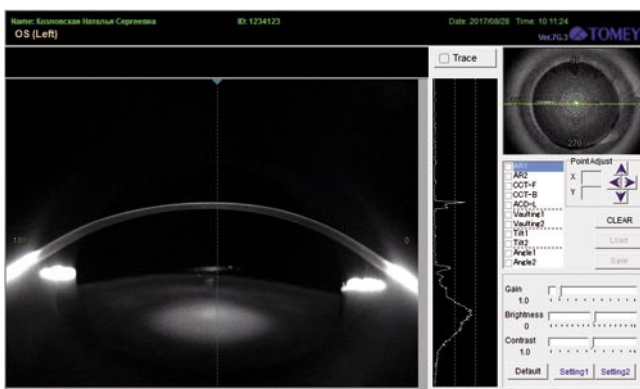


Рис. 1. Шеймфлюг сканограмма и денситограмма истонченной роговицы и ядерной катаракты, развившейся через 20 лет после ФРК на левом глазу с миопией высокой степени у пациентки К., 38 лет.

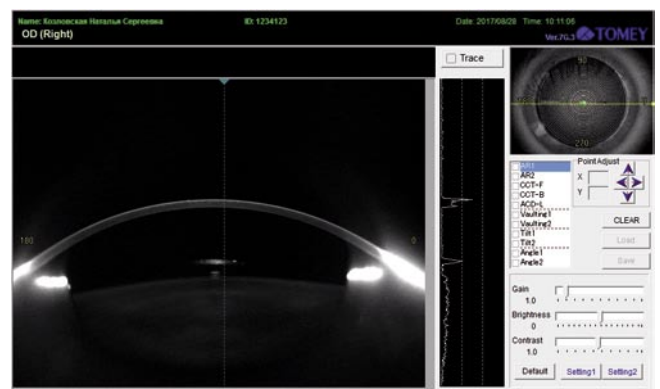


Рис. 2. Шеймфлюг сканограмма и денситограмма состояния роговицы и хрусталика правого глаза с миопией высокой степени на фоне ношения мягкой контактной линзы в течение 20 лет у П-ки К., 38 лет.

Табл. 1. Бальная оценка факторов катарактогенеза в рефракционной хирургии роговицы

Факторы катарактогенеза	Степень значимости в зависимости от параметров	Абляция на глубину до 50 мкм (баллы)	Абляция на глубину 51-100 мкм (баллы)	Абляция на глубину более 100 мкм (баллы)
Величина оптической и переходной зон абляции (мм)	6,0–7,4 6,5–8,4 7,0–9,0	1 2,5 4,0	1,5 3,0 4,5	2 3,5 5,0
Формирование поверхностного лоскута на ножке толщиной (мкм)	90 91–140 >140	1,0 2,5 4,0	1,5 3,0 4,5	2,0 3,5 5,0
Степень выраженности послеоперационной асептической воспалительной реакции, вызывающей оксидативный стресс (в баллах)	I-слабая II-средняя III-высокая	1,0 2,5 4,0	1,5 3,0 4,5	2,0 3,5 5,0
Степень корригируемой аметропии (дптр)	<3,0 3,25–6,00 6,25–10,00 и более	1,0 2,5 4,0	1,5 3,0 4,5	2,0 3,5 5,0
Индукцируемые абберрации высших порядков превышающие физиологические (%)	<150 151–200 >200	1,0 2,5 4,0	1,5 3,0 4,5	2,0 3,5 5,0
Остаточная аметропия без её коррекции очками (дптр)	<1,00 1,25–2,00 >2,25	1,0 2,5 4,0	1,5 3,0 4,5	2,0 3,5 5,0
Объем относительной аккомодации	снижен отсутствует	1,0 2,5	1,5 3,0	2,0 3,5
Возраст (лет)	18–20 21–30 31–40 41 и выше	1,0 1,5 2,0 3,0	1,5 2,0 2,5 3,5	2,0 2,5 3,0 4,0

Сегодня при современной технологии хирургии катаракты с имплантацией ИОЛ решение о проведении операции нередко принимается при начальной катаракте и высокой остроте зрения. Однако, правомерность и обоснованность такого подхода не всегда имеет должное физиологическое обоснование. Согласно современным представлениям хрусталик является основным депо глутатиона и участвует в обмене внутриглазной жидкости в глазу. Именно глутатион восстанавливает окисленную форму аскорбиновой кислоты во внутриглазной жидкости, которая, как известно, является уникальным мощным природным антиоксидантом и играет ключевую роль в защите всех внутриглазных структур. Это чрезвычайно важно для сетчатой оболочки глаза с наивысшим уровнем накопления перекисных радикалов в ходе фотохимической реакции. Не случайно содержание аскорбиновой кислоты во внутриглазной жидкости в 25–50 раз и более превышает таковую концентрацию в плазме крови. Даже самая совершенная с оптической точки зрения ИОЛ не может заменить естественный хрусталик. С этих позиций становится понятным, почему современная микрохирургия удаления хрусталика с имплантацией ИОЛ после фоторефракционной хирургии полностью не решает проблему реабилитации таких пациентов. Более того, надо помнить и о том, что аккомодирующий хрусталик играет чрезвычайно важную роль в активации систем гидродинамики и гемодинамики глаза. Не случайно слабость аккомодации в миопических глазах и пресбиопия рассматриваются, как дополнительные факторы риска раннего развития не толь-

ко катаракты, но и такой возрастной офтальмопатологии, такой как глаукома и макулярная дегенерация сетчатки.

Необходимо отметить возрастные особенности изменения способности роговицы абсорбировать внешний средний (УФВ) и ближний (УФА) ультрафиолет. Так, у молодых пациентов роговица блокирует 90–92% наиболее неблагоприятного УФВ излучения. В то же время роговица пожилых блокирует только 60% УФВ. Что же касается ближнего УФА, то роговица молодых пациентов поглощает от 18 до 48% УФА, а хрусталик до 80% УФА. В то же время роговица у пожилых пациентов блокирует уже 80% УФА излучения, а хрусталик только 2% УФА излучения [12]. Такой эффект можно объяснить возрастным физиологическим кросслинkinгом в роговице, который следует рассматривать, как своеобразную защитную реакцию.

С позиций вышеизложенного уже сегодня не вызывает сомнений целесообразность разработки новых технологий лазерных рефракционных операций на роговице. Данные технологии должны предусматривать компенсацию ослабления прочностных и фотопротекторных свойств истонченной роговой оболочки. Одним из таких новых подходов является проведение фоторефракционной абляции с эффектами фотопротекции и лазериндуцированного кросслинkinга после предварительного насыщения стромы роговицы рибофлавином. Принципиально новым является формирование Боуменоподобной мембранной структуры на основе эксимерлазерного кросслинkinга с применением плотностей энергии в импульсе ниже порога абляции.

Сформированная таким образом мембранная структура препятствует взаимодействию между эпителиальными и стромальными цитокинами, что снижает риск развития необратимых форм субэпителиальных и стромальных помутнений в роговице при выполнении поверхностной фоторефракционной кератэктомии [13–23].

Заключение

Для клинически значимого раннего развития катаракты после лазерных рефракционных операций на роговице необходимо сочетание нескольких катарактогенных факторов, таких, как истончение роговицы в центральной оптической зоне роговицы, выраженная послеоперационная асептическая воспалительная реакция в тканях переднего отрезка глаза, высокая степень аметропии, индуцированные аберрации высших порядков, остаточные аберрации низших порядков, слабость аккомодации и пресбиопия, возраст пациента старше 40 лет.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов (The authors declare no conflict of interest).

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Costagliola C., Balestrieri P., Fioretti F., Frunzio S., Rinaldi M., Scibelli G., Sebastiani A., Rinaldi E. ArF 193 nm excimer laser corneal surgery as a possible risk factor in cataractogenesis. *Exp Eye Res* 1994 Apr; 58(4): 453-7. DOI: 10.1006/exer.1994.1038.
- Nakamura K., Bissen-Miyajima H., Arai H., Toda I., Hori Y., Shimmura S., Tsubota K. Iatrogenic cataract after laser-assisted in situ keratomileusis. *Am J Ophthalmol*. 1999 Oct; 128(4):507-9. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0002-9394\(99\)00193-2](https://doi.org/10.1016/S0002-9394(99)00193-2).
- Krueger RR, Seiler T, Gruchman T, Mrochen M, Berlin MS. Stress wave amplitudes during laser surgery of the cornea. *Ophthalmology*. 2001 Jun; 108(6):1070-4. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0161-6420\(01\)00570-X](https://doi.org/10.1016/S0161-6420(01)00570-X).
- Wachtlin J, Blasig IE, Schrunder S, Langenbeck K, Hoffmann F. PRK and LASIK—their potential risk of cataractogenesis: lipid peroxidation changes in the aqueous humor and crystalline lens of rabbits. *Cornea* 2000 Jan; 19(1):75-79. DOI: 10.1097/00003226-200001000-00015.
- Mansour AM., Ghabra M. Cataractogenesis after Repeat Laser in situ Keratomileusis. *Case Report Ophthalmol*. 2012 May; 3(2):262-5. DOI: 10.1159/000342134. Manning S. Cataract surgery outcomes in corneal refractive surgery eyes: Study from the European Registry of Quality Outcomes for Cataract and Refractive Surgery. *J Cataract Refract Surg*. 2015 Nov; 41(11):2358-65. DOI: 10.1016/j.jcrs.2015.04.034.
- Yesilirmak N., Chhadva P., Waren D., MSPH, Donaldson KE. Effect of Prior Refractive Surgery on Timing of Cataract Surgery. *MS ASCRS ASOA Symposium & Congress 2015 Paper*. DOI: 10.3928/1081597X-20160217-07.
- Iijima K., Kamiya K., Shimizu K., Komatsu M. Demographics of patients having cataract surgery after laser in situ keratomileusis. *J Cataract Refract Surg*. 2015 Feb; 41(2):334-8. DOI: 10.1016/j.jcrs.2014.05.045.
- Yesilirmak N., Chhadva P., Diakonis VF., Waren DP., Yoo SH., Donaldson KE. The Effect of LASIK on Timing of Cataract Surgery. *J Refract Surg*. 2016 May 1; 32(5):306-310. DOI: 10.3928/1081597X-20160217-07.
- Корниловский И.М. Факторы катарактогенеза в лазерной рефракционной хирургии роговицы. *Офтальмология*. 2019; 16(1S):112-117. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2019-1S-112-117>. [Fakторы kataraktogeneza v lazernoy refraktsionnoy khirurgii rogovitsy. *Oftal'mologiya*. 2019; 16(1S): 112-117. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2019-1S-112-117> (In Russ)].
- Корниловский И. М. Новая энергосберегающая гидродинамическая теория аккомодации // Рефракционная хирургия и офтальмология. 2010; Т 10 (3):11-16. [Kornilovskiy I. M. Novaya energosberegayushchaya gidrodinamicheskaya teoriya akkomodatsii // *Refraktsionnaya khirurgiya i oftal'mologiya*. 2010; T10 (3):11-16. (In Russ)].
- Корниловский И. М. Новая теория рефрактогенеза и развития миопии. *Российский офтальмологический журнал*, 2025; 18(3):102-108. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2025-18-3-102-109>. [Kornilovskiy I. M. Novaya teoriya refraktogeneza i razvitiya miopii. *Rossiyskiy oftal'mologicheskii zhurnal*, 2025; 18(3):102-108. (In Russ)]. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2025-18-3-102-109>.
- MacFarlane ER, Donaldson PJ and Grey AC (2024) UV light and the ocular lens: a review of exposure models and resulting biomolecular changes. *Front. Ophthalmol*. 4:1414483. doi: 10.3389/fopht.2024.1414483.
- Корниловский И.М., Бурцев А.А. Теоретическое и экспериментальное обоснование лазериндуцированного кросслинkingа в фоторефракционной хирургии роговицы. *Катарактальная и рефракционная хирургия*. 2015; 15 (1):20-25. [Kornilovskiy I.M., Burtsev A.A. Theoretical and experimental substantiation of laser-induced crosslinking in photorefractive corneal surgery. *Cataract and Refractive Surgery*. 2015; 15 (1):20-25. (In Russ.)].
- Корниловский И.М., Султанова А.И., Бурцев А.А. Фотопротекция рибофлавином с эффектом кросслинkingа при фоторефракционной абляции роговицы. *Вестник офтальмологии*. 2016; 132 (3):37-41. <https://doi.org/10.17116/oftalma2016132337-41>. [Kornilovskiy I.M., Sultanova A.I., Burtsev A.A. Fotoproteksiya riboflavinom s efektom krosslinkinga pri fotorefraktsionnoy ablyatsii rogovitsy. *Vestnik oftal'mologii*. 2016; 132 (3):37-41. <https://doi.org/10.17116/oftalma2016132337-41>. (In Russ.)]
- Корниловский И.М. Лазер-индуцированный кросслинking в модификации абляционной поверхности при фоторефракционной кератэктомии. *Катарактальная и рефракционная хирургия*. 2016; 16 (4): 29-35. [Корниловский И.М. Лазер-индуцированный кросслинking в модификации абляционной поверхности при фоторефракционной кератэктомии. *Катарактальная и рефракционная хирургия*. 2016; 16 (4): 29-35. (In Russ.)].
- Kornilovskiy I.M., Kasimov E.M., Sultanova A.I., Burtsev A.A. Laser-induced corneal cross-linking upon photorefractive ablation with riboflavin. *Clin. Ophthalmol*. 2016; 10: 587-592, DOI <https://doi.org/10.2147/OPHT.S101632>.
- Kornilovskiy I.M., Kasimov E.M., Sultanova A.I., Burtsev A.A., Mirishova M.F. An experimental evaluation of photoprotection by riboflavin in the excimer laser refractive keratectomy. *Res. J. Pharm. Biol. Chem. Sci*. 2016; 7 (6): 188-194, ISSN: 0975-8585
- Корниловский И.М. Фотопротекция с эффектом лазер-индуцированного кросслинkingа при фоторефракционной абляции с рибофлавином. *Научно-практический журнал Точка зрения "Восток-Запад"*. 2018; 1:61-64. DOI: <https://10.25276/2410-1257-2018-1-61-64>. [Kornilovskiy I.M. Photoprotection with the effect of laser-induced crosslinking during photorefractive ablation with riboflavin. *Scientific and practical journal Point of view "East-West"*. 2018; 1: 61-64. DOI: <https://10.25276/2410-1257-2018-1-61-64>. (In Russ.)].
- Корниловский И.М., Шишкин М.М., Голяков А.А., Бурцев А.А., Гиля А.П. ОКТ роговицы в оптимизации новой технологии транспэпителиальной ФРК с рибофлавином. *Научно-практический журнал Точка зрения "Восток-Запад"*. 2018; 1:81-85. DOI: <https://10.25276/2410-1257-2018-1-81-85>. [Kornilovskiy I.M. Fotoproteksiya s efektom lazer-indutsirovannogo krosslinkinga pri fotorefraktsionnoy ablyatsii s riboflavinom. *Nauchno-prakticheskiy zhurnal Tochka zreniya "Vostok-Zapad"*. 2018; 1:61-64. DOI: <https://10.25276/2410-1257-2018-1-61-64>. (In Russ.)].
- Kornilovskiy I.M. Photorefractive Keratectomy with Protection from Ablation-Induced Secondary Radiation and Cross-linking Effect. *EC Ophthalmology*. 2019; 10 (70): 563-570. DOI <https://doi.org/10.2147/OPHT.S101632>.
- Kornilovskiy I.M. Prophylactic and Therapeutic Laser-Induced Corneal Crosslinking. *EC Ophthalmology*, 2020; 11(12):74-82.
- Корниловский И.М. От стандартного к ускоренному и сверхбыстрому топографически ориентированному профилактическому кросслинkingу в рефракционной хирургии роговицы. *Вестник Национального Медико-хирургического Центра им. Н.И. Пирогова*, 2023:53-58 Пироговский офтальмологический форум. DOI: 10.25881/20728255_2023_18_4_S1_53. [Kornilovskiy I.M. Ot standartnogo k uskorennomu i sverkhbystrumu topograficheski oriyentirovannomu profilakticheskomu krosslinkingu v refraktsionnoy khirurgii rogovitsy. *Vestnik Natsional'nogo Mediko-khirurgicheskogo Tsentra im. N.I. Pirogova*, 2023:53-58 *Pirogovskiy oftal'mologicheskii forum*. DOI: 10.25881/20728255_2023_18_4_S1_53. (In Russ.)].
- Корниловский И.М. Способ кросслинkingа роговицы. Патент РФ № 282-2101 с приоритетом от 15.12. 2021. [Kornilovskiy I.M. Sposob krosslinkinga rogovitsy. Patent RF № 2822101 s prioritetom ot 15.12. 2021. (In Russ.)].